www.hgig.cz

ZEMĚ A VODA – PŘÍLEŽITOSTI A RIZIKA

Sborník příspěvků

XVII. hydrogeologického kongresu a V. inženýrskogeologického kongresu

Pardubice 1.- 4. září 2026

Hlavní pořadatelé:

Česká asociace hydrogeologů

Česká asociace inženýrských geologů

Spolupořadatelé:

Český komitét IAH

Česká národní skupina IAEG

Unie geologických asociací (UGA)

www.hgig.cz

Záštitu nad pořádáním kongresů převzali

Mgr. Zdeněk Venera, Ph.D., ředitel České geologické služby
a
Ing. Tomáš Fojtík, ředitel Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v.v.i.

Všechny příspěvky byly recenzovány vědeckými výbory HGIG kongresů.

Za jazykovou a formální správnost odpovídají autoři příspěvků, příspěvky neprošly redakční úpravou.

Citace sborníku: Datel, J.V., Valenta J. (eds.): Země a voda – příležitosti a rizika. Sborník příspěvků XVII. hydrogeologického kongresu a V. inženýrskogeologického kongresu. – Česká asociace hydrogeologů a Česká asociace inženýrských geologů, Pardubice 1. - 4. 9. 2026. ISBN 978-80-903635-6-4

Citace příspěvku ve sborníku: Novák, F., Novotný J.: Situace okolí sesuvu Dolánky. In: *Datel, J.V., Valenta J. (eds.): Země a voda – příležitosti a rizika. Sborník příspěvků XVII. hydrogeologického kongresu a V. inženýrskogeologického kongresu.* – Česká asociace hydrogeologů a Česká asociace inženýrských geologů, Pardubice 1. - 4. 9. 2026. ISBN 978-80-903635-6-4

Vyšlo online, k dispozici na stránkách www.cah-uga.cz, caig-uga.cz a hgig.cz

© Česká asociace hydrogeologů, z. s. 2026

ISBN 978-80-903635-6-4

www.hgig.cz

HGIG PARDUBICE 2026

Země a voda – příležitosti a rizika

Pardubice
1.–4. září 2026

XVII. Hydrogeologický kongres

V. Inženýrskogeologický kongres

HGIG PARDUBICE 2026

hgig.cz

Na přípravě a konání kongresu se sponzorsky podílely tyto společnosti:

Impul PRAHA

PUDIS

SčVK

VEOLIA

Projekce iGeo s.r.o.

DIAMO

GEO5 | fine

Mediálním partnerem kongresu je časopis Vodní hospodářství.

vodní hospodářství

Úvodem

Předložený sborník obsahuje přijaté příspěvky, které byly prezentovány na XVII. hydrogeologickém kongresu a V. inženýrskogeologickém kongresu, které se společně konaly v Pradubicích ve dnech 1. – 4. 9. 2026 v prostorách univerzitní auly Arnošta z Pardubic. U příspěvků, kde autoři nedodali texty do sborníku, jsou uvedeny jen krátké anotace.

Odborníci oborů hydrogeologie, inženýrská geologie a dalších aplikovaných geologických disciplín se zde sešli k účasti na dalším tradičním odborně-společenském setkání, které navazuje na dlouhou tradici od roku 1961, kdy se uskutečnila I. československá hydrogeologická konference v Karlových Varech. Cílem těchto pravidelných setkání je zhodnotit vývoj v našich oborech za uplynulé roky od předchozího setkání, a prodiskutovat jejich budoucí směřování. Kongresu se účastní zástupci z firem, výzkumných institucí, vysokých škol i orgánů státní správy a samosprávy všech stupňů, včetně studentů.

Odborná veřejnost z celé České republiky se v Pardubicích sešla opět po 4 letech od posledního kongresu v roce 2022 v Ústí nad Labem. Změny světa a společnosti, kterými procházíme v poslední době, zvýrazňují nutnost široké mezioborové spolupráce při řešení výzkumných a průzkumných úkolů aplikované geologie, při efektivním využívání přírodních zdrojů a zajišťování ochrany životního prostředí. Proto jsme rádi, že jsme na kongresu mohli přivítat i kolegy z mnoha dalších blízkých a souvisejících oborů – zvláště z užité geofyziky, ložiskové geologie, sanačních technologií, hydrogeochemie, stavebnictví a geotechniky, hydrologie a vodního hospodářství či dálkového průzkumu Země.

Kongresové jednání bylo situováno do moderních prostor Auly Arnošta z Pardubic Univerzity Pardubice, Studentská 519, Pardubice-Polabiny. Součástí programu byla i řada doprovodných akcí: společenský večer, ochutnávka vín, odborné exkurze, byla předána i ocenění za celoživotní přínos oborům inženýrská geologie a hydrogeologie.

U příspěvků, kde autoři nedodali texty do sborníku, jsou uvedeny jen krátké anotace. Kromě tohoto sborníku je možné získat i jednotlivé prezentace příspěvků, u nichž jsme získali souhlas autorů. Ty je možné za stanovených podmínek stáhnout v pdf formátu na stránkách kongresu a stránkách hlavních pořadatelů.

Za pořadatele

Josef Vojtěch Datel, předseda ČAH, jvdatel@gmail.com
Jan Valenta, předseda ČAIG, jan.valenta@texgeo.cz

Kongresové výbory

Organizační výbor:

Mgr. Zděnek Brunát

RNDr. Josef Vojtěch Datel, Ph.D.

Ing. Jakub Průša

Mgr. Martin Šrot

Ing. Mgr. Jan Valenta, Ph.D.

VĚDECKÉ VÝBORY:

HYDROGEOLOGIE

RNDr. Josef Vojtěch Datel, Ph.D. – předseda

RNDr. Jan Bartoň

Mgr. Daniil Belokopytov

doc. RNDr. Jiří Bruthans, Ph.D.

RNDr. Jiří Čížek

doc. RNDr. Renáta Fľaková, PhD.

doc. RNDr. Zbyněk Hrkal, CSc.

RNDr. Tomáš Charvát

RNDr. Renata Kadlecová

Mgr. Jiří Kubricht

RNDr. Zdeněk Pištora

RNDr. Martin Procházka

Ing. Jakub Průša

Ing. Radim Ptáček, Ph.D.

prof. Ing. Naďa Rapantová, CSc.

RNDr. Svatopluk Šeda

Mgr. Martin Šrot

Mgr. Barbora Topinková, Ph.D.

Mgr. Hana Tůmová

RNDr. Květoslav Vlk, Ph.D.

RNDr. Tomáš Vylita, Ph.D.

Inženýrská geologie

Ing. Mgr. Jan Valenta, Ph.D. - předseda

Ing. Anna Abramčuková

doc. RNDr. Renáta Adamcová, Ph.D.

prof. RNDr. Martin Bednárik, PhD.

RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D.

prof. RNDr. Miloslav Kopecký, Ph.D.

Ing. Petr Kycl

prof. RNDr. David Mašín, Ph.D.

Ing. Jan Novotný, CSc.

doc. Mgr. Martin Ondrášik, PhD.

Mgr. Jakub Roháč, Ph.D.

Mgr. Jiří Rout

Mgr. Jan Suchý, Ph.D.

RNDr. Jiří Tomášek

RNDr. Petr Vitásek

Kongresové sekce

Hydrogeologie

1. Regionální hydrogeologický výzkum, bilancování vod, vztah povrchových a podzemních vod (vedoucí sekce RNDr. Renata Kadlecová)
2. Vodárenská a komunální hydrogeologie, využívání a ochrana zdrojů podzemních vod (vedoucí sekce Ing. Jakub Průša)
4. Hydrochemie, jakost podzemních vod, monitoring vod (vedoucí sekce Mgr. Jiří Kubricht)
5. Kontaminace vod a horninového prostředí, analýza rizik, sanační zásahy (vedoucí sekce RNDr. Jan Bartoň)
6. Termální, minerální a léčivé vody (vedoucí sekce RNDr. Tomáš Vylita, Ph.D.)
7. Vrty pro tepelná čerpadla, využívání geotermální energie (vedoucí sekce RNDr. Svatopluk Šeda)

Inženýrská geologie

8. Inženýrskogeologický průzkum pro pozemní a liniové stavby (vedoucí sekce Mgr. Jiří Rout)
9. Inženýrskogeologický průzkum pro podzemní stavby (vedoucí sekce RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D.)
10. Inženýrskogeologický průzkum v urbanizovaném prostředí (vedoucí sekce Ing. Jan Novotný, CSc.)
11. Svahové pohyby a ostatní geodynamické jevy (vedoucí sekce Ing. Petr Kycl)
12. Laboratorní testování v mechanice zemin a hornin (vedoucí sekce prof. RNDr. David Mašín, Ph.D.)
13. Prostor pro zlepšení inženýrskogeologických průzkumů (vedoucí sekce RNDr. Jiří Tomášek)

Společná témata

15. Vsakování srážkových vod, odvodnění, meliorace, drenáže, stavební čerpání (vedoucí sekce Ing. Radim Ptáček, Ph.D.)
16. Využití metod užité geofyziky, dálkového průzkumu a dalších moderních metod v hydrogeologii a inženýrské geologii (vedoucí sekce RNDr. Martin Procházka)
17. Úkoly hydrogeologie a inženýrské geologie při těžbě nerostných surovin, odstraňování následků důlní činnosti a při průzkumu hlubinných úložišť radioaktivního odpadu (vedoucí sekce prof. Ing. Naďa Rapantová, CSc.)
18. Profesní samospráva, etika v odborné práci a podnikání, výuka aplikované geologie na středních a vysokých školách, celoživotní vzdělávání (vedoucí sekce Mgr. Barbora Topinková, Ph.D.)

Pozn.: Sekce 3 a 14 byly zrušeny pro nedostatek příspěvků.

Obsah

Titulní stránky 1
Seznam příspěvků 9

Sekce 1 22

1.1 Bruthans 23
1.2 Datel 33
1.3 Hadacz 42
1.4 Kryštofová 52
1.5 Kuchovský 53
1.6 Lamačová 54
1.7 Mareš 60
1.8 Navrátilová 70
1.9 Nol 79
1.10 Novotná 88
1.11 Říčka 89
1.12 Slavík 90
1.13 Starý 100
1.14 Šupíková 112
1.15 Vlnas 119

Sekce 2 120

2.1 Datel 121
2.2 Kukačka 135
2.3 Nakládal 145
2.4 Nováková 154
2.5 Patka 160
2.6 Sedláček 173
2.7 Tichý 184
2.8 Uhlík 194
2.9 Vaníček 195

Sekce 4 196

4.1 Bartoň 197
4.2 Gavuliaková 204
4.3 Gavuliaková 211
4.4 Kodeš 220
4.5 Kršková 227
4.6 Molková 228
4.7 Slavík 236

Sekce 5 241

5.1 Čermák 242
5.2 Hocke 243
5.3 Kukačka 248
5.4 Kvapil 253
5.5 Mikita 254
5.6 Urban 258
5.7 Zrzavecký 263

Sekce 6 **266**

6.1 Landa 267
6.2 Goliáš 277
6.3 Holeček 282
6.4 Kůrková 286
6.5 Novotná 294
6.6 Procházka 300
6.7 Třískala 306
6.8 Vaněček 313
6.9 Vylita 319
6.10 Vysoká 324

Sekce 7 **332**

7.1 Cihelka 333
7.2 Havlík 338
7.3 Kaňka 342
7.4 Kešnerová 343
7.5 Novák 344
7.6 Rapantová 351
7.7 Seda 352
7.8 Trs 357

Sekce 8 **362**

8.1 Jech 363
8.2 Zoglobosou 367
8.3 Lampová 372
8.4 Ondráček 375
8.5 Poul 379
8.6 Procházka 384
8.7 Rout 389
8.8 Rout 392
8.9 Stöhr 393
8.10 Tomášek 397
8.11 Vacková 399

Obsah

Sekce 9 **403**
9.1 Bláha 404
9.2 Hájek 413
9.3 Pícha 414
Sekce 10 **422**
10.1 Ďurove 423
10.2 Tlamsa 424
10.3 Vojtěchovská 434
Sekce 11 **445**
11.1 Bednarik 446
11.2 Dostalík 456
11.3 Dostalík 457
11.4 Kochanová 458
11.5 Kopecký 462
11.6 Krejčí 469
11.7 Krejčí 472
11.8 Mráz 477
11.9 Novotný 485
11.10 Novotný 486
11.11 Valenta 487
Sekce 12 **491**
12.1 Blahůt 492
12.2 Durmeková 499
12.3 Frýbová 509
12.4 Frýbová 510
12.5 Poul 511
12.6 Roháč 519
Sekce 13 **520**
13.1 Dragoun 521
13.2 Ježek 525
13.3 Novotný 528
13.4 Onysko 529
13.5 Šmejkalová 530
13.6 Šmejkalová 532
13.7 Tejnecký 538
Sekce 15 **539**
15.1 Kavka 540
15.2 Lubojacký 549
15.5 Skálová 550
15.6 Šabatová 551
15.7 Šeflová 558
15.8 Špaček 559
Sekce 16 **563**
16.1 Budinský 564
16.2 Fárová 565
16.3 Hanák 566
16.4 Jirků 569
16.5 Lanzendörfer 570
16.6 Matouš 571
16.7 Matouš 580
16.8 Matoušková 590
16.9 Nedvěd 597
16.10 Procházka 604
Sekce 17 **610**
17.1 Jankovec 611
17.2 Kadlecová 612
17.3 Kubricht 613
17.4 Ličbinská 623
17.5 Macáková 631
17.6 Milický 636
17.7 Rapantová 645
17.8 Smutek 646
17.9 Sosna 656
17.10 Sosna 665
17.11 Vencl 673
17.12 Žižka 674
Sekce 18 **675**
18.1 Horáček 676
18.2 Kuchovský 680
18.3 Mityska 681
18.4 Nedvěd 683
18.5 Petrová 684
18.6 Průša 687
18.7 Slavík 688
18.8 Šeda 691
18.9 Topinková 692
18.10 Weiss 696
18.11 Smutek 697

Hydrogeologie

Sekce 1 **Regionální hydrogeologický výzkum, bilancování vod, vztah povrchových a podzemních vod (vedoucí sekce RNDr. Renata Kadlecová)**

Dále uvádíme seznam příspěvků řazených podle sekcí, a v nich podle abecedy, jak ústních příspěvků, tak posterů. Postery jsou označeny slovem ***POSTER***. U každého příspěvku je uveden čas a místo prezentace.

kód	jméno	příjmení	název	další autoři	čas a místo prezentace
1-1	Jiří	Bruthans	Otevřené otázky hydrogeologie české křídové pánve.		Čtvrtek 14.50 sál B
1-2	Josef Vojtěch	Datel	Řízená dotace podzemních vod jako opatření proti suchu na podzemních vodách. ***POSTER***	Renata Kadlecová, Anna Hrabánková	Úterý–čtvrtek předsálí
1-3	Roman	Hadacz	Identifikace hydrogeologické bariéry v horninách krystalinika s využitím hydrochemických dat a vrtných prací – případová studie Litovany (hydrogeologický rajon 6550).	Jitka Novotná, Veronika Kršková, Jiří Rez	Čtvrtek 17.00 sál B
1-4	Eva	Kryštofová	Otázku původu vody v hydrogeologické struktuře Javoříčského a Mladečského krasu.	Jitka Novotná, Roman Novotný, Vít Baldík, Jiří Rez	Čtvrtek 16.20 sál B
1-5	Tomáš	Kuchovský	Příhraniční spolupráce v projektech Interreg AT-CZ a SK-CZ zaměřených na podzemní vody a eliminaci sucha. ***POSTER***	Adam Říčka, Petr Vaníček, Bibiána Pasternáková, Slavomír Nehyba, Jaromír Leichmann, Petr Navrátil, Šárka Zemanová	Úterý–čtvrtek předsálí
1-6	Anna	Lamačová	Mělká podzemní voda v lužní nivě Dyje: 75 let monitoringu, dlouhodobé trendy a vliv vodohospodářských zásahů.	Hana Hornová, Alice Musilová, Helena Bažantová	Čtvrtek 14.10 sál B
1-7	Jakub	Mareš	Nové hydrostratigrafické členění turonských kolektorů v centrální části České křídové pánve.	Martin Slavík, Jiří Bruthans, Kateřina Šabatová, Kateřina Malachová	Čtvrtek 15.30 sál B
1-8	Vlasta	Navrátilová	Hydrogeologický monitoring podzemních, povrchových a důlních vod v PVP Bukov. ***POSTER***	Charvát P., Kocman T., Kuklík J., Kunovjánek A., Macáková A., Navrátilová V., Pacl A., Paulin T., Průcha P., Vencl M.	Úterý-čtvrtek předsálí
1-9	Ondřej	Nol	Metodika hodnocení hladin podzemních vod pro potřeby stanovení přírodních zdrojů podzemních vod v kvartérních hydrogeologických rajonech.	Martin Zrzavecký, Vratislav Žabka, Jiří Burda	Čtvrtek 14.30 sál B
1-10	Jitka	Novotná	Účelové hydrogeologické mapy kategorizace území z hlediska vsakování jako jeden výstupů projektu Podzemní voda v krystaliniku.	Eva Kryštofová, Martin Paleček	Čtvrtek 16.40 sál B

kód	jméno	příjmení	název	další autoři	čas a místo prezentace
1-11	Adam	Říčka	Drenáž hlubokých podzemních vod a zvýšená mineralizace v řece Dyji v úseku Laa an Der Thaya a Pasohlávky. ***POSTER***	Kateřina Chroustová, Bibiána Pasternáková, Tomáš Kuchovský, Petr Vaníček	Úterý-čtvrtek předsálí
1-12	Martin	Slavík	Využití environmentálních stopovačů pro určení původu a doby zdržení podzemní vody: Příklad ze severozápadní části české křídové pánve.	Jiří Bruthans, Jakub Mareš	Čtvrtek 15.10 sál B
1-13	Jiří	Starý	Krušnohorský tunel – hlubší pohled do hydrogeologie zdejšího krystalinika a severočeské pánve v rámci předběžného hydrogeologického průzkumu pro vysokorychlostní trať.	Jiří Bruthans, Václav Hájek, Daniel Kahuda, Jakub Mareš, Martin Slavík, Václav Starý, Nikola Vacková	Čtvrtek 17.20 sál B
1-14	Irena	Šupíková	Vodní režim rašelinišť a slatin v CHKO Slavkovský les.	Tomáš Vránek, Petr Charvát	Čtvrtek 17.40 sál B
1-15	Radek	Vlnas	Vývoj základního odtoku 1981–2025.		Čtvrtek 13.50 sál B

Sekce 2 Vodárenská hydrogeologie, využívání a ochrana zdrojů podzemních vod (vedoucí sekce Ing. Jakub Průša)

2-1	Josef Vojtěch	Datel	Metodické přístupy k výzkumu interakce odběrů povrchové a podzemní vody a průtoků na tocích v povodí Jizery. ***POSTER***	Michal Polák	Úterý–čtvrtek předsálí
2-2	Jan	Kukačka	INV-FLOW: Nové možnosti v diagnostice jímacích vrtů. ***POSTER***	Daniel Kahuda, Pavel Pech, Václav Ficaj	Úterý–čtvrtek předsálí
2-3	Petr	Nakládal	Skrytý hydraulický zkrat ve vrtech.		Středa 12.10 sál B
2-4	Hana	Nováková	Databáze ochranných pásem vodních zdrojů.		Středa 10.30 sál B
2-5	Jan	Patka	Likvidace artézského vrtu z roku 1902.	Petr Kvapil, Milan Gröger, Martin Verfel	Středa 10.50 sál B
2-6	Zdeněk	Sedláček	Využívání podzemních vod kontra zemědělské využívání krajiny – problematika definování OP VZ.	Jitka Novotná, Roman Hadacz	Středa 11.50 sál B
2-7	Petr	Tichý	Ani u malých obcí nelze ochranu vodních zdrojů zanedbávat – aktualizace a revize ochranných pásem zdrojů vody pro obecní vodovody.	Petr Kohout	Středa 11.10 sál B
2-8	Jan	Uhlík	Modelování proudění podzemní vody v kvartérních sedimentech Dolnomoravského úvalu, podklady pro renovaci prameniště Milokošť.	Jakub Jankovec	Středa 11.30 sál B
2-9	Petr	Vaníček	Dopady klimatické změny a těžby štěrkopísku na udržitelné jímání vodního zdroje Čeperka-Hrobice. ***POSTER***	Adam Říčka, Tomáš Kuchovský, Bibiána Pasternáková, Kateřina Chroustová	Úterý–čtvrtek předsálí

Sekce 3 Zdroje pro individuální zásobování, vsakování odpadních vod, komunální hydrogeologie

Sekce není obsazena příspěvky.

Sekce 4 Hydrochemie, jakost podzemních vod, monitoring vod (vedoucí sekce Mgr. Jiří Kubricht)

kód	jméno	příjmení	název	další autoři	čas a místo prezentace
4-1	Jan	Bartoň	Vliv tvrdosti vody na lidské zdraví.	Stanislav Rapant, Nina Beňová	Čtvrtek 11.10 sál A
4-2	Barbora	Gavuliaková	Vymedzenie zraniteľných oblastí na Slovensku: prepojenie monitoringu podzemných a povrchových vôd v kontexte Dusičnanovej směrnice. ***POSTER***	Martina Dubská, Katarína Chalupková, Beata Zsideková, Roman Cibulka	Úterý–čtvrtek předsálí
4-3	Barbora	Gavuliaková	Vplyv dusičnanovej smernice (91/676/EHS) na kvalitu podzemných vôd na Slovensku: výsledky monitoringu 2020 – 2023. ***POSTER***	Katarína Chalupková, Beata Zsideková, Martina Dubská, Roman Cibulka	Úterý–čtvrtek předsálí
4-4	Vít	Kodeš	Organické mikropolutanty v podzemních vodách ČR – stav poznání v roce 2026.	Miroslava Svátková, Jindřich Freisleben, Radka Kodešová, Roman Grabic	Čtvrtek 10.30 sál A
4-5	Veronika	Kršková	Sezónní variabilita vod v jeskynním systému Rudické propadání – Býčí skála. ***POSTER***	Vít Baldík, Roman Hadacz, Eva Kryštofová, Jiří Faimon, Pavel Pracný, Roman Novotný, Jiří Nečas, Stanislav Lejska	Úterý–čtvrtek předsálí
4-6	Martina	Molková	Geochemická charakteristika procesů a mineralogických změn miocenních pískovců Vídeňské pánve při simulovaném ukládání CO_2: Případové studie lokalit Brodské a Dolní Bojanovice.	Monika Ličbinská	Čtvrtek 10.50 sál A
4-7	Martin	Slavík	Měření povrchových toků přístrojem FlowTracker: vliv metod měření na hodnoty průtoků. ***POSTER***	Kamila Tučanová, Miroslav Šobr	Úterý–čtvrtek předsálí

Sekce 5 Kontaminace vod a horninového prostředí, analýza rizik, sanační zásahy (vedoucí sekce RNDr. Jan Bartoň)

5-1	Lukáš	Čermák	Směrnice Evropského parlamentu a Rady o monitorování a odolnosti půdy.	Jan Berka	Čtvrtek 11.30 sál A
5-2	Jan	Hocke	Šíření látek PFAS ve vybraných složkách životného prostředí v podmínkách konkrétních lokalit.	Petr Kvapil	Čtvrtek 14.10 sál A
5-3	Jan	Kukačka	Monitoring kontaminace ropnými látkami pomocí měření radonu v půdním vzduchu.	Radek Červinka, Václav Ficaj, Daniel Kahuda, Pavel Pech,	Čtvrtek 14.30 sál A

kód	jméno	příjmení	název	další autoři	čas a místo prezentace
5-4	Petr	Kvapil	Udržitelná sanace kontaminací PFAS: technologie, rozhodovací procesy a proveditelnost.	Jan Hocke, Jaroslav Nosek, Václav Šrédl	Čtvrtek 13.50 sál A
5-5	Slavomír	Mikita	Využitie režimových meraní pri hodnotení vplyvov banskej činnosti na kvalitu vôd v podmienkach dynamického horského prostredia.		Čtvrtek 14.50 sál A
5-6	Ondřej	Urban	Sanace následků havárie vlaku s benzenem v Hustopečích nad Bečvou.	Milan Horák, Martin Popl	Čtvrtek 13.30 sál A
5-7	Martin	Zrzavecký	Likvidace nepotřebných vrtů.		Čtvrtek 11.50 sál A

Sekce 6 Termální, minerální a léčivé vody (vedoucí sekce RNDr. Tomáš Vylita, Ph.D.)

6-1	David	Aaron-Landa	Aplikované sommeliérství v hydrogeologii	Simona Mrázková, Žaneta Chudá, Eliška Cermanová	Čtvrtek 12.10 sál B
6-2	Viktor	Goliáš	Extrakce radonu z pramenité vody do rostlinných olejů: Příprava vysoce účinných aktivních preparátů pro léčebné účely	Martin Přeček, Ivo Hlásenský	Čtvrtek 11.50 sál B
6-3	Jan	Holeček	Revize a ochrana hydrogeologických fenoménů v CHKO Slavkovský les.	Martin Alexa, Jiří Burda, Petr Charvát, Barbora Dudíková, Jan Holeček, Jan Jelínek, Radek Kadlubiec, Iva Kůrková, David Aaron-Landa, Martin Paleček, Tomáš Radoměřský, Ivan Rozkošný, Lenka Rukavičková, Zuzana Skácelová, Irena Šupíková, Tomáš Vránek, Tomáš Vylita, Vladimír Žáček	Čtvrtek 9.00 sál B
6-4	Iva	Kůrková	Minerální vody v CHKO Slavkovský les. POSTER	David Aaron-Landa, Jan Holeček, Lenka Rukavičková, Jiří Burda, Tomáš Vylita	Úterý–čtvrtek předsálí
6-5	Jitka	Novotná	Vodní dílo Skalička – hydrogeologické a inženýrskogeologické poměry v oblasti projektované stavby.	Roman Hadacz	Čtvrtek 10.00 sál B
6-6	Martin	Procházka	Rebilance termy v oblasti Ústí nad Labem z hlediska využití geotermální energie.	Zbyněk Vencelides	Čtvrtek 9.20 sál B
6-7	Zdeněk	Třískala	Když se zřídelní struktura ozve: havárie, poučení a současná ochrana lázeňských míst.	Alena Drdová, Lukáš Hronec, Karolína Lukášová, Pavel Procházka, Monika Vojáková, Lucie Zdráhalová, Lenka Důrová	Čtvrtek 11.10 sál B

kód	jméno	příjmení	název	další autoři	čas a místo prezentace
6-8	Michal	Vaněček	Rekonstrukce zhlaví geotermálního vrtu ZGl-1 Bešeňová, SK.	Michálková J., Skálová J., Kešnerová J., Záruba J., Navrátilová V., Reisel P., Kucharčíková L., Vlita T., Tenenko V.	Čtvrtek 9.40 sál B
6-9	Tomáš	Vylita	Využití minerálních vod v Pottově údolí v Mariánských Lázních.		Čtvrtek 11.30 sál B
6-10	Helena	Vysoká	I/13 tunel Bílina – hydrogeologický průzkum v rámci podrobného inženýrskogeologického průzkumu.	Aleš Kunovjánek, Aleš Pacl, Tomáš Paulin, Vladimír Říha, Vlasta Navrátilová, Marta Valentová	Čtvrtek 10.50 sál B

Sekce 7 Vrty pro tepelná čerpadla, využívání geotermální energie (vedoucí sekce RNDr. Svatopluk Šeda)

7-1	Pavel	Cihelka	Primární okruhy s vrty pro tepelná čerpadla pro developerské projekty v centru Prahy.		Čtvrtek 15.10 sál A
7-2	Michal	Havlík	Projektování a realizace vrtů pro tepelná čerpadla.		Čtvrtek 15.30 sál A
7-3	Ondřej	Kaňka	Jak efektivně navrhovat hloubku a počty vrtů pro TČ systému země x voda.		Čtvrtek 15.50 sál A
7-4	Johana	Kešnerová	Horninová akumulace sezonního tepla. ***POSTER***	Jarmila Skálová, Michal Vaněček, Jana Michálková, Jiří Záruba, Petr Štöhr, Karel Sosna, Jakub Maščuch, Jan Špale, Václav Vodička, Albert Vocel, Zbyněk Zelený, Jiří Šťástka, Matěj Černý	Úterý–čtvrtek předsálí
7-5	Milan	Novák	Poznatky z HG dozorů na stavbách s náročnou instalací vrtů pro TČ.		Čtvrtek 17.40 sál A
7-6	Naďa	Rapantová	Vliv proudění podzemní vody na účinnost podzemního zásobníku tepla.	Pavel Štrof, Martin Lanzendörfer	Čtvrtek 17.00 sál A
7-7	Svatopluk	Šeda	Kdy a kde navrhovat vysoce funkční vrty pro TČ systému voda x voda		Čtvrtek 17.20 sál A
7-8	Milan	Trs	Materiálové standardy zajišťujících dlouhou životnost geotermálních vrtů		Čtvrtek 16.40 sál A

Sekce 8 Inženýrskogeologický průzkum pro pozemní a liniové stavby (vedoucí sekce Mgr. Jiří Rout)

kód	jméno	příjmení	název	další autoři	čas a místo prezentace
8-1	Martin	Jech	Most Šmejkalka na D1 – konstrukce plošin pro demoliční techniku.	Filip Olejár	Čtvrtek 11.10 sál C
8-2	Hippolyte	Zoglobossou	Geotechnické aspekty založení estakády na silnici I/38 v území s historickou důlní činností.	Jan Kardinál, Barbora Hladíková, Ondřej Lubojacký	Čtvrtek 11.30 sál C
8-3	Daniela	Lampová	Průzkum nestabilního železničního náspu trati Mosty u Jablunkova – st. hranice SR, v km 286,623 – 287,276.		Čtvrtek 11.50 sál C
8-4	Jakub	Ondráček	Geotechnický průzkum silnice I/23 po hrázi Vodnatého rybníka. ***POSTER***		Úterý–čtvrtek předsálí
8-5	Ivan	Poul	Eurokód 7 jako rámec dobré praxe pro návrh a realizaci průzkumných prací.		Čtvrtek 15.20 sál C
8-6	Martin	Procházka	Zásadní vliv konstrukce vrtu na možnosti karotážních metod v rámci IG průzkumů.		Čtvrtek 14.40 sál C
8-7	Jiří	Rout	Inženýrskogeologický průzkum pro založení Dvoreckého mostu.	Marián Kollár, Jiří Nedvěd	Čtvrtek 12.10 sál C
8-8	Jiří	Rout	Historie IG průzkumů pro přípravu plavebního stupně Děčín.	Jiří Nedvěd	Čtvrtek 14.00 sál C
8-9	Petr	Stöhr	I/27 Žiželice – doplňkový GTP.		Čtvrtek 12.30 sál C
8-10	Jiří	Tomášek	Klasifikace těžitelnosti podle IGP a skutečnost zjištěná na stavbě.		Čtvrtek 15.00 sál C
8-11	Nikola	Vacková	Příprava vysokorychlostních tratí v ČR – zajištění geologického průzkumu očima investora.	Martin Švehlík	Čtvrtek 14.20 sál C

Sekce 9 Inženýrskogeologický průzkum pro podzemní stavby (vedoucí sekce RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D.)

kód	jméno	příjmení	název	další autoři	čas a místo prezentace
9-1	Pavel	Bláha	O čem je kniha “Geofyzika pro podzemní stavitelství”?		Středa 11.10 sál C
9-2	Václav	Hájek	Předběžný inženýrskogeologický průzkum pro Krušnohorský tunel.	Jan Gebauer, Nikola Vacková, Tomáš Svoboda, Jiří Starý, Jiří Zmítko	Středa 10.30 sál C
9-3	Petr	Pícha	Průběžné výsledky z I. etapy podrobného geotechnického průzkumu pro Berounský tunel.	Otakar Krásný, Petr Mazáč, Petr Olišar, Tomáš Pašek, Jiří Nedvěd, Monika Zbořilová	Středa 10.50 sál C

Sekce 10 Inženýrskogeologický průzkum v urbanizovaném prostředí (vedoucí sekce Ing. Jan Novotný, CSc.)

10-1	Jan	Ďurove	Dobudování inklinometrických vrtů mezi ulicemi Čelakovského a Dostojevského v Chomutově.	Petr Kycl, Jaroslav Jirků, Juraj Ortuta	Středa 15.50 sál C
10-2	Jiří	Tlamsa	Inženýrskogeologický průzkum pro přípravu projektu Vltavské filharmonie v Praze.	Tereza Šmejkalová, Anna Vojtěchovská	Středa 15.30 sál C
10-3	Anna	Vojtěchovská	Inženýrskogeologický průzkum a jeho verifikace během výstavby – projekt Vinohradská 8, areál bývalého Transgasu (Praha). ***POSTER***	Jiří Rout, Aleš Vídeňský	Úterý-čtvrtek předsálí

Sekce 11 Svahové pohyby a ostatní geodynamické jevy (vedoucí sekce Ing. Petr Kycl)

11-1	Rudolf	Tornyai	Mení zmena klímy obraz stability Slovenska?	Martin Bednárik, René Putiška, Bibiana Brixová	Středa 12.30 sál C
11-2	Martin	Dostalík	Hodnocení geologických hazardů a udržitelnosti vysokohorských silnic v regionu Chevsureti na Velkém Kavkazu. ***POSTER***	Jan Novotný	Úterý–čtvrtek předsálí
11-3	Martin	Dostalík	Zdroje DMR a DMP pro výzkum svahových deformaci v ČR	Lukáš Janků	Středa 15.10 sál C
11-4	Nora	Kochanová	Geohazardy v horskom regióne Tusheti (Veľký Kaukaz, Gruzínsko): úvodný terénny prieskum a spolupráca krajín V4. ***POSTER***	Michal Sentpetery, Martin Dostalík, Lukáš Janků, Zbigniew Perski, Rafał Mianowski, George Gaprindashvili, Otar Kurtsikidze	Úterý–čtvrtek předsálí
11-5	Miroslav	Kopecký	Výskyt zosuvov počas výstavby úseku na D1 na Slovensku	Martin Ondrášik, Martin Brček	Středa 14.10 sál C

kód	jméno	příjmení	název	další autoři	čas a místo prezentace
11-6	Vladimíra	Krejčí	Co nového přinesl projekt RENS do Registru svahových deformací ČR? ***POSTER***	Oldřich Krejčí, Pavla Tomanová Petrová	Úterý–čtvrtek předsálí
11-7	Oldřich	Krejčí	Výsledky mapování svahových deformací v rámci řešení projektu TAČR Horninové prostředí a nerostné suroviny (2020–2026)	Vladimíra Krejčí, Pavla Tomanová Petrová	Středa 14.50 sál C
11-8	Václav	Mráz	Vliv liniových staveb na srážko-odtokové poměry a svahové pohyby	Petr Kavka, Jiří Vacek, Martin Havlice	Středa 14.30 sál C
11-9	Jan	Novotný	Nové výsledky výzkumu v rámci projektu RENS na sesuvech Březno u Postoloprt a Dneboh	Jan Jelének, Roman Hadač, Martin Alexa, Jakub Roháč, Milan Aue	Středa 11.30 sál C
11-10	Jan	Novotný	Informace o nové knize Sesuvy na území Prahy	Petr Kycl, Milan Aue	Středa 11.50 sál C
11-11	Jan	Valenta	Porušení silnice rozsáhlým sesuvem u obce El Aserrado v Peru – komplikace v oblasti a jejich řešení		Středa 12.10 sál C

Sekce 12 Laboratorní testování v mechanice zemin a hornin (vedoucí sekce prof. RNDr. David Mašín, Ph.D.)

12-1	Jan	Blahůt	Změny mechanických vlastností hornin v důsledku vysokých teplot a lesních požárů.	Ghazaal Rastjoo, Ondřej Racek, Xuan-Xinh Nguyen, Artem Polezhaev, Marco Loche	Čtvrtek 9.40 sál C
12-2	Tatiana	Dumeková	Porovnanie kvality vybraných druhov recyklovaného a prírodného kameniva. ***POSTER***	Renáta Adamcová, Karin Bednáriková	Úterý–čtvrtek předsálí
12-3	Pavlína	Frýbová	Porovnání výsledků pevnosti v prostém tlaku na tělesech hornin a bodové pevnosti v prostém tlaku na úlomcích hornin.	Ludmila Knížková	Čtvrtek 9.20 sál C
12-4	Pavlína	Frýbová	Úskalí odběru a použitelnosti odebraných vzorků pro laboratorní zkoušky.	Ludmila Knížková	Čtvrtek 9.00 sál C
12-5	Ivan	Poul	Nastavení laboratorního programu při průzkumu nestabilních svahů a sedání násypů.		Čtvrtek 10.20 sál C
12-6	Jakub	Roháč	Vliv variability stanovení reziduální pevnosti zemin na stabilitní výpočty: Případová studie sesuvu Březno u Postoloprt.	Bianca Georgina Severini, Jan Jerman, Jan Najser	Čtvrtek 10.00 sál C

Sekce 13 Prostor pro zlepšení inženýrskogeologických průzkumů (vedoucí sekce RNDr. Jiří Tomášek)

kód	jméno	příjmení	název	další autoři	čas a místo prezentace
13-1	František	Dragoun	Vstupy na pozemky při geologických průzkumech.	Filip Olejár	Čtvrtek 16.40 sál C
13-2	Vojtěch	Ježek	Výstupy inženýrských geologů z pohledu praktikujícího geotechnika.		Čtvrtek 16.20 sál C
13-3	Jan	Novotný	Jak chápat terminologické pojmy „inženýrskogeologické poměry, inženýrskogeologické podmínky, podmínky a faktory svahových pohybů“.		Čtvrtek 16.00 sál C
13-4	Radek	Onysko	Projekt skeneru horninového jádra		Čtvrtek 17.20 sál C
13-5	Tereza	Šmejkalová	Století české inženýrské geologie – nová publikace k jubileu SG Geotechniky. ***POSTER***	Klára la Torre	Úterý-čtvrtek předsálí
13-6	Tereza	Šmejkalová	Odborná pozůstalost Quida Záruby – současný stav.	Milan Aue, Tomáš Nýdl	Čtvrtek 17.40 sál C
13-7	Václav	Tejnecký	Pedologický průzkum a jeho náležitosti.	Martina Tejnecká Englmaierová, Juraj Krumnikl	Čtvrtek 17.00 sál C

Sekce 14 IG služba na stavbě

Sekce není obsazena příspěvky.

Sekce 15 Vsakování srážkových vod, odvodnění, meliorace, drenáže, stavební čerpání (vedoucí sekce Ing. Radim Ptáček, Ph.D.)

kód	jméno	příjmení	název	další autoři	čas a místo prezentace
15-1	Petr	Kavka	Experimentální výzkum pohybů humózní vrstvy svahů liniových staveb při umělém zadeštění pomocí vláknově-optických senzorů.	Martin Neumann, Radek Nesnídal, Matěj Komanec	Středa 18.00 sál C
15-2	Ondřej	Lubojacký	Hydrogeologický průzkum pro odvodnění výpravní budovy v žst. Havířov a návrh opatření včetně realizace projektu.	Lukáš Holub, Petr Karlín	Čtvrtek 9.20 sál A
15-3	Radim	Ptáček	Zpětná vazba vodoprávních úřadů na hydrogeologické průzkumy pro účely zasakování srážkových vod do horninového prostředí.		Středa 16.40 sál C
15-4	Radim	Ptáček	Hydrogeologický průzkum pro prokázání vady na stavebním díle způsobující zatápění výtahové šachty při rekonstrukci knihovny v Havířově, místní části Šumbark, a následná realizace odvodnění stavby zasakováním do horninového prostředí.		Čtvrtek 9.40 sál A
15-5	Jarmila	Skálová	Výzkum zvýšení objemu podzemních vod intenzifikací infiltrace čištěných povrchových vod.	Michal Vaněček, Jana Michálková, Hana Semíková, Jiří Záruba, Dana Otrubová, Petr Stöhr, Karel Sosna, Martina Blahutová, Jaroslav Nosek, Tomáš Pluhař, Kamil Nešetřil, Tomáš Lederer	Středa 17.40 sál C
15-6	Kateřina	Šabatová	Jak se liší dotace podzemní vody v obcích v prostředí hydrogeologického masivu od krajiny bez zástavby? Výsledky pilotního měření vlivu soustředěné infiltrace ve středních Čechách.	Jiří Bruthans	Čtvrtek 9.00 sál A
15-7	Magdalena	Šeflová	Vsakovací zkoušky v hydrogeologické praxi: variabilita postupů, nejistoty ve výsledcích a cesta k metodické sjednocenosti.	Tomáš Weiss	Středa 17.20 sál C
15-8	Pavel	Špaček	Novinky ve vsakování aneb jak se slučují normy.		Středa 17.00 sál C

Sekce 16 Využití metod užité geofyziky, dálkového průzkumu a dalších moderních metod v hydrogeologii a inženýrské geologii (vedoucí sekce RNDr. Martin Procházka)

kód	jméno	příjmení	název	další autoři	čas a místo prezentace
16-1	Vladimír	Budinský	Integrated ERT and Seismic Survey for Delineation of Gravel Horizons in Quaternary Sediments. ***POSTER***	Jaroslav Buša	Úterý–čtvrtek předsálí
16-2	Kateřina	Fárová	Využití datových sad European Ground Motion Service pro detekci deformací zemského povrchu.	Jan Jelének	Středa 10.30 sál A
16-3	Eva	Matoušková	Dálkový průzkum Země na blízko ve službách památek.	Kateřina Kovářová, Michal Cihla	Středa 14.10 sál A
16-4	Jaroslav	Jirků	Geofyzikální průzkum k řešení otázek nestabilit drážního tělesa.	Jan Ďurove	Středa 13.50 sál A
16-5	Martin	Lanzendörfer	Myšlenka nenewtonské porozimetrie ve vrtech.		Středa 11.10 sál A
16-6	Josef	Matouš	Ukázka kontroly interpretace odporového profilování opakovaným řešením přímé úlohy programem RES2DMOD.	Richard Gürtler	Středa 11.50 sál A
16-7	Josef	Matouš	Informace o aparatuře FRPA a seznámení s několika aplikacemi odporového profilování pro geologické mapování.		Středa 11.30 sál A
16-8	David	Hanák	Zkušenosti karotáže z průzkumu v budoucí trase železniční trati Praha-Beroun.		Středa 10.50 sál A
16-9	Jiří	Nedvěd	Lokalizace zasypaných větracích šachet nad důlním komplexem Richard II.		Středa 13.30 sál A
16-10	Martin	Procházka	Karotážní měření a hydrogeologický průzkum v exotických geologických podmínkách na území Íránu.		Středa 14.30 sál A

Sekce 17 Úkoly hydrogeologie a inženýrské geologie při těžbě nerostných surovin, odstraňování následků důlní činnosti a při průzkumu hlubinných úložišť radioaktivního odpadu (vedoucí sekce prof. Ing. Naďa Rapantová, CSc.)

17-1	Jakub	Jankovec	Modelové zhodnocení zatápění Dolu Centrum		Středa 13.50 sál B
17-2	Renata	Kadlecová	Význam dlouhodobého monitoringu hladin podzemní a povrchové vody na Hrádecku a Frýdlantsku v Libereckém kraji	Ondřej Nol, Jan Bohadlo, Petr Charvát, Zuzana Skácelová, Jan Vít, Tomáš Vránek	Středa 15.10 sál B
17-3	Jiří	Kubricht	Národní úložiště radioaktivního odpadu v Bulharsku – předprovozní hydrogeologická a geochemická charakteristika lokality	Peter Hiller Naďa Rapantová, Lenka Mertová, Martina	Středa 18.00 sál B

kód	jméno	příjmení	název	další autoři	čas a místo prezentace
17-4	Monika	Ličbinská	Environmentální hodnocení sanace bývalého Dolu Jan Šverma se zaměřením na hydrosféru	Molková	Středa 14.10 sál B
17-5	Anna	Macáková	Monitoring podzemních a povrchových vod se zapojením geofyzikálních prací na doporučených lokalitách pro umístnění hlubinného úložiště radioaktivních odpadů	Ján Klištinec	Středa 17.20 sál B
17-6	Martin	Milický	Dlouhodobý hydrogeologický monitoring a hodnocení režimu povrchových a podzemních vod v souvislosti s těžbou ložiska vápenců v lomech VLČS, a.s.	Michal Polák, Libor Gvoždík	Středa 15.30 sál B
17-7	Naďa	Rapantová	Zatápění ostravské a petřvaldské dílčí pánve OKR: rizika změny režimu nakládání s důlní vodou pro povrch terénu a mělkou hydrosféru	Pavel Malucha, Marcel Schlegel, Monika Ličbinská, Pavel Merta	Středa 14.30 sál B
17-8	Daniel	Smutek	Prachovice, okres Chrudim. Geologie a hydrogeologie paleozoika a prognóza vlivu zahlubování lomu na režim podzemních a povrchových vod.		Středa 15.50 sál B
17-9	Karel	Sosna	Metodika charakterizace transportních procesů v krystaliniku s využitím laboratorních a in-situ dat	Milan Zuna, Libor Gvoždík, Ondřej Švagera, Jan Smutek	Středa 17.00 sál B
17-10	Karel	Sosna	Vliv texturní anizotropie a mikrostruktury na mechanické a transportní vlastnosti metamorfik v profilu dolu Rožná	Zita Bukovská, Lukáš Vondrovic	Středa 17.40 sál B
17-11	Marek	Vencl	Hydrogeologická a geologická charakterizace potenciálních lokalit hlubinného úložiště	Štěpán Straka, Ondřej Borovský	Středa 16.40 sál B
17-12	Lukáš	Žižka	Zkušenosti a poznatky z dlouhodobého hydrogeologického monitoringu v širším území lomu ČSA (Mostecká pánev).		Středa 14.50 sál B

Sekce 18 Profesní samospráva, etika v odborné práci a podnikání, výuka aplikované geologie na středních a vysokých školách, celoživotní vzdělávání (vedoucí sekce Mgr. Barbora Topinková, Ph.D.)

18-1	Zdeněk	Horáček	Právní východiska zřízení a fungování České komory aplikované geologie.		Středa 14.50 sál A
18-2	Tomáš	Kuchovský	Soumrak hydrogeologie a inženýrské geologie v podmínkách ČR.	Martin Knížek	Středa 15.10 sál A
18-3	Martin	Mityska	Zákon o právu na digitální služby a jeho dopady do agendy geologického zákona.	Barbora Topinková	Středa 16.00 sál A
18-4	Jakub	Nedvěd	Nový předmět na PřF UK – Hydrogeologie v komunální praxi.	Tomáš Weiss	Středa 16.20 sál A

kód	jméno	příjmení	název	další autoři	čas a místo prezentace
18-5	Lea	Petrová	Nová legislativa na ochranu vod mířící z EU – co nás čeká v roce 2027.		Středa 16.40 sál A
18-6	Jakub	Průša	Komora autorizovaných geologů: rámec, příprava a současný stav.		Středa 17.00 sál A
18-7	Martin	Slavík	Projekt RENI – Síť výzkumných institucí a podniků pro infrastrukturu. ***POSTER***	Jiří Mls, Jan Jerman, Jan Valenta, Jakub Roháč, Ondřej Šálek, Tomáš Weiss, Jan Najser, Josef Vojtěch Datel, Olga Běhounek	Úterý–čtvrtek předsálí
18-8	Svatopluk	Šeda	Etika v hydrogeologické praxi.	Anna Abramčuková	Středa 17.20 sál A
18-9	Barbora	Topinková	Metodické pokyny OG MŽP ve správní i terénní praxi.	Jan Jerman	Středa 17.40 sál A
18-10	Tomáš	Weiss	Příprava aplikovaných geologů pro praxi – systém odborných stáží na PřF UK.		Středa 18.00 sál A
18-11	Daniel	Smutek	Interpretace geověd v Národním geoparku Železné hory. ***POSTER***		Úterý–čtvrtek předsálí

Sekce 1

Regionální hydrogeologický výzkum, bilancování vod, vztah povrchových a podzemních vod

OTEVŘENÉ OTÁZKY HYDROGEOLOGIE ČESKÉ KŘÍDOVÉ PÁNVE

OPEN QUESTIONS IN THE HYDROGEOLOGY OF THE BOHEMIAN CRETACEOUS BASIN

Jiří Bruthans[1,2]

[1] *Česká geologická služba, Klárov 131/3, 118 00 Praha 1, e-mail: bruthans@natur.cuni.cz*
[2]*Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 00 Praha 2, e-mail: bruthans@natur.cuni.cz*

Abstrakt: Zásadní rysy hydrogeologie české křídové pánve se po desetiletí neměnily a mohou se tak jevit vyřešené a určené jen k drobným upřesněním. Ukazuje se nicméně, že dosud nevíme, na co je vázána nejpropustnější porozita v západní a východní části české křídové pánve. Je jen jisté, že kvádrové pískovce nejpropustnějšími horninami nejsou. Ukazuje se, že zásadní roli u největších pramenů a nejvydatnějších vrtů hraje rozpouštění vápnité složky. Piping a krasová porozita, doložená i četnými stopovacími zkouškami má tak mnohem větší význam, než se uvažovalo. V době, kdy se zvyšují počty vrtů na tepelná čerpadla do hloubek přes 100 m se ukazuje neudržitelná dosud značná paušalizace při vymezení kolektorů, kdy je zjevné že opomíjí řadu zavěšených zvodní důležitých pro místní zásobování. Existuje řada názorů na vztah vydatnosti vrtů a tektoniky, nebo vliv zón drenáže, avšak je velmi málo objektivních analýz. Málo jsou v české křídě dosud používány environmentální stopovače a stopovací zkoušky, které přitom umožnují charakterizovat zdroje vody, míšení a podchytit průniky kontaminovaných vod do vodárenských zdrojů. Podtrženo sečteno víme o české křídě mnohem méně, než jsme ochotni si připustit. Přednáška má za cíl poukázat na chybějící znalosti i cesty, jak tyto informace získat.

Abstract: The fundamental characteristics of the hydrogeology of the Bohemian Cretaceous Basin have remained unchanged for decades and may therefore appear to have been resolved and in need only of minor refinements. However, it appears that we still do not know what controls the most permeable porosity in the eastern and western parts of the Bohemian Cretaceous Basin; it is only certain that coarse quartz sandstones are not the most permeable rocks. It appears that the dissolution of the calcareous component plays a crucial role in the largest springs and the most productive wells. Piping and karst porosity, as evidenced by numerous tracer tests, are thus far more significant than previously thought. At a time when boreholes for heat pumps are being drilled to depths exceeding 100 m, the previously widespread practice of using broad generalizations to define aquifers is proving unsustainable, as it is evident that this approach overlooks a number of perched aquifers important for local water supply. There are many opinions on the relationship between well yield and tectonics, or the influence of drainage zones, but very few objective analyses. Environmental tracers and tracer tests have been used sparingly in the Bohemian Cretaceous Basin to date, even though they enable the characterization of water sources and mixing, as well as the detection of contaminated water flowpaths reaching water supply sources. All in all, we know much less about the Bohemian Cretaceous Basin than we are willing to admit. The lecture aims to highlight these knowledge gaps and suggest ways to obtain this information.

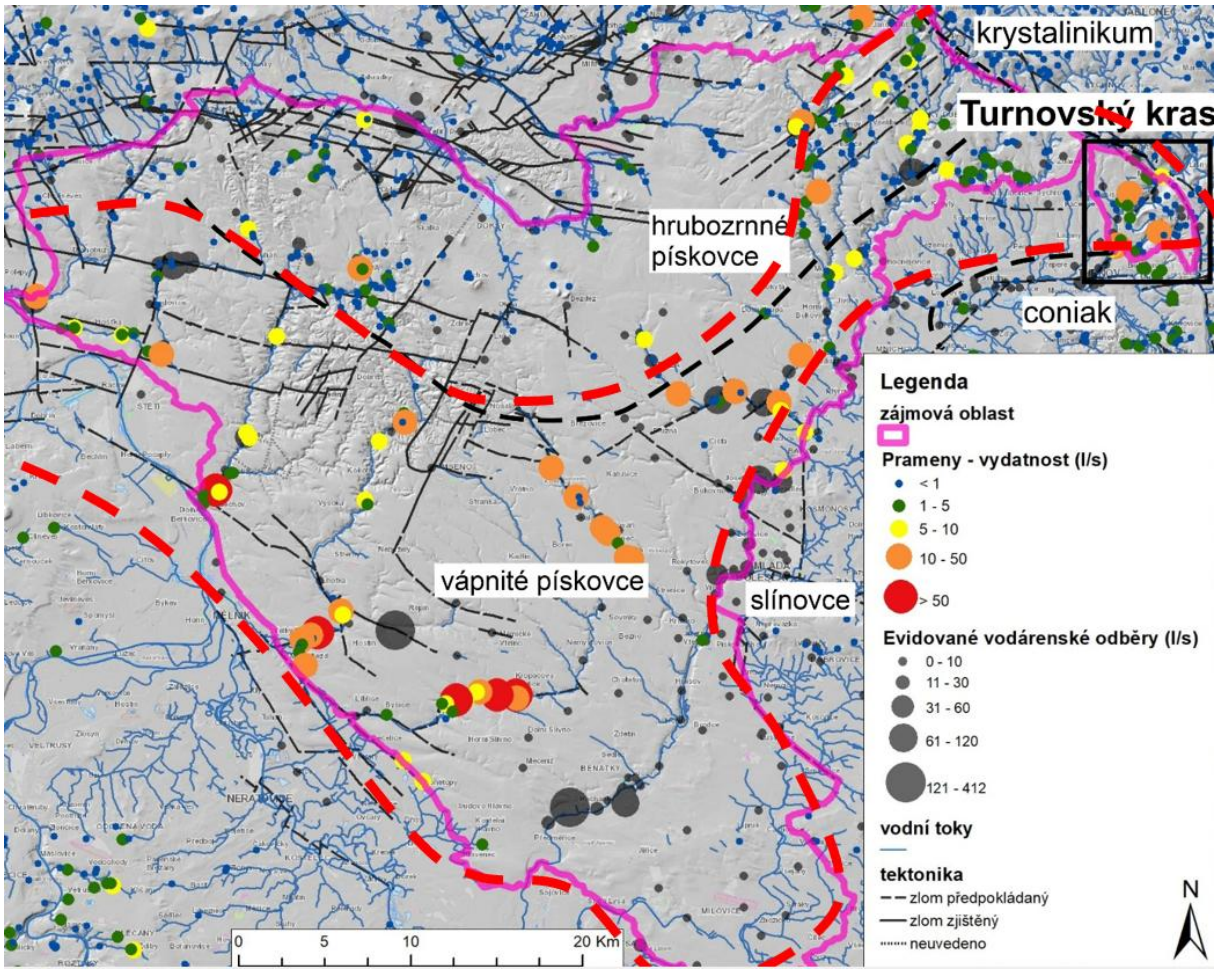
Klíčová slova: česká křídová pánev, kolektory, hydrostratigrafie, propustnost, porozita.

Key words: Bohemian Cretaceous Basin, aquifers, hydrostratigraphy, permeability, porosity.

1. Co tvoří nejpropustnější kolektory české křídové pánve, jaká je podstata porozity a jaké jsou rychlosti proudění?

Česká křídová pánev (ČKP) představuje zásadní zdroj pitné vody pro stovky tisíc obyvatel České republiky (ČR), vč. dvou největších měst. V případě Brna jde o I. a II. Březovský vodovod přivádějící vodu z bývalých největších pramenů v ČKP z okolí Březové nad Svitavou. V případě Prahy je voda z ČKP skryta pod tzv. břehovou infiltraci v Káraném. Jak ale ukázaly detailní chemické analýzy v jednotlivých jímacích studních břehové infiltrace, celá polovina jímané vody břehovou infiltrací není z řeky Jizery, ale pochází z turonských křídových kolektorů (Bruthans et al. 2018).
Vzhledem k tomu že tyto velké jímací systémy vznikly již více než před 100 lety má hydrogeologický výzkum v ČKP dlouhou tradici. Hydrogeologicky ČKP zřejmě jako první obšírněji popsal Hynie (1961). Brilantně odvodil že nejpropustnějšími horninami nejsou kvádrové pískovce, neboť v nich chybí největší prameny (obr. 1) a za nejpropustnější označil tzv. přechodní facii, tedy blíže nevymezenou a nedefinovanou skupinu hornin na přechodu mezi kvádrovými pískovci (proximální facie) a hlubokovodnějšími jílovci a slínovci (distální facie, vztahováno k tehdejšímu břehu moře). Dále označil část velkých pramenů za prameny krasové. Tato jeho zásadní pozorování hydrogeologický mainstream po následující dekády v zásadě zcela ignoroval. Zdá se, že hlavní důvod byl ryze praktický. Zatímco kvádrové pískovce lze snadno vymezit jak makroskopicky, tak i karotáží u přechodní

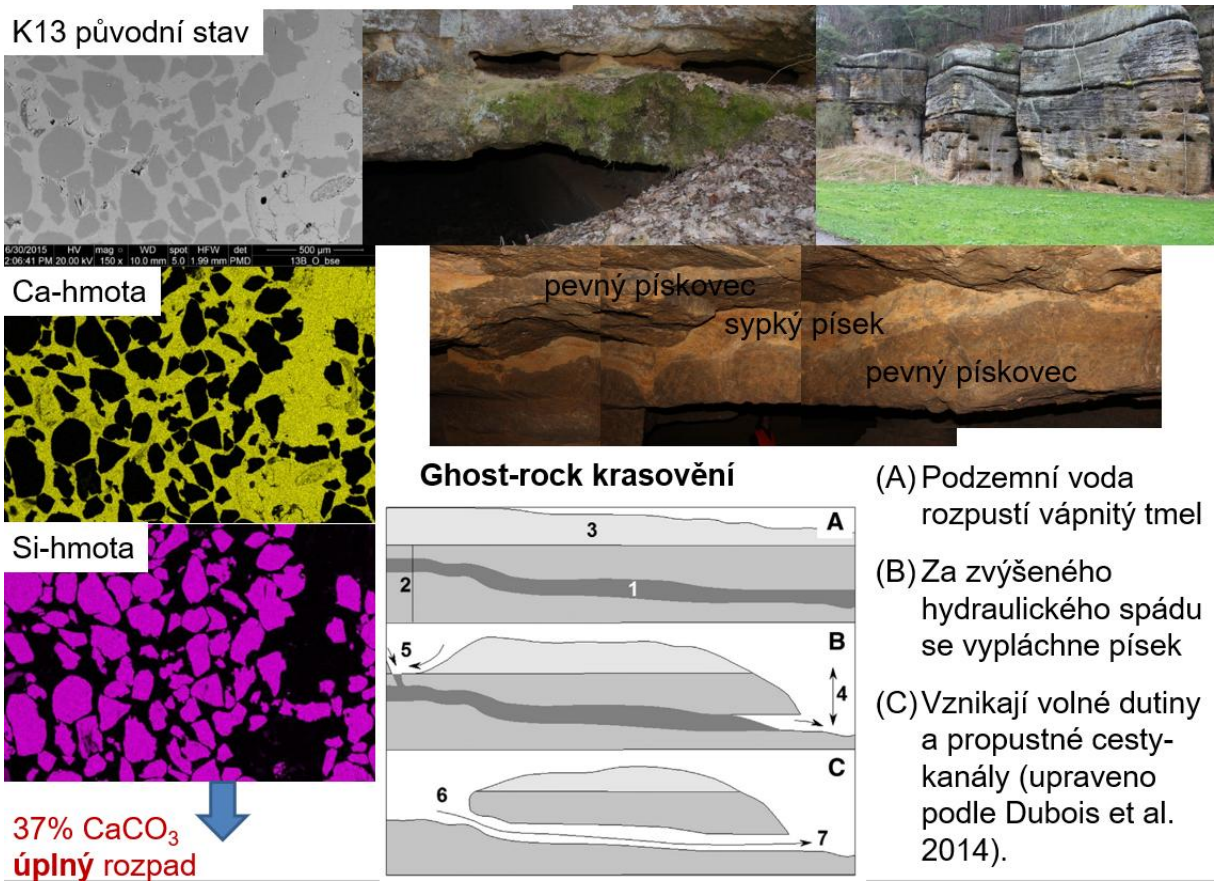
facie ani dnes není na řadě míst jasné jaká sekvence hornin jí v té které lokalitě tvoří. Navíc až do nedávné doby neměli hydrogeologové přístup k detailnějšímu stratigrafickému rozlišení v jednotlivých částech pánve, takže nebylo možné korelovat málo mocné a proměnlivé litologie s jinou oblastí. Jak popisovat kolektor jehož rozsah ani podstatu neznáme? Jak korelovat jeho výskyt mezi jednotlivými vrty? Jak modelovat proudění v něčem co nejsme schopni v rozumném čase vymezit? Za daných okolností není divu, že existence přechodní facie byla ignorována a vytlačena do zapomnění. V syntéze ČKP (Herčík et al. 2003) ale i na mnoha místech textu ve zprávách z projektu Rebilance zásob podzemních vod (např. Kůrková et al. 2016), tak už jasně převládá názor, že nejpropustnějšími horninami jsou kvádrové pískovce, tedy hrubozrnné, křemenné, dobře vytříděné pískovce s vysokou porozitou. Tato představa ale koliduje s realitou. Velké prameny s vydatností ve vyšších desítkách až stovkách l/s jsou vázány na přechodní facii, nikoli kvádry, jak jasně ukazují litostratigrafické řezy konstruované týmem dr. Uličného (sensu Uličný et al. 2009) publikované v zprávách z projektu Rebilance zásob podzemních vod. V těchto řezech jsou kvádrové pískovce označeny jednotlivými barvami, kdy každá barva označuje určitou stratigrafickou úroveň. Přechodní facie je zde vyvedena světle šedou barvou a je označena nepřesně jako poloizolátor (ve skutečnosti může být její část čímkoli od izolátoru po nejpropustnější kolektor). Tmavě šedě jsou v řezech označeny izolátory, což se až na výjimky velmi dobře shoduje s jejich skutečnou funkcí. Nejvydatnější vrty jsou rovněž vázány na přechodní facii, stejně jako největší jímací území (Řepínský důl, prameniště Březovského vodovodu a mnoho dalších).



Obr. 1 Říční síť, vydatnost pramenů a evidovaných vodárenských odběrů v západní části ČKP. Silná přerušovaná červená čára zhruba označuje rozsah přechodní facie, a tedy i výskytu hornin, kde se krasověním vytváří vysoce propustné kanály. Typická je nízká hustota říční sítě, velké prameny, velké soustředěné odběry a přítomnost kalcitem bohatých poloh které se vyloužení v HCl rozpadají. Upraveno podle Kůrková (2023).

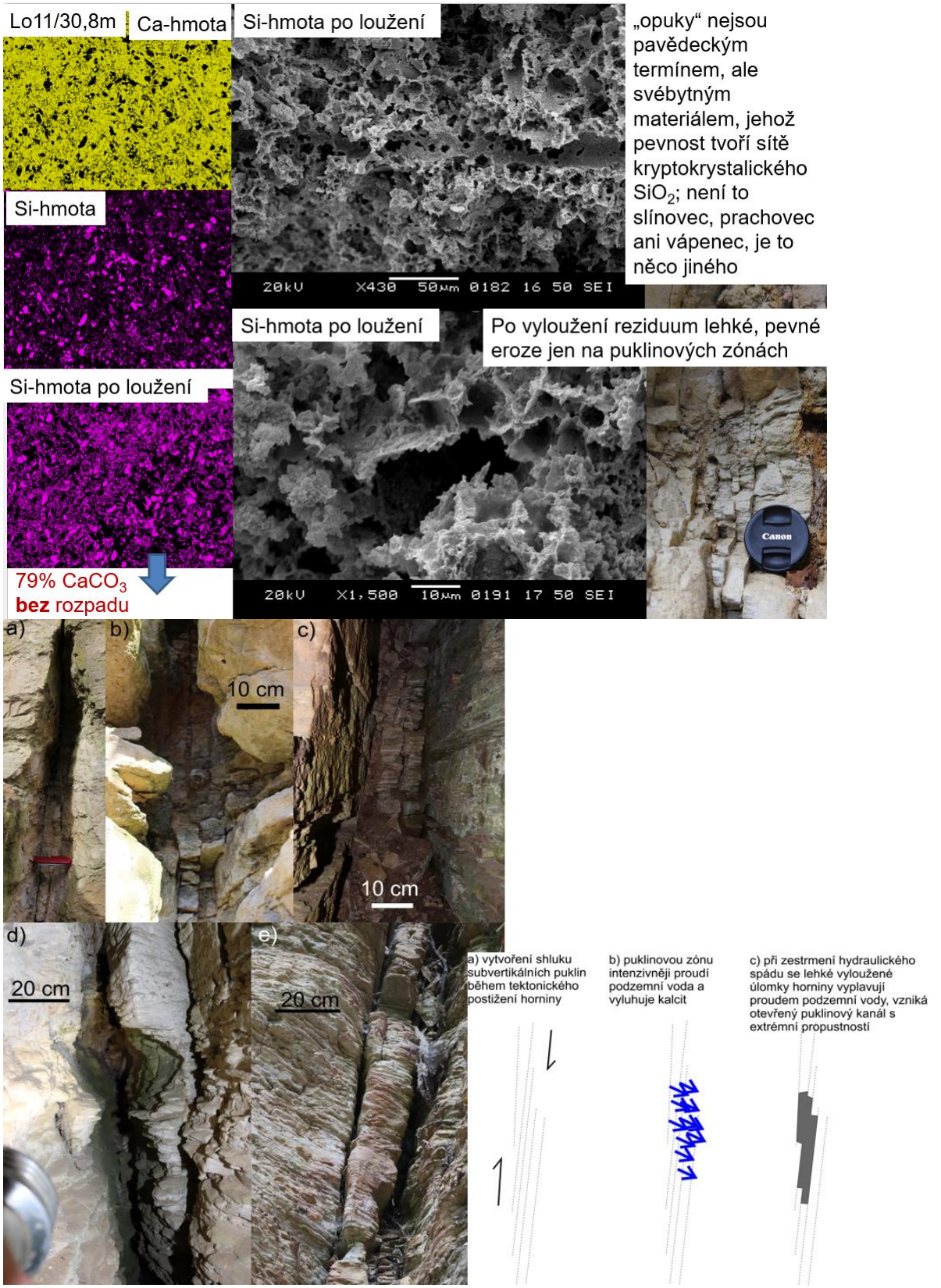
Fig. 1 River network, spring discharge, and recorded water supply abstractions in the western part of the Bohemian Cretaceous Basin. The thick, dashed red line roughly indicates the extent of the transitional facies and, thus, the occurrence of rocks where karstification creates highly permeable conduits. Typical features include a sparse river network, large springs, high-yield groundwater abstractions, and the presence of calcite-rich layers which disintegrate after leaching in hydrochloric acid. Adapted from Kůrková (2023).

Vysvětlení, co tvoří kolektory v přechodní facii a jak tato vysoce propustná porozita vzniká bylo věnováno v posledních 15 letech značné úsilí. V rámci řady prací (např. Slavík 2012, Balák 2015, Vojtíšek 2016, Kůrková et al. 2019, Kůrková 2023, Starý 2024, Starý et al. 2024, Pátek 2024 a Malechová 2026) bylo odebráno okolo 1000 vzorků pískovce ze skalních výchozů a vrtných jader převážně z přechodní facie v západní a východní části ČKP, s vertikálním krokem 0,5-1 m. Tyto vzorky byly louženy v 10% HCl a bylo určeno jednak zastoupení vápnité složky v nich ale též i zda se tyto vzorky exponované kyselině po vyloužení karbonátu samovolně rozpadnou na písek a v přírodě po vyloužení karbonátu budou tedy mít tendenci tvořit krasové kanály, či zda zůstanou intaktní. Ukázalo se, že ve všech oblastech přechodní facie v západní části ČKP jsou alespoň podřízeně přítomné polohy silně vápnitých pískovců až písčitých vápenců, mocné často jen decimetry, které po rozpuštění vápnitého tmelu, a tedy zkrasovění se rozpadnou a umožnují vznik vysoce propustných kanálů s průtočností i v desítkách l/s (Kůrková 2023, Kůrková et al. 2019, Malechová 2026, obr. 2).



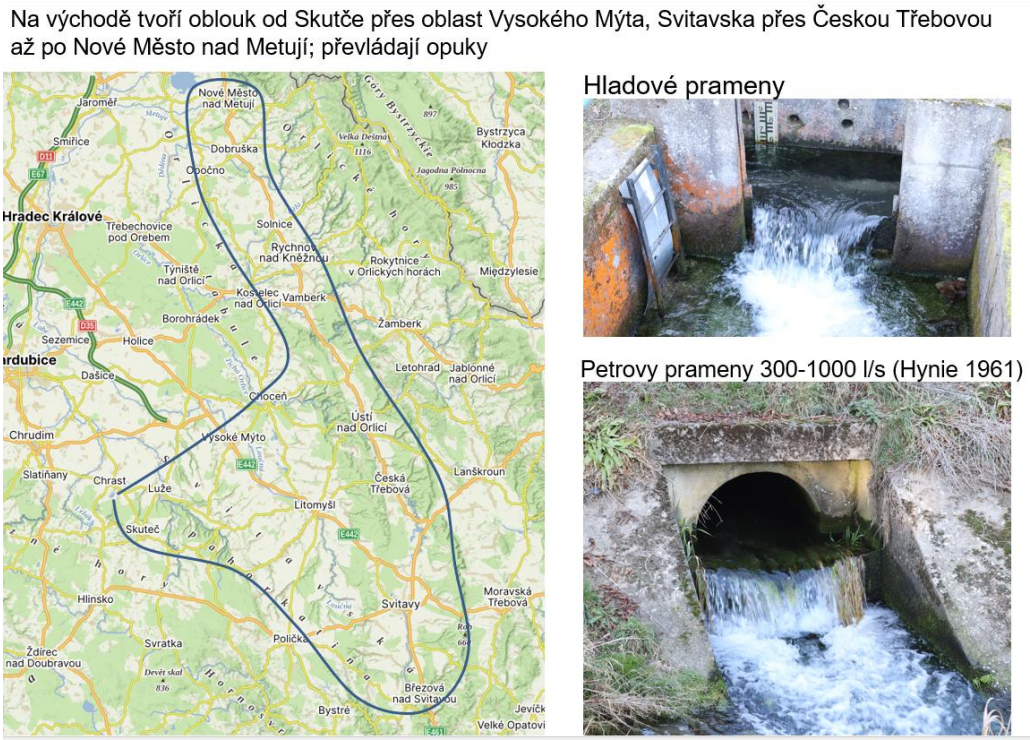
Obr. 2 V západní části ČKP se rozpouští kalcitový tmel pískovce a při zvýšeném hydraulickém gradientu se pak vypláchne sypký písek. Tím vznikají krasové kanály s bází a stropem tvořeným pevným pískovcem. Mikrofotografie: Žlutě kalcit, fialově křemen. Detaily viz Kůrková (2023).
Fig. 2 In the western part of the Bohemian Cretaceous Basin, the calcite cement in the sandstone is dissolving, and when the hydraulic gradient increases, the loose sand is washed out. This creates karst conduits with bases and ceilings formed of solid sandstone. Microphotographs: Yellow indicates calcite; purple indicates quartz. For details see Kůrková (2023).

Zcela jiná situace je v tzv. východočeských křídových synklinálách, kde je sice obsah karbonátu často vyšší než v západní části ČKP, ale horniny (často opuky) jsou tmeleny sítí mikrokrystalického křemene a porozita tak vzniká buď vyloužením tenkých karbonátových poloh nebo drcených zón opuk, tedy prokřemenělých karbonátů (tzv. tříštivá tektonika, obr. 3). Na tyto krasové kanály jsou vázány největší přítoky do vrtů (až ≥80 L/s -Pekla) a největší prameny s přirozenou vydatností v stovkách l/s - Petrovy prameny (Starý 2024, Starý et al. 2024, obr. 4).



Obr. 3 Rozpouštění opuk (diageneticky silicifikovaných vápenců) ani s vysokým obsahem kalcitu nevede k rozpadu kvůli mikroskopické síti diagenetického prokřemenění. Po vyloužení tedy musí dojít k vymytí úlomků z drcených zón, aby vznikly krasové kanály (detaily viz Starý 2024 a Starý et al 2024).

Fig. 3 The dissolution of "opuka" (diagenetically silicified limestone), even with a high calcite content, does not lead to disintegration due to the microscopic network of diagenetic silicification. After leaching, therefore, the fragments must be washed out of the milonitized zones to form karst conduits (for details, see Starý 2024 and Starý et al. 2024).



Obr. 4 Nalevo zhruba rozsah přechodní facie, a tedy i krasovění v tzv. východočeských křídových synklinálách. Napravo jedny z největších pramenů z této oblasti i z ČKP jako celku.
Fig. 4 On the left, the approximate extent of the transitional facies—and thus also of karstification—in the so-called East Bohemian Cretaceous synclines. On the right, some of the largest springs in this region and in the Bohemian Cretaceous Basin as a whole.

Je tak již jednoznačně doloženo, že přechodní facie s nejpropustnějšími kolektory české křídy má krasovou porozitu a největší jímací území v české křídě jímají krasovou vodu. S tím se samozřejmě očekávatelně pojí i mnohem vyšší zranitelnost kolektorů přechodní facie, než jsme ochotni si připustit, protože žijeme v představě, že voda se čistí filtrací v pórech kvádrových pískovců. Zatímco na mnoha místech může tato představa platit a krasové kanály skutečně stahují vodu do pramenů až na konci dráhy po mnoha kilometrech kdy se cedila póry a puklinami kvádrového pískovce, je mnoho míst, kde rychlost proudění v celé dráze odpovídá krasovým kanálům, do kterých je schopna přímo pronikat i povrchová voda. V oblasti Turnova v kolektoru C (jizerské souvrství) bylo mnoha stopovacími zkouškami potvrzeno velmi rychlé proudění v řádu až desítek km/den mezi ztrátami drobných vodních toků a prameny vč pramene jímaného pro vodovod v Turnově (Kůrková 2023, Kůrková et al. 2019). Rychlost proudění podzemní vody v krasových kanálech se zde neliší od rychlostí doložených v Moravském Krasu. Otevřený ponor, kterým pronikala kontaminovaná voda se zpožděním pouhých několika hodin do vodovodu byl na základě opakované stopovací zkoušky lokalizován, odkryt a odborně zatěsněn vodohospodářskou společností. Nejde tedy o akademické úvahy, zda porozitu řadit tam či onam, ale o reálné krasové prostředí, kterým se skutečné kontaminanty šíří po otevření hltače do provozované vodovodní sítě. Rychlé proudění v krasových kanálech bylo již dříve zjištěno i v oblasti Mělnické Vrutice (Čapek et al. 1978), z ponoru Obrtky u Mošnice (Hercog 1962) odkud voda za pouhý den dorazila do pramenů v povodí Liběchovky, a i na dalších místech. V oblasti jímacího území Březovského vodovodu byly stopovacími zkouškami s fluoresceinem a radioizotopy doloženy rychlosti proudění 0,7 km/den na vzdálenosti až 2 km (Pavliš a Tůma 1983, výsledky tohoto manuscriptu jsou dostupné v Starý 2024 a Starý et al. 2024).
Výše uvedené práce ale obnažují stále jen základní obrysy. Na řadě míst je třeba odebrat vzorky horniny a vytvořit profily přechodní facií. Určit jaké horizonty v tom kterém rajonu jsou schopny krasovění, jaké jsou naopak méně propustné. Stopovací zkoušky byly provedeny na minimu míst, kde by je bylo možné provést. Pro určení zóny přechodní facie a jaká jímací území jsou zranitelná tak stále chybí většina informací.

2. Můžeme si i v éře masivního hloubení soukromých vrtů dovolit dále přehlížet existenci zavěšených zvodní?

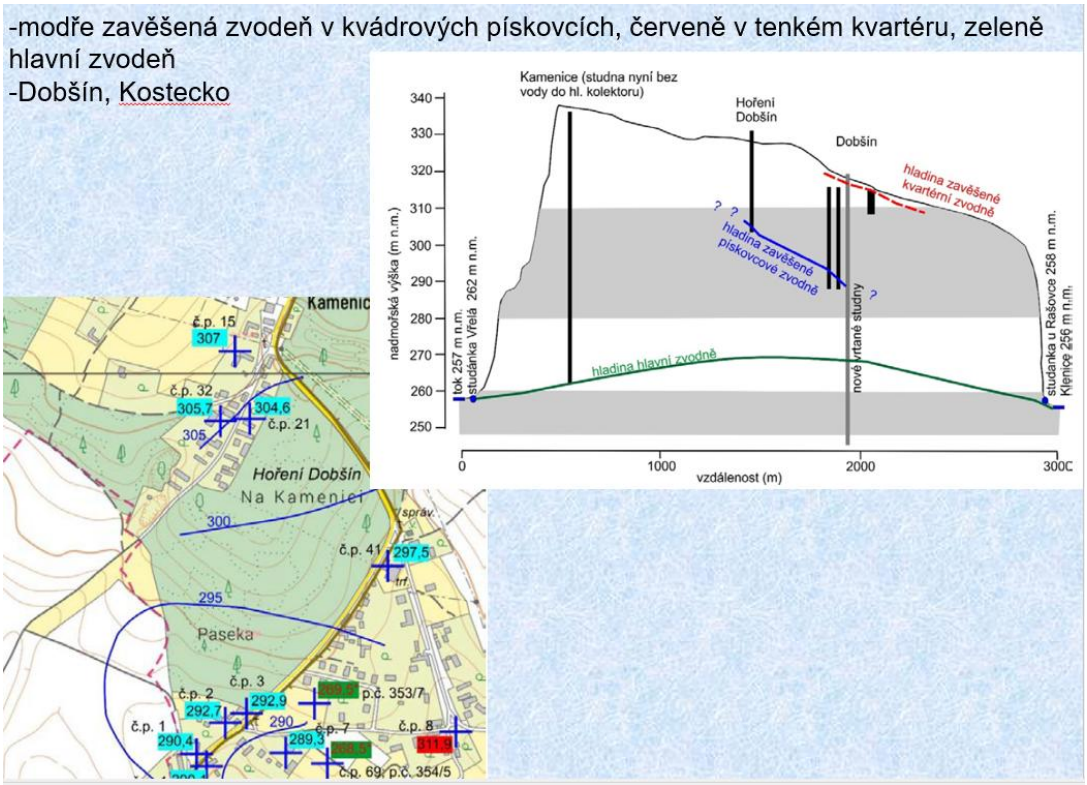
Velké hydrogeologické studie zaměřené na ČKP obvykle zcela přehlížely zavěšené zvodně, tedy lokální hladiny podzemní vody, na kterých přitom závisí stovky či tisíce soukromých studní v obcích (srov. S Herčík et al. 2003). Důvodem zřejmě bylo že jejich význam pro hromadné zásobování obyvatel byl zanedbatelný a kdo v té

době vrtal asi obvykle měl dobré informace o místní situaci, takže ztráta vody způsobená provrtáním izolátoru pod zavěšenou zvodní byla zřejmě malá. I ve zprávách projektu Rebilance zásob podzemních vod jsou zavěšené zvodně zmíněny jen okrajově bez jakéhokoli detailnějšího vymezení. Dnes je ale již stav zcela jiný. Při soutěžení nejnižší ceny a při schopnosti dnes celkem rychle cestovat na stovky km po síti dálnic a silnic, lze operovat s vrtnou soupravou v rámci celé ČR za cenu radikálně nižší, často nulového povědomí o místní situaci.

Zavěšené zvodně jsou popsány vlastně jen v lokálních zprávách při řešení střetů zájmů. Příkladem dobře popsané zavěšené zvodně je zavěšená zvodeň v izolátoru nad kvádrovými pískovci v obci Střeleč v Českém ráji (RNDr. D. Smutek, zprávy o hydrogeologii lomu Střeleč). Podobné zavěšené zvodně se ale vyskytují zřejmě ve všech obcích v Českém ráji, které jsou situované na elevacích nad kvádrovými pískovci. Jiným příkladem, tentokrát zavěšené zvodně přímo v kvádrových pískovcích na vložkách jílovitých pískovců či jílovců je zvodeň jímaná šachtovými hlubokými studnami v obci Dobšín (obr. 5). Podobné zvodně lze očekávat podél celého jižního ukončení kvádrů (RNDr. P. Nakládal úst. sdělení). Zavěšenou zvodeň uprostřed kvádrových pískovců najdeme i v těsném okolí Hřenska v Malinovém dole a sousedním údolí Suché Bělé, jak dokládá existence jímaných pramenů vysoko nad ústím Malinového dolu, a naopak hladiny podzemní vody ve vrtech zapadlé pod dno údolí Suché Bělé se ztrácejícím se tokem. Nově byla doložena rozsáhlá zavěšená zvodeň na Kokořínsku a okolí v horninách TUR5 nad hlavní zvodní v TUR3 a TUR4 (detaily viz Mareš et al. 2026). Dosud není přesně zřejmé co tvoří bazální izolátor této zvodně. Tyto popsané příklady jsou však jen nepatrnou částí existujících zavěšených zvodní v ČKP.

Ignorování existence zavěšených zvodní stejně jako hydrogeologická paušalizace, kdy několik kolektorů je považováno za jediný kolektor (Mareš et al. 2026, Bruthans et al. 2026) tak již není udržitelná. Přesto se zavěšené zvodně nikdo systematicky nesnaží zmapovat, vymezit, určit co tvoří jejich bázi. Bez těchto informací však těžko mohou vodoprávní úřady účinně zamezit devastaci těchto zvodní, protože pokud tyto informace nejsou zaznamenány v literatuře, mapách či databázích, nemají se o co opřít.

Existuje nicméně prozatím alespoň jednoduché pravidlo, které lze pro první přiblížení v ČKP aplikovat. Pokud je v daném místě propustný kolektor, lze v něm očekávat hladinu podzemní vody při úrovni dna údolí. Pokud existuje osídlení (obce či jejich části) na plošinách či hřbetech alespoň X desítek m nad dnem údolí v ČKP, je vysoce pravděpodobné, že studny daného osídlení jímají zavěšenou zvodeň a je zde nutná předběžná opatrnost (Bruthans a Kadlecová 2024). Existenci zavěšené zvodně lze snadno doložit její výrazně vyšší hladinou podzemní vody oproti hladině podzemní vody v hlavním kolektoru čili změřením hladiny podzemní vody studní v těchto obcích a srovnáním s hladinou podzemní vody v hlavním kolektoru.

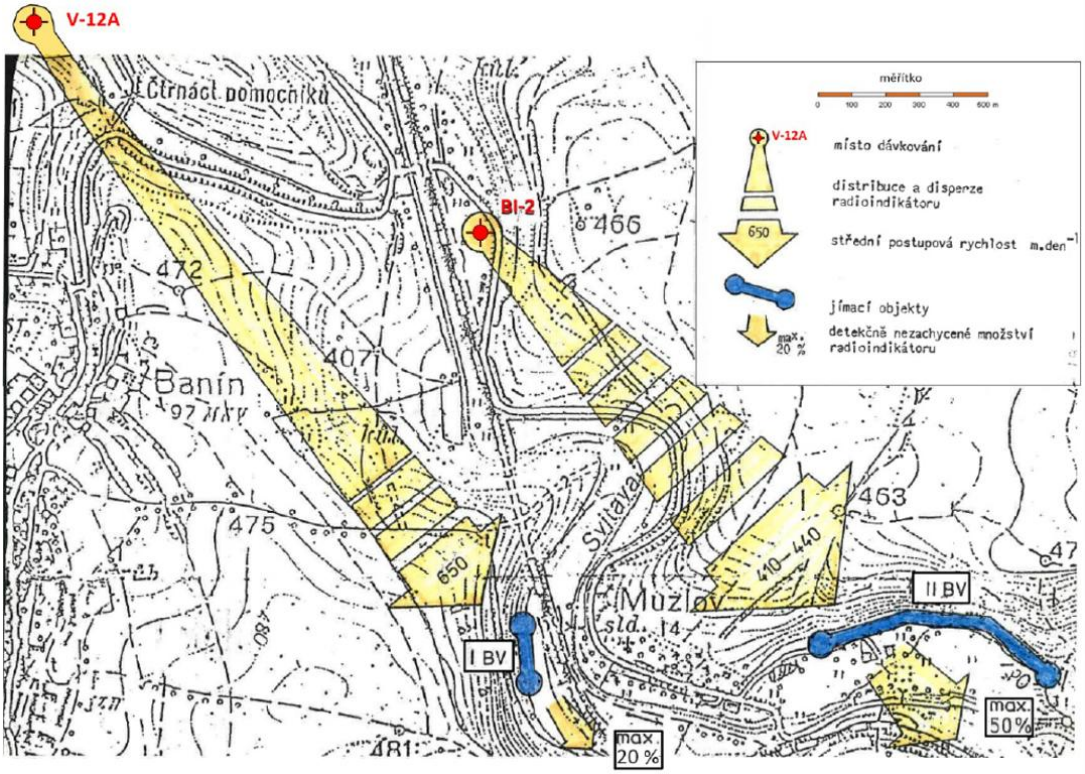


Obr. 5 Příklad zavěšené zvodně v oblasti Dobšína v Českém ráji, vyvinuté ve zdánlivě homogenních kvádrových pískovcích. Ve skutečnosti jsou zde vložky jílem bohatých písků a jílovců, patrné z vrtného průzkumu na sklářskou surovinu ale neznatelné z povrchových výchozů. Při chybném vystrojení nových vrtů zde hrozí ztráta vody ze zavěšené zvodně (detaily viz Bruthans a Kadlecová 2024).

Fig. 5 An example of a perched aquifer in the Dobšín area of the Bohemian Paradise, developed within seemingly homogeneous quartz sandstones. In reality, there are interbeds of clay-rich sands and claystones, evident from drilling surveys for glass-making raw materials but not discernible from surface outcrops. If new wells are improperly build here, there is a risk of water loss from the perched aquifer (for details, see Bruthans and Kadlecová 2024).

3. Jsme díky moderní technice tak daleko že nám dávno mrtví autoři již nemají co říci, nebo jsme kvůli ní jen zpohodlněli a zblbli?

Člověk má tendenci si myslet, že alespoň u významných staveb bude účel jednotlivých stavebních úprav zapsán a povědomí o něm udržováno pro další generace. Zjevně to je jen naivní představa. Řeka Svitava protéká u prameniště Březovského vodovodu několik km dlouhým úsekem s umělým dnem z betonových dílců. Byla tak před pár lety kýmsi pojata líbivá představa, že by šlo toho přírodě vzdálené opatření odstranit a nechat Svitavu přirozeně meandrovat v jejím korytě. Proč předci toto betonové monstrum zrovna v místě jímání pitné vody pro Brno vytvořili? Bohatě postačující odpověď poskytuje jedna jediná věta z knihy Prosté vody od prof. Hynie (1961, str. 434 dole): „Střední průtok v Pšovce 100 l/vt nad jímací oblastí u Opatova musí zůstat zachován převodem Pšovky přes celou oblast snížené hladiny podzemní vody ve vodotěsném korytě (obdobně převedení Svitavy přes jímací oblast popsaného prameniště Vodárny brněnského vodovodu).“
Fascinující na této větě je skutečnost, že jednak jasně ukazuje, že pokud by bylo odstraněno betonové koryto v oblasti jímání Březovského vodovodu začne se Svitava vcezovat do jímané vody. Zamezit tomu je účelem vedení toku betonovým korytem. Navíc Prof. Hynie přesně předpověděl co se stane, pokud na Pšovce nebudou v oblasti pod Řepínským důlem (v textu je toto místo označeno jako Opatov) umístěna obdobná betonová koryta: Pšovka se ztratí pod zem. Přesně to se až po publikování jeho knihy po vybudování jímacího území Řepín skutečně stalo. Ne nadarmo je Prof. Hynie považován za nestora české hydrogeologie. Asi by Prof. Hynieho ani v nejhorším snu nenapadlo že x-tá generace jeho následovníků bude v roce 2024 vážně uvažovat o tom, že betonová koryta jsou v oblasti vlastně zbytečná…, že nebudou mít tušení o jejich účelu…a budou je chtít zrušit. Kdo nečte tomu je souzeno bourat i to co se s jeho ostudou zase záhy začne znovu stavět. Pokud tedy obyvatelé Brna opravdu nechtějí pít povrchovou vodu řeky Svitavy, jež je svou kvalitou vody přírodě nepříliš blízká.
Stojí za to zde připomenout, že stopovací zkoušky doložily (v oblasti kde se uvažuje o odstranění betonových koryt) rychlosti proudění 0,7 km/den na vzdálenost 2 km s přímým průnikem do jímacích objektů Březovského vodovodu (obr. 6), čili rychlé proudění do jímání pitné vody je zde jasně prokázáno.

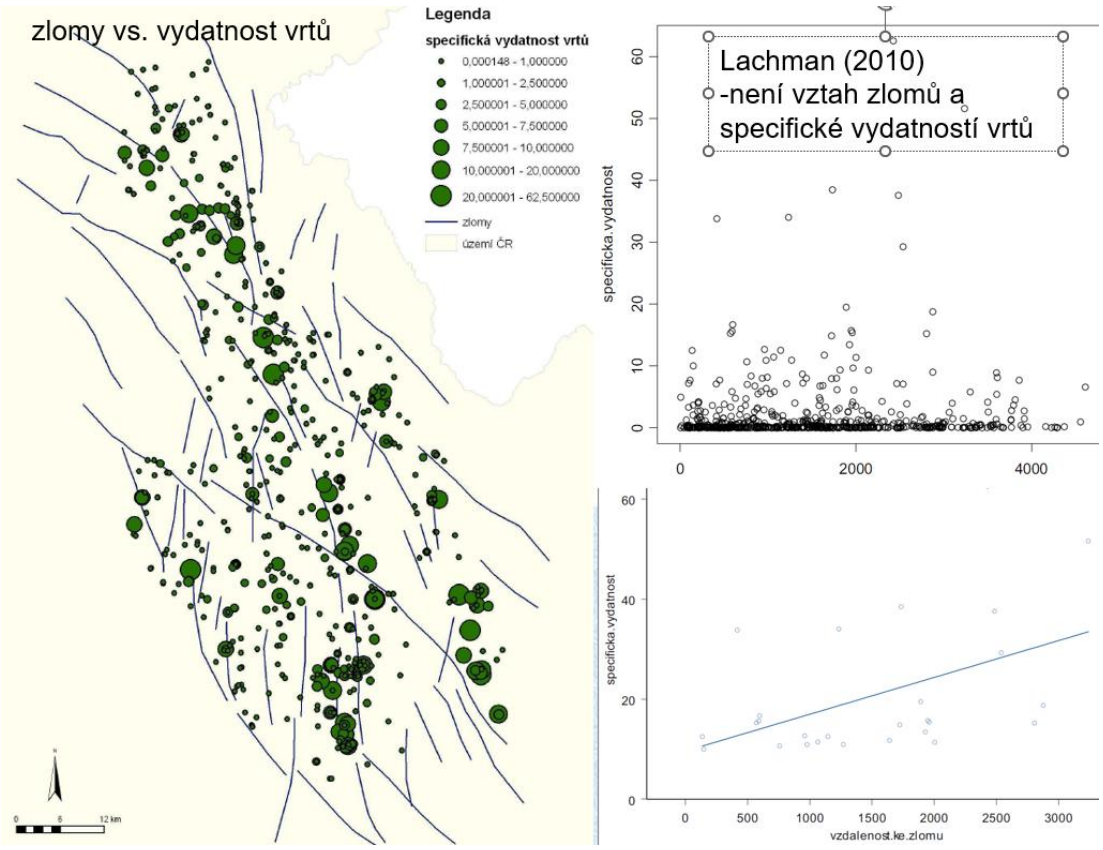


Obr. 6 Radioizotopovou stopovací zkouškou doložená rychlost proudění v jímacím území Březovského vodovodu (Pavliš a Tůma 1983 in Starý 2024).

Fig. 6 Flow velocity in the catchment area of the Březovský watercourse, as determined by a radioisotope tracer study (Pavliš and Tůma 1983 in Starý 2024).

4. Ostatní neznámé

Z dalších málo prozkoumaných témat v ČKP patří vztah mezi propustností a tektonikou. V mnohých hydrogeologických zprávách se traduje zvýšená propustnost některých tektonických struktur, ale bez jakýchkoli dokladů. Jeden z mála pilotních testů nedoložil žádný vztah mezi specifickou vydatností vrtů a vzdáleností od tektonických linií v tzv. východočeských křídových synklinálách (obr. 7). Vztah mezi vydatností vrtů, tektonikou a dalšími faktory by měl být kvantitativně prověřen v celé oblasti ČKP, aby se lépe ukázalo, jaké faktory zvýšenou propustnost určují. Málo jsou v ČKP využívány izotopové metody a chemické stopovače, které přitom mohou účinně řešit řadu otázek, např. rozlišit existenci více kolektorů s podobnou výškou hladina podzemní vody, určit původ podzemní vody, potvrdit nebo vyloučit mísení vody z různých kolektorů s odlišným složením vody (Jirková et al. 2010; Corcho Alvarado et al 2011; Dupalová et al 2012; Slavík et al 2026). Tím samozřejmě výčet toho, co o ČKP nevíme nekončí.



Obr. 7 Vlevo specifická vydatnost vrtů vs. tektonické linie v tzv. východočeských křídových synklinálách, napravo vztahy mezi vydatností a vzdáleností vrtů od zlomů (Upraveno podle Lachman 2010).
Fig. 7 On the left, specific well yields versus tectonic lines in the so-called East Bohemian Cretaceous synclines; on the right, relationships between specific well yields and the distance of the wells from faults (Adapted from Lachman 2010).

5. Závěr

Zásadní rysy hydrogeologie ČKP se po desetiletí neměnily a mohou se tak jevit vyřešené a určené jen k drobným upřesněním. Ukazuje se, že dosud nevíme, na co je vázána nejpropustnější porozita v západní a východní části české křídové pánve. Je jen jisté, že kvádrové pískovce nejpropustnějšími horninami nejsou. Ukazuje se, že zásadní roli u největších pramenů a nejvydatnějších vrtů hraje rozpouštění vápnité složky. Piping a krasová porozita, doložená i četnými stopovacími zkouškami má tak mnohem větší význam, než se uvažovalo. V době, kdy se zvyšují počty vrtů na tepelná čerpadla do hloubek přes 100 m se ukazuje neudržitelná dosud značná paušalizace při vymezení kolektorů, kdy je zjevné, že opomíjí řadu zavěšených zvodní důležitých pro místní zásobování. Existuje řada názorů na vztah vydatnosti vrtů a tektoniky, nebo vliv zón drenáže, avšak velmi málo objektiv-

ních analýz. Málo jsou v české křídě dosud používány environmentální stopovače a stopovací zkoušky, které přitom umožnují charakterizovat zdroje vody, míšení a podchytit průniky kontaminovaných vod do vodárenských zdrojů. Podtrženo sečteno víme o české křídě mnohem méně, než jsme ochotni si připustit. Přednáška má za cíl poukázat na chybějící znalosti i cesty, jak tyto informace získat.

Seznam literatury

Balák F., 2015. *Možnosti krasovění v přechodní facii české křídové pánve*. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha. 145 s.

Bruthans J., Kadlecová R., 2024. *Expertní vyjádření ČGS k hydrogeologické situaci zavěšené zvodně v Dobšíně*. MS ČGS. 21 s.

Bruthans J., Kůrková I., Kadlecová R., 2018. *Factors controlling nitrate concentration in space and time in wells distributed along an aquifer/river interface (Káraný, Czechia)*. – Hydrogeology Journal 27, 195–210.

Bruthans J., Slavík M., Mareš J., Šabatová K., Kůrková I., Nol O., 2026. *Re-Evaluation of Groundwater Flow Systems in Sedimentary Basin Based on Wide Range of Environmental Tracers, Hydrostratigraphy, and Field Measurements*. – Water 18, 683. DOI: 10.3390/w18060683.

Corcho Alvarado J. A., Leuenberger M., Kipfer R., Pačes T., Purtschert R., 2011. *Reconstruction of past climate conditions over central Europe from groundwater data*. – Quaternary Science Reviews 30, 3423–3429.

Čapek A., Němec V., Čurda S., Kněnický S., Šantrůček J., Chaloupka J., Kočička J., Pilařová M., 1978. *Souhrnná zpráva o úkolu Řepínský důl – doplňkové práce*. Vodní zdroje, n. p., Praha. 43 s.

Dubois C., Quinif Y., Baele J. M., Barriquand L., Bini A., Bruxelles L., Dandurand G., Havron C., Kaufmann O., Lans B., Maire R., Martin J., Rodet J., Rowberry M. D., Tognini P., Vergari A., 2014. *The process of ghost-rock karstification and its role in the formation of cave systems*. – Earth-Science Reviews 131, 116–148.

Dupalová T., Sracek O., Vencelides Z., Žák K., 2012. *The origin of thermal waters in the northeastern part of the Eger Rift, Czech Republic*. – Applied Geochemistry 27, 689–702.

Hercog F., 1962. *Zhodnocení koloračního výzkumu pohybu podzemních vod v horní části povodí Obrtky*. Vodní zdroje, n. p. 7 s.

Herčík F., Herrmann Z., Valečka J. (eds.), 2003. *Hydrogeology of the Bohemian Cretaceous Basin*. Česká geologická služba, Praha. 91 s. ISBN 80-7075-604-7.

Jiráková H., Huneau F., Hrkal Z., Celle-Jeanton H., Le Coustumer P., 2010. *Carbon isotopes to constrain the origin and circulation pattern of groundwater in the north-western part of the Bohemian Cretaceous Basin (Czech Republic)*. – Applied Geochemistry 25, 1265–1279.

Kůrková I., 2023. *Charakter proudění podzemní vody v silně propustných sedimentech v západní části České křídové pánve*. Doktorská disertační práce. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha. 211 s.

Kůrková I., Adamovič J., Bruthans J., Burda J., Bůzek F., Herčík F., Kadlecová R., Kondrová L., 2016. *Hydrogeologický rajon 4522 – Křída Liběchovky a Pšovky. Stanovení zásob podzemních vod, závěrečná zpráva, příloha č. 2/35*. Česká geologická služba, Praha.

Kůrková I., Bruthans J., Balák F., Slavík M., Schweigstillová J., Bruthansová J., Mikuš P., Grundloch J., 2019. *Factors controlling evolution of karst conduits in sandy limestone and calcareous sandstone (Turnov area, Czech Republic)*. – Journal of Hydrology 574, 1062–1073.

Lachman V., 2010. *Proudění vody a vysoce propustné zóny v kolektorech východočeských křídových synklinál na příkladu jímacího území Litá a okolí*. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha. 69 s.

Malechová K., 2026. *Zhodnocení hydrostratigrafie a potenciálu tvorby krasových kanálů v západní části české křídové pánve*. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha. 80 s.

Mareš J., Slavík M., Bruthans J., Šabatová K., Malechová K., 2026. *Nové hydrostratigrafické členění turonských kolektorů v Pojizeří a povodích Pšovky, Liběchovky a Košáteckého potoka v české křídové pánvi*. – Sborník příspěvků HGIG kongresu 2026, Pardubice.

Pačes T., Corcho Alvarado J. A., Herrmann Z., Kodeš V., Mužák J., Novák R., Purtschert R., Remenarová D., Valečka J., 2008. *The Cenomanian and Turonian aquifers of the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic*. – In Edmunds, W. M., Shand, P. (eds.), *Natural Groundwater Quality*. Blackwell Publishing Ltd., Oxford.

Pátek K., 2024. *Možnost tvorby krasových kanálů v oblasti mezi povodími Úštěckého a Košáteckého potoka a vymezení povodí hlavních skupin pramenů*. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha. 102 s.

Pavliš R., Tůma W., 1983. *Závěrečná zpráva o provedeném hydrogeologickém průzkumu na lokalitě Březová nad Svitavou – Hladové prameny*. Vodní zdroje, s. p., Chrudim.

Slavík M., 2012. *Vznik krasových kanálů a jeskyní v jizerském souvrství na Turnovsku*. Bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha. 37 s.

Slavík M., Bruthans J., Mareš J., 2026. *Využití environmentálních stopovačů pro určení původu a doby zdržení podzemní vody: Příklad ze SZ části české křídové pánve*. – Sborník příspěvků HGIG kongres 2026, Pardubice.

Starý J., 2024. *Charakter vysoce propustné porozity v turonských kolektorech ve východní části české křídové pánve*. Doktorská disertační práce. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha. 254 s.
Starý J., Bruthans J., Schweigstillová J., Mareš J., Procházka M., 2024. *Origin of Fracture Controlled Conduits in Calcite-Rich Highly Productive Aquifers Impregnated with Diagenetic Silica*. – Water 16, 687. DOI: 10.3390/w16050687.
Uličný D., Laurin J., Čech S., 2009. *Controls on clastic sequence geometries in a shallow-marine, transtensional basin: the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic*. – Sedimentology 56, 1077–1114. DOI: 10.1111/j.1365-3091.2008.01021.x.
Vojtíšek J., 2016. *Krasovění karbonáto-silikátových hornin: rešerše literatury a loužící experiment*. Bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha. 78 s.

ŘÍZENÁ DOTACE PODZEMNÍCH VOD JAKO OPATŘENÍ PROTI SUCHU NA PODZEMNÍCH VODÁCH

CONTROLLED GROUNDWATER RECHARGE AS ONE OF THE TOOLS TO ADDRESS THE IMPACTS OF GROUNDWATER DROUGHT

RNDr. Josef Vojtěch Datel, Ph.D.[1], RNDr. Renata Kadlecová[2], Ing. Anna Hrabánková[1]

[1]*Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6, datel@vuv.cz, hrabankova@vuv.cz*
[2]*Česká geologická služba, Klárov 131, 118 00 Praha 1, renata.kadlecova@geology.cz*

Abstrakt: Řízená dotace podzemních vod představuje v podmínkách České republiky významný nástroj aktivního hospodaření s vodou v krajině, zvláště v době sucha. Měla být chápána jako dlouhodobé adaptační opatření, jehož účinnost závisí na vhodném načasování, dostatečném zdroji vody, kvalitě zasakované vody a zejména na správném výběru území.Jedním z hlavních výsledků dlouhodobého výzkumu je mapa vhodnosti území pro řízenou dotaci podzemních vod, jako důležitý podklad pro předběžné vyhledávání perspektivních území. Byl také formulován rozhodovací proces komplexního hodnocení vhodnosti území pro řízenou dotaci, který pokrývá všechny zásadní aspekty, které je třeba posoudit. Je doporučeno společné využívání mapy s mapou zranitelnosti kvantity přírodních zdrojů podzemní vody k suchu.

Abstract: Under the conditions of the Czech Republic, controlled groundwater recharge represents an important tool for active water management in the landscape, especially during drought periods. It should be understood as a long-term adaptation measure, the effectiveness of which depends on appropriate timing, sufficient water resources, the quality of the infiltration water and, in particular, on the correct selection of the area. One of the main results of long-term research is a map of the suitability of the area for controlled groundwater recharge, as an important basis for the preliminary search for promising areas. A decision-making process for a comprehensive assessment of the suitability of the area for controlled recharge was also formulated, which covers all essential aspects that need to be assessed. It is recommended to use the map together with the map of vulnerability of the quantity of natural groundwater resources to drought.

Klíčová slova: hydrogeologie, podzemní voda, dopady sucha ve vodním hospodářství, umělá infiltrace, řízená dotace podzemních vod, přírodě blízká opatření

Keywords: hydrogeology, groundwater, impacts of drought in water management, artificial recharge, controlled groundwater recharge, natural-like measures

Úvod

Aplikovaný vodohospodářský výzkum v ČR se v posledních 20 letech v souvislosti s řešením dopadů sucha více zaměřuje na problematiku řízené dotace podzemních vod. Cílem je postupná změna v hospodaření s podzemní vodou z pasivního přístupu k ochraně podzemních vod ve formě pouhých restrikcí v užívání vody na aktivní přístup spočívající ve využívání volných objemů v hydrogeologických kolektorech ke zvyšování zásob podzemní vody v krajině. Toho lze docílit cílenou podporou infiltrace srážkových a povrchových vod ve vhodných územích. Jde o hlavní adaptační opatření směřující ke snížení dopadu sucha na podzemních vodách, z nichž mnohé slouží jako zdroje zásobování pitnou vodou pro obyvatelstvo (asi polovina vodárenských zdrojů v dlouhodobém průměru je tvořena podzemní vodou).
Dosavadní výzkumy se přednostně zabývají jinými druhy sucha – meteorologickým, zemědělským nebo hydrologickým. Sucho na podzemních vodách je doposud většinou chápáno jako podmnožina sucha hydrologického. Příčiny, průběh i vhodná adaptační opatření na hydrogeologické sucho jsou však odlišné, je proto vhodné k suchu na podzemních vodách přistupovat specifickým způsobem. Můžeme se opřít o některé výzkumy z okolních zemí, zvláště na Slovensku [1]. Sucho se na stavu podzemních vod projevuje s velkou setrvačností. Nástup hladin podzemní vody je v závislosti na jejich hloubce a horninovém prostředí zpožděn v řádu měsíců až let oproti hydrologické situaci. Metody řízené dotace podzemních vod mohou významně přispět k prevenci i následné eliminaci dopadů sucha na podzemních vodách.

Řízená dotace podzemních vod

Řízená dotace podzemních vod je technologie, při které je povrchová voda řízeně zasakována do podzemí. Tento proces tedy mimo jiné zajištuje doplňování vody do hydrogeologického kolektoru. Je to způsob zadržení vody v krajině ve formě vody podzemní. Jedná se o důležitý prostředek ke zmírňování dopadů klimatických změn, který nejenže zvětšuje zdroje podzemní vody v krajině a posiluje konkrétní vodárenské odběry, ale také zvyšuje statické zásoby podzemní vody, stabilizuje hladiny a průtoky vodních toků tím, že ovlivňuje (zvětšuje) základní odtok, může částečně přispívat i ke snížení extrémních (povodňových) povrchových průtoků, zlepšuje kvalitu surové vody, zadržuje vodu v krajině, přispívá ke stabilizaci pramenních vývěrů, chrání vodní a na vodu vázané biotopy a umožňuje efektivněji nakládat se srážkovými vodami. Vodu v období vysokých srážek nebo tání sněhu, případně trvalé přebytky povrchových vod, je vhodné zadržet a infiltrovat do vhodných hydrogeologických kolektorů, kde se uložená voda na rozdíl od povrchových nádrží neztrácí výparem a nezabírá velké plochy krajiny. Je patrné, že podporu a realizaci řízené dotace podzemních vod je vhodné směřovat primárně do oblastí s největšími riziky dopadu sucha na podzemní vody (jižní a střední Morava, východočeské Polabí, severozápadní Čechy).

Řízená dotace podzemních vod zahrnuje 3 skupiny různých opatření [2]:

1. Umělá infiltrace je zasakování povrchové vody prostřednictvím vhodných vsakovacích objektů, většinou vsakovacími studnami, vanami či příkopy. Jde o cílený zásah pro zvýšení množství infiltrované povrchové vody do kolektoru podzemní vody, nejčastěji za účelem podpory odběru podzemní vody (může ale sloužit i pro jiné účely). Může být někde zajištěna přírodě blízkými opatřeními, častěji se ale volí různá stavebně-technická řešení. Povrchová voda, která se přivádí z blízkého toku, obvykle prochází předúpravou za účelem zlepšení jakostních parametrů a omezení procesu kolmatace.
2. Břehová infiltrace funguje na principu zvýšené indukce povrchové vody do hydrogeologického kolektoru dané poklesem hladiny podzemní vody a změnou směru hydraulického gradientu při čerpání (odběru vody). Systém je obvykle složen z řady jímacích studní situovaných souběžně s vodním tokem v propustných štěrkopískových sedimentech údolní terasy. Množství odebírané vody je omezeno pouze filtrační kapacitou břehů v případech, kdy průtok v řece je několikanásobně vyšší než odebíraný objem. Výkon technologie břehové infiltrace u menších toků může být limitován požadavky na zachování ekologických a dalších funkcí toku. K břehové infiltraci přispívají i vzdutí hladiny jezy.
3. Infiltrace srážkových vod pomocí přírodě blízkých opatření: Tato opatření, primárně určená pro zadržení vody v krajině, jsou součástí Katalogu přírodě blízkých opatření k zadržení vod v krajině [3], mohou sloužit i pro podporu vsakování srážkových vod do podzemních vod (plošná opatření na zemědělské půdě, biotechnická opatření, malé vodní nádrže, opatření v lesích, opatření na tocích a v nivách, agrolesnická opatření a hospodaření s dešťovou vodou v zastavěných oblastech). Některá tato opatření, pokud mají sloužit na přímou podporu vsakování srážkových vod do vod podzemních, jsou doplňována o vhodný vsakovací prvek, např. ve dně malé vodní nádrže, v průlehu, v zasakovacím pásu, v suché nádrži, v ploše dočasného vzdutí vody nad hrázkou nebo přehrážkou, mohou být budovány zasakovací příkopy v linii soustředěného odtoku srážkových vod, v korytě toku apod. Také dobrý stav zemědělských půd podporuje plošné vsakování srážek a zároveň omezuje erozní procesy.

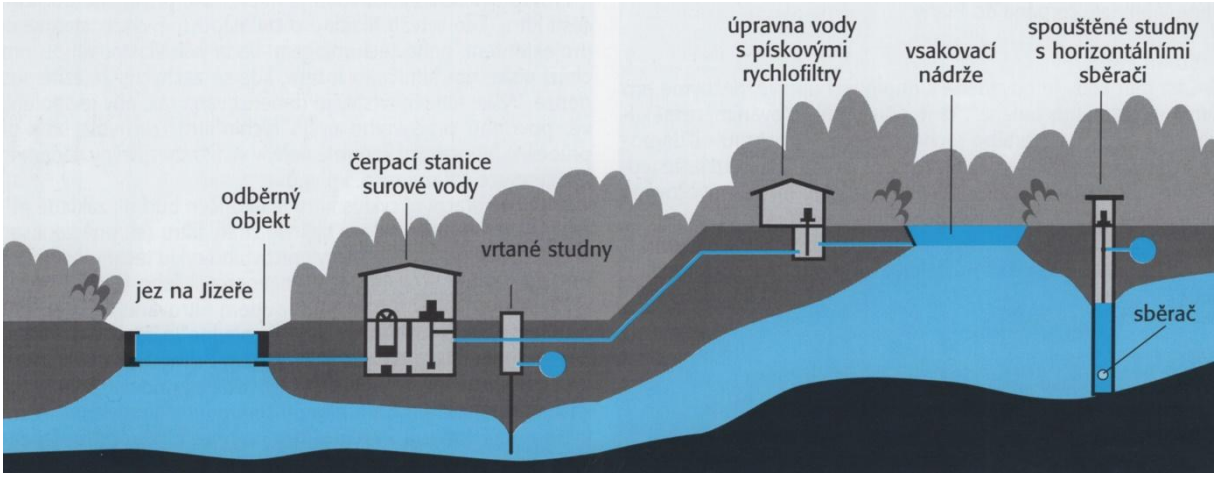
Od metod řízené dotace podzemních vod je třeba odlišovat přirozenou infiltraci do podzemních vod jako přirozené zasakování povrchových a srážkových vod neovlivněné člověkem, v místech s vhodnými přírodními poměry (dobrá propustnost půd a hornin, vyšší úhrny srážek, období vyšších průtoků na tocích aj.). Místa zvýšené přirozené infiltrace do podzemních vod (infiltrační území) si zaslouží ochranu před aktivitami s negativními dopady na tento proces (zástavba území, těžba surovin, podzemní stavby, odvodňování, skládky odpadů, znečišťování apod.).

Infiltrovaná voda může pocházet kromě trvalých nebo dočasných vodních toků, přehrad, či dešťové vody i z vyčištěné odpadní vody, v ČR předpisy ale zatím neumožňují vsakování odpadních vod s výjimkou domovních ČOV. Vsakování vyčištěných odpadních vod je ale možné v různých zemích, např. v Izraeli, Egyptě a dalších zemích s aridním klimatem. Metody řízené dotace mohou mít také některé další pozitivní efekty, jako je odstranění nežádoucích látek (patogenů, organických látek, dusičnanů, nerozpuštěných látek apod.) z infiltrované vody a naředění nekvalitních podzemních vod [4, 2].

Historie metod řízené dotace

Sofistikované nakládání s vodou včetně jejího zasakování pro účely zavlažování polí nebo podpory mělkých studní můžeme nalézt už ve starověku u civilizací, které byly soustředěny kolem velkých toků (Egypt, Mezopotámie, Indie, Čína). Archeologické nálezy ze středověké Evropy dokládají, že naši dávní předkové chápali proces břehové infiltrace. O tom svědčí nálezy pozůstatků starých studní, obvykle vypažených dřevem, situovaných nedaleko vodního toku. Moderní historie řízené dotace začíná ve druhé polovině 19. století, kdy se

především Švédsko a Německo staly klasickými zeměmi rozvoje metod řízené dotace podzemních vod, mj. i kvůli svým příznivým geologickým a hydrogeologickým poměrům. Do dnešní doby se k nim přidaly další země, především Švýcarsko, Nizozemsko a USA, v poslední době probíhá obrovský rozvoj těchto technologií v Izraeli, jižní Evropě, Mexiku, Číně, a jinde. Např. ze Španělska existují významné zkušenosti s řízenou dotací podzemních vod na podporu mokřadů a dalších chráněných území přírody [5].
Přenos zvláště německých velmi bohatých zkušeností s metodami řízené dotace do českých podmínek se jeví jako velmi vhodný, jak z důvodu podobných přírodních podmínek, podobné infrastruktury i hospodářských podmínek. Na základě těchto zkušeností tedy můžeme konstatovat, že potenciál dalšího rozvoje metod řízené dotace je v ČR velmi významný.
V posledních 30 letech zažívá umělá infiltrace v celosvětovém měřítku značnou renesanci, což je do značné míry spojeno s registrovanými dopady klimatických změn na vodní zdroje a jejich dostupnost a zabezpečenost. Organizace IAHS (International Association of Hydrological Sciences) a IAH (International Association of Hydrogeologists) ve spolupráci s UNESCO vedou celosvětové odborné aktivity ke zlepšení hospodaření s podzemní vodou na základě řízené dotace kolektorů podzemních vod (MAR – Management of Aquifer Recharge - https://recharge.iah.org/).
Moderní historie metod řízené dotace začíná v Česku na přelomu 19. a 20. století, kdy se začaly využívat indukované zdroje vodárny v Káraném, jejíž první část byla vybudována v letech 1906-1913 Tato vodárna byla po dlouhou dobu základním zdrojem zásobování hl. města Prahy, využívající zejména indukované zdroje břehové infiltrace v 26 km dlouhém úseku od soutoku Jizery s Labem až k Benátkám nad Jizerou. Jímací řady jsou situované ve vzdálenosti kolem 250 m od Jizery. Celkem 685 studní s hloubkami 8-12 m a vzdálenostmi 28-44 m jímá směs podzemní vody ze svrchnokřídových sedimentů přitékající ze zázemí, kvartérní poříční vody a indukované vody z Jizery, která procesem břehové infiltrace procezuje k jímacím studnám. Celková vydatnost všech studní dosahuje cca 1000 l/s. Od roku 1968 využívá káranská vodárna také vodu získanou z technologie umělé infiltrace v propustných pleistocénních terasových sedimentech o mocnosti až 20 m. Voda řeky Jizery se dnes vede výtlačným potrubím přes rychlofiltry do vsakovacích nádrží o celkové ploše 68 000 m^2. Ve vzdálenosti 150-200 m jsou umístěny studňové řady 26 širokoprofilových spouštěných studní s horizontálními sběrači typu RANNEY a 251 vrtaných trubních studní. Takto nastavená technologie umělé infiltrace je schopna dodávat až 1000 l/s Lokalita Káraný je doposud naší největší lokalitou s intenzívně využívanými metodami řízené dotace [6].



Obr. 1 Schéma umělé infiltrace v Káraném [6]
Fig. 1 Scheme of artificial recharge in Káraný [6]

Mimo vodárnu v Káraném se metody řízené dotace v Česku doposud využívají velmi sporadicky, a spíše jako metody "neřízené dotace", především se samovolným využitím procesů břehové infiltrace k podpoře vodárenských odběrů. Větší rozšíření technologií řízené dotace je do dnešní doby diskutováno pouze v teoretické rovině [2].
V průběhu 70. a počátkem 80. let 20. století došlo k oživení zájmu o umělou infiltraci (zřejmě pod vlivem úspěšného provozu vodárny v Káraném). Byly provedeny průzkumy pro celou řadu lokalit, z nichž můžeme jmenovat např.: Holedeč, Doksany-Terezín, Pracejovice u Strakonic, Horšovský Týn, Čeperka u Pardubic, nedabylská pánev v jižních Čechách, Majdalena, Kvasice u Otrokovic, okolí Uherského Ostrohu a Moravského Písku, Bludov-Postřelmov, Přerov, Lipník nad Bečvou, glacifluviální sedimenty v lokalitách Opava-Krnov, Bohumín-Český Těšín a Liberecko - Lužická Nisa (Pekařka), jihovýchodní část Dlouhé meze u Chotěboře, Křížová u Havlíčkova Brodu, Srbská Kamenice (soutok Kamenice a Chřibské Kamenice), Vsetín-Ohrada, Rožnov pod Radhoštěm, kvartér řeky Moravy u Tlumačova, křída ústecké synklinály v Březové u Svitav,

Píšťany u Litoměřic, Sebuzín u Ústí nad Labem, Kolín a řadu jiných. Pasportizaci více než 100 lokalit zajistila Česká geologická služba ve spolupráci s VÚV TGM, v.v.i. [7].
Nová vlna zájmu o technologie řízené dotace podzemních vod vznikla kolem roku 2010 v souvislosti s řešením dopadů změny klimatu, a trvá dodnes. Moderní chápání významu metod řízené dotace se netýká jen podpory vodárenských odběrů, ale účelem je zlepšení a stabilizace celého vodního režimu krajiny v době sucha.

Vhodnost geologického prostředí pro řízenou dotaci podzemních vod

Sedimenty kolem vodních toků jsou jednoznačně nejpříznivějším geologickým prostředím pro aplikaci metod řízené dotace v ČR. Největší možnosti pro řízenou dotaci poskytují kvartérní štěrkopísky v prostoru údolních a některých vyšších teras kolem vodních toků. Obecně jsou pro technologie řízené dotace vhodnější střední a dolní úseky toků. Právě na ně je vhodné zaměřit další pozornost z hlediska využití metod řízené dotace podzemních vod. Jejich nevýhodou je relativně krátká doba zdržení infiltrované podzemní vody (v řádu týdnů až prvních měsíců), využitelnost pro řešení problémů sucha se tak bude týkat běžného sezónního kolísání vodních poměrů, nejčastěji k překlenutí častého letního sucha.
Na území naší republiky jsou i další území vedle kvartérních fluviálních sedimentů vhodná pro obohacení hydrogeologických kolektor, např. větší akumulace sedimentů glaciálního původu, z předkvartérních formací se jeví jako potenciálně vhodné zejména prostředí některých sedimentárních pánví. Realizace řízené dotace do předkvartérních struktur by znamenala řádově vyšší zdržení infiltrované podzemní vody v krajině (jednotky až desítky let). Šlo by tedy o projekty, jejichž pozitivní efekt by se projevil až s velmi dlouhým odstupem mnoha let, v době kdy se budou naplno projevovat dopady změny klimatu.
V prostředí krystalinika a dalších horninách hydrogeologického masívu s převažující puklinovou propustností jsou podmínky pro metody řízené dotace podzemních vod jen omezené na menší projekty s lokálním dosahem. Jsou zde malé akumulační objemy a vysoce heterogenní prostředí. Podobně méně příznivé podmínky panují i v prostředí flyšových hornin. I v tomto prostředí však mohou mít lokálně zaměřené projekty řízené dotace svůj nemalý význam, ve formě zadržení vody a zpomalení odtoku v dílčím povodí.

Hodnocení podmínek konkrétní lokality

O úspěšnosti aplikace metody řízené dotace v konkrétní lokalitě rozhodují vhodné přírodní podmínky a současně správná volba metodického a technického řešení. Rozhodovací proces směřující ke konkrétnímu řešení je proto jeden ze zásadních kroků v celém postupu realizace řízené dotace v konkrétní lokalitě. Rozhodovací proces musí zahrnovat následující okruhy problémů:

- Cíle a přínosy aplikace metod řízené dotace v konkrétní lokalitě: Na začátku úvah je nutné mít jasno v tom, co je žádoucí a možné řízenou dotací v daném místě dosáhnout (hlavní cíl, vedlejší efekty).
- Zdroj vody pro metody řízené dotace: Použití metod řízené dotace je podmíněno existencí dostatečného zdroje vody s potřebnou kvalitou, který lze pro zasakování pod povrch terénu využít, trvale nebo dočasně.
- Hodnocení lokality z hlediska přírodních poměrů: Je nezbytné komplexní posouzení území z mnoha hledisek (hydrologické, hydrochemické, hydrogeologické, pedologické, geologické a další aspekty), na jejichž základě je formulován konceptuální model řízené dotace. Ten je obvykle ověřen matematickým modelem proudění podzemních vod, který umožňuje časoprostorové simulace různých změn a zásahů souvisejících s řízenou dotací, a důkladné posouzení jejich efektivnosti a dopadů).
- Obecné technické řešení vsakovacích prvků. Kromě výběru technického řešení vsakovacích prvků, je třeba vsakování řešit komplexně, tzn. včetně přívodních zařízení (odběr vody ze zvoleného zdroje a její přívod do akumulace), akumulačního prostoru (nádrž s akumulovanou vodou, která zásobuje vsakovací prvek), procesu úpravy vody, propojujících armatur, a také měřících a záznamových systémů dokládající funkčnost a účinnost procesu řízené dotace.
- Důsledky pro kvalitu vody: Kvalitativní stránka věci může velmi významně ovlivnit vlastní funkčnost celého systému řízené dotace – hydrochemické procesy mohou způsobovat intenzívní kolmataci celého systému, nevhodná kvalita infiltrované vody může zapříčinit zhoršenou kvalitu vody na výstupu ze systému apod. Na druhou stranu filtrační proces vody v horninovém prostředí má většinou velmi pozitivní vliv na kvalitu a vlastnosti této vody.
- Respektování legislativních aspektů řízené dotace: Vlastní realizace je poměrně složitý proces, v němž se propojují oblasti vodního práva, stavebního práva, geologických předpisů, ochrany přírody, vlastnických zájmů aj.. Příprava jakékoliv aplikace řízené dotace je tedy obvykle dlouhodobý a administrativně náročný proces, kde vhodnost přírodních podmínek je pouze jedním z aspektů realizovatelnosti záměru.

- Potřebná je i analýza očekávaných praktických problémů souvisejících s použitím různých technologií řízené dotace, včetně možností a doporučení k jejich řešení (např. riziko kolmatace vsakovacích prvků, ochrana technologie před povodňovým rizikem aj.)

Mapa vhodnosti území k řízené dotaci

Významným odborným výstupem dlouholetého výzkumu řízené dotace podzemních vod ve VÚV TGM, v.v.i. je mapa vhodnosti území ČR k řízené dotaci podzemních vod [8]. Na začátku prací na odborné mapě bylo definováno několik podmínek, které by perspektivní území pro řízenou dotaci podzemních vod mělo splňovat:

- Hydrogeologická struktura s dostatečnou propustností, především průlinovou nebo kombinovanou. Protože na umělou infiltraci se nekladou jen kvantitativní kritéria, ale infiltrace by se měla podílet i na zlepšení kvality zasakovaných vod, nejsou obvykle jako ideální považována extrémně propustná prostředí, jako je kras nebo hrubozrnné štěrky.
- Dostatečná mocnost kolektoru a mocnost nesaturované zóny. Tyto parametry rozhodují o tzv. „skladovacím“ objemu. Je-li hladina podzemní vody blízko terénu, pak je problematické využití i vysoce propustného a mocného kolektoru. V takovém případě se nabízí jen možnost tzv. dynamického využívání, při kterém se hladina snižuje intenzivním čerpáním a tím se vytváří prostor pro infiltraci.
- Vhodné strukturně geologické podmínky. Je třeba najít takovou strukturu, které sice umožní vodu vsáknout, ale současně dovolí ji po čase znovu vyčerpat, případně umožní její pohyb k území či lokalitě, kde se má projevit její pozitivní účinek.
- Přítomnost dostatečného zdroje vody s odpovídající kvalitou. Splnění této podmínky je zásadní zvláště při infiltraci znečištěných vod, kde klíčovým kritériem je efektivita předúpravy a úroveň zbytkového znečištění. Obecným počátečním přístupem k věci je, že vsakovaná voda by v zásadě měla splňovat kritéria pitné vody v rozhodujících ukazatelích, a veškeré překračující parametry by měly být zdůvodněny a obhájeny, případně upraveny ve fázi předúpravy vody před vlastním vsakem.
- Vyloučení oblastí, kde podzemní voda je již v současné době znečištěná do té míry, že injektáž povrchové vody (byť dobré jakosti) by její kvalitu nedokázala zlepšit na požadovanou úroveň, nebo by vsakování mohlo dokonce přispět k dalšímu šíření znečištění.
- Jako poslední podmínky jsou ještě definována kritéria zohledňující vztah řízené dotace k chráněným jevům (ochrana vodních a na vodu vázaných ekosystémů, nebo naopak ochrana suchomilných biotopů) a případný dopad na stabilitu svahů (dopady na sesuvná území a k sesuvům náchylná území). Jako nevhodná se jeví i území postižená těžební činností (důlní díla a poddolovaná území), a krasová území s výskytem extrémně propustných preferenčních cest proudění podzemní vody.

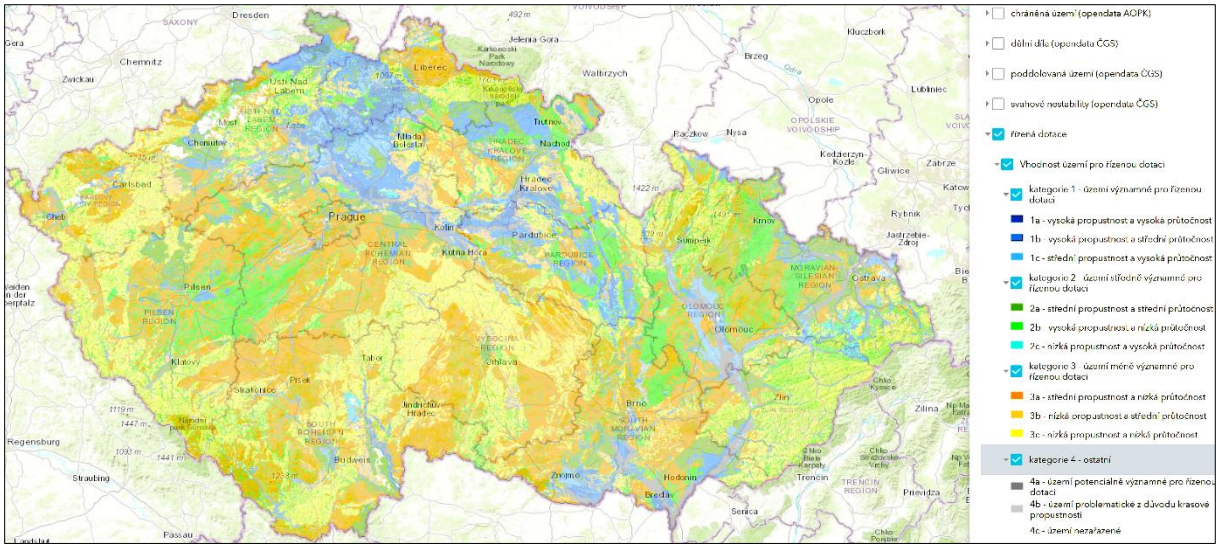
Vzniklá mapa hodnotí území především z hlediska vhodnosti horninového prostředí a hydrogeologických poměrů (propustnost, transmisivita, oběh podzemních vod), další výše uvedené aspekty (včetně vhodného zdroje vody pro zasakování) je třeba posuzovat zvlášť. Podrobnost mapy odpovídá měřítku zdrojových dat 1:50 000, což umožňuje hodnocení území v rámci povodí IV. řádu, hranic obcí a katastrálních území. Pro přesné hodnocení vhodnosti jednotlivých pozemků určených na základě mapy je třeba počítat s podrobným geologickým a hydrogeologickým průzkumem.

Pro hodnocení vhodnosti území pro řízenou dotaci bylo pracováno s následujícími okruhy dat:

- Vrstva transmisivity a vrstva oběhu podzemních vod mapy syntetické zranitelnosti podzemních vod [9]. Vrstvy definují oblasti dotace, proudění a drenáže, dále významnost prostředí pro proudění podzemní vody a nepřímo i mocnost nesaturované zóny, resp. hloubku hladiny podzemní vody.
- Vrstva charakteru horninového prostředí s rozdělením hornin do 5 skupin podle syntetické zranitelnosti podzemních vod [9]. Syntetická data sestavená na základě digitální geologické mapy GeoČR50 (https://mapy.geology.cz/geo/) zahrnují litologickou charakteristiku hornin saturované a nesaturované zóny (včetně zvětralinového pláště a kvartérního pokryvu), typ zvodnění a velikost propustnosti, v přesnosti zobrazení 1:50 000. Při hodnocení vhodnosti území pro řízenou dotaci byly třídy zranitelnosti v zásadě využity inverzním způsobem (ve smyslu [10].
- Informace z využitých vrstev byly upraveny, doplněny a v některých kategoriích přehodnoceny (údolní nivy, záplavová území, horniny s krasovou propustností).

Pro novou mapu byly stanoveny 4 základní kategorie významnosti pro řízenou dotaci (tři kategorie řádné, a čtvrtá kategorie tvoří ostatní území), které byly následně dle zpracování podkladů rozdělené na další podkategorie (viz dále). Rozsah kategorií a podkategorií (kategorie 1 – území významné, kategorie 2 – území středně významné a kategorie 3 – území méně významné pro řízenou dotaci) byl určen průnikem vybraných kategorii zranitelnosti podzemních vod dle charakteru horninového prostředí (tedy zjednodušeně dle propustnosti prostředí) a dle transmisivity (průtočnosti kolektorů). Na takto vymezená území byly následně ještě aplikovány některé kategorie vrstvy oběhu podzemních vod (údolní terasy větších toků, údolní sníženiny menších toků jako území drenáže, terénní elevace jako území infiltrace), a také území s povodňovými riziky z databáze DIBAVOD

(https://www.dibavod.cz/). Tvůrčí syntézou všech použitých podkladů a přístupů vznikla výsledná mapa vhodnosti území pro řízenou dotaci [8].



Obr. 2 Mapa vhodnosti území pro řízenou dotaci podzemních vod
Fig. 2 Map of suitability of the area for controlled groundwater recharge

Každá ze 4 kategorií relativní vhodnosti území pro řízenou dotaci je dále členěna na 3 podkategorie, celkem jde tedy o 12 hodnotících skupin z hlediska geologických a hydrogeologických poměrů. Vymezené kategorie v mapě a jejich barvy jsou následující:

Kategorie 1 – území významné pro řízenou dotaci podzemních vod (projekty o velikosti desítek až stovek l/s)

1a. území s vysokou propustností i průtočností hornin (tmavomodrá)
1b. území s vysokou propustností a střední průtočností hornin (středně modrá)
1c. území se střední propustností a vysokou průtočností hornin (světle modrá)

Kategorie 2 - území středně významné pro řízenou dotaci podzemních vod (projekty o velikosti jednotek až prvních desítek l/s)

2a. území se střední propustností a střední průtočností hornin (tmavozelená)
2b. území s vysokou propustností a nízkou průtočností (středně zelená)
2c. území s nízkou propustností a vysokou průtočností (světle zelená)

Kategorie 3 – území méně významné pro řízenou dotaci podzemních vod (projekty o velikosti do prvních jednotek l/s)

3a. území se střední propustností a nízkou průtočností hornin (hnědá)
3b. území s nízkou propustností a střední průtočností hornin (béžová)
3c. území s nízkou propustností a nízkou průtočností hornin (žlutá)

Kategorie 4 – ostatní území: Do této kategorie jsou zařazena území z nějakého úhlu pohledu potenciálně problematická. Záměr řízené dotace zde potřebuje podrobné posouzení daných rizik. Pokud se zde přistoupí k realizaci záměru některé z metod řízené dotace, je třeba se s těmito riziky vyrovnat a počítat s nimi už od fáze přípravy záměru. Kategorie 4 je zobrazována ve 3 podkategoriích:

4a. území potenciálně významné pro řízenou dotaci (zvláště technologii břehové infiltrace), tmavošedohnědá barva. Protože jde vesměs o údolní nivy vodních toků, rizikovým faktorem je povodňové riziko. Vyrovnání se s povodňovým rizikem znamená zajištění dostatečné ochrany vsakovacích prvků a dalších částí technologie před zaplavením povodňovou vodou.

4b. území problematické z důvodu výskytu krasové propustnosti, středně šedá barva. Vsakování je většinou velmi dobře možné, horninové prostředí ale nemusí mít potřebné filtrační a čistící schopnosti. Plochy rozsahu hornin s krasovou propustností (vesměs vápence a krystalické vápence) byly definované podle Základní geologické mapy ČR v měřítku 1:50 000 (GeoČR50 https://mapy.geology.cz/geo/). Záměr v takovém prostředí se musí vyrovnat s požadavkem vysoké kvality vsakované vody (prakticky na úrovni pitné vody) a také zvýšenou ochranou vsakovacích prvků před znečištěním z povrchu.

4c. území nezařazené z důvodu nehodnocení ve vstupních podkladech, bílá barva. Jde o území postižená důlní činností, území s organogenními sedimenty (rašeliny, slatiny), nebo intenzívně zastavěná území (často spojená s rizikem znečištěných území nebo ekologicky rizikových činností – průmyslové provozy, skládky aj.). Většinou lze tato území interpretovat jako území nevhodná pro metody řízené dotace z důvodu významných střetů zájmů (ochrana přírody, urbanizovaná území), nevhodnosti horninového prostředí, nebo obtížně definovatelných cest

proudění (poddolovaná území, navážky apod.). Nelze ale vyloučit, že v konkrétních specifických případech i zde může být nalezeno vhodné místo pro vsakování. Např. významnou výzvou může být podpora infiltrace srážkových vod v urbanizovaných územích, které obvykle mají sníženou hodnotu infiltrace a podzemního odtoku.
Mapa vhodnosti území pro řízenou dotaci byla úspěšně odzkoušena pro hodnocení a konkrétní návrh aplikace technologií řízené dotace podzemních vod ve vybraných pilotních území v rámci Centra VODA v deficitních oblastech Východní Čechy, Jižní Čechy a Jižní Morava, které budou uvedeny v závěrečné výzkumné zprávě úkolu DP3-2 připravované na konec roku 2026 (Datel et al., v přípravě).

Synergický efekt použití mapy vhodnosti řízené dotace s mapou zranitelnosti kvantity přírodních zdrojů podzemní vody k suchu

Odbornou hodnotu vytvořené mapy vhodnosti území pro řízenou dotaci lze významně zvýšit při souběžném použití mapy s další nově zpracovanou mapou – mapou zranitelnosti kvantity přírodních zdrojů podzemní vody k suchu [11]. Synergický efekt společného použití obou map směřuje k tomu, aby uživatel získal společně zejména následující informace:

- Rozdělení území podle vhodnosti aplikace metod řízené dotace podzemních vod
- Území s významnými odběry
- Území s významnou přirozenou infiltrací podzemních vod
- Území se zvýšenou zranitelností kvantity podzemních vod (tzn. území s vyšším rizikem dopadů sucha na podzemní vody)

Společné použití obou map tak může zajistit, že záměry řízené dotace podzemních vod budou směřovány jak do území vhodných pro řízenou dotaci, tak do území, kde jsou tyto záměry vysoce potřebné (tedy území s vyšším rizikem dopadů sucha na podzemní vody). A současně bude možné navíc zohlednit i území s většími odběry a infiltrační území podzemních vod. Záměry zohledňující všechny tyto aspekty tak budou vysoce efektivní a zajistí maximální účelnost vynaložených prostředků.
Pro generování mapy zranitelnosti byly využity čtyři GIS vrstvy, jejichž kombinací finální mapa vznikla:

A. Dotace podzemní vody za suchého období ze srážek (l/s/km^2)
B. Zdroje vody z influkce (l/s/km^2)
C. Registrované odběry a vypouštění podzemní a povrchové vody (l/s)
D. Odhadovaný odběr podzemní vody pro individuální zásobování (l/s)

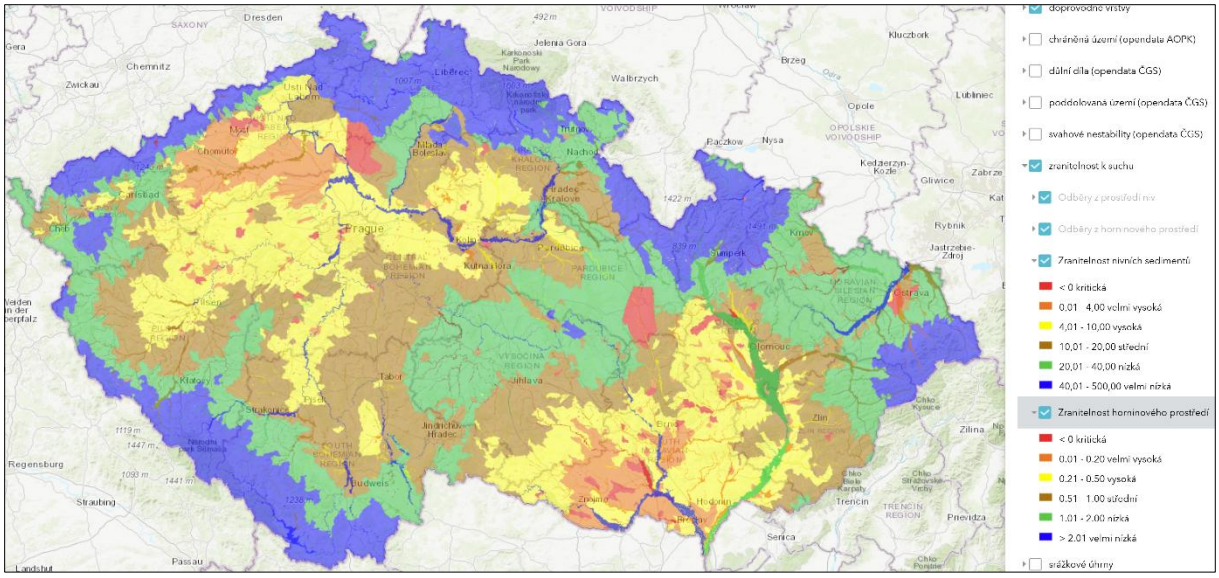
GIS vrstvy byly kombinovány do jedné, výsledné vrstvy, přičemž v různých prostředích byly jinak definovány jednotky hodnocených území – tzv. elementy:

- u pánevních struktur je elementem celý hydrogeologický rajon, případně jeho části;
- u údolních niv menších toků je elementem celá údolní niva v povodí 4. řádu,
- u údolních niv větších toků se dělí niva na část v blízkosti toku s potenciální influkcí, a na část ve větší vzdálenosti od řeky
- v prostředí krystalinika a jiných hornin hydrogeologického masívu s mělkým přípovrchovým zvodněním je elementem celé povodí 4. řádu kromě údolní nivy, která je hodnocena zvlášť.

Elementy jsou na mapě označeny barevnou škálou podle výsledné zranitelnosti do šesti kategorií:

- Modře a zeleně: zranitelnost množství podzemních vod v období sucha je nízká.
- Hnědě a žlutě: v období sucha lze očekávat potenciální nedostatek zdrojů podzemní vody (zranitelnost je střední).
- Oranžově a červeně: zranitelnost množství podzemních vod v období sucha je vysoká.

Ve výsledné mapě zranitelnosti je ještě navíc pole obcí s převážně individuálním zásobováním podzemní vodou (zastavěná část katastru), které většinou spadají z důvodu lokálně relativně vysokých odběrů do kategorie vysoké zranitelnosti.
Záměry projektů řízené dotace podzemních vod je vhodné maximálně směřovat do území s vysokou nebo střední zranitelností přírodních zdrojů podzemních vod (červené, oranžové a žluté zóny).



Obr. 3 Mapa zranitelnosti kvantity přírodních zdrojů podzemní vody k suchu [11]
Fig. 3 Map of vulnerability of natural groundwater resources quantity to drought

Závěr

Řízená dotace podzemních vod představuje v podmínkách České republiky významný nástroj aktivního hospodaření s vodou v krajině. Její význam narůstá zejména v souvislosti s projevy klimatické změny, opakovanými epizodami sucha a rostoucí potřebou zvyšovat odolnost vodních zdrojů i celých hydrogeologických struktur. Na rozdíl od tradičního, převážně pasivního přístupu k ochraně podzemních vod umožňuje řízená dotace cíleně využívat volné akumulační objemy v horninovém prostředí a podporovat přirozené i technicky řízené doplňování zásob podzemní vody. Tím může přispívat nejen k posílení konkrétních vodárenských odběrů, ale také ke stabilizaci hladin podzemních vod, základního odtoku, pramenních vývěrů a vodních či na vodu vázaných ekosystémů. Řízená dotace by měla být chápána jako dlouhodobé adaptační opatření, jehož účinnost závisí na vhodném načasování, dostatečném zdroji vody, kvalitě zasakované vody a zejména na správném výběru území.
Jedním z hlavních výsledků dlouhodobého výzkumu je zpracování mapy vhodnosti území pro řízenou dotaci podzemních vod. Tato mapa poskytuje důležitý regionální podklad pro předběžné vyhledávání perspektivních území a pro strategické plánování adaptačních opatření. Její přínos spočívá zejména v tom, že umožňuje rozlišit území podle relativní vhodnosti horninového prostředí, propustnosti, transmisivity a charakteru oběhu podzemních vod. Sama o sobě však nemůže nahradit detailní hydrogeologický průzkum konkrétní zvažované lokality. Vhodnost území z hlediska geologických a hydrogeologických poměrů je pouze prvním krokem, který musí být dále doplněn o posouzení dostupného zdroje vody, její jakosti, střetů s ochranou přírody, vlastnických vztahů, technické proveditelnosti, ekonomických nákladů a legislativních požadavků. Za tím účelem byl formulován rozhodovací proces komplexního hodnocení vhodnosti území pro řízenou dotaci, který pokrývá všechny zásadní aspekty, které je třeba zvážit při hodnocení konkrétního území.
Je doporučeno společné využívání mapy vhodnosti řízené dotace s mapou zranitelnosti kvantity přírodních zdrojů podzemní vody k suchu. Teprve kombinace obou pohledů umožňuje zacílit opatření nejen tam, kde jsou geologické a hydrogeologické podmínky příznivé, ale také tam, kde je jejich realizace skutečně potřebná.
Celkově lze konstatovat, že řízená dotace podzemních vod má v České republice značný, dosud jen částečně využitý potenciál. Úspěšnost jednotlivých projektů bude vždy záviset na kvalitě přípravné fáze, správném stanovení cíle opatření, volbě vhodné technologie, zajištění dostatečného množství a kvality vody a dlouhodobém monitoringu funkčnosti systému. Při vhodném uplatnění mohou technologie řízené dotace podzemních vod významně přispět ke zvýšení odolnosti vodních zdrojů, stabilizaci vodního režimu a adaptaci České republiky na budoucí klimatické a vodohospodářské výzvy.

Poděkování: Článek vznikl za podpory Technologické agentury ČR v rámci financování výzkumného projektu č. SS02030027 Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda), řešeného v letech 2020–2026, a také v rámci implementace výsledků projektu č. SS01010208 Řízená dotace podzemních vod jako nástroj k omezení dopadů sucha v ČR, řešeného v letech 2020–2023.

Seznam literatury

[1] Fendeková M., Ženišová, Z. (2010): Hydrogeologické sucho. Bratislava: SAH. ISBN 978-80-969342-7-0.

[2] Datel J. V. et al. (2023): Řízená dotace podzemních vod jako nástroj k omezení dopadů sucha v ČR. Závěrečná zpráva projektu TAČR SS01010208. – VÚV TGM a ČGS. Praha

[3] sine (2018): Katalog přírodě blízkých opatření pro zadržení vody v krajině. https://www.suchovkrajine.cz/vystupy/katalog-opatreni – VÚV TGM. Praha.

[4] Tuinhof A., Heederik J.P. (2003): Management of Aquifer Recharge and Subsurface Storage: Making Better Use of Our Largest Reservoir. NNC-IAH publication, no. 4. - Netherlands National Committee of the International Association of Hydrogeologists, 2003. Delft. ISBN 90-808258-1-6.

[5] Hrkal Z. et al. (2010): Zpracování metodiky pro posuzování problematiky umělé infiltrace v ČR. – VÚV TGM pro MŽP. Praha.

[6] Křivánek, O., Kněžek, M. (2001): Zdroje pitné vody v Káraném. – Pražské vodovody a kanalizace – závod Káraný. Praha.

[7] Kadlecová R. et al. (2021): Databáze výsledků, informací a zkušeností z doposud realizovaných funkčních i nefunkčních zařízení na řízenou dotaci podzemních vod v ČR. – ČGS a VÚV TGM. Praha. https://www.suchovkrajine.cz/vystupy/rizena-dotace-podzemnich-vod.

[8] Datel J. V., Hrabánková A. et al. (2021): Mapa vhodnosti území ČR k řízené dotaci podzemních vod. Uživatelský popis mapy, vysvětlivky a návod k praktickému použití. Výzkumná zpráva. –VÚV TGM. Praha. https://www.suchovkrajine.cz/vystupy/rizena-dotace-podzemnich-vod.

[9] Novák, P., J. Slavík et al. (2012): Syntetická mapa zranitelnosti podzemních vod. Praha a Brno: VÚMOP, v.v.i. a GEOtest, a.s., 2012, 44 s. ISBN 978-80-87361-19-1

[10] Hartlová, L., Novotná J. (2015): Mapa potenciálního vsaku (potenciální infiltrace) v území. Nmap. OPŽP, MŽP a SFŽP, Brno, GEOtest, 2015.

[11] Kadlecová R., Bruthans J. et al. (2023): Odborná interaktivní mapa zranitelnosti kvantity přírodních zdrojů podzemní vody k suchu. Popis mapy a metodika hodnocení zranitelnosti kvantity přírodních zdrojů podzemní vody k suchu pro území ČR. Zpráva pro projekt TAČR SS01010208. – ČGS. Praha. https://www.suchovkrajine.cz/vystupy/rizena-dotace-podzemnich-vod

IDENTIFIKACE HYDROGEOLOGICKÉ BARIÉRY V KRYSTALINICKÉM PODLOŽÍ POMOCÍ VRTU A HYDROCHEMICKÝCH DAT: PŘÍPADOVÁ STUDIE LITOVANY

IDENTIFICATION OF A HYDROGEOLOGICAL BARRIER IN CRYSTALLINE BASEMENT USING BOREHOLE AND HYDROCHEMICAL DATA: A CASE STUDY LITOVANY

Roman Hadacz[1], Jitka Novotná[1], Veronika Krškova[1], Jiří Rez[1]

[1]*Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 69 Brno, e-mail: roman.hadacz@geology.cz*

Abstrakt: Projekt *Podzemní voda v krystaliniku*, financovaný z programu SFŽP, navazuje na projekt *Rebilance zásob podzemních vod (2010–2015)*, který prokázal význam krystalinického podloží jako infiltrační oblasti pro pánevní struktury neogénu a kvartéru. Tyto oblasti jsou však současně vysoce zranitelné vůči dlouhodobému suchu a antropogenním zásahům, což se projevuje poklesem hladin podzemní vody.
Při vyhledávání puklinových kolektorů v krystalinickém podloží je klíčové identifikovat nejen zóny zvýšené propustnosti, ale i hydrogeologické bariéry, které ovlivňují směr proudění a akumulaci podzemní vody. Tyto bariéry často nejsou detekovatelné běžnými morfostrukturními metodami, mohou však být vázány na litologické kontrasty nebo tektonické struktury.
Hydrochemické analýzy podzemních vod ze studánek v obcích Litovany a Příšovice, situovaných na opačných stranách předpokládané bariéry, prokázaly výrazně odlišné chemické složení, což naznačuje omezenou hydraulickou komunikaci mezi těmito oblastmi. Tento poznatek je v souladu se zahraničními studiemi dokumentujícími bariérovou funkci tektonických struktur v krystalinickém podloží a existenci zavěšených hladin podzemní vody nad těmito bariérami.
Výsledky podporují hypotézu existence hydraulické bariéry v oblasti rozvodí, která vede k akumulaci podzemní vody ve vrcholových partiích a ovlivňuje regionální režim proudění. Identifikace těchto struktur je zásadní pro efektivní průzkum a ochranu zdrojů podzemní vody v krystalinickém podloží.

Abstract: The Groundwater in Crystalline Rocks Project, funded by the SFŽP program, follows up the Groundwater Reserve Rebalance Project (2010–2015), which demonstrated the importance of crystalline bedrock as an infiltration area for Neogene and Quaternary basin structures. However, these areas are also highly vulnerable to long-term drought and anthropogenic interventions, which is manifested in a decrease in groundwater levels.
When searching for fracture reservoirs in crystalline rocks, it is crucial to identify not only zones of increased permeability, but also hydrogeological barriers that affect the direction of flow and accumulation of groundwater. These barriers are often not detectable by conventional morphostructural methods, but may be linked to lithological contacts or tectonic structures.
Hydrochemical analyses of groundwater from wells in Litovany and Příšovice located on opposite sides of this assumed barrier, demonstrated significantly different chemical compositions, indicating limited hydraulic communication between these areas. This finding is in line with other studies documenting the barrier function of tectonic structures in the crystalline bedrock and the existence of suspended groundwater levels above these barriers.
All data suggest the existence of a hydraulic barrier in the drainage divide area, which leads to groundwater accumulation and affects the regional flow regime. Identification of these structures is essential for effective exploration and protection of groundwater resources in the crystalline bedrock.

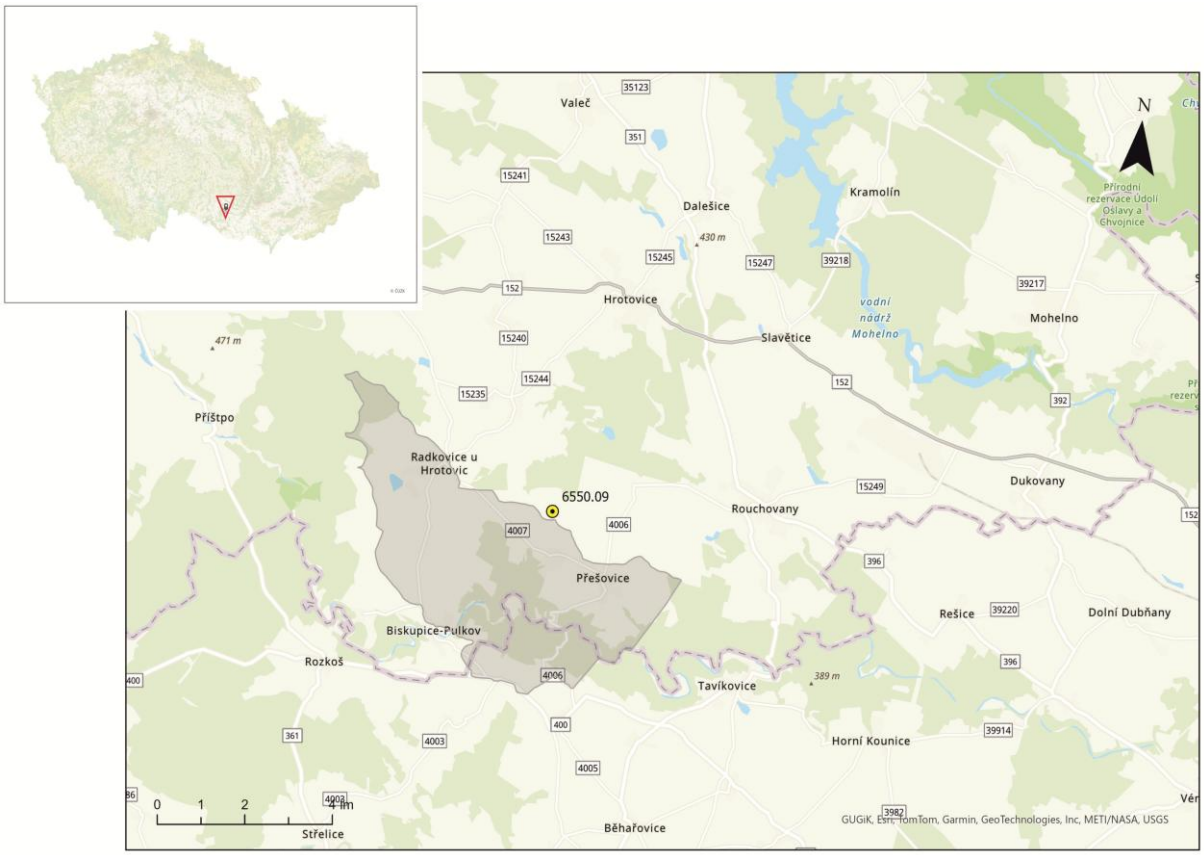
Klíčová slova: podzemní voda, bariera, krystalinikum, tektonika, geofyzika, heterogenita, Litovany

Key words: Groundwater, Barrier, Crystalline Rocks, Tectonics, Geophysics, Heterogeneity, Litovany

1. Úvod

Studovaná lokalita v oblasti Litovan, na rozvodí mezi toky Rokytné a Rouchovanky, je budována převážně ortorulami. Na vrcholové plošině nad kaňonem Rokytné byl realizován hydrogeologický vrt s cílem ověřit existenci bariérové struktury. Strukturně-geologické prvky, jako jsou poruchové zóny, puklinové systémy, mylonitové zóny a zvětralinové profily, zde vytvářejí výraznou hydrogeologickou heterogenitu. Tyto struktury způsobují kontrasty propustnosti v několika řádech, rozčleňují kolektory na hydraulicky oddělené bloky a zásadně kontrolují proudění podzemní vody (Novotná et al., 2024).
Krystalinické horniny představují významný zdroj podzemních vod zejména v oblastech s omezeným výskytem sedimentárních kolektorů. Na rozdíl od průlinových kolektorů je však akumulace a proudění podzemní vody v krystaliniku podmíněna především sekundární propustností, která vznikla působením tektonických procesů,

zvětráváním a následním vývojem puklinového systému. Hydrogeologické vlastnosti krystalinického prostředí proto vykazují značnou prostorovou heterogenitu a často se mění na vzdálenostech desítek až stovek metrů. Přestože jsou tektonické poruchy tradičně považovány za zóny zvýšené propustnosti, jejich hydrogeologická funkce není jednoznačná. V závislosti na stupni deformace, mineralizaci a charakteru výplní mohou působit nejen jako preferenční migrační cesty podzemní vody, ale také jako hydraulické bariéry, které omezují vzájemnou komunikaci jednotlivých částí horninového masivu. Rozlišení těchto různých funkcí představuje jednu ze základních výzev hydrogeologického průzkumu krystalinických oblastí. Samostatné využití jednotlivých průzkumných metod zpravidla neposkytuje dostatek informací pro spolehlivou interpretaci složitých hydrogeologických poměrů. Geologická a strukturní měření umožňují objasnit vznik a orientaci tektonických struktur, geofyzikální metody zobrazují jejich prostorový průběh, vrtné práce a karotáž poskytují přímou informaci o horninovém prostředí a hydraulických vlastnostech, zatímco hydrochemické charakteristiky umožňují ověřit dlouhodobé vztahy mezi jednotlivými částmi proudového systému. Teprve současným využitím těchto metod lze sestavit spolehlivý koncepční model proudění podzemní vody v krystalinickém prostředí. Předložený příspěvek představuje první výsledky komplexního průzkumu hydrogeologických heterogenit na lokalitě Litovany v moldanubiku jihozápadní Moravy v hydrogeologickém rajonu 6550 Krystalinikum v povodí Jihlavy, realizovaného v rámci projektu České geologické služby **„Podzemní voda v krystaliniku“**. Lokalita byla vybrána vzhledem k existenci zvodnění velmi vysoko nad drenážní bází a současně přítomnosti výrazných tektonických struktur, jejichž hydrogeologický význam byl ověřován kombinací strukturní geologie, geofyzikálních metod, vrtných prací a hydrogeologických měření. Cílem příspěvku není pouze popsat výsledky jednotlivých metod, ale především ukázat jejich vzájemnou provázanost při identifikaci hydrogeologických heterogenit krystalinického masivu a při tvorbě koncepčního modelu proudění podzemní vody. Zájmová lokalita je patrná z obr. 1.



Obr. 1 Zájmové území Litovany v hydrogeologickém rajonu 6550.
Fig. 1 The area of interest Litovany in the hydrogeological district 6550.

2. Metodika

Lokalita Litovany byla hodnocena komplexním přístupem založeným na kombinaci geologických, geofyzikálních a hydrogeologických metod s cílem identifikovat hydrogeologické heterogenity krystalinického masivu. V první fázi bylo provedeno studium dostupných geologických podkladů doplněné terénním geologickým mapováním a strukturní analýzou zaměřenou na dokumentaci foliace, mylonitových zón a puklinových systémů. Současně byla provedena interpretace morfolineamentů a ortofotomap za účelem identifikace liniových struktur a vlhkostních

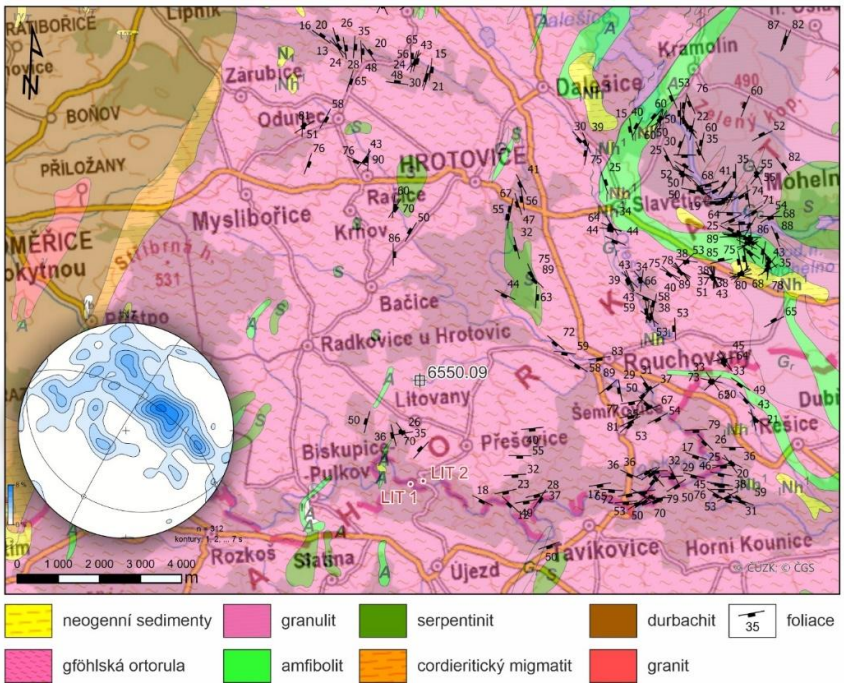
anomálií, které mohou indikovat preferenční směry proudění podzemní vody. Na základě výsledků strukturní analýzy byl realizován geofyzikální průzkum kombinující mělkou refrakční seismiku (MRS P- a S-vln) a elektrickou rezistivitní tomografii (ERT). Geofyzikální metody byly využity k vymezení mocnosti zvětralinového pláště, průběhu skalního podloží, identifikaci tektonicky porušených zón a vyhledání perspektivních hydrogeologických struktur. Interpretace geofyzikálních výsledků byla ověřena průzkumným hydrogeologickým vrtem s označením 6550.09, jehož součástí bylo karotážní měření, dokumentace přítokových horizontů a hydraulické zkoušky. V průběhu průzkumu byly dále prováděny odběry vzorků podzemních a povrchových vod, hydrometrická měření a hydrochemické analýzy, které slouží k ověření hydraulických vazeb a charakteru proudění podzemní vody. Metodický postup byl navržen tak, aby jednotlivé metody na sebe navazovaly a vzájemně ověřovaly interpretaci hydrogeologických heterogenit krystalinického masivu od regionálního měřítka až po ověření průzkumným vrtem.

3. Výsledky

Komplexní průzkum lokality Litovany potvrdil výraznou heterogenitu krystalinického masivu podmíněnou geologickou stavbou a tektonickým vývojem území. Vzájemnou interpretací výsledků strukturního mapování, geofyzikálních měření a hydrogeologických prací byly identifikovány hlavní faktory ovlivňující proudění podzemní vody. Nejvýznamnější výsledky jednotlivých metod jsou uvedeny v následujících podkapitolách.

3.1 Strukturní měření

Struktura Litovany leží v pestré skupině moldanubika. Území je tvořeno převážně gföhlskými rulami. Jedná se o migmatitizované biotitické ortoruly. Tyto ortoruly jsou protkány nepravidelnými tělesy amfibolitů, serpentinitů a hlavně granulitů (obr. 2). Všechny horniny mají vyvinutu výraznou foliaci, která vytváří poměrně výraznou antiklinálu s průměrnou osou 213/28 (obr. 2). Tato antiklinála je také patrná z průběhu amfibolitových pruhů konkordantních s foliací mezi Dalešicemi a Mohelnem.

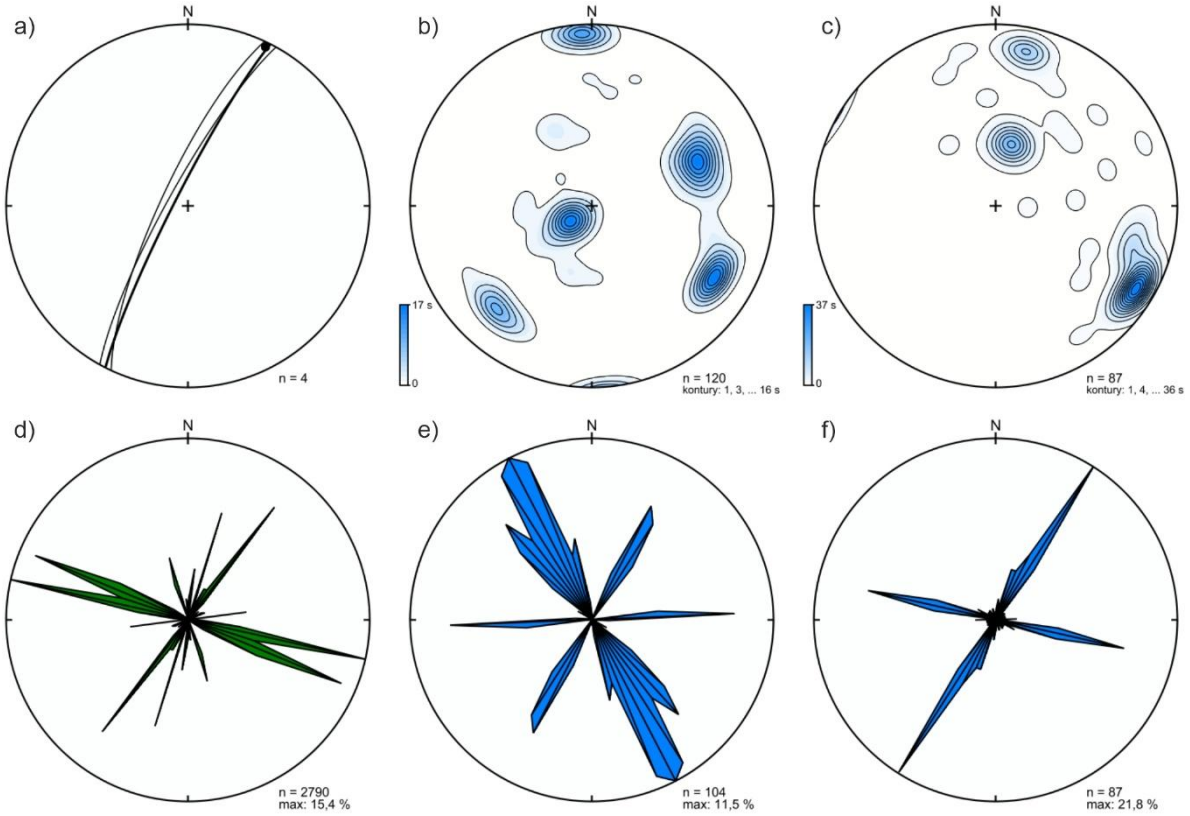


Obr. 2 Geologická mapa okolí Litovan (ČGS 2026). LIT1 a LIT2 jsou lokality se strukturními měřeními. Pozice vrtu 6550.09 vyznačena čtverečkem. Přiložený konturový diagram jsou normály ploch foliace (rovnoplochá projekce, spodní polokoule).

Fig. 2 Geological map of the Litovany area (Czech Geological Survey, 2026). LIT1 and LIT2 indicate the locations of structural measurements. The position of borehole 6550.09 is marked by a square. The accompanying contour diagram shows poles to foliation planes (equal-area projection, lower hemisphere).

Na lokalitě 1 je vyvinuta relativně mocná (±40m) poloha silně prokřemenělého mylonitu (obr. 4). Tato mylonitová zóna ssv.-jjz. směru se velmi strmě uklání k SZ. Prakticky horizontální rýhování na plochách foliace indikuje horizontální charakter pohybů podél této zóny. Jak makroskopicky (obr. 4c) tak mikroskopicky (obr. 4d,e) je patrná S-C stavba s pravostrannou asymetrií, což indikuje sunutí západní kry k SSV.

Vzhledem k charakteru terénu byla puklinová síť dokumentována na dvou lokalitách v údolí Rokytky (obr. 2). Obě lokality vykazují mírně odlišnou puklinovou stavbu (obr. 2b,c a obr. 2e,f). Společným systémem puklin jsou ssv.-jjz. pukliny strmě se uklánějící k SZ a východo-západní pukliny strmě ukloněné k jihu (obr. 3b,c). Na lokalitě 2 zcela chybí tři systémy puklin prakticky stejného směru, ale rozdílných sklonů. Jedná se o SSZ – JJV orientované pukliny strmě a mírně ukloněné k SV a JV (obr. 3b,e). Z tohoto důvodu byly použity konturové diagramy a ne jen „tradiční“ růžicové diagramy, které v tomto případě tyto rozdílné systémy puklin stírají do jednoho systému.



Obr. 3 Diagramy orientace základních strukturních prvků: a) synoptický diagram orientace velké mylonitové zóny v údolí Rokytné (puntík je orientace rýhování); b) konturový diagram normál puklin na lokalitě 1; c) konturový diagram normál puklin na lokalitě 2; d) růžicový diagram morfolineamentů ze širšího okolí lokality (vážený délkou morfolineamentu); e) růžicový diagram směrů puklin na lokalitě 1; f) růžicový diagram směrů puklin na lokalitě 2. Rovnoplochá projekce na spodní polokouli, velikosti tříd růžicových diagramů jsou 5°.
Fig. 3 Orientation diagrams of the main structural features: (a) synoptic diagram of the orientation of the major mylonite zone in the Rokytná Valley (the dot indicates the orientation of lineation); (b) contour diagram of poles to fractures at Site 1; (c) contour diagram of poles to fractures at Site 2; (d) rose diagram of morpholineaments in the wider study area (weighted by morpholineament length); (e) rose diagram of fracture orientations at Site 1; (f) rose diagram of fracture orientations at Site 2. Equal-area projection, lower hemisphere. The class interval of the rose diagrams is 5°.

Výše popsaná mylonitová zóna je jedna z několika podobných a podobně orientovaných mylonitových zón v moldanubiku (např. mylonitová zóna východně od Brtnice). Vzhledem k výraznému prokřemenění, které se projevuje i morfologicky v mapě, lze usuzovat, že navzdory tomu, že sama mylonitová zóna je rozpukána (pukliny jsou sevřené), působí jako izolátor pro hydrogeologickou strukturu Litovany. Tyto mylonitové zóny jsou tedy významné izolátory v relativně regionálním měřítku (napříč několika povodími 4. řádu).
Z orientace nejvýraznějšího systému puklin (směr SSV-JJZ) je patrná genetická spojitost tohoto systému s výše popsanou mylonitovou zónou. Také východo-západní (±15°) pukliny jsou geneticky spjaté s tektonickými liniemi, jak dokládá růžicový diagram na obr. 2d. Tři systémy SSZ-JJV puklin jsou také geneticky spjaty se zlomovou tektonikou. Tento směr také tvoří maximum v růžicovém diagramu na obr. 2d, byť nepříliš výrazné. Dá se předpokládat, že tyto zlomy jsou převážně kratší a mají tedy spíše lokální charakter. Pro migraci podzemní vody jsou ovšem stejně významné jako dva hlavní systémy. Na lokalitě 1 jsou prominentní, protože rigidnější mylonitová zóna je orientována prakticky kolmo na tyto směry a popraskala více než plastičtější okolí.

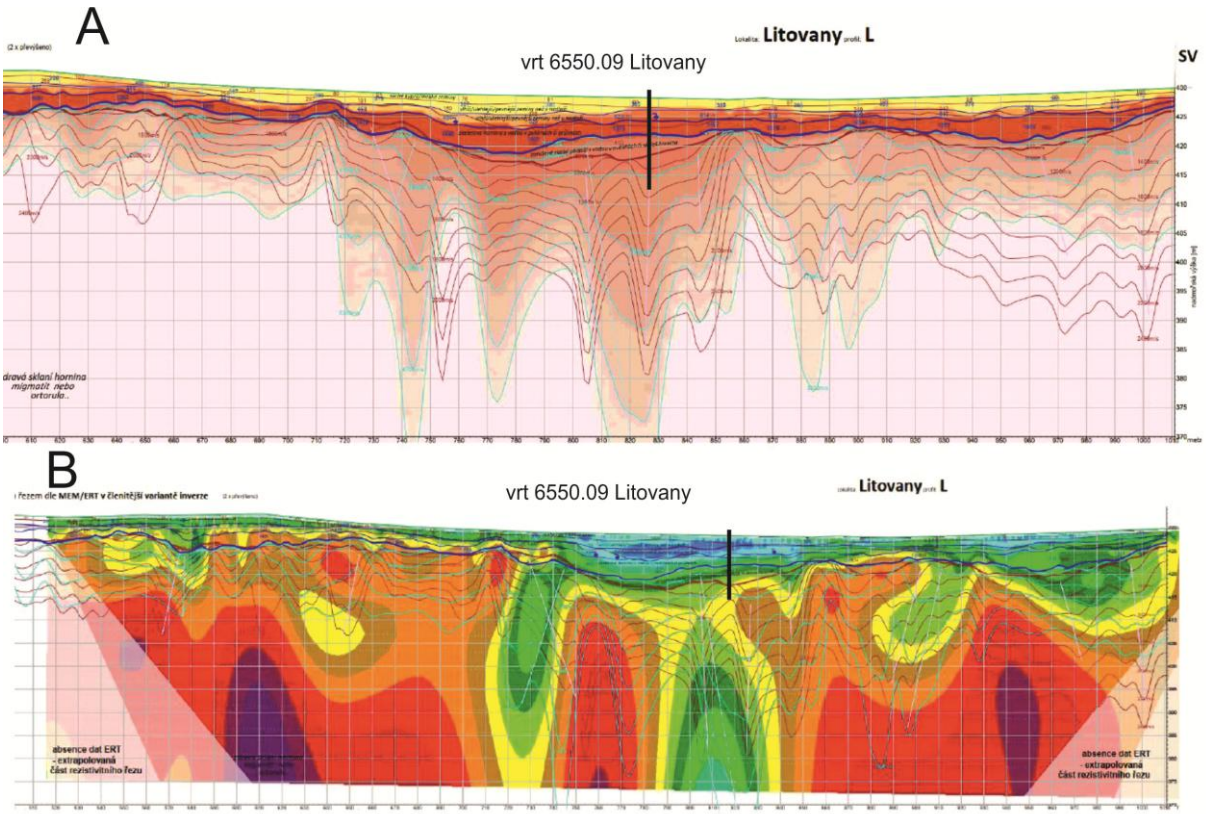
Obr. 4 Fotografická dokumentace mylonitové zóny: a) celkový pohled ze severu; b) detailní pohled na mylonitovou zónu; c) detailní pohled na deformační foliaci s náznaky S-C stavby s pravostrannou asymetrií (fotografie natočena paralelně s foliací); d, e) mikrofotografie mylonitu s jasně patrnou pravostrannou asymetrií S-C stavby (zkřížené nikoly).

Fig. 4 Photographic documentation of the mylonite zone: (a) general view from the north; (b) close-up view of the mylonite zone; (c) close-up view of the deformation foliation showing indications of a dextral S–C fabric (photograph taken parallel to the foliation); (d, e) photomicrographs of the mylonite displaying a well-developed dextral S–C fabric (crossed polarizers).

3.2 Geofyzikální měření

V rámci geofyzikálního průzkumu byly na lokalitě Litovany realizovány dva profily označené **L** a **LK**. Profil L byl proměřen v délce přibližně 1010 m metodou mělké refrakční seismiky (MRS P- a S-vlny) a v délce 522 m metodou elektrické rezistivitní tomografie (ERT). Profil LK byl proměřen v délce 516 m metodou MRS a 522 m metodou ERT. Interpretace profilů ukazuje, že svrchní část geologického prostředí tvoří několik vrstev kvartérních až eluviálních sedimentů, jejichž mocnost i fyzikální vlastnosti se podél profilů mění. Pod nimi se nachází postupný přechod do silně zvětralého krystalinického podloží, které směrem do hloubky přechází do kompaktnější

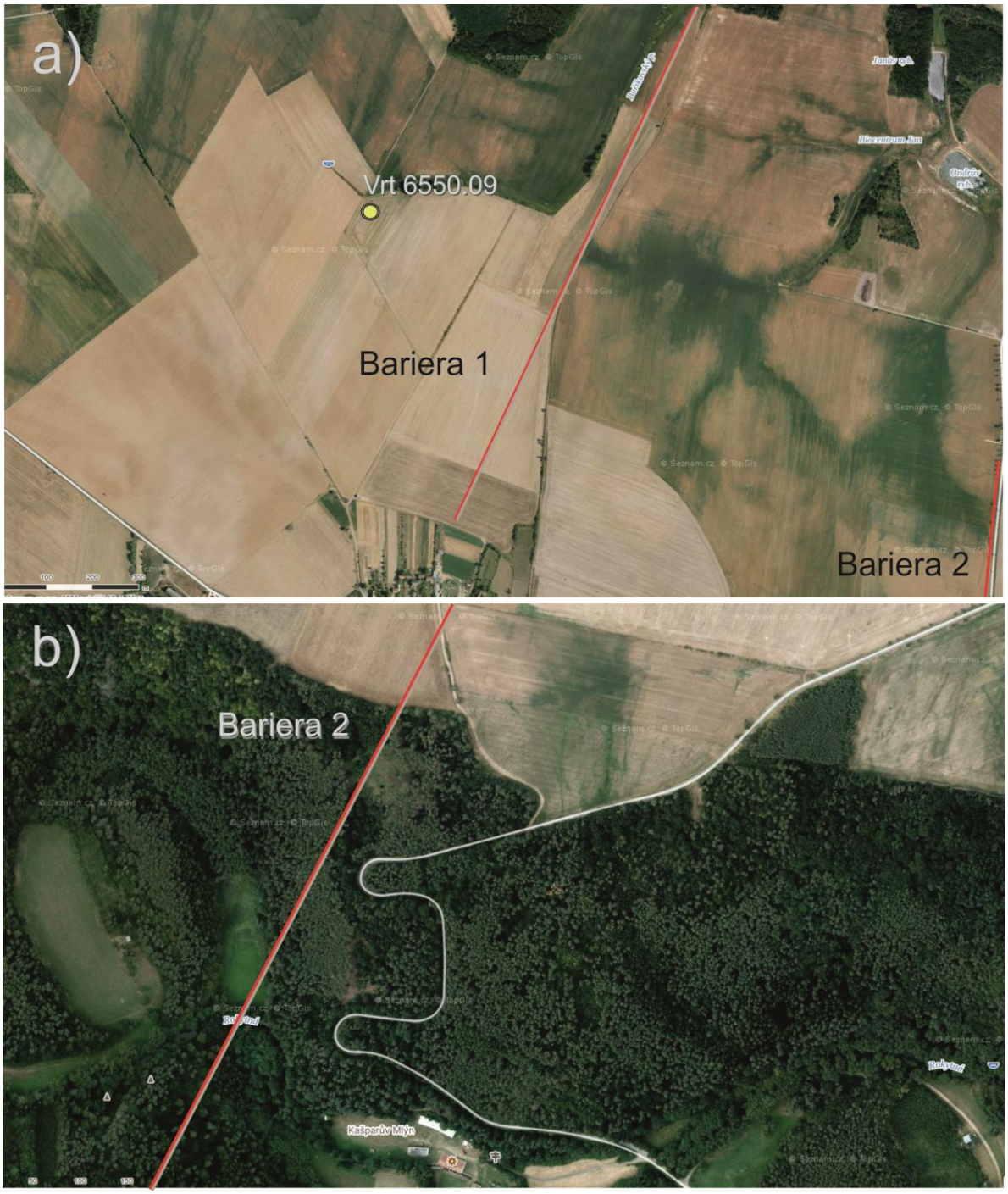
horniny. Valtr (2024) upozorňuje, že v prostředí rulového krystalinika bývá přechod mezi eluviem a skalním podložím zpravidla pozvolný, nikoliv ostrý. Celkově geofyzikální průzkum poskytl podrobný obraz stavby horninového prostředí v lokalitě Litovany a umožnil zpřesnit interpretaci mocnosti zvětralinového pláště, průběhu skalního podloží i prostorového rozložení puklinových zón. Tyto výsledky představovaly důležitý podklad pro návrh umístění průzkumného hydrogeologického vrtu a následnou interpretaci jeho výsledků. Přibližně staničení 825 m v profilu označené L je viditelná nejhlubší deprese vyplněná zvětralejší horninou. Tato anomálie je patrná i z terénního šetření a je na ní umístěn i vrt 6550.09 Litovany, jak je vidět na obr. 5 A a B, který porovnává různé metody zobrazení.



*Obr. 5 A geofyzikální řez - profil L - podle MRS S-vln (hnědě) a MRS P-vln (modře) s podloženou mapou distribuce rychlosti šíření seismické **P-vlny VP [m/s]***
*B geofyzikální řez - profil L - podle MRS S-vln (hnědě) a MRS P-vln (modře) s podloženým rezistivitním řezem dle **MEM/ERT** v členitější variantě inverze.*
Fig. 5 A Geophysical cross-section – Profile L – based on shallow seismic refraction S-wave velocities (brown) and P-wave velocities (blue), overlain on a map of P-wave velocity (Vp, m/s) distribution.
B Geophysical cross-section – Profile L – based on shallow seismic refraction S-wave velocities (brown) and P-wave velocities (blue), overlain on an electrical resistivity tomography (MEM/ERT) section obtained using the more detailed inversion model.

3.3 Vlhkostní anomálie – projevy hydrogeologické heterogenity v krajině pomocí DPZ

Dálokový průzkum Země (DPZ) zachycuje odlišné projevy hydrogeologických heterogenit v závislosti na typu krajinného pokryvu. V zemědělské krajině se předpokládaná Bariéra 1 projevuje převážně vegetačními a vlhkostními anomáliemi, zatímco v lesním prostředí prokazatelné mylonitové zóny (Bariéra 2) jsou patrné liniové změny charakteru lesního porostu doprovázené lokálně zvýšenou vlhkostí (obr. 6a,b). Jejich poloha odpovídá průběhu geologicky ověřené mylonitové zóny a naznačuje, že její přítomnost se odráží také v povrchových projevech krajiny. V kombinaci se strukturním mapováním, geofyzikálními výsledky a hydrogeologickými daty představují tyto projevy podpůrný argument pro interpretaci mylonitové zóny jako hydraulické bariéry.



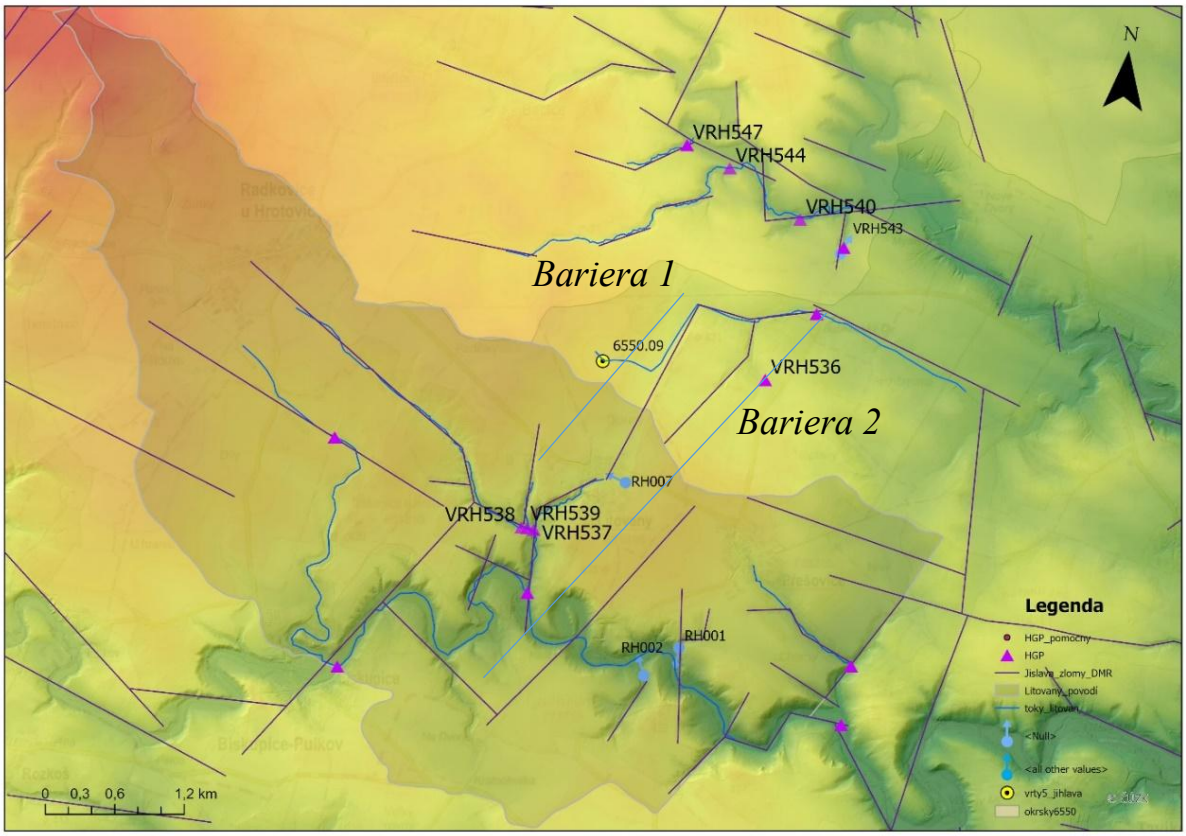
Obr. 6 a) Zemědělská krajina – vegetační a vlhkostní anomálie; b) Lesní porost – liniové změny vegetace nad mylonitovou zónou.

Fig. 6 a) Agricultural landscape – vegetation and moisture anomalies; b) Forested area – linear vegetation anomalies above the mylonite zone.

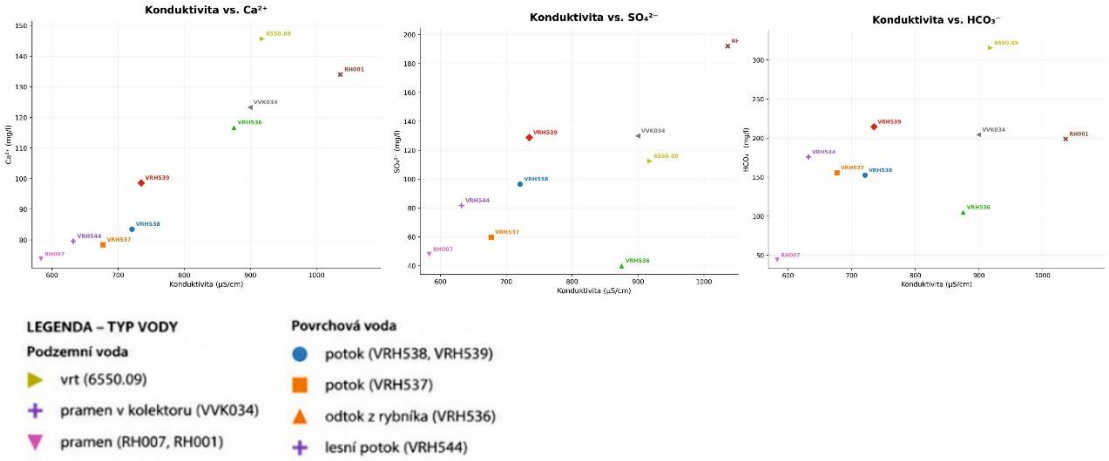
3.4 Vzorky povrchových a podzemních vod

Předběžné výsledky hydrochemických analýz naznačují prostorovou proměnlivost chemického složení podzemních i povrchových vod ve vztahu k interpretovaným hydraulickým bariérám. Situace lokality je patrná z obr. 7. Rozdíly v elektrické konduktivitě a koncentracích hlavních iontů (Ca^{2+}, HCO_3^- a SO_4^{2-}) ukazují, že jednotlivé hydrogeologické zóny se mohou vyznačovat odlišným režimem cirkulace podzemní vody a různou mírou interakce vody s horninovým prostředím (obr. 8 a tab. 1). Nejvýraznější odlišnosti byly zaznamenány u pramene situovaného pod prokázanou mylonitovou zónou, zatímco vody z prostoru mezi bariérami vykazují větší variabilitu odpovídající pravděpodobně kombinaci mělkého a hlubšího oběhu podzemní vody. Kvalitu vod podmiňují i výrazné antropogenní vlivy. Vzhledem k dosud neukončeným odběrům, laboratorním analýzám a

jejich komplexnímu vyhodnocení představují uvedené výsledky předběžnou interpretaci, která bude dále zpřesňována v dalších etapách projektu.



Obr. 7 Rozmístění hydrogeologických objektů, odběrových míst a interpretovaných lineamentů v povodí Litovan.
Fig. 7 Distribution of hydrogeological features, sampling sites, and interpreted lineaments in the Litovany catchment.



Obr. 8 Rozdíly v elektrické konduktivitě a koncentracích hlavních iontů (Ca^{2+}, HCO_3^- a SO_4^{2-}) s rozlišením povrchových a podzemních odběrů vzorků.
Fig. 8 Differences in electrical conductivity and major ion concentrations (Ca^{2+}, HCO_3^-, and SO_4^{2-}) for surface-water and groundwater samples.

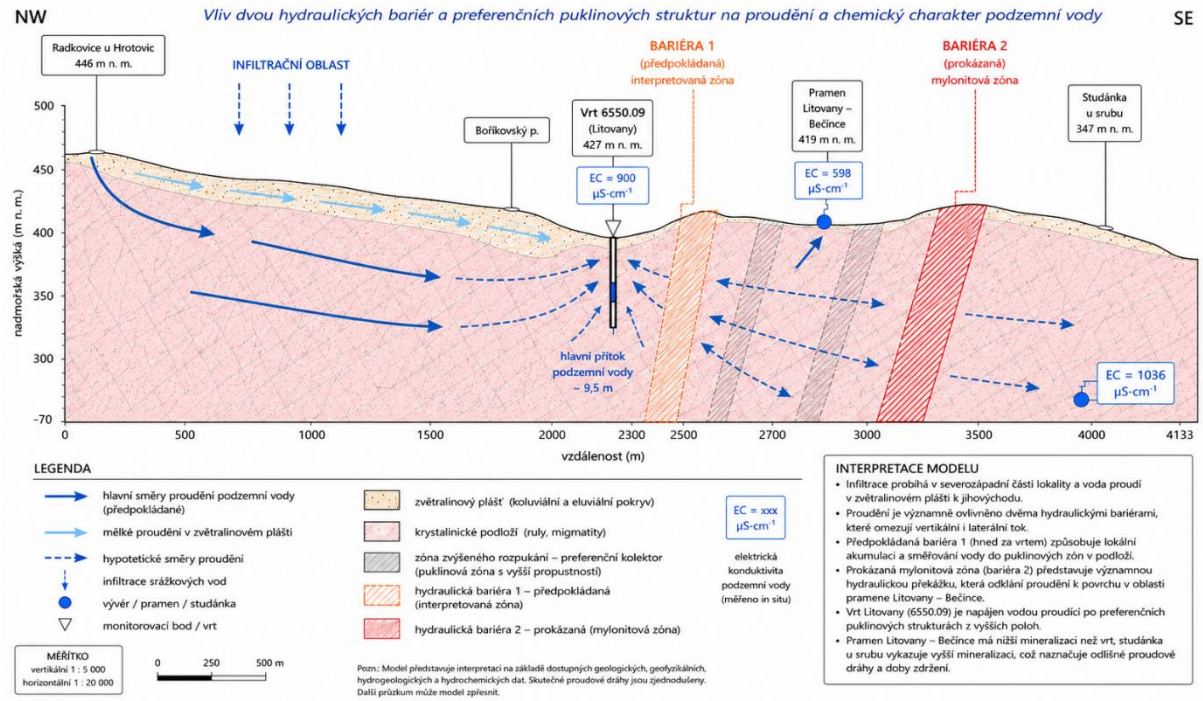
Tab. 1 Souhrnná tabulka s rozlišením dat podle hydrochemie ve vztahu k bariérám
Tab. 1 Summary table of hydrochemical data in relation to the barriers.

Hydrogeologická zóna	Objekty	Charakter vody	Interpretace
Zóna A (před bariérou 1)	6550.09, VRH538	vyšší EC, vyšší HCO_3^-	hlubší cirkulace před bariérou
Zóna B (mezi bariérami)	RH007, VRH536, VRH537, VRH539	proměnlivý chemismus	směs mělké a hlubší cirkulace
Zóna C (pod bariérou 2)	RH001	nejvyšší EC, zvýšené SO_4^{2-}	hydrochemicky odlišná voda
Referenční	VVK034, VRH544	mimo model	okrajová lokalita

Vysvětlivky: EC - kondiktivita

4. Diskuze

Výsledky získané na lokalitě Litovany naznačují, že hydrogeologické poměry jsou významně ovlivněny tektonickou stavbou území. Dosavadní shoda mezi výsledky strukturního mapování, DPZ, geofyzikálních měření a vrtných prací podporuje interpretaci prokázané mylonitové zóny jako významné hydraulické bariéry (bariéra 2) a současně naznačuje existenci další interpretované bariéry (respektive systému barier SZ-JV), jejíž hydrogeologický význam bude předmětem dalšího ověřování (bariéra 1). Na obr. 9 je předběžný pracovní (koncepční) hydrogeologický model, který představuje interpretaci současného stavu poznání a bude dále zpřesňován po dokončení hydrochemických analýz a ověření výsledků na dalších lokalitách projektu.

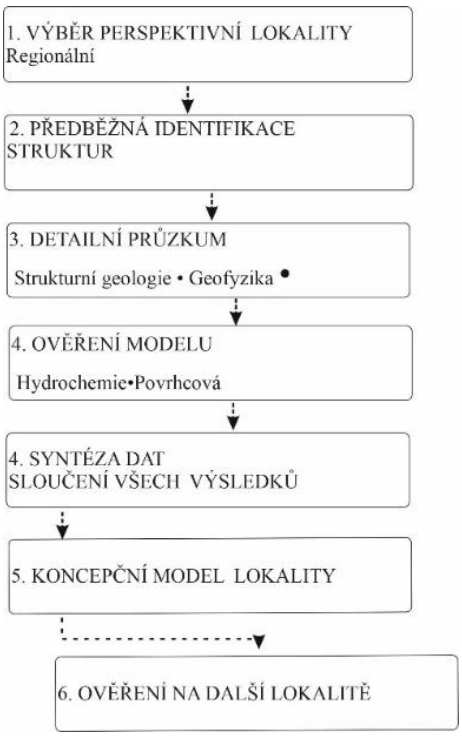


Obr. 9 Pracovní model proudění podzemní vody v oblasti Litovan s předpokládaným vlivem hydraulické bariéry.
Fig. 9 Preliminary conceptual model of groundwater flow in the Litovany area, illustrating the inferred influence of the hydraulic barrier.

5. Závěr

Případová studie lokality Litovany představuje první ověření navrženého pracovního postupu identifikace hydrogeologických heterogenit v krystalinických horninách. Výsledky potvrzují význam postupné integrace regionální geologické analýzy, terénní rekognoskace, DPZ, strukturní geologie, geofyzikálních metod, vrtných prací, hydrodynamických zkoušek a hydrochemických analýz při interpretaci hydrogeologických poměrů. Navržený postup (obr. č. 10) bude v rámci projektu **Podzemní voda v krystaliniku** dále ověřován na dalších lokalitách s odlišnými geologickými a hydrogeologickými podmínkami. Předložené výsledky představují první

etapu řešení a navržený pracovní (koncepční) model bude dále zpřesňován na základě dokončení hydrochemických analýz, jejich statistického vyhodnocení a ověření na dalších lokalitách projektu. Cílem navazujícího výzkumu je vytvoření a ověření jednotného metodického postupu pro identifikaci hydrogeologických heterogenit a hodnocení puklinových kolektorů v krystalinických horninách.



Obr. 10 Navržený metodický postup pro identifikaci hydrogeologických heterogenit.
Fig. 10 Proposed methodological approach for identifying hydrogeological heterogeneities.

Poděkování: Příspěvek byl připraven v rámci projektu SFŽP, *Podzemní voda v krystaliniku* CZ.05.01.03/07/22_006/0000270.

Seznam literatury

Novotná, J., Kryštofová, E., Hadacz, R., Vít, J., Kršková, V., Paleček, M., Jelének, J., Jelínek, J., Skácelová, Z., Hroch, T., Cígler, V., Gilíková, H., Hrdličková, K., Hanžl, P., Uhrová, L., Rez, J., Sedláček, J., Mixa, P., Nečas, J., Hlávka, D., Jačková, I., Kondrová, L., Rukavičková, L., Tomanová Petrová, P., Králová, M., Drahoš, K., Havlín, A., Fárová, K., Čejková, B., 2024: *Podzemní voda v krystaliniku. Etapová zpráva 2024. Hydrogeologický rajon 6550 Krystalinikum v povodí Jihlavy.* – Česká geologická služba. Brno.
Novotná, J., Jelínek, J., Jelének, J., Hroch, T., Kršková, V., Králová, M., Vít, J., Paleček, M., Skácelová, Z., Hadacz, R., Rez, J., Kryštofová, E., Sedláček, J., Mixa, P., 2024: *Podzemní voda v krystaliniku. Etapová zpráva 2024. Metodika.* Česká geologická služba. Brno.
Valtr. V., 2024: *Geofyzikální měření krystalinika část 3_HGR 6550, Krystalinikum v povodí Jihlavy, lokality Litovany a Suchá, Závěrečná zpráva.* SIHAYA, spol. s r. o. Brno.

OTÁZKU PŮVODU VODY V HYDROGEOLOGICKÉ STRUKTUŘE JAVOŘÍČSKÉHO A MLADEČSKÉHO KRASU

Mgr. Eva Kryštofová

E-mail: eva.krystofova@geology.cz
Česká geologická služba, Jircháře 4a, 602 00 Brno

Další autoři: RNDr. Jitka Novotná, Mgr. Roman Novotný, Mgr. Vít Baldík, RNDr. Jiří Rez, Ph.D.

Abstrakt:
Pohyb vody v krasových zvodněných systémech je řešen v mnoha vědeckých studiích, avšak převážně pouze v rozsahu vlastního kolektoru vázaného na krasovějící vápence. V oblasti Javoříčského a Mladečského krasu je objem vody odtékající v drenážní oblasti významně vyšší, než by odpovídalo přímé infiltraci srážek na ploše vápenců a dotaci ponornými toky na kontaktu vápenců a okolních hornin. Otázka původu podzemní vody v drenážní oblasti Javoříčského a Mladečského krasu a zejména ve strategickém jímacím území Čerlinka je řešena dlouhodobě, zejména z důvodu efektivní ochrany kvality a množství vody využívané pro zásobování obyvatel. V rámci aktuálně řešené studie byla navržena hypotéza nepřímého (vzdáleného) dotačního zázemí, kdy krasové kolektory představují tranzitní cestu pro podzemní vody z přilehlé pánevní struktury s vlastní infiltrační oblastí. Javoříčský a Mladečský kras leží v centrální části Moravy a jedná se roztroušený kras vázaný na ostrůvky paleozoických vápenců vystupující z komplexu sedimentů drahanského kulmu mezi Konicí a Litovlí. Vlastní plocha vápencových výchozů dosahuje pouze 11 km2 a tvoří terénní elevace s několika jeskynními systémy bez aktivního vodního toku. Propojení jednotlivých vápencových výchozů pod povrchem není zcela známo, jejich částečná hydrogeologická komunikace byla prokázána stopovacími pokusy. V hlavní drenážní bázi odtéká značné množství podzemní vody – 190 l/s čerpáno v JÚ Čerlinka; 10–40 l/s vyvěrá v Řimických vyvěračkách a neznámé množství vody skrytě dotuje lužní les Vrapač.

Hlavní drenážní oblast Javoříčského a Mladečského krasu sousedí s Mohelnickou brázdou, což je kaňonovitá hydrogeologická pánevní struktura vyplněná až 300 m plioplestocenních sedimentů, z toho připadá více než 100 m na průlinové kolektory v celém rozsahu zvodněné.V místě kontaktu Mohelnické brázdy s paleozoickými horninami v oblasti třesínského prahu v údolí Moravy se mocnost výplně Mohelnické brázdy snižuje na pouhých 5 m a část podzemní vody zřejmě využije krasové kolektory paleozoických vápenců jako tranzitní cestu do hlavní drenážní oblasti.

Hypotéza nepřímého dotačního zázemí mění pohled na celkovou bilanci vody v Javoříčském a Mladečském krasu, který není možné chápat jako samostatnou hydrogeologickou strukturu, ale jako součást rozsáhlého zvodněného systémů složeného z několika různých hydrogeologických prostředí.

PŘÍHRANIČNÍ SPOLUPRÁCE V PROJEKTECH INTERREG AT-CZ A SK-CZ ZAMĚŘENÝCH NA PODZEMNÍ VODY A ELIMINACI SUCHA
ČÍSLO SEKCE: HG1

Mgr. Tomáš Kuchovský, Ph.D.

E-mail: tomas@sci.muni.cz
Ústav geologických věd PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno

Další autoři: Mgr. Adam Říčka, Ph.D., Mgr. Petr Vaníček, Ph.D., Mgr. Bibiána Pasternáková, Ph.D., prof. RNDr. Slavomír Nehyba, Dr., prof. RNDr. Jaromír Leichmann, Dr. rer. nat., RNDr. Petr Navrátil, Mgr. Šárka Zemanová

Abstrakt:
V letech 2024 – 2027 jsou na pracovišti Ústavu geologických věd PřF MU v Brně řešeny projekty Interreg AT-CZ a SK-CZ zaměřené na podzemní vody a eliminaci sucha v jihomoravském kraji a v sousedních regionech na rakouské a slovenské straně. Projektovými partnery jsou ČHMÚ, SHMÚ, GeoSphere Austria a DIAMO, s.p. Jedním z dílčích cílů obou projektů je vyhledání geologických struktur potenciálně významných pro vodohospodářské využití v obdobích sucha, ověření aktuálního stavu jejich zvodnění a posouzení časového vývoje kvantitativních a kvalitativních parametrů podzemních vod.

Předběžné výsledky ukazují na dlouhodobý poklesový trend hladin a vydatností pramenů v infiltračním zázemí kolektorů při z. okraji karpatské předhlubně. 3-D analýza geologických poměrů založená na interpretaci litologických profilů archivních vrtů a sedimentologických charakteristik hornin prokázala, že v česko-rakouském příhraničí při z. okraji karpatské předhlubně jsou kolektory formované jednotlivými sedimentárními tělesy spíše s lokálním rozsahem a nevytváří hydraulicky spojitý zvodněný systém. Naopak v některých částech vídeňské pánve lze lokálně identifikovat potenciálně vodohospodářsky nadějné plošně rozsáhlé kolektory, s velmi dobrou kvalitou podzemních vod. Izotopové složení podzemních vod prokazuje, že tyto kolektory obsahují recentní podzemní vody aktuálně doplňované infiltrací atmosférických srážek. Naopak při z. okraji karpatské předhlubně, v lokálních kolektorech formovaných jednotlivými sedimentárními tělesy, často převládají starší vody infiltrované v podstatně chladnějších klimatických podmínkách.

MĚLKÁ PODZEMNÍ VODA V LUŽNÍ NIVĚ DYJE: 75 LET MONITORINGU, DLOUHODOBÉ TRENDY A VLIV VODOHOSPODÁŘSKÝCH ZÁSAHŮ

SHALLOW GROUNDWATER IN THE DYJE RIVER FLOODPLAIN: 75 YEARS OF MONITORING, LONG-TERM TRENDS AND THE IMPACT OF WATER MANAGEMENT INTERVENTIONS

Anna Lamačová[1,3], Hana Hornová[2], Alice Musilová[2], Helena Bažantová[1]

[1]Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4, e-mail: anna.lamacova@chmi.cz; helena.bazantova@chmi.cz
[2]Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 2578/43, 616 67 Brno, e-mail: alice.musilova@chmi.cz; hana.hornova@chmi.cz
[3]Česká geologická služba, Klárov 131/3, 118 00 Praha 1

Abstrakt: Hydropedologický profil Ladná v nivě Dyje, provozovaný Českým hydrometeorologickým ústavem od roku 1948, patří k nejdéle kontinuálně sledovaným profilům mělké podzemní vody v České republice. Studie hodnotí dlouhodobý vývoj hladiny podzemní vody (HPV) na 25 objektech pomocí Mann–Kendallova testu s trend-free pre-whiteningem, Pettittova testu změnového bodu a zobecněných aditivních modelů. Průkazný pokles HPV byl zjištěn u 17 objektů (68 %), průkazný vzestup u tří objektů na pravém břehu. Modely ukázaly, že vývoj není monotónní; ze čtyř vymezených fází poklesu byly jako hlavní identifikovány období 1968–1972, 1987–1991 a 2016–2019, fáze vzestupu pak spadá do let 1994–1997. Načasování se překrývá s regulací koryta Dyje zahájenou koncem 60. let, s dokončením soustavy Nové Mlýny a s revitalizačními opatřeními první poloviny 90. let. Sezónní amplituda HPV poklesla mezi obdobími 1965–1969 a 2016–2020 u všech 15 objektů hlavní analýzy, mediánově o 31 %; míra poklesu se snižuje s rostoucí vzdáleností od toku (Spearmanovo $\rho = 0{,}56$; $p = 0{,}031$). Výsledky dokládají postupnou ztrátu přirozené dynamiky mělké zvodně v regulované nivě.

Abstract: The Ladná hydropedological profile in the Dyje River floodplain, operated by the Czech Hydrometeorological Institute since 1948, is among the longest continuously monitored shallow groundwater profiles in the Czech Republic. This study evaluates long-term groundwater level (GWL) development at 25 wells using the Mann–Kendall test with trend-free pre-whitening, the Pettitt change-point test and generalised additive models. A significant decline was detected at 17 wells (68%) and a significant rise at three wells on the right bank. The models revealed non-monotonic development; of the four phases of decline identified, those in 1968–1972, 1987–1991 and 2016–2019 were considered the main ones, while the phase of increase falls within 1994–1997. This timing overlaps with the channelisation of the Dyje River initiated in the late 1960s, the completion of the Nové Mlýny reservoir system and the restoration measures of the early 1990s. Seasonal GWL amplitude decreased between 1965–1969 and 2016–2020 at all 15 wells of the main analysis, with a median reduction of 31%; the magnitude of the decrease diminishes with increasing distance from the river channel (Spearman $\rho = 0.56$; $p = 0.031$). The results indicate a progressive attenuation of seasonal groundwater dynamics in the regulated floodplain.**Klíčová slova:** hladina podzemní vody, lužní niva, Dyje, dlouhodobé trendy, aditivní modely

Key words: groundwater level, river floodplain, Dyje, long-term trends, additive models

1. Úvod

Hydropedologický profil Ladná se nachází v Dyjsko-moravské nivě, která je podcelkem Dolnomoravského úvalu (Demek, Mackovčin, 2006), v prostředí lužních lesů na dolním toku Dyje. Profil byl vybudován v roce 1948 jako podklad pro posouzení proveditelnosti průplavu Dunaj–Odra–Labe. Přestože záměr nebyl realizován, profil zůstal v provozu a představuje dnes jedinečný zdroj dat o dynamice mělké podzemní vody v nivě.
Zájmové území prošlo od konce 60. let 20. století rozsáhlými vodohospodářskými zásahy. S postupnou výstavbou vodohospodářských úprav zahrnujících regulaci Dyje a Moravy se započalo v roce 1968, souhrnné projektové řešení soustavy Nové Mlýny bylo schváleno v roce 1972 a první etapa výstavby zahájena v roce 1974; dolní novomlýnská nádrž byla uvedena do provozu v roce 1989 (Povodí Moravy, 2019). Úpravy koryta vedly k eliminaci pravidelných jarních rozlivů a k poklesu hladiny podzemní vody, přičemž roční dynamika jarních maxim a podzimních minim zůstala v té době zachována (Prax et al., 2011). Rozsah změny dokládá skutečnost, že první krátkodobá povodeň po dokončení úprav nastala až po 34 letech, na konci března 2006 (Prax et al., 2011). Koncem 80. let se po sérii srážkově podnormálních let projevil v lužních porostech vláhový stres provázený odumíráním

starších porostů; reakcí bylo vybudování revitalizačního systému v Kančí oboře v letech 1991–1996, umožňujícího řízené převádění vody z Dyje do ramen a kanálů (Prax et al., 2011).
Cílem příspěvku je charakterizovat dlouhodobý vývoj hladiny podzemní vody (HPV) v profilu Ladná, otestovat předpoklad, že tento vývoj není monotónní, a posoudit, zda se odezva systému prostorově liší podle polohy objektu vůči toku a typu okolního prostředí.

2. Metodika

2.1 Zájmové území a profil

Profil byl navržen kolmo ke korytu Dyje s cílem sledovat hydraulickou spojitost mezi povrchovou a podzemní vodou. Jeho délka činí přibližně 4,3 km a prochází lužním lesem, zemědělsky využívanou krajinou i extravilánem obce Ladná. Nadmořská výška objektů se pohybuje v rozmezí 159,48–164,55 m n. m. Podzemní voda se vyskytuje v režimu volné hladiny v hydrogeologickém rajónu 1652; kolektor tvoří fluviální štěrkopísky překryté povodňovými hlínami, které fungují jako stropní izolátor. Nízkou propustnost jemnozrnných sedimentů v nivě dokládají laboratorní stanovení z blízkých lokalit, kde se koeficient hydraulické vodivosti jílovitohlinitých poloh pohyboval v řádu 10^{-7} až 10^{-8} $m \cdot s^{-1}$, zatímco hlinité polohy dosahovaly hodnot o dva až tři řády vyšších (Prax et al., 2011). Z klimatického hlediska náleží lokalita do regionu T4 dle Quittovy klasifikace (Quitt, 1971) s průměrnou roční teplotou 9–10 °C a ročním úhrnem srážek 500–600 mm.

2.2 Data a jejich zpracování

Hladina podzemní vody byla historicky měřena manuálně jednou týdně, vždy ve středu. Od roku 2012 jsou objekty postupně osazovány automatickými záznamníky s hodinovým krokem. Pro zachování metodické homogenity celé řady byly z novějších denních dat vybrány pouze středeční hodnoty a takto sjednocená týdenní řada byla agregována na měsíční medián. Měsíc byl považován za dostatečně pokrytý při nejméně třech pozorováních; tato podmínka vyřadila 0,12 % objektoměsíců. Roční hodnoty vstupující do trendové a změnové analýzy byly vypočteny jako průměr měsíčních mediánů; rok byl zahrnut pouze při dostupnosti alespoň osmi platných měsíčních hodnot.
Do analýzy byly zařazeny objekty s nejméně 40 platnými ročními hodnotami. Toto kritérium vyřadilo objekty KB0697, KB0701 a KB0703, jejichž řady končí v letech 1969–1974 a pokrývají pouze počáteční část sledovaného období; jejich zahrnutí by vedlo k nadhodnocení sklonu trendu, neboť zachycují výhradně fázi nejstrmějšího poklesu. Výsledný soubor tvoří 25 objektů. Podmnožinu 15 objektů s dlouhou a dostatečně souvislou řadou sahající do roku 2024 označujeme jako hlavní analýzu; aditivní modely byly aplikovány pouze na tuto podmnožinu, aby byly časové změny mezi objekty hodnoceny na srovnatelném období.
Anomálie HPV byly pro každý objekt vypočteny jako odchylka měsíční hodnoty od mediánu daného objektu za normálové období 1991–2020. Odečítána byla jediná hodnota za celé období, nikoli měsíčně specifické průměry, aby zůstal zachován sezónní cyklus, který je v modelech explicitně odhadován.

2.3 Statistické metody

Monotónní trendy byly hodnoceny Mann–Kendallovým testem (Kendall, 1938; Mann, 1945) se Senovým odhadem sklonu (Theil, 1950a, 1950b, 1950c; Sen, 1968). Vzhledem k silné autokorelaci řad byl před testem aplikován trend-free pre-whitening (Yue et al., 2002). Korekce se uplatňuje pouze při statisticky průkazné autokorelaci prvního řádu detrendované řady; u všech 25 hodnocených objektů byla tato podmínka splněna (r_1 = 0,41–0,87, hodnoty pro objekty hlavní analýzy viz tab. 1), korekce proto byla aplikována ve všech případech. Změnové body byly identifikovány neparametrickým Pettittovým testem (Pettitt, 1979).
Nemonotónní vývoj byl modelován zobecněnými aditivními modely (Hastie a Tibshirani, 1990; Wood, 2017) ve tvaru HPV_anom ~ s(t) + s(měsíc), kde s(t) je penalizovaný spline dlouhodobého trendu a s(měsíc) cyklická sezónní složka; sériová závislost byla ošetřena autoregresní strukturou reziduí prvního řádu. Období statisticky průkazné změny byla pro každý objekt vymezena pomocí první derivace hladké funkce trendu a jejího 95% intervalu spolehlivosti (Simpson, 2018). Za společnou fázi profilu bylo považováno období trvající nejméně tři roky, během něhož vykazovalo průkaznou změnu téhož směru nejméně 40 % objektů s dostupným modelovým odhadem v daném roce. Počet dostupných objektů se v čase mění, neboť tři objekty byly založeny až v roce 1962. Změna sezónního režimu byla hodnocena modelem s interakcí času a měsíce, umožňujícím časově proměnnou amplitudu i fázi sezónního cyklu. Amplitudy byly porovnány mezi dvěma pětiletými okny, která pokrývají všechny hodnocené objekty bez extrapolace mimo rozsah dat: 1965–1969 a 2016–2020. Vztah změny amplitudy ke vzdálenosti od toku byl testován Spearmanovým korelačním koeficientem.
Prostorová diferenciace byla testována hierarchickým aditivním modelem (Pedersen et al., 2019) se společným profilovým trendem, skupinově specifickými hladkými odchylkami a náhodným efektem objektu. Objekty byly rozděleny do pěti skupin podle strany profilu a převažujícího typu okolního prostředí: levý břeh – zástavba, levý břeh – zemědělská krajina, levý břeh – lužní les, pravý břeh – lužní les a pravý břeh – zemědělská krajina.

3. Výsledky a diskuse

3.1 Dlouhodobé trendy

Z 25 hodnocených objektů byl statisticky průkazný pokles HPV zjištěn u 17 objektů (68 %), průkazný vzestup u tří objektů (12 %) a u pěti objektů (20 %) nebyl trend průkazný. U objektů s průkazným poklesem se Senův sklon pohyboval od −0,24 do −1,05 cm·rok^{-1}, což odpovídá kumulativnímu poklesu −18 až −78 cm za hodnocené období (tab. 1).

Vzestupný trend vykazují výhradně objekty na pravém břehu: KB0719 (+1,12 cm·rok^{-1}), KB0710 (+0,90 cm·rok^{-1}) a KB0712 (+0,13 cm·rok^{-1}). Pettittův test rozděluje objekty podle směru trendu — klesající objekty mají změnový bod převážně v letech 1968–1971, zatímco všechny tři vzestupné objekty shodně v letech 1994–1995, tedy v období budování revitalizačního systému v Kančí oboře.

Prostorové uspořádání tuto shodu podporuje. Terénní experimenty v témže systému prokázaly, že naplnění revitalizačního kanálu vede ke vzestupu hladiny podzemní vody v jeho okolí do vzdálenosti několika desítek metrů během několika dnů, zatímco při nízké hladině v kanálu je vliv na okolní profil minimální (Prax et al., 2011). Objekty KB0719 a KB0710 leží 15 a 36 m od nejbližšího vodního prvku, tedy v prostorovém měřítku odpovídajícím pozorovanému účinku. Objekt KB0712 se nachází 72 m od Včelínku, tedy od přirozeného toku, nikoli od revitalizačního kanálu; mechanismus jeho vzestupného trendu proto může být odlišný. Blízkost vodního prvku sama o sobě vzestup nepodmiňuje — řada klesajících objektů leží ještě blíže (KB0705 4 m, KB0708 5 m), což odpovídá zjištění, že rozhodující není přítomnost prvku, ale skutečné převádění vody.

*Tab. 1 Výsledky trendové a změnové analýzy HPV pro objekty hlavní analýzy. Vrt – identifikátor objektu; Břeh – strana profilu (L – levý, P – pravý); Vzdál. od Dyje – nejkratší vzdálenost od hlavního koryta; N – počet ročních hodnot; r_1 – autokorelace prvního řádu detrendované řady; Senův sklon – Theilův–Senův odhad velikosti trendu; p – hladina významnosti Mann–Kendallova testu po trend-free pre-whiteningu; sig. – statistická významnost (*** $p < 0{,}001$; ** $p < 0{,}01$; * $p < 0{,}05$; ns – neprůkazné); ΔH – kumulativní změna hladiny za hodnocené období odvozená ze Senova sklonu; Pettitt – rok změnového bodu a jeho významnost.*

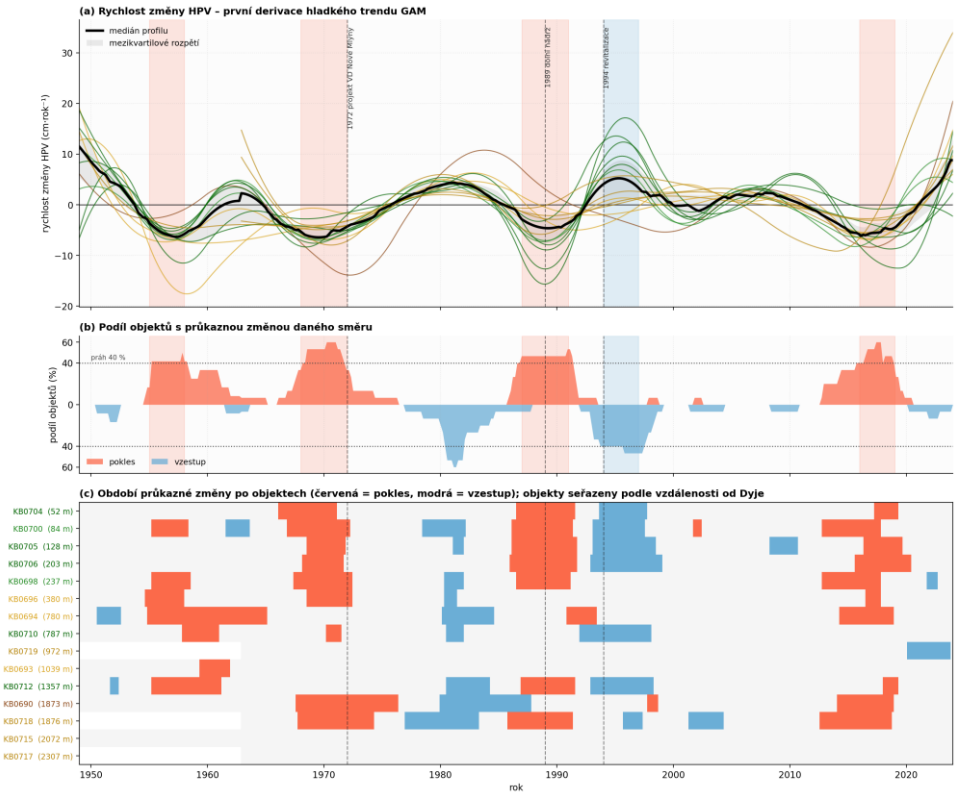
Tab. 1 Results of trend and change-point analysis of GWL for the main analysis wells. Vrt – well identifier; Břeh – profile side (L – left, P – right); Vzdál. od Dyje – shortest distance from the main channel; N – number of annual values; r_1 – lag-1 autocorrelation of the detrended series; Senův sklon – Theil–Sen slope estimate; p – significance of the Mann–Kendall test after trend-free pre-whitening; sig. – statistical significance; ΔH – cumulative water-level change derived from the Sen slope; Pettitt – change-point year and its significance.

Vrt	Břeh	Vzdál. od Dyje (m)	N	r_1	Senův sklon (cm·rok^{-1})	p	sig.	ΔH (cm)	Pettitt (rok)	sig.
KB0690	L	1873	76	0,67	−0,92	<0,001	***	−69	1971	***
KB0693	L	1039	73	0,83	−0,62	<0,001	***	−47	1968	***
KB0694	L	780	73	0,87	−0,24	0,003	**	−18	1958	**
KB0696	L	380	74	0,63	−1,05	<0,001	***	−78	1970	***
KB0698	L	237	76	0,51	−1,00	<0,001	***	−75	1970	***
KB0700	L	84	76	0,41	−0,65	<0,001	***	−49	1988	***
KB0717	P	2307	62	0,70	−0,08	0,760	ns	−5	1971	ns
KB0715	P	2072	76	0,76	−0,83	<0,001	***	−62	1970	***
KB0718	P	1876	62	0,67	+0,05	0,415	ns	+3	1995	ns
KB0712	P	1357	76	0,78	+0,13	0,015	*	+10	1995	**
KB0719	P	972	58	0,60	+1,12	<0,001	***	+68	1994	***
KB0710	P	787	74	0,86	+0,90	<0,001	***	+67	1994	***
KB0706	P	203	76	0,67	−0,41	0,001	**	−31	1968	**
KB0705	P	128	76	0,53	−0,35	0,007	**	−27	1970	**
KB0704	P	52	76	0,43	−0,43	<0,001	***	−32	1968	**

3.2 Dynamika dlouhodobého vývoje

Aditivní modely ukázaly, že dlouhodobý vývoj HPV není monotónní. Za společnou fázi profilu bylo považováno období trvající nejméně tři roky, během něhož vykazovalo průkaznou změnu téhož směru nejméně 40 % objektů s dostupným modelovým odhadem v daném roce. Tomuto pravidlu vyhověly čtyři fáze průkazného poklesu (1955–1958, 1968–1972, 1987–1991 a 2016–2019) a jedna fáze průkazného vzestupu (1994–1997). Maximální podíl objektů s průkaznou změnou dosahoval postupně 50 % (6 z 12 tehdy dostupných objektů), 60 %, 53 % a 60 % v jednotlivých fázích poklesu a 47 % ve fázi vzestupu (obr. 1). Nejstarší vymezená fáze poklesu (1955–

1958) předchází hlavním vodohospodářským zásahům a opírá se pouze o 12 tehdy sledovaných objektů; její interpretaci proto považujeme za nejistou a v dalším textu se soustředíme na fáze pozdější. První výrazná fáze poklesu (1968–1972) časově odpovídá zahájení vodohospodářských úprav v roce 1968, které zahrnovaly regulaci koryta Dyje (Povodí Moravy, 2019); nezávislá pozorování z téže lokality dokládají pokles hladiny podzemní vody a eliminaci rozlivů po dokončení těchto úprav (Prax et al., 2011). Druhá fáze zahrnuje rok uvedení dolní novomlýnské nádrže do provozu, je však třeba upozornit, že témuž období předcházela série srážkově podnormálních let provázená vláhovým stresem lužních porostů (Prax et al., 2011). Pokles v letech 1987–1991 tedy pravděpodobně odráží kombinaci klimatického a vodohospodářského vlivu, které na základě dostupných dat nelze oddělit. Fáze vzestupu v letech 1994–1997 časově navazuje na budování revitalizačního systému v Kančí oboře v letech 1991–1996. Poslední fáze poklesu se časově překrývá s obdobím sucha let 2015–2019, což naznačuje možný klimatický vliv.
Je třeba zdůraznit, že řada hladin Dyje je k dispozici až od listopadu 1996, a přímou kauzální vazbu mezi změnami průtokového režimu a odezvou HPV proto v tomto příspěvku nelze kvantifikovat. Uvedený výklad se opírá o časovou shodu, prostorové rozložení odezvy a znalost lokality.

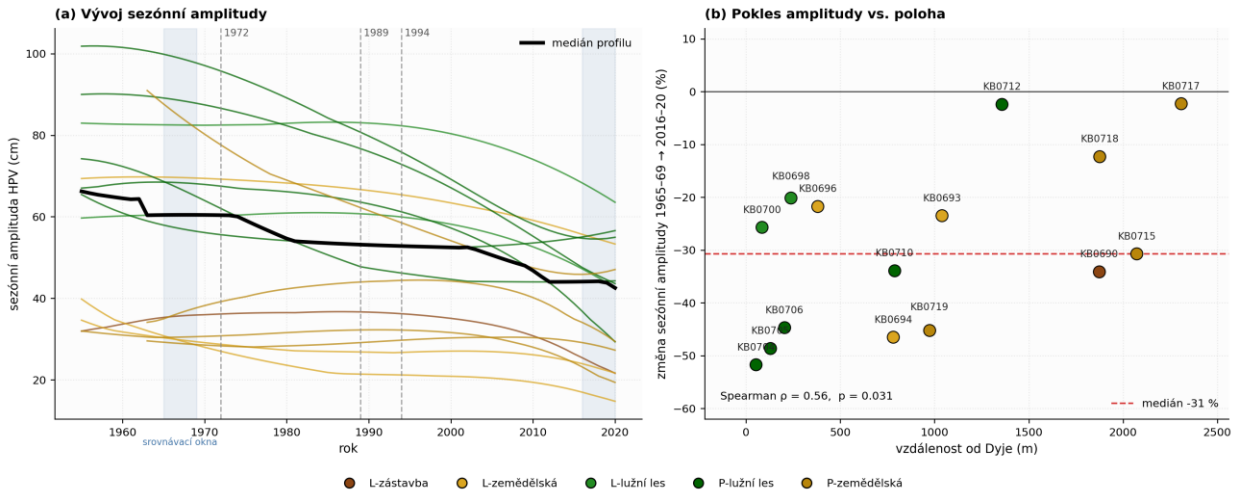


Obr. 1 Rychlost změny HPV (první derivace trendu), podíl objektů s průkaznou změnou a období průkazné změny po objektech

Fig. 1 Rate of GWL change (first derivative of the trend), proportion of wells showing significant change, and periods of significant change per well

3.3 Zplošťování sezónního režimu

Sezónní amplituda HPV poklesla u všech 15 objektů hlavní analýzy, mediánově o 31 % mezi obdobími 1965–1969 a 2016–2020 (obr. 2). Nejvýraznější pokles byl zjištěn u objektů v lužním lese na pravém břehu v bezprostřední blízkosti toku: KB0704 (−52 %), KB0705 (−49 %) a KB0706 (−45 %). Míra poklesu se snižuje s rostoucí vzdáleností od koryta (Spearmanovo $\rho = 0{,}56$; $p = 0{,}031$), což je konzistentní s prostorově diferencovaným vlivem toku. Načasování sezónního maxima zůstalo prakticky beze změny (mediánový posun 0 měsíců); mění se tedy velikost sezónního pulsu, nikoli jeho fáze.
Tento výsledek doplňuje starší pozorování z téže lokality. Krátce po dokončení úprav koryta bylo konstatováno, že hladina podzemní vody sice poklesla, avšak podstatná roční dynamika jarních maxim a podzimních minim zůstala zachována (Prax et al., 2011). Delší časová řada ukazuje, že samotná sezónní dynamika se od té doby postupně vytrácí. Změnu vodního režimu nivy tedy nelze popsat pouze jako jednorázový pokles úrovně hladiny, ale jako pokračující proces zplošťování sezónního chodu, který se projevuje i několik desetiletí po ukončení hlavních zásahů.

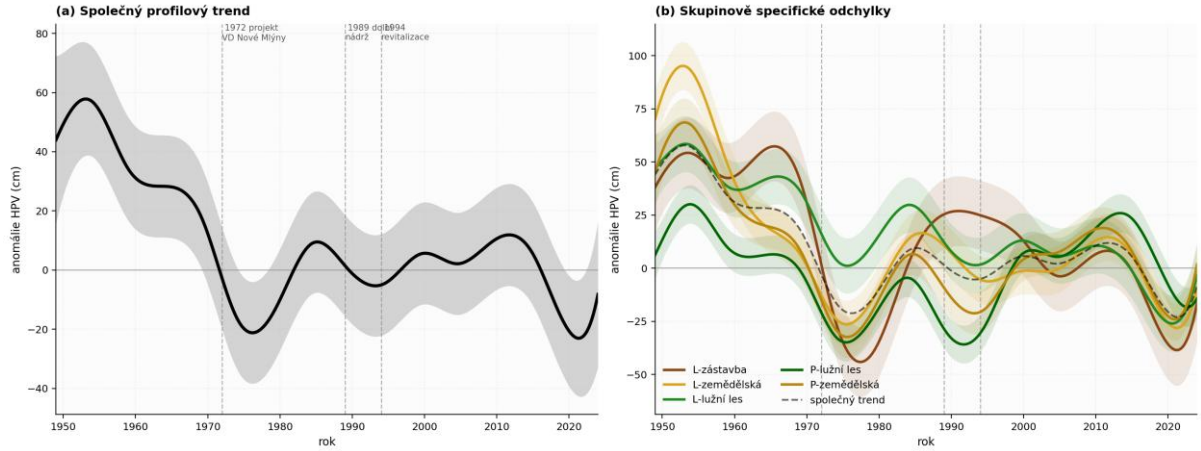


Obr. 2 Vývoj sezónní amplitudy HPV a vztah její změny ke vzdálenosti objektu od Dyje
Fig. 2 Development of seasonal GWL amplitude and the relation of its change to well distance from the Dyje River channel

3.4 Prostorová diferenciace

Hierarchický model vymezil společný profilový trend odpovídající poklesu −52 cm za období 1949–2024. Skupinově specifické hladké odchylky od tohoto společného signálu byly statisticky průkazné ($p < 0{,}001$) u čtyř z pěti vymezených skupin (obr. 3). Nejvýraznější pokles vykazují objekty v zemědělské krajině levého břehu (−80 cm), zatímco nejmírnější průběh mají objekty v lužním lese pravého břehu (−20 cm). Právě v této skupině se nacházejí objekty s průkazně vzestupným trendem.

Prostorový vzorec odezvy tedy nekopíruje pouhou vzdálenost od toku, ale odráží kombinaci hydraulické vazby na Dyji, typu krajinného pokryvu a přítomnosti prvků řízeného zavodňování. To ukazuje, že hodnocení dopadu vodohospodářských zásahů na mělkou zvodeň v nivě vyžaduje prostorově rozlišený přístup.



Obr. 3 Hierarchický aditivní model: společný profilový trend a skupinově specifické odchylky
Fig. 3 Hierarchical additive model: common profile trend and group-specific deviations

4. Závěr

Sedmdesátipětiletá řada z profilu Ladná ukazuje, že mělká podzemní voda v nivě Dyje prošla nemonotónním vývojem s několika fázemi poklesu; dvě z nich se časově překrývají s hlavními vodohospodářskými zásahy: s regulací koryta na přelomu 60. a 70. let a s dokončením soustavy Nové Mlýny. Sezónní dynamika systému se přitom trvale zplošťuje — amplituda poklesla u všech hodnocených objektů, nejvíce v lužním lese v blízkosti toku, a míra poklesu se s rostoucí vzdáleností od koryta průkazně snižuje. Změnu vodního režimu nivy proto nelze popsat pouze jako jednorázový pokles úrovně hladiny, ale jako pokračující proces zplošťování sezónního chodu, který se projevuje i několik desetiletí po ukončení hlavních zásahů.

Odezva systému je prostorově výrazně diferencovaná a v části lužního lesa pravého břehu je dlouhodobý vzestup HPV časově i prostorově konzistentní s účinkem řízeného zavodňování. Dlouhodobý monitoring tak umožňuje

odlišit jednotlivé fáze vývoje a posoudit jejich časovou a prostorovou souvislost s významnými zásahy do vodního režimu krajiny.

Poděkování: Studie vznikla za podpory Technologické agentury České republiky v rámci projektu Centrum pro krajinu a biodiverzitu (DivLand), č. SS02030018, řešeného v programu Prostředí pro život.

Seznam literatury

Demek J., Mackovčin P. (eds.), 2006: *Hory a nížiny: Zeměpisný lexikon ČR*. 2. vyd. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Brno.
Hastie T., Tibshirani R., 1990: *Generalized Additive Models*. Chapman and Hall. London.
Kendall M. G., 1938: *A new measure of rank correlation*. Biometrika 30, 81–93.
Mann H. B., 1945: *Nonparametric tests against trend*. Econometrica 13, 245–259.
Pedersen E. J., Miller D. L., Simpson G. L., Ross N., 2019: *Hierarchical generalized additive models in ecology: an introduction with mgcv*. PeerJ 7, e6876.
Pettitt A. N., 1979: *A non-parametric approach to the change-point problem*. Journal of the Royal Statistical Society: Series C 28, 126–135.
Povodí Moravy, 2019: *Nové Mlýny chrání před povodněmi a zajišťují vodu pro jižní Moravu už 30 let*. Tisková zpráva, Povodí Moravy, s. p., Brno, 1. 3. 2019.
Prax A., Hybler V., Štibinger J., Kloupar M., 2011: *Effects of natural cut-off meanders and revitalization channels on the moisture regime of a floodplain forest*. Ekológia (Bratislava) 30, 3, 334–348.
Quitt E., 1971: *Klimatické oblasti Československa*. Studia Geographica 16. Geografický ústav ČSAV. Brno.
Sen P. K., 1968: *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*. – Journal of the American Statistical Association 63, 1379–1389.
Simpson G. L., 2018: *Modelling palaeoecological time series using generalised additive models*. Frontiers in Ecology and Evolution 6, 149.
Theil H., 1950a: *A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis I*. Proceedings of the Royal Netherlands Academy of Sciences 53, 386–392.
Theil H., 1950b: *A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis II*. Proceedings of the Royal Netherlands Academy of Sciences 53, 521–525.
Theil H., 1950c: *A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis III*. Proceedings of the Royal Netherlands Academy of Sciences 53, 1397–1412.
Wood S. N., 2017: *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. 2nd ed. Chapman and Hall/CRC. Boca Raton.
Yue S., Pilon P., Phinney B., Cavadias G., 2002: *The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series*. Hydrological Processes 16, 1807–1829.

NOVÉ HYDROSTRATIGRAFICKÉ ČLENĚNÍ TURONSKÝCH KOLEKTORŮ V POJIZEŘÍ A POVODÍCH PŠOVKY, LIBĚCHOVKY A KOŠÁTECKÉHO POTOKA V ČESKÉ KŘÍDOVÉ PÁNVI

NEW HYDROSTATIGRAPHICAL ZONATION OF THE JIZERA, PŠOVKA, LIBĚCHOVKA AND KOŠÁTKY CATCHMENTS OF BOHEMIAN CRETACEOUS BASIN

Jakub Mareš, Martin Slavík, Jiří Bruthans, Kateřina Šabatová, Kateřina Malechová

Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 00 Praha 2, e-mail: maresj15@natur.cuni.cz

Abstrakt: Oblast pravostranných přítoků Labe a pravostranných přítoků Jizery v české křídové pánvi byla považována za území, kde se mimo bazální křídový kolektor A vyskytuje pouze kolektor C vázaný na křemenné pískovce jizerského souvrství. Detailní studium výšky hladin a stáří vod v tomto kolektoru však ukázalo, že se v téměř celé oblasti vyskytují dva kolektory Ca a Cb, které jsou od sebe odděleny poloizolátorem situovaným zřejmě při bázi TUR5. Kolektor Ca je tvořen převážně křemennými pískovci, zato Cb tvoří zejména vápnité pískovce přechodní facie. Vydatné prameny a přítoky do vrtů ukazují, že vápnité pískovce, často považované za poloizolátor, mohou vlivem krasovění vytvářet velmi propustné zóny. Kolektor Ca představuje hlavní zdroj vody v oblasti a využívá se pro zásobování více než 350 000 lidí pitnou vodou. Z tohoto důvodu je nutné zachovat dostatečnou kvalitu a kvantitu. Proto je třeba zabránit propojování kolektorů, což může způsobit hydraulický zkrat a kontaminaci kolektoru Ca.

Abstract: The area on the right-side tributaries of Elbe and Jizera rivers in Bohemian Cretaceous Basin was considered a region where, besides the basal Cretaceous aquifer A, only aquifer C—associated with the quartz sandstones of the Jizera Formation—is present. However, a detailed study of water levels and ages in this aquifer revealed the presence of two aquifers, Ca and Cb. These aquifers are separated by an aquitard located probably close to the base of TUR5 and occur throughout almost the entire area. Aquifer Ca consists mainly of quartz sandstones, while aquifer Cb consists primarily of calcareous sandstones of a transitional facies. The abundance of springs and the high rate of water inflow into wells indicates that calcareous sandstones, which are often considered as low-permeable environment, can form highly permeable zones due to karstification. The Ca aquifer is the main source of water in the area and supplies drinking water to over 350,000 people. Therefore, it is essential to maintain sufficient water quality and quantity. Therefore, it is necessary to prevent the interconnection of the aquifers, as this could result in a hydraulic short circuit and the contamination of the Ca aquifer.

Klíčová slova: česká křídová pánev, hydrostratigrafie, kras, ochrana vodních zdrojů, střední doba zdržení

Key words: Bohemian Cretaceous Basin, hydrostratigraphy, karst, protection of water resources, mean residence time

1. Úvod

Česká křídová pánev je největší sedimentární pánev v České republice o rozloze přibližně 14 600 km². Zájmová oblast spadá zčásti do hydrogeologického rajonu 4410 (Jizerská křída pravobřežní), který má tzv. jizerský litofaciální vývoj české křídové pánve. Ten tvoří přechodní facii mezi většinou písčitým vývojem (tzv. lužický vývoj) na ZSZ od Jizery a většinou jílovitým vývojem (tzv. labský vývoj) na VJV od Jizery. V rajonu 4410 je významný výskyt facie vápnitých a kvádrových pískovců ve středním až svrchním turonu (Klein, 1966; Valečka, 1979). Dalšími hydrogeologickými rajóny v zájmové oblasti jsou 4521 a 4522 (Křída Košáteckého potoka, křída Liběchovky a Pšovky), které litologicky spadají do východního okraje lužické litofaciální oblasti (písčitá sedimentace; Svoboda, 1964) a směrem k jihu přecházejí do vltavsko-berounské litofaciální oblasti, východním směrem do jizerské litofaciální oblasti. Třetím rajonem je 4720 Bazální křídový kolektor. Dotčeným hydrogeologickým rajonem je v severním sousedství ještě rajon 4640 Křída Horní Ploučnice.
Studované území o rozloze přibližně 1600 km² leží asi 50 km severoseverovýchodně od Prahy mezi městy Mělník, Mladá Boleslav a Liberec v nadmořské výšce 200–600 m n. m., přičemž orografické povodí v krystaliniku může dosahovat až 1012 m n. m. Průměrné roční srážky a teplota vzduchu činí 550–800 mm, resp. 7–10 °C. Průměrná roční dotace podzemních vod je 1–6 l/s/km² (ČGS, 2026a).
V zájmové oblasti jsou litostratigraficky vyčleňována tato souvrství (od nejstarších): perucko-korycanské, bělohorské, jizerské, teplické a rohatecké vrstvy, a to stáří cenoman až coniac. Mladší křídová souvrství se nezachovala (Čech, 1980). V rámci předchozího projektu Rebilance zásob podzemních vod (Rebilance) byly vymezeny tzv. genetické sekvence podle dr. Uličného et al. (2009): CEN coby cenomanské perucko-korycanského

souvrství, TUR1 a TUR2 coby pelitický interval bělohorského souvrství, TUR3 až TUR6 jizerské souvrství (Kůrková et al., 2016a,b).
Kolektory podzemní vody byly tradičně interpretovány jako tvořené především křemennými pískovci, kde proudění podzemní vody je řízeno primárně pórovitostí a puklinami. Nedávné studie však prokázaly, že vápnité pískovce a tenké polohy písčitých vápenců mohou lokálně vyvinout krasovou porozitou a zvýšenou propustnost v důsledku rozpouštění karbonátů, což umožňuje významné proudění podzemní vody prostřednictvím rozpouštěním rozšířených puklin a kanálů (Kůrková et al., 2019; Starý et al., 2024). Tyto poznatky ukazují, že architektura kolektorů v české křídové pánvi je složitější, než se dříve předpokládalo.
V hydrogeologii se v turonských horninách historicky rozlišují tři faciální typy (Hynie, 1961): proximální, přechodní a distální. Proximální facie je tvořena hrubozrnnými křemennými pískovci vytvářejícími deltová tělesa (Uličný et al., 2001; Uličný et al., 2009). Prameny zde mají obvykle střední vydatnosti nepřesahující několik l/s. Přechodní facie obsahuje kromě křemenných pískovců také kalcitem tmelené pískovce a písčité vápence, v nichž rozpouštění vytváří krasové kanály, což vede ke vzniku velkých pramenů s vydatnostmi od desítek až po více než 100 l/s (Kůrková et al., 2019; Starý et al., 2024). Distální facie je tvořena slínovci a jílovci a vyznačuje se pouze malými prameny a vysokou hustotou povrchové říční sítě.
Kolektory jsou v české křídové pánvi tradičně označovány odspodu nahoru abecedními symboly (A – cenoman, B – spodní turon, C – střední a svrchní turon, D – svrchní turon až coniac). Z hlediska vodárenského využití je nejvýznamnější kolektor C (52 % zásob podzemní vody české křídové pánve; Pačes et al., 2008). Po několik desetiletí byl ve studované oblasti přijímán konceptuální model proudění podzemní vody s rozlišením dvou kolektorů A a C. Cenomanský kolektor A je doplňován pouze v několik kilometrů širokém pásu na severu podél lužického zlomu, nejméně 10–15 km od hranic studovaného území. Podzemní voda v kolektoru A proudí pomalu, převážně k jihu, směrem k Labi, kde je odvodňována. Voda vykazuje dlouhé doby zdržení (až 30 tisíc let) a má specifické izotopové i chemické složení.
Turonský kolektor C byl vymezen částečně arbitrárně na základě makroskopického popisu vrtných jader a obecného předpokladu, že hrubozrnné pískovce jsou propustnější než ostatní horniny. Tento konceptuální model zpochybnil už Hynie (1961), který poukazoval na to, že největší prameny nejsou vázány na hrubozrnné křemenné pískovce, ale spíše na jemnozrnnější litologie obsahující kalcit. Jeho zjištění však byla z velké části přehlížena. U kolektoru C se dlouhodobě předpokládalo, že obsahuje převážně mladé podzemní vody (s měřitelnými, nenulovými hodnotami tritia). Předchozí projekt Rebilance však ukázal, že z více než tří set měření tritia vzorků podzemní vody v celé české křídové pánvi byly vody bez tritia téměř výhradně nalezeny v kolektoru A, pouze jedinou výraznou výjimkou byla právě studovaná oblast, kde několik objektů (prameny i několik čerpaných vrtů) vykazovalo nulové nebo velmi nízké koncentrace tritia, a to i u vod, které nemohly pocházet z kolektoru A. Ve studované oblasti se tedy v sedimentech turonu vedle mladých vod bezpochyby vyskytují také staré podzemní vody, což naznačuje existenci několika nezávislých proudových systémů, které nebylo možné vysvětlit tehdy přijímaným konceptuálním modelem s jediným turonským kolektorem C.
Ve studovaném území se nachází řada jímacích vrtů pro zásobování pitnou vodou, místy s mimořádně vysokou kvalitou vody. Největší soustředěné odběry se nacházejí v jímacích územích Řepín (cca 360 l/s) a Bělá (více než 200 l/s), která jsou společně schopna zásobovat pitnou vodou více než 300 tisíc obyvatel.
Studovaným územím protéká několik povrchových toků. Nejvýznamnější jsou řeka Jizera, která tvoří východní hranici oblasti, a řeka Labe, vymezující její západní hranici; jižně od studovaného území se Jizera vlévá do Labe. Severní část území je odvodňována řekou Ploučnicí a jejími přítoky. Dalšími významnými vodními toky jsou Košátecký potok, Liběchovka a Pšovka v povodí Labe a Strenický potok, Bělá a Zábrdka v povodí Jizery.

2. Metodika

2.1 Určení hydrostratigrafie

Hydrostratigrafii v tomto článku představuje rozdělení proudových systémů podzemní vody do jednotlivých kolektorů. Hydrostratigrafie byla stanovena na základě měřené výšky hladiny podzemní vody ve vrtech, výškové úrovně jejich perforovaných úseků a nadmořské výšky rozhraní oddělujících cenomanské a turonské genetické sekvence (CEN vs. TUR1–5). Báze genetických sekvencí byly určeny na základě karotážních měření (rezistivimetrie a gama-gama) ve 130 vrtech, a to podle metodiky Uličného et al. (2009) a s využitím aktualizovaného souboru nadmořských výšek ohraničujících jednotlivé sekvence. Tyto báze laskavě poskytli dr. D. Uličný a dr. L. Špičáková z Geofyzikálního ústavu Akademie věd ČR, v.v.i. za přispění Mgr. J. Bohadla z České geologické služby.
Dohromady bylo využito 862 vrtů s údaji o hladině podzemní vody z databáze archivu České geologické služby (ČGS) k roku 2026, které byly podle otevřených úseků přiřazeny k jednotlivým genetickým sekvencím. Genetické sekvence vykazující v daném místě podobné úrovně hladin v otevřených úsecích vrtů byly interpretovány jako totožný kolektor, zatímco sekvence vykazující významné rozdíly v hladinách byly interpretovány jako dva odlišné kolektory oddělené izolátorem. Tento přístup umožnil nové vymezení kolektorů a izolátorů dle objektivních dat.

Dle náhlých změn v nadmořské výšce bází genetických sekvencí jsme dále vymezili vyzdvižené horninové bloky. Průběh bazických žil jsme převzali z geologických map (ČGS, 2026b) a doplnili o další lineamenty identifikované z digitálního modelu reliéfu DMR 5G (DMR 5G, 2026).

2.2 Konstrukce geologických řezů

Na základě dat z karotáže vrtů byly sestaveny geologické řezy jímacími územími Bělá a Řepínský důl a údolím Strenického a Košáteckého potoka. K tomu bylo využito celkem 48 vrtů s karotážními daty. Do řezů byly dále zakresleny další vodárenské vrty bez karotáže pro interpretaci, ve kterých vertikálních úsecích jsou tyto vrty otevřené a s jakým horninovým prostředím tedy komunikují. V řezech jsou zobrazeny také přítoky vody do vrtu zjištěné z čerpacích zkoušek a metodou ředění označené kapaliny ve vrtu. Tyto přítoky umožňují určit, z jakého kolektoru pochází jímaná voda.

Pro rozlišení jednotlivých vrstev v řezu byla využita karotážní měření ve vrtu, konkrétně gama karotáž a zdánlivý měrný odpor (RAPS). Interpretace karotážních křivek a geologické zařazení bylo prováděno podle Uličného et al. (2009). Na základě fyzikálních parametrů je možné křídové sedimenty rozdělit na tři hlavní skupiny: 1) Horniny s vysokým obsahem jílových minerálů, typicky slínovce, které májí vyšší radioaktivitu, nižší el. odpor a v drtivé většině případů fungují jako poloizolátory až izolátory (v řezech tmavě šedě); 2) Horniny bez jílových minerálů, což jsou kvádrové pískovce, které mají nízkou radioaktivitu a vysoký odpor, a fungují jako kolektory (v řezech barevně, kdy každá barva přináleží určité stratigrafické úrovni), a 3) Horniny s příměsí jílových minerálů, většinou vápnité pískovce, které často fungují jako poloizolátory, ale vlivem krasovění se v nich mohou vytvářet velmi propustné kanály a mohou tak tvořit nejpropustnější část kolektoru (v řezech světle šedě).

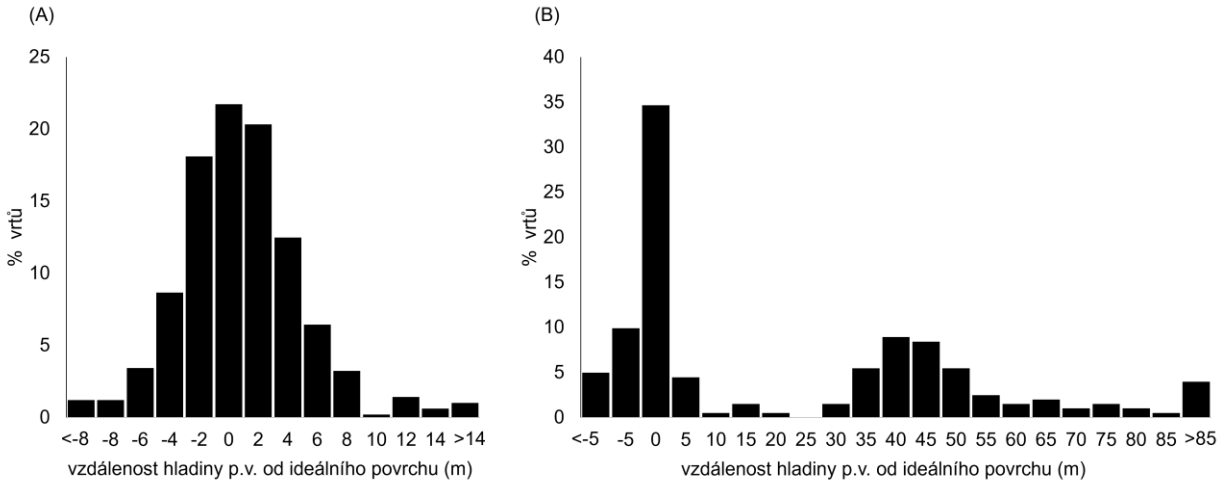
3. Výsledky

3.1 Určení hydrostratigrafie a vymezení kolektorů

Pro jednotlivé turonské genetické sekvence bylo testováno, zda jsou úrovně hladiny podzemní vody ve vrtech s perforací v těchto sekvencích v dané lokalitě shodné, což by znamenalo, že tvoří společný kolektor, nebo zda se liší, což by poukazovalo na hydraulicky nezávislé kolektory. Na základě těchto kritérií byly ve studovaném území vymezeny tři kolektory.

Na bázi se nachází kolektor A, vyvinutý v cenomanských křemenných pískovcích o mocnosti 30–70 m. Tento kolektor byl definován již dříve a není náplní příspěvku. Od nadložních vrstev je oddělen izolátorem o mocnosti 40–80 m, tvořeným jílovci a slínovci. Nad tímto izolátorem je vymezen kolektor Ca, vyvinutý v rámci genetických sekvencí TUR3 a TUR4, o mocnosti 140–180 m (Uličný et al., 2009). Úrovně hladiny podzemní vody v perforovaných úsecích vrtů zasahujících do TUR3 a TUR4 jsou v blízkých vrtech shodné, což indikuje existenci společného kolektoru (obr. 1). Tento kolektor je tvořen jak hrubozrnnými křemennými pískovci proximální facie, tak jemnozrnnými vápnitými pískovci a polohami písčitých vápenců přechodní facie.

Nad ním se nachází kolektor Cb, vyvinutý v rámci TUR5 a denudačních reliktů vrstev TUR6. Je tvořen hrubozrnnými křemennými pískovci, hrubě až jemnozrnnými vápnitými pískovci s častými raně diagenezními karbonátovými konkrecemi a tenkými polohami písčitých vápenců. Tento kolektor se vyskytuje v jižní a centrální části studovaného území, zatímco v severní části je z velké části erodován. Při bázi TUR5 se nachází polopropustný izolátor, který podmiňuje samotnou existenci kolektoru Cb. Nicméně přesná úroveň ani mocnost tohoto izolátoru není známa a bude předmětem dalšího studia.



Obr. 1 Histogramy porovnávající úrovně hladiny podzemní vody ve vrtech s perforací v turonských vrstvách s rekonstruovanou úrovní hladiny v kolektoru Ca. (A) Úrovně hladiny podzemní vody ve vrtech s perforací v

TUR3 a TUR4 (n = 497 vrtů) ukazují, že většina vrtů spadá do intervalu ±5 m od rekonstruované hladiny kolektoru Ca, což naznačuje, že tyto jednotky tvoří společný kolektor. (B) Naproti tomu přibližně 50 % úrovní hladiny podzemní vody v TUR5 (n = 202 vrtů) se nachází o 30–100 m výše než hladina v kolektoru Ca, což dokládá, že TUR5 tvoří samostatný kolektor. Zbývajících 50 % vrtů má hladinu na úrovni kolektoru Ca v důsledku ztenčení izolátoru v údolích a existence četných vrtů, které vytvářejí hydraulické propojení (zkrat) mezi kolektory Ca a Cb.

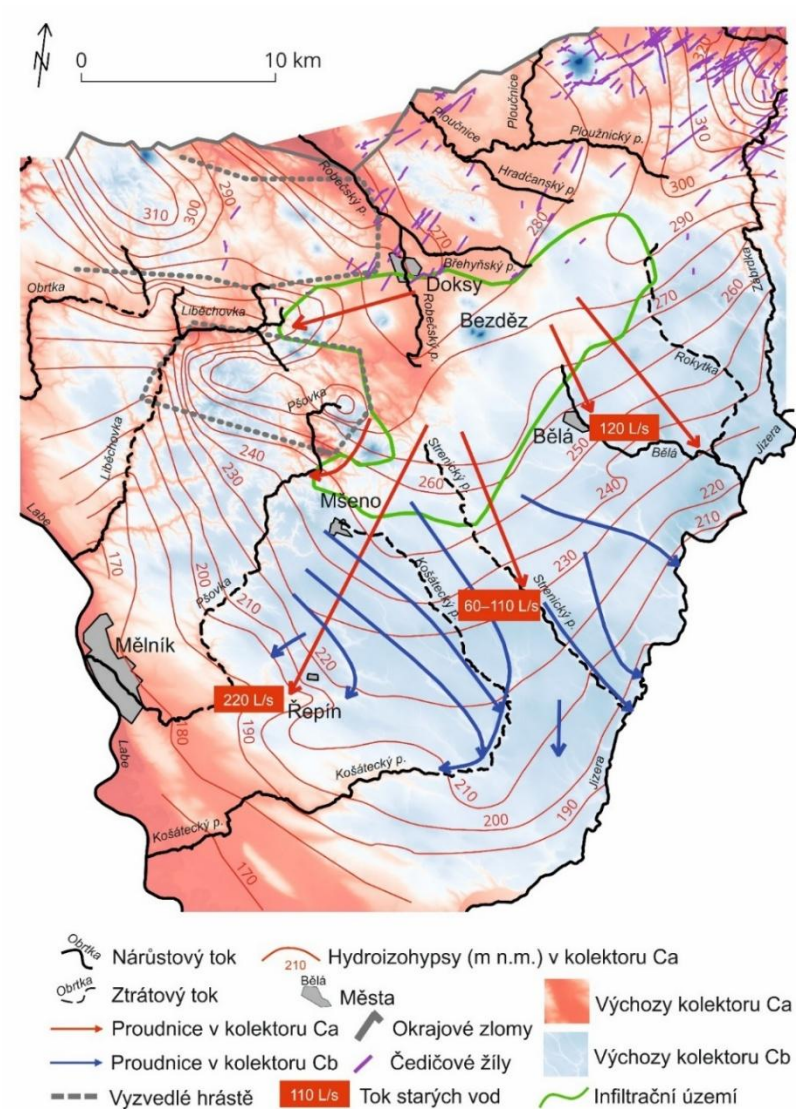
Fig. 1 Histograms comparing water table levels in wells screened within Turonian strata with the reconstructed water table level in the Ca aquifer. (A) Water table levels in wells with screened intervals to TUR3 and TUR4 (n = 497 wells) show that the majority of wells fall within ±5 m of the reconstructed Ca aquifer water table, indicating that these units form a common aquifer. (B) In contrast, about 50% of the water table levels in TUR 5 (n = 202 wells) occur 30–90 m above the Ca aquifer water table, demonstrating that TUR5 forms a separate aquifer. The remaining 50% of wells have the water table at the Ca aquifer level due to aquitard thinning in valleys and numerous wells that create a short-circuit between the Ca and Cb aquifers.

Dříve byl ve studovaném území vymezován pouze jediný turonský kolektor (Corcho Alvarado et al., 2011; Herčík et al., 1999), či byly kolektory Ca a Cb identifikovány, ale nebyly v nich výše popsaným způsobem odděleny hladiny (Kůrková et al., 2016a,b). Toto pojetí však bylo v rozporu s výrazně odlišnými úrovněmi hladiny podzemní vody pozorovanými v kolektorech Ca a Cb. Kolektor Ca je nejvýznamnějším kolektorem jak z hlediska proudění podzemní vody, tak z hlediska jejích odběrů. Hladina podzemní vody v kolektoru Ca je znázorněna na obr. 2. Vzhledem k přílišné rozkolísanosti měřené hladiny v kolektoru Cb není možné ji vykreslit do mapy.

Hladina podzemní vody v kolektoru A je v průměru o 26 m níže než v kolektoru Ca, s výjimkou drenážních oblastí, kde ji lokálně převyšuje. Naproti tomu hladina podzemní vody v kolektoru Cb se obecně nachází o 40–100 m výše než v kolektoru Ca. V místech, kde vrty hydraulicky propojují kolektory Ca a Cb nebo kde dochází k porušení izolátoru mezi Ca a Cb kvůli ztenčení mocnosti nadloží a přípovrchovému zvětrání, však dochází ke snížení hladiny podzemní vody v kolektoru Cb na úroveň kolektoru Ca v důsledku hydraulického zkratu.

V západní části studovaného území se nacházejí dva vyzdvižené horninové bloky (hrástě), kde báze kolektoru Ca leží nad místní erozní bází, čímž dochází k blokování proudění podzemní vody směrem k jihozápadu (obr. 2). V severovýchodní části území se vyskytuje řada čedičových žil směru SV–JZ, které působí jako bariéry proudění podzemní vody k jihovýchodu. Pouze ve střední části studovaného území se nevyskytuje žádná geologická bariéra a pozvolně ukloněná báze kolektoru Ca k jihovýchodu tak umožňuje proudění podzemní vody směrem k hlavní erozní bázi, představované řekami Jizerou a Labem (obr. 2).

Za infiltrační oblast lze považovat vyvýšenou oblast okolí Bezdězu, charakterizovanou velmi plochou hladinou podzemní vody. To je potvrzeno i geometrií hladiny podzemní vody v kolektoru Ca, která má vějířovitý tvar, naznačující, že z této vyvýšené oblasti odtéká relativně velké množství podzemní vody do více směrů: k jihu, jihozápadu a jihovýchodu (obr. 2).

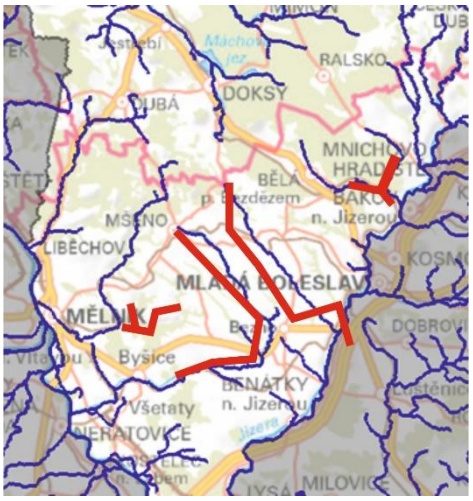


Obr. 2 Mapa znázorňující výskyt obou kolektorů, hrástí a bazických žil blokujících proudění podzemní vody. Zeleně ohraničená infiltrační oblast starých vod je vymezena na základě hydroizohyps v kolektoru Ca, mocnosti nadloží kolektoru Ca i měření průtoků na povrchových tocích a bilancování toku vody v různých povodích vůči základnímu odtoku. Dále jsou vyobrazeny povrchové toky s jejich ztrátovými a přítokovými úseky (dle Bruthanse et al., 2026), hladina podzemní vody v kolektoru Ca, směry proudění v kolektorech a kvantifikace toku staré podzemní vody v kolektoru Ca. Tmavší modré oblasti indikují větší mocnost výchozů kolektoru Cb, bílé oblasti značí přechod mezi výchozy Cb a Ca, tmavší červené oblasti ukazují hluboce erodované výchozy hornin kolektoru Ca.

Figure 2. Map showing exposure areas of both aquifers, horsts and basic dykes blocking groundwater flow, surface streams with their losing and gaining segments, groundwater table in the Ca aquifer, flow directions in the aquifers, quantification of old groundwater flow, and other details as indicated in the legend. The darker blue areas indicate the greater thickness of Cb exposures; the white areas indicate the transition between Cb and Ca exposures; and the darker red areas indicate the more deeply eroded Ca exposures.

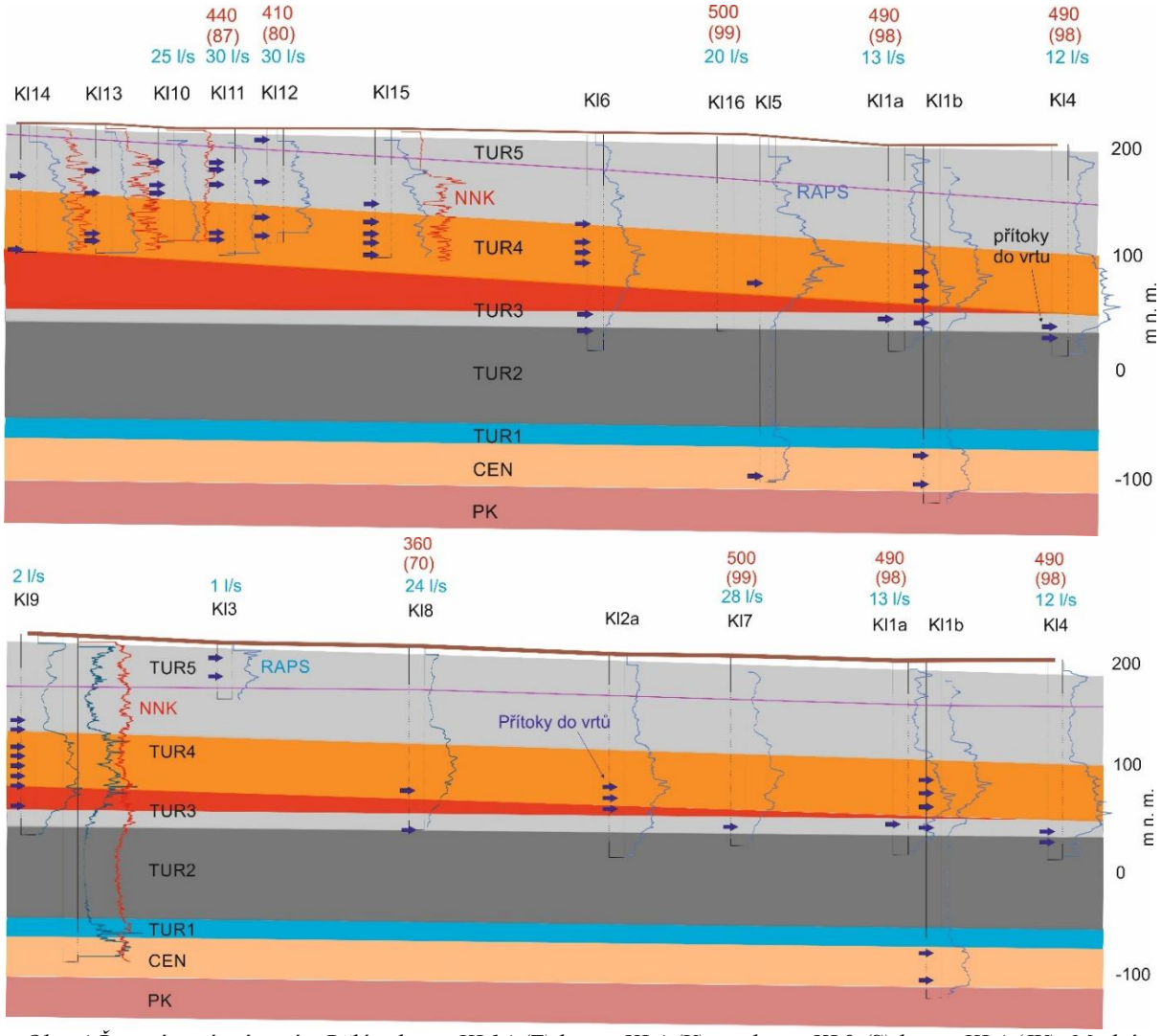
3.2 Geologické řezy

Bylo zkonstruováno šest geologických řezů zájmovým územím (obr. 3): dva jímacím územím Bělá (obr. 4), jeden údolím Strenického potoka (obr. 5), dva jímacím územím Řepín (obr. 6) a jeden údolím Košáteckého potoka (obr. 7). Tyto řezy pomohly pochopit komplexní geologickou situaci v zájmovém území a přehledně zobrazují, do jakých sekvenčně stratigrafických jednotek spadají jednotlivé jímací vrty.



Obr. 3 Průběh geologických řezů zájmovým územím (červené linie).
Fig. 3 Geological cross-sections through the study area (red lines).

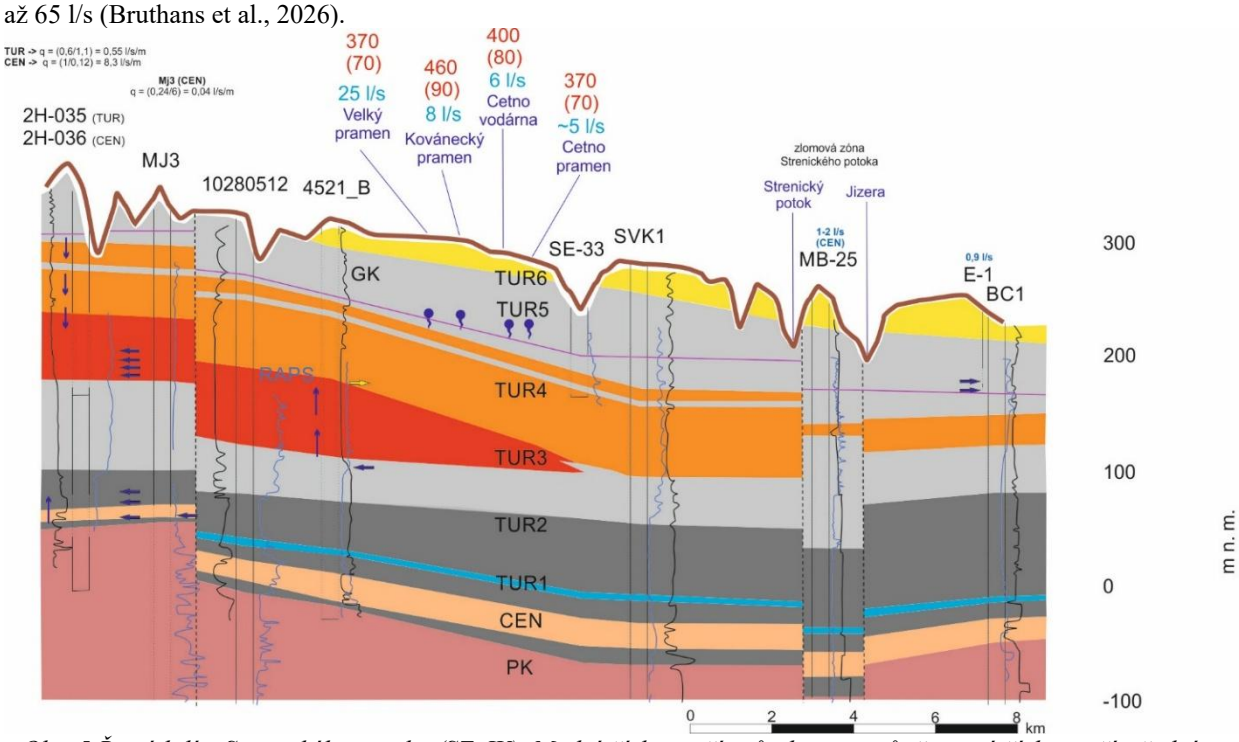
V jímacím území Bělá zasahují vodárenské vrty (s výjimkou vrtu KL3) do hloubek cca 200 až 300 m pod povrchem, pro vodárenské využití jsou otevřeny v nadmořských výškách zhruba 170 až 0 m n.m. a -50 až -100 m n.m. Většina vody je jímána z kolektorů TUR3 a TUR4 (Obr. 4). Proudění jímané vody je tak ve větší míře pravděpodobně navázáno na křemenné pískovce a na zkrasovělé zóny vápnitých pískovců. Prameny, které se nachází na povrchu, však drénují svrchní kolektor TUR5, který odvodňuje mladou vodu z kolektoru Cb.



Obr. 4 Řezy jímacím územím Bělá od vrtu KL14 (Z) k vrtu KL4 (V) a od vrtu KL9 (S) k vrtu KL4 (JV). Modré

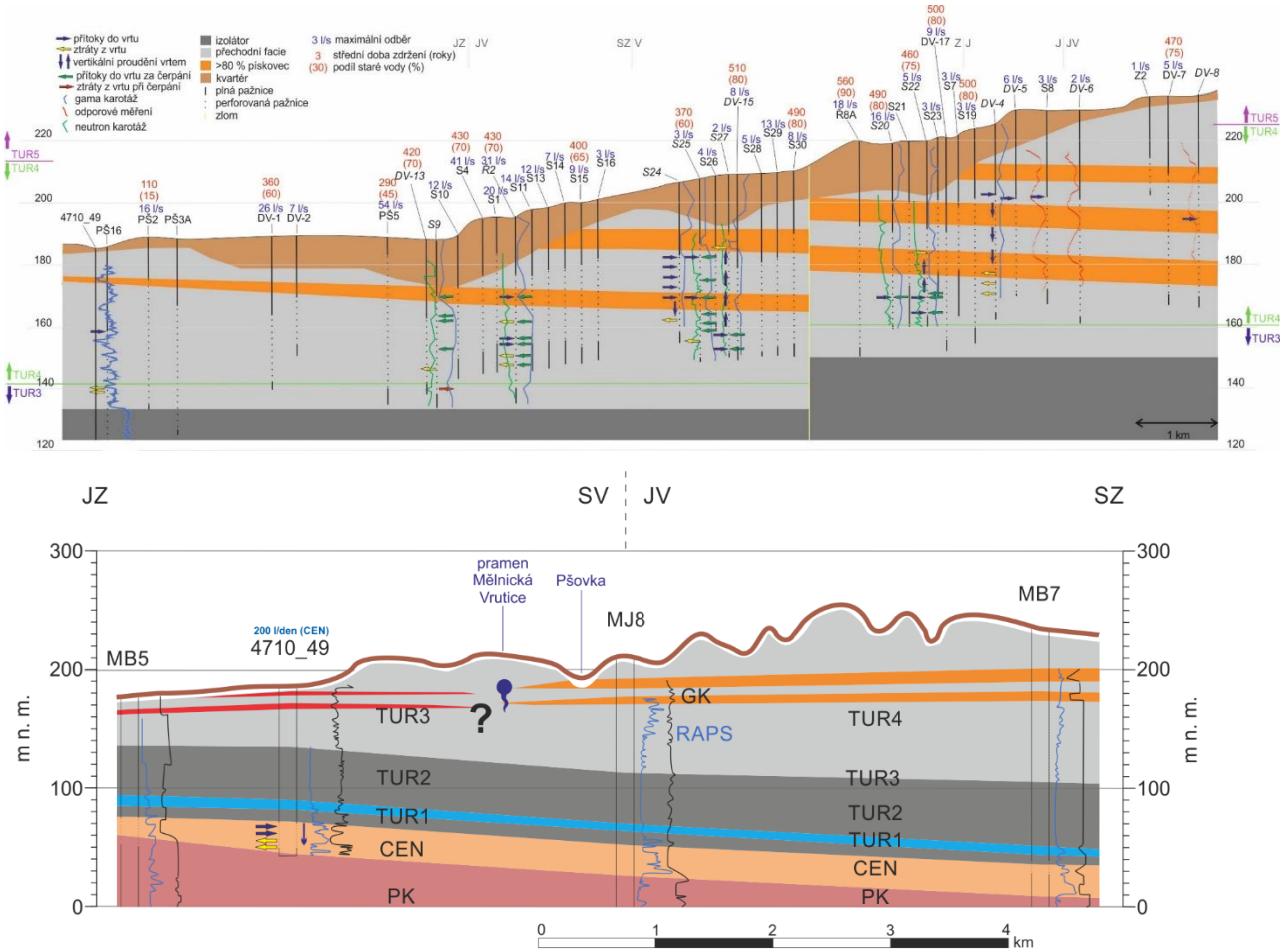
číslo značí maximální vydatnost daných vrtů, červené číslo značí střední dobu zdržení v rocích a v červené číslo závorce uvádí procentuální podíl staré složky podzemní vody. Fialová linie značí bází sekvenční jednotky TUR5.
Fig. 4 Cross-sections of the Bělá abstraction area from well KL14 (W) to well KL4 (E) and from well KL9 (S) to well KL4 (SE). The blue number indicates the maximum yield of the wells; the red number indicates the mean residence time in years; and the number in parentheses in red indicates the percentage of the old groundwater component. The purple line marks the base of the TUR5 sequence unit.

V údolí Strenického potoka dosahuje turonský sled sekvencí TUR1–6. Řez zastihuje oblast litofaciální změny, při níž vyznívá poloha křemenných pískovců TUR3. Směrem na JV ubývá celková mocnost křemenných pískovců ve prospěch přechodní a distální facie. V rámci řezu jsou vymezeny dvě 50–70 m mocné polohy přechodní facie v sekvencích TUR3 a TUR5. Na svrchní polohu jsou vázány čtyři významné prameny o souhrnné vydatnosti 50-60 l/s, které vyvěrají v úrovni okolo 230 m n. m. z polohy přechodní facie při bázi sekvence TUR5. Tomu odpovídá i charakter Strenického potoka, kde trvalý průtok dotují převážně zmíněné prameny. V horní části toku až k obci Podkováň (nad prameny) dosahuje průtok prvních jednotek l/s, ale v závěrovém profilu v Krnsku dosahuje průtok až 65 l/s (Bruthans et al., 2026).



Obr. 5 Řez údolím Strenického potoka (SZ-JV). Modré číslo značí průtok pramenů, červené číslo značí střední dobu zdržení v rocích a v červené číslo závorce uvádí procentuální podíl staré složky podzemní vody. Fialová linie značí bází sekvenční jednotky TUR5.
Fig. 5 Cross-section of the Strenický Stream valley (NW-SE). The blue number indicates the spring discharge; the red number indicates the mean residence time in years; and the red number in parentheses indicates the percentage of the old groundwater component. The purple line marks the base of the TUR5 sequence unit.

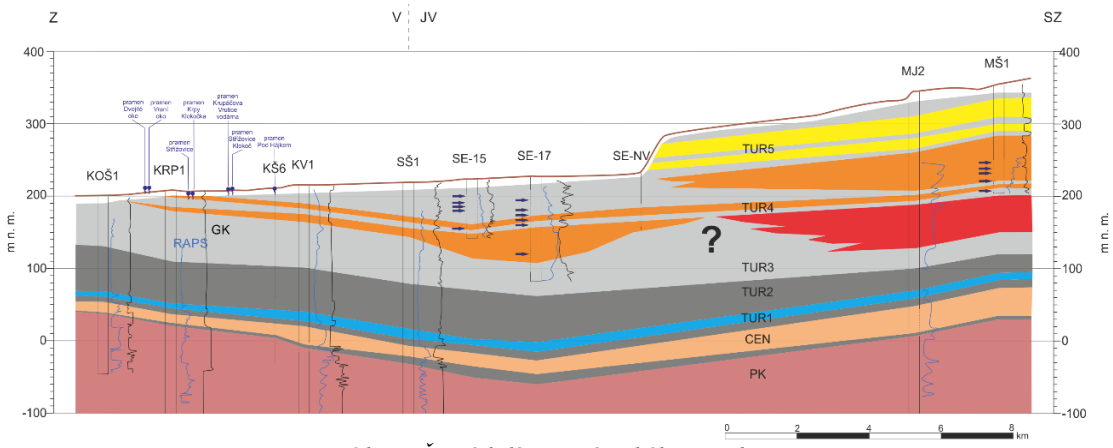
V jímacím území Řepínský důl jsou vodárenské vrty obecně mělčí, zasahují do hloubek maximálně 70 metrů pod povrchem, otevřeny jsou v různých nadmořských výškách, a to od 210 do 120 m n.m. Otevřené úseky vrtů zachycují kolektor TUR4, a to jak křemenné, tak vápnité pískovce. Z řezu vyplývá, že křemenné pískovce TUR4 jsou v tomto povodí přítomny celkem ve třech vrstvách uložených nad sebou, vzdálených vzájemně cca 20 až 40 metrů. Údolím s vodárenskými vrty prochází zlom, který dle interpretací karotážních měření způsobuje vertikální posun zhruba 15-20 metrů. Dle hydrokarotáže jsou přítoky vody do vrtů (ale mnohdy i ztráty vody z vrtů) často vázány na pískovcové vrstvy. Patrný je ovšem také horizont vyvinutý ve vápnitých pískovcích s nadmořskou výškou cca 150-160 m n.m. (resp. 170 m n.m. V od interpretovaného zlomu) s četnými přítoky do vrtu a ztrátami z vrtu, což opět může být dokladem zkrasovělé otevřené porozity. Příkladem je jeden z nejvydatnějších vrtů DV1 (26 l/s), který je dle řezu otevřen pouze ve vápnitých pískovcích.



Obr. 6 Řezy jímacím územím Řepín. Modré číslo značí maximální vydatnost daných vrtů, červené číslo značí střední dobu zdržení v rocích a v červené číslo závorce uvádí procentuální podíl staré složky podzemní vody. Fialová linie značí bázi sekvenční jednotky TUR5.

Fig. 6 Cross-sections of the Řepín abstraction area. The blue number indicates the maximum yield of the wells; the red number indicates the mean residence time in years; and the red number in parentheses indicates the percentage of the old groundwater component. The purple line marks the base of the TUR5 sequence unit.

V úseku mezi Košátky a Sušnem je řez veden údolím potoka ve směru JZ –SV, u Sušna se láme a dále pokračuje poblíž údolí potoka do Mšena ve směru JV–SZ. Na řezu údolím Košáteckého potoka je vidět litofaciální změna. V úseku Košátky–Sušno jsou přítomny sekvence TUR1–4 a většinu sedimentárního sledu zaujímají horniny přechodní facie, pouze ve dvou polohách jsou vyvinuty pískovce (obr. 7). Od Sušna na sever se objevuje i sekvence TUR5, v této části řezu obecně převažují v rámci sledu mocné polohy kvádrových pískovců TUR3–TUR5. V úseku mezi vrty SŠ1 a MŠ1 však není dostatečné množství kvalitních informací, proto je potřeba výsledky z této oblasti vnímat s rezervou.



Obr. 7 Řez údolím Košáteckého potoka

Fig. 7 Cross-section of the Košátecký Stream valley

Mezi Košátky a Kropáčovou Vruticí vyvěrá řada významných pramenů o sumární vydatnosti téměř 300 l/s, které vytékají ze spodní části TUR5 a vrchní TUR4, převážně z přechodní facie. Přítoky ve vrtech SE-15 a SE-17 ukazují, že na proudění vody se zde nepodílejí primárně propustné pískovcové kolektory, ale dobře propustné horniny přechodní facie. S výjimkou jediného přítoku do vrtu SE-17 z pískovcové polohy jsou všechny zbylé přítoky vázány na přechodní facii.

4. Diskuze

Podzemní voda v kolektoru Ca má infiltrační oblast v okolí Bezdězu a následně se šíří vějířovitě, převážně směrem k jihozápadu a jihovýchodu. Směrem k severovýchodu proudění brání vyšší hladiny podzemní vody, zatímco na západ a severozápad je báze kolektoru Ca tektonicky vyzdvižena přibližně o 70–140 m v hrásťových strukturách a v podloží se nachází izolátor. Proudění podzemní vody v kolektoru Ca je tak těmito bariérami blokováno a podzemní voda je nucena bariéry obtékat, což účinně eliminuje proudění do povodí umístěných v západní části území (Liběchovka a Obrtka; obr. 2). Většina této vody je odváděna a následně jímána v jímacích územích Řepín a Bělá a odvodňována prameny v povodí Strenického potoka (obr. 2). Část pravděpodobně pokračuje dále k erozní bázi na jihovýchodě, reprezentované Jizerou. Nedostatek vrtů a pramenů v této oblasti (mezi prameny Strenického potoka a Jizerou) však neumožňuje kvantifikaci tohoto odtoku.
Kolektor Ca místy obsahuje i mladou podzemní vodu. Nad ním se nachází kolektor Cb s hladinou podzemní vody o 30–100 m vyšší. Na jeho bázi se vyskytuje izolátor, který umožňuje vůbec existenci kolektoru Cb. V zaříznutých údolích je však mocnost izolátoru snížena erozí a jeho spojitost narušena zvětráváním, což umožňuje průsak vody z kolektoru Cb a přítok mladé vody do kolektoru Ca. Starší voda se tak obecně vyskytuje přednostně v oblastech, kde nedochází k ředění mladší vodou z kolektoru Cb díky dostatečné mocnosti izolátoru nebo kde podzemní voda stagnuje v hlubších částech kolektoru Ca (v severní části území).
Kolektor Ca je tvořen převážně mocnými polohami křemenných pískovců s vysokou pórovitostí (25 % a více; Pátek, 2024). Naproti tomu kolektor Cb je, s výjimkou severní části, tvořen přechodní facií jemnozrnných vápnitých pískovců a v menší míře písčitých vápenců s pórovitostí obvykle mezi 5 a 10 % (Kůrková et al., 2019). Menší objem pórů představuje menší objem vody a rychlejší proudění, což vede k nižší době zdržení v tomto kolektoru.

5. Závěr

Na pravém břehu Jizery se nachází významné zdroje podzemní vody, proto byla tato oblast historicky předmětem dlouhodobého výzkumu. Mimo cenomanský kolektor A, který není vodohospodářsky významný, zde byl původně vymezen kolektor C v křemenných pískovcích jizerského souvrství. V rámci předchozího projektu Rebilance však byly identifikovány vrty a prameny, které vykazují jinou úroveň hladiny podzemní vody a její stáří, než by měly mít, pokud by byl v oblasti vyvinut jediný kolektor. Porovnáním výšek hladin podzemní vody v 700 vrtech bylo v naší studii dokázáno, že se prakticky v celé oblasti vyskytují dva kolektory – Ca a Cb. Kolektor Ca tvoří převážně křemenný pískovec sekvencí TUR3 a TUR4, zatímco kolektor Cb je vázán na vápnité pískovce přechodní facie. Oba kolektory jsou odděleny poloizolátorem situovaným zřejmě při bázi TUR5. Vydatné prameny a přítoky do vrtů ukazují, že vápnité pískovce, často považované za poloizolátor, mohou vlivem krasovění vytvářet velmi propustné zóny a stávají se tak nejpropustnějším kolektorem v oblasti.
Hladina podzemní vody v kolektoru Cb se nachází o 40–100 m výše než v kolektoru Ca. V místech, kde vrty hydraulicky propojují kolektory Ca a Cb nebo, kde dochází k porušení izolátoru v důsledku ztenčení nadložních vrstev dochází ke snížení hladiny podzemní vody v kolektoru Cb na úroveň kolektoru Ca vlivem hydraulického zkratu. Kolektor Ca představuje nejvýznamnější kolektor z hlediska zdrojů a využívání podzemní vody. Více než 300 000 lidí, mezi nimi města Mladá Boleslav, Kladno, Mělník, využívá pitnou vodou z tohoto kolektoru. Proto je nutné chránit kvantitu a kvalitu této vody. Zranitelnost je výrazně vyšší v místech se sníženou mocností nadložního kolektoru Cb, resp. jeho bazálního izolátoru. V těchto oblastech, zejména v infiltrační zóně, je nezbytné zajistit důslednou ochranu kvality infiltrované vody, a to i s ohledem na možné šíření perzistentních kontaminantů. Současně je nutné při návrhu a realizaci vrtů důsledně respektovat existenci dvou oddělených turonských kolektorů a zabránit jejich hydraulickému propojení. To se týká zejména vrtů pro tepelná čerpadla, nových jímacích objektů a průzkumných vrtů, které musí být technicky řešeny tak, aby nedocházelo k narušení izolátoru a ke vzniku preferenčních vertikálních cest proudění tělesy vrtů.
Nově navržené členění turonských kolektorů má zásadní význam pro pochopení proudění podzemní vody v této části České křídové pánve, pro ochranu významných vodních zdrojů i pro optimalizaci návrhu geotermálních a vodárenských vrtů s cílem minimalizovat riziko hydraulického zkratu.

Poděkování: Výzkum v rámci projektu č. SS06010268 „Poznání, kvantifikace a ochrana strategických zdrojů podzemní vody české křídové pánve hlubokého oběhu v hydrogeologických rajonech 4410 a 4522“ byl spolufinancován Technologickou agenturou České republiky. Autoři příspěvku děkují dr. D. Uličnému a dr. L. Špičákové z Geofyzikálního ústavu Akademie věd ČR, v.v.i. za poskytnutí nadmořských výšek bází genetických sekvencí, tj. detailních stratigrafických jednotek České křídové pánve pro studovanou oblast. Dále děkujeme Mgr. J. Bohadlovi z České geologické služby za zprocesování těchto dat a konzultace a kritické připomínky k předběžným verzím hydrostratigrafických řezů. Dále děkujeme I. Kůrkové a O. Nolovi za poskytnutí klíčových hydrogeologických dat, Ing. L. Kozlové, Bc. V. Jáskovi, Ing. F. Kloučkovi, Ing. J. Průšovi a dalším pracovníkům společností Vodárny Kladno–Mělník, a.s., Vodovody a kanalizace Mladá Boleslav, a.s. a Severočeské vodovody a kanalizace, a.s., dále Mgr. V. Ekertovi, Ing. B. Cervantesovi a J. Bendovi ze společnosti DIAMO, s.p. za spolupráci a umožnění přístupu k jímacím a monitorovacím vrtům. Poděkování patří rovněž dr. T. Weissovi, MSc. M. M. Finsovi, Bc. S. Fataciune (Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova) a dr. J. Nedvědovi (GeoHamry, s.r.o.) za pomoc při terénních pracích. Dr. J. V. Datlovi děkujeme za zdárné vedení projektu.

Seznam literatury

Bruthans J., Slavík M., Mareš J., Šabatová K., Kůrková I., Nol O., 2026: *Re-Evaluation of Groundwater Flow Systems in Sedimentary Basin Based on Wide Range of Environmental Tracers, Hydrostratigraphy, and Field Measurements*. Water, 18, 683.

Corcho Alvarado J. A., Leuenberger M., Kipfer R., Paces T., Purtschert R., 2011: *Reconstruction of past climate conditions over central Europe from groundwater data*. Quat. Sci. Rev., 30, 3423–3429.

Čech S., Klein V., Kříž J., Valečka J., 1980: *Revision of the Upper Cretaceous Stratigraphy of the Bohemian Cretaceous Basin.* Věstník Ústředního ústavu geologického, 55, 277–296.

ČGS, 2026a: *Podzemní voda – rajony, základní odtok a zranitelnost.* https://mapy.geology.cz/hydro_rajony

ČGS, 2026b: *Geologická mapa 1:50 000.* https://mapy.geology.cz/geo

Geofond, 2026: *Databáze archivu zpráv a posudků (ASGI).* Česká geologická služba. https://app.geology.cz/asgi

Herčík, F., Herrmann, Z., Valečka, J., 1999: *Hydrogeologie české křídové pánve.* Český geologický ústav, Praha, 115 stran.

Hynie, O., 1961: *Hydrogeologie ČSSR I. Prosté vody.* Nakladatelství československé akademie věd, 562 str.

Klein, V., 1966: *Stratigrafie a litologie svrchní křídy mezi Jizerou a Labem.* Sbor. geol. Věd, geol., G, 11, 49–76.

Kůrková, I. et al., 2016a: *Rebilance zásob podzemních vod.* Závěrečná zpráva, Příloha č. 2/31, Stanovení zásob podzemních vod. Hydrogeologický rajon 4410 – Jizerská křída pravobřežní. Česká geologická služba.

Kůrková, I., Burda, J. et al., 2016b: *Rebilance zásob podzemních vod*. Závěrečná zpráva, Příloha č. 2/35, Stanovení zásob podzemních vod. Hydrogeologický rajon 4522 – Křída Liběchovky a Pšovky. Česká geologická služba, Praha.

Kůrková, I., Bruthans, J., Balák, F., Slavík, M., Schweigstillová, J., Bruthansová, J., Mikuš, P., Vojtíšek, J., Grundloch, J., 2019: *Factors controlling evolution of karst conduits in sandy limestone and calcareous sandstone (Turnov area, Czech Republic)*. Journal of Hydrology, 574, 1062–1073.

DMR 5G, 2026: *Geoprohlížeč,* Zeměměřičský úřad. Dostupné online: https://ags.cuzk.gov.cz/geoprohlizec/

Pačes, T., Corcho Alvarado, J. A., Herrmann, Z., Kodeš, V., Mužák, J., Novák, R., Purtschert, R., Remenarová, D., Valečka, J., 2008: *The Cenomanian and Turonian aquifers of the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic.* In Edmunds, W. M., Shand, P. (ed.), Natural Groundwater Quality. Blackwell Publishing Ltd., Oxford.

Pátek, K., 2024: *Možnost tvorby krasových kanálů v oblasti mezi povodími Úštěckého a Košáteckého potoka a vymezení povodí hlavních skupin pramenů*. Diplomová práce, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha.

Starý, J., Bruthans, J., Schweigstillová, J., Mareš, J., Procházka, M., 2024: *Origin of Fracture-Controlled Conduits in Calcite-Rich Highly Productive Aquifers Impregnated with Diagenetic Silica.* Water, 16, 687.

Svoboda, J., 1964: *Regionální geologie ČSSR*. Díl I Český masiv. Svazek 2. Algonkium – kvartér. Ústřední ústav geologický, Praha.

Uličný, D., 2001: *Depositional systems and sequence stratigraphy of coarse-grained deltas in a shallow-marine, strike-slip setting: The Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic*. Sedimentology, 48, 599–628.

Uličný, D., Laurin, J., Čech, S., 2009: *Controls on clastic sequence geometries in a shallow marine, transtensional basin: the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic*. Sedimentology, 56, 1077–1114.

Valečka, J., 1979: *Paleogeografie a litofaciální vývoj severozápadní části české křídové pánve*. Sbor. geol. Věd, Geol., 33, 47–81.

HYDROGEOLOGICKÝ MONITORING PODZEMNÍCH, POVRCHOVÝCH A DŮLNÍCH VOD V PVP BUKOV

HYDROGEOLOGICAL MONITORING OF GROUNDWATER, SURFACE AND MINE WATERS IN THE BUKOV URF

[1]Charvát P., [2]Kocman T., [1]Kunovjánek A., [1]Kuklík J., [3]Macáková A., [1]Navrátilová V., [1]Pacl A., [1]Paulin T., [2]Průcha P., [3]Vencl M.

[1]SG Geotechnika, a.s., Geologická 988/4, Hlubočepy, 152 00 Praha 5,e-mail: vlasta.navratilova@geotechnika.cz
[2]KOCMAN envimonitoring, s.r.o., Šimáčkova 674/137, Líšeň, 628 00 Brno, e-mail: tkocman@asdm.cz
[3]SÚRAO ČR, Dlážděná 6, 110 00 Praha 1, e-mail: macakova@surao.gov.cz

Abstrakt: Hydrogeologický monitoring podzemní, povrchových a důlních vod v PVP Bukov popisuje a vyhodnocuje hydrogeologický monitoring podzemních a povrchových vod v prostoru PVP Bukov I za období 2023-2024. Hydrogeologický monitoring navazoval na výsledky předchozích projektů od r. 2014, především na výsledky komplexní geologické charakterizace prostorů PVP Bukov ukončené v r. 2017 (Bukovská et al., 2017) a následného pětiletého režimního monitoringu podzemních, povrchových a důlních vod ukončeného v r. 2023 (Vylamová et al., 2023).

Abstract: Hydrogeological Monitoring of Groundwater, Surface and Mine Waters in the Bukov URF describes and evaluates the hydrogeological monitoring of groundwater and surface water in the Bukov URF I area for the period 2023-2024. The hydrogeological monitoring follows on from the results of previous projects performed since 2014, and in particular the results of the comprehensive geological characterisation of the Bukov URF I area completed in 2017, and the subsequent five-year regime monitoring of groundwater, surface and mine water completed in 2023.

Klíčová slova: PVP Bukov, monitorovací plán, monitoring, podzemní voda, povrchová voda, důlní voda, monitorovací síť, dokumentační bod, měrný objekt, měrný profil, měrná křivka, průtok, vydatnost, přenos dat

Keywords: Bukov URF, monitoring plan, monitoring, groundwater, mine water, monitoring network, documentation points, measurement object, measurement profile, measuring curve, data transfer, flow, yield

1. Úvod

Cílem hydrogeologického monitoringu jak na povrchu (nad prostorem PVP Bukov I), tak v podzemí (v PVP Bukov I a dalších místech na 12. patře dolu Rožná I v hloubce okolo 500 m pod povrchem) bylo získat informace o charakteru podzemních vod mělkého i hlubokého oběhu, o jejich kvalitativních a kvantitativních parametrech v čase a prostoru. Vyhodnocení režimního monitoringu umožňuje posouzení vzájemných vazeb jednotlivých typů vod a doplňuje dosud získané znalosti o charakterizaci prostředí jejich vzniku, proudění a akumulaci.
Rozsah, četnost, počet analytických stanovení a typ monitoringu (kvantita, kvalita) probíhal v 7 kampaních vzorkování vod a přímých měření (2x v r. 2023; 5x v r. 2024) v rozsahu vybraných sledovaných parametrů: základní analýzy vod (Na, K, Mg, Ca, Fe, Cl, F, HCO3, NO3, SO4, SiO2, NH4, pH, vodivost) a stopových prvků (Al, As, Ba, P, Pb, Zn, Mn, Rb, Sr, Li, Mo, Fe).
Přímá měření v rámci monitoringu (kvantita, kvalita) zahrnovala měření fyzikálně-chemických parametrů (pH, Eh, konduktivita, rozpuštěný kyslík, teplota vody) pomocí kalibrovaných měřících přístrojů v rámci každého odběru vzorku vody a měření vydatnosti/průtoku (kvantita).
Radioaktivní látky (celkem 2x, v 4/2024 a 11/2024) byly stanoveny v rozsahu: celk. objem. aktivita alfa, celk. objem aktivita beta, U, Rn.
Analýza stáří vod u vzorku podzemní vody BK18 (S-1) z prostoru PVP Bukov I byla provedena ve VÚV T.G.M. v.v.i. v Praze tritiovou metodou a v Radiocarbon Laboratory AGH, Kraków radiokarbonovou metodou.

2. Hydrogeologický monitoring na povrchu PVP Bukov I

2.1 Sledované objekty, rozsah monitoringu

Objekty hydrogeologického monitoringu vod na povrchu PVP Bukov byly 3 mělké hydrogeologické vrty (PV5, PV5, PV8), 7 pramenů (BP001, BP005, BP008, BP019, BP021, BP022, BP027) a Bukovský potok před soutokem s Bobrůvkou.
U pramenů i Bukovského potoka byly v období 2023-2024 sledovány jak kvantitativní (vydatnost/průtok), tak kvalitativní parametry (fyzikálně-chemické parametry, vybrané parametry chemického složení a radioaktivity).

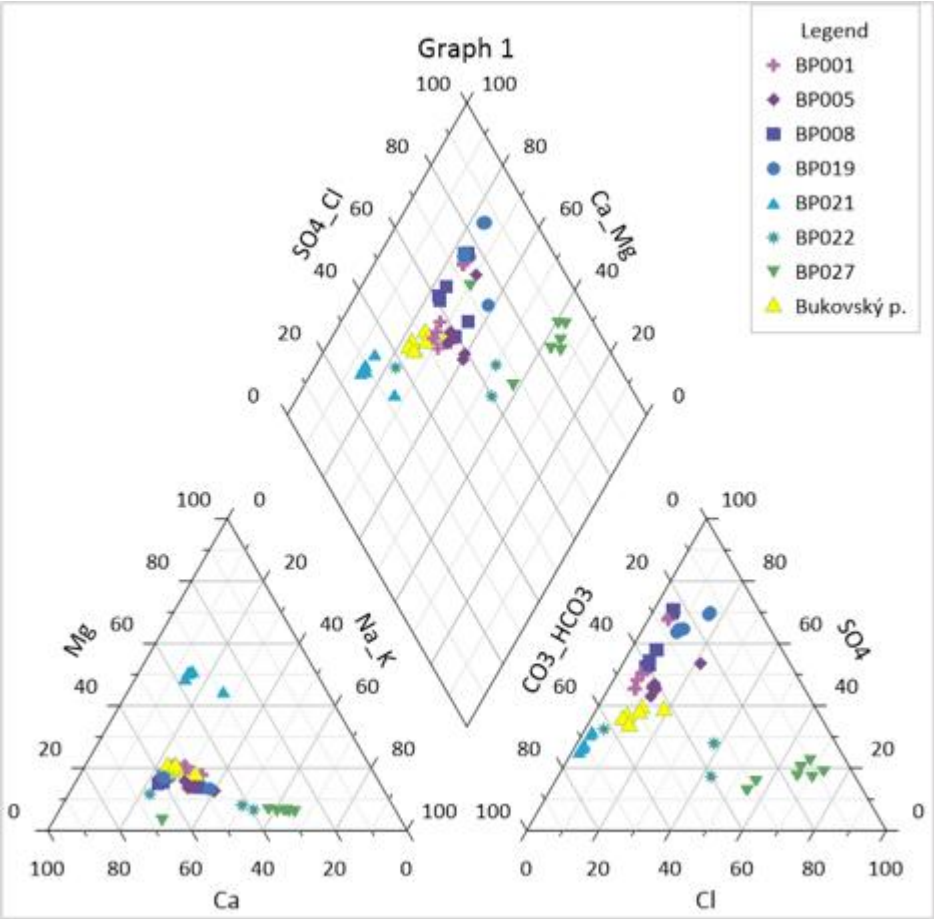
U 3 mělkých vrtů byly prováděny pouze záměry úrovní hladin podzemních vod ručním hladinoměrem.
Součástí monitoringu byla i meteostanice provozovaná od r. 2018 zaznamenávající srážky, teploty vzduchu, teploty půdy, vlhkosti vzduchu a půdní vlhkosti, rychlosti a směru větru, měření délky slunečního svitu.

2.2 Chemické složení podzemních a povrchových vod

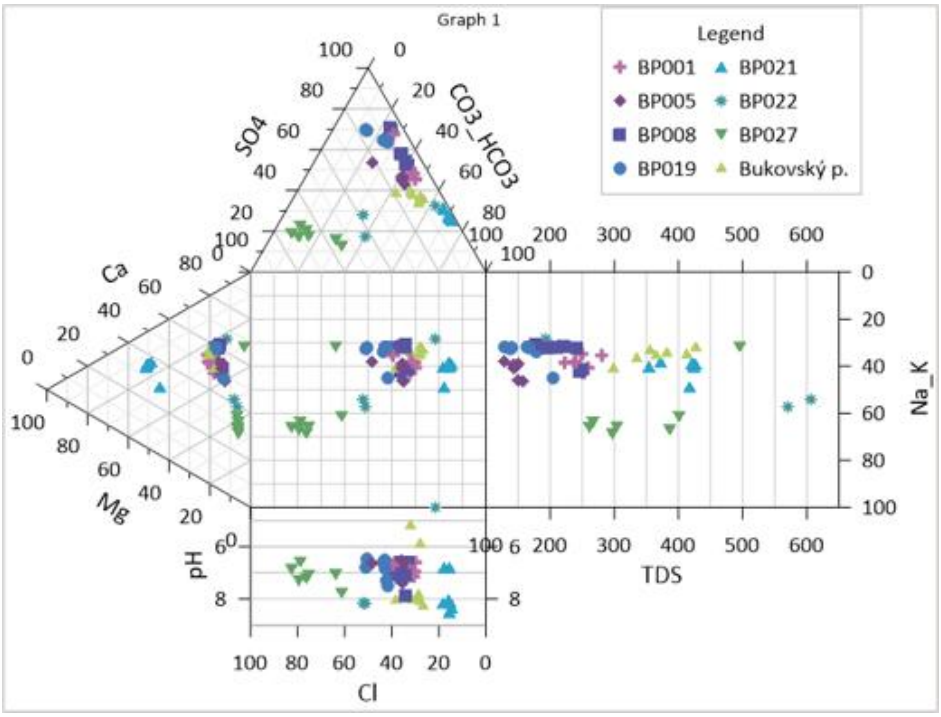
U většiny pramenů na povrchu PVP Bukov I podzemní voda v období 2023-2024 chemickým složením (obr. 1, obr. 2) odpovídala hydrochemickým typům s převahou vápníku a hořčíku, ev. sodíku a síranů, hydrogenuhličitanů, ev. chloridů. U pramene 296HGM0036 (BP021) převažovaly hořčík a hydrogenuhličitany ($MgCa-HCO_3SO_4$).
Podzemní vody pramenů 296HGM0055 (BP027) a 296HGM0037 (BP022) s vyšším zastoupením sodíku a chloridů se chemickým složením odlišovaly. Jejich chemické složení bylo ovlivňováno antropogenním znečištěním. U pramene Bukovského potoka BP022 bylo chemické složení vody nestabilní vlivem skládky Bukov a vypouštěných důlních vod z dekontaminační stanice, u pramene 296HGM0055 (BP027) bylo znečištění podzemní vody způsobeno zimní údržbou přilehlé komunikace a zemědělskou činností na přilehlých pozemcích (dusičnany 16,8-63,2 mg/l, chloridy nejvyšší koncentrace 105-166 mg/l v období 2023-2024).

2.3 Radiologie

Referenční hodnota pro ^{222}Rn (100 Bq/l) v období 2023-2024 nebyla ve sledovaných pramenech překročena. Vyšetřovací úrovně pro pitnou vodu stanovené Vyhl. č. 422/2016 Sb. (Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje) stanovené pro celkovou objemovou aktivitu α (0,2 Bq/l) a celkovou objemovou aktivitu β (0,5 Bq/l) byly překročeny v období 2023-2024 pouze u pramene 296HGM0037 (BP022) v 04/2024 jak pro celkovou objemovou aktivitu α, tak pro celkovou objemovou aktivitu β.



Obr. 1 Piper diagram složení vod na povrchu PVP Bukov I v období 2023-2024
Fig. 1 Piper diagram of the composition of water on the surface of Bukov URF I in the period 2023-2024



Obr. 2 Durov diagram složení vod na povrchu PVP Bukov I v období 2023-2024
Fig. 2 Durov diagram of the composition of water on the surface of Bukov URF I in the period 2023-2024

2.4 Přímá měření na povrchu PVP Bukov I

Prameny v lokalitě Bukov reprezentující různé úrovně oběhu podzemních vod a jejich režim, osazené kovovými vzdouvacími objekty s přelivy ve tvaru V, nebyly vybaveny technikou pro kontinuální záznam vodního stavu (obr. 3). Bodová přímá měření průtoků (vydatnosti) byla prováděna objemovou metodou (naplnění známého objemu za čas) pomocí kalibrovaných měřících nádob a stopek.

Hydrologická stanice (automatická měřící stanice AMS) na Bukovském potoce (obr. 4) jako součást dlouhodobého kontinuálního automatického monitoringu byla jedinou AMS na povrchu PVP Bukov I. Kromě záznamů vodních stavů z AMS bylo na Bukovském potoce v období 2023-2024 provedeno celkem 27 kontrolních přímých měření minimálně v měsíčním kroku s ohledem na průběh počasí tak, aby byly zachyceny i vysoké průtoky.

Vydatnost i chemické složení vody Bukovského potoka jsou dlouhodobě ovlivňovány skládkou Bukov a vypouštěním předčištěných důlních vod z dekontaminační stanice Bukov. Pramen Bukovského potoka byl od června do listopadu suchý.

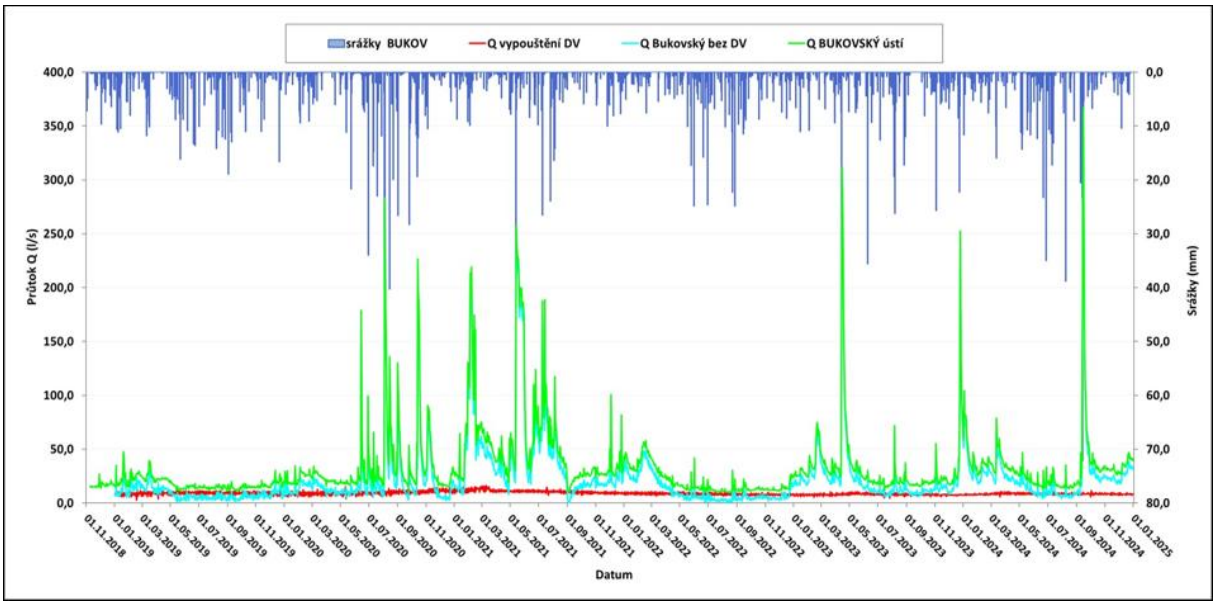
Vydatnosti u 7 pramenů se v závislosti na atmosférických srážkách v období 2023-2024 pohybovaly mezi 0,04-1,0 l/s. Hladiny podzemní vody v mělkých hydrogeologických vrtech monitorujících skládku TKO Bukov se v období 2023-2024 pohybovaly mezi 6,23-13,31 m pod terénem v závislosti na umístění vrtu a na ročním období, resp. srážkových úhrnech ve sledované oblasti PVP Bukov I.

Průměrný roční srážkový úhrn za období 2019-2024 činil 576,7 mm. Roky 2019, 2021 a 2022 byly z hlediska srážek podprůměrné. Rok 2023 téměř dosáhl průměru a roky 2020 a 2024 byly nadprůměrné (obr. 5).

Změny hydrogeologických poměrů projevující se snížením nebo ztrátami vydatnosti pramenů a průtoků v tocích se v období 2023-2024 projevily u pramene Bukovského potoka 296HGM0037, který byl suchý v 11/2023 a v období 06-11/2024. Jeho vydatnost je přímo závislá na atmosférických srážkách a na vypouštění předčištěných důlních vod z dolu Rožná. U pramene 296HGM0034 (BP008) bylo v rámci přímých měření zaznamenáno snížení průměrné vydatnosti.

Obr. 3 Pramen - měrný profil
Fig. 3 Springs - measurement profile

Obr. 4 Hydrologická stanice Bukovský potok (AMS)
Fig. 4 Bukovský Brook hydrological station (Automatic Measurig Station)



Obr. 5 Průtoky AMS Bukovský potok a vypouštění důlních vod za období 2019-2024
Fig. 5 Flow at the Bukovský Brook AMS and discharge of mine waters during the period 2019-2024

3. Hydrogeologický monitoring v prostoru PVP Bukov I a dalších místech na 12. patře dolu Rožná v hloubce okolo 500 m pod povrchem

3.1 Sledované objekty, rozsah monitoringu

V prostoru PVP Bukov na 12. patře dolu Rožná probíhal kvalitativní (odběr vzorků vod vč. měření fyzikálně-chemických parametrů) a kontrolní kvantitativní monitoring (měření úkapů a výtoků z puklin masivu) na 12 dokumentačních bodech (od června 2024 na 13 bodech).

Odběry vzorků vod v prostoru PVP Bukov I byly prováděny náběrem přímo z výtoků z horninového masivu či vrtů prostřednictvím sběrných žlábků (obr. 6).

Obr. 6 Sběrné žlábky
Fig. 6 Collection troughs

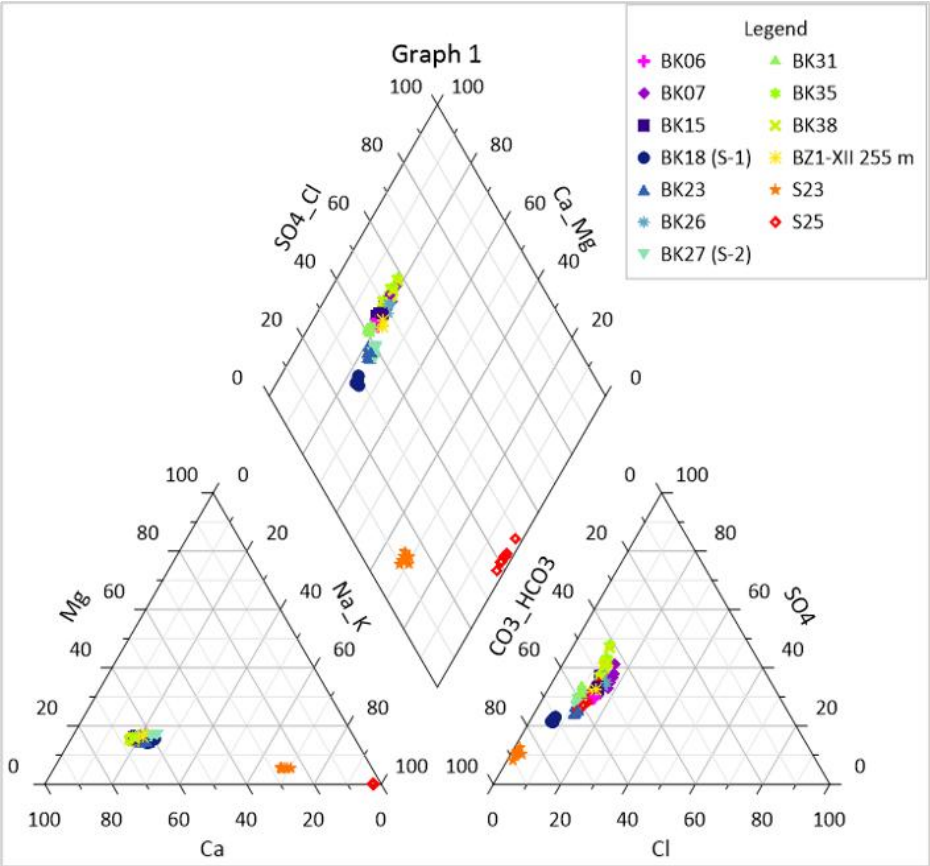
3.2 Chemické složení podzemních vod

V monitorovaném prostoru v PVP Bukov I na 12. patře (oxidační prostředí) u přitékajících podzemních vod na základě výsledku monitoringu v období 2023-2024 většinou (přítoky „BK“) převažovaly z kationtů vápník nad hořčíkem a z aniontů hydrogenuhličitany nad sírany (obr. 7, obr. 8).

Odlišné chemické složení podzemních vod u vrtů S-23 a S-25, kde převažovaly sodík a hydrogenuhličitany, na 12. patře jámy B1 odpovídalo hlubšímu oběhu podzemních vod v PVP Bukov I.

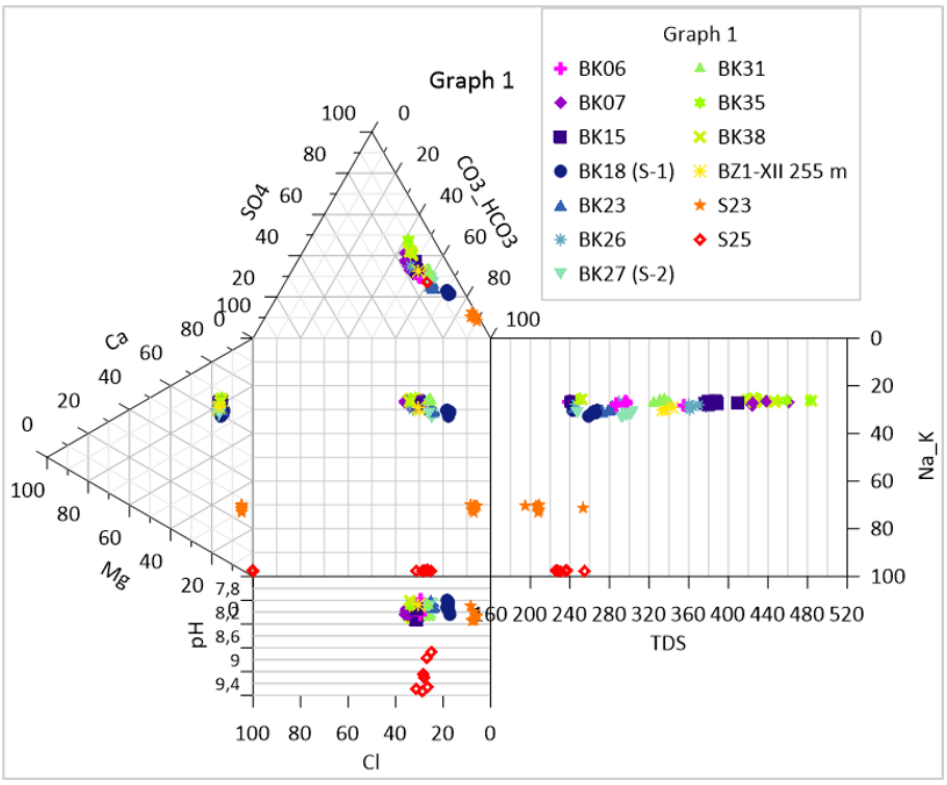
Z grafického vyjádření časového vývoje chemismu přítoků a jejich porovnání z období 2014-2018 a 2019-2024 (obr. 9, obr. 10), např. přítok 296HGM0008 (BK18 (S-1)) vyplývalo, že k nejvýraznějším změnám chemismu (stoupající zastoupení vápníku, síranů a chloridů, stoupající celková mineralizace, klesající pH) docházelo do r. 2018. Změny v chemismu se projevily u všech přítoků a s největší pravděpodobností souvisely se zatápěním spodních pater dolu, které probíhá od r. 2021.

Z hlediska výskytu stopových prvků v období 2023-2024 byly u přítoků zjištěny nejčetnější výskyty u manganu nad 0,05 mg/l u 5 bodů, u železa nad 0,2 mg/l u 3 bodů a ojediněle u hliníku nad 0,2 mg/l spolu s železem a manganem u 1 bodu.

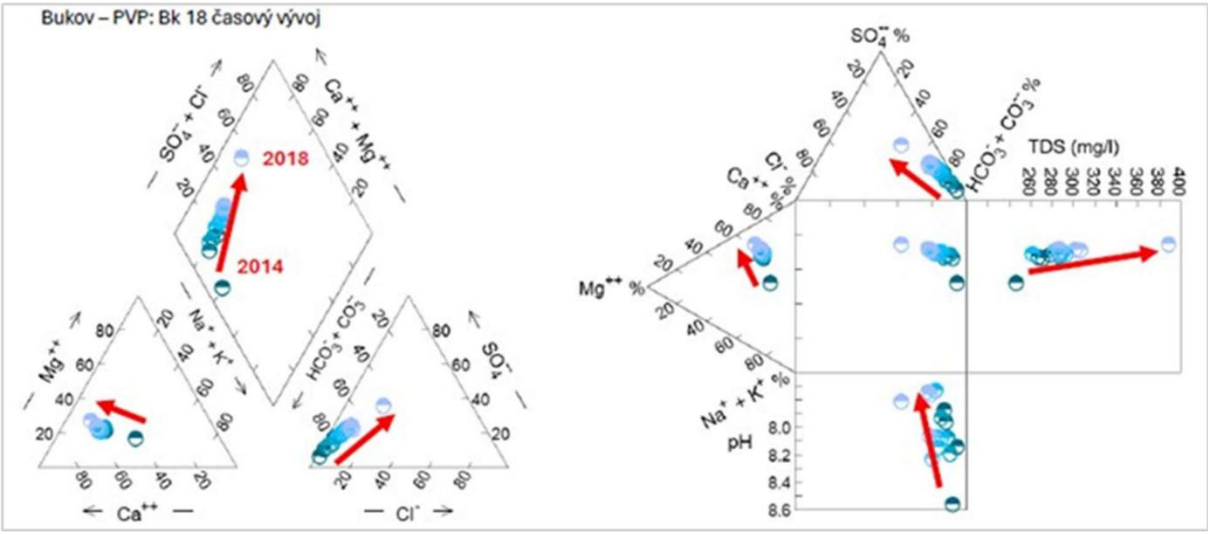


Obr. 7 Piper diagram chemického složení přítoků v prostoru PVP Bukov I v období 2023-2024

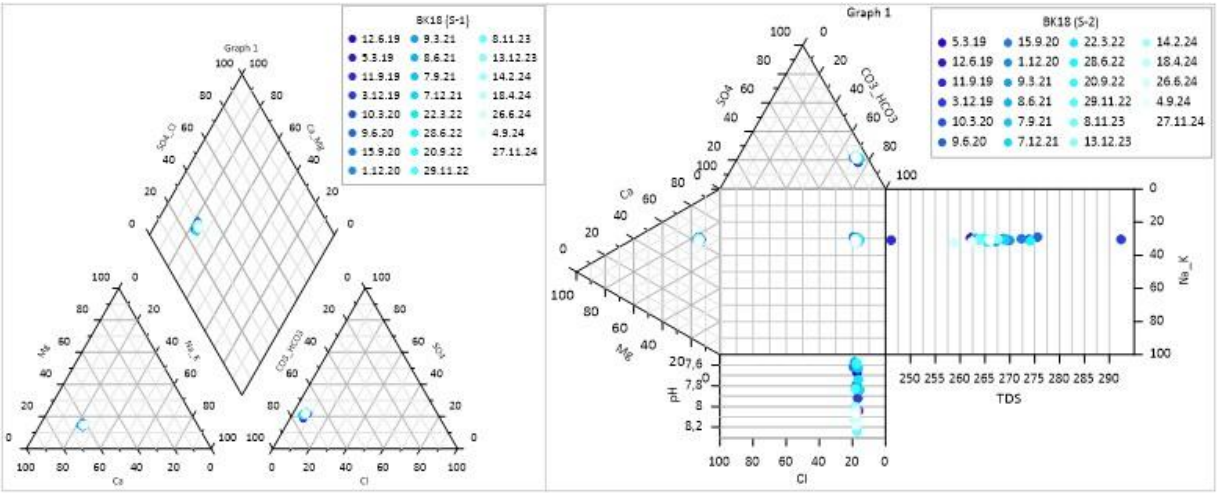
Fig. 7 Piper diagram of the chemical composition of inflows in the area of Bukov URF I in the period 2023-2024



Obr.8 Durov diagram chemického složení přítoků v prostoru PVP Bukov I v období 2023-2024
Fig. 8 Durov diagram of the chemical composition of inflows in the area of Bukov URF I in the period 2023-2024



Obr. 10 Časový vývoj chemismu přítoku 296HGM0008 (BK18 (S-1)) v období 2014-2018 (Zeman 2025)
Fig 10 Temporal development of the chemistry of inflow 296HGM0008 (BK18 (S-1)) in the period 2014-2018



Obr. 9 Časový vývoj chemického složení u přítoku BK18(S-1) v období 2019-2024
Fig. 9 Temporal development of the chemistry of inflow 296HGM0008 (BK18 (S-1)) in the period 2019-2024

3.3 Radiologie

Vyšetřovací úrovně pro pitnou vodu stanovené Vyhl. č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, pro celkovou objemovou aktivitu α (0,2 Bq/l) a celkovou objemovou aktivitu β (0,5 Bq/l) nebyly v období 2023-2024 v monitorovaném prostoru PVP u sledovaných přítoků překročeny.
Z dlouhodobého hlediska od r. 2018 byly vyšetřovací úrovně překročeny ojediněle, a to na počátku prováděných prací v prostoru PVP Bukov I v letech 2018-2019 u 5 přítoků.
Referenční hodnoty pro ^{222}Rn (100 Bq/l) a $U_{rozp.}$ (15 ug/l) byly překročeny pouze pro ^{222}Rn u přítoku 296HGM0019 (BK27 (S-2)) v 11/2024, kde byla referenční hodnota ^{222}Rn od r. 2018 překročena každoročně kromě jediného odběru v 04/2024.

3.5 Měření přítoků do prostoru PVP Bukov I

Měření přítoků do prostoru PVP Bukov I průběžně zajišťovaly tři strategicky rozmístěné automatické měřicí stanice FIEDLER (člunkové průtokoměry u přítoků s nízkou vydatností, mechanické a indukční průtokoměry, manometrické a ultrazvukové sondy v kombinaci se vzdouvacímu objekty), které prováděly měření a vyhodnocení veličin z připojených čidel. Měřená data se ukládala v paměti vyhodnocovací jednotky a pomocí sítě ethernet se operativní data odesílala na datahostingový server, kde byla dále zálohována (zrcadlené zálohy serverů). Kontrolní měření probíhala objemovou metodou pomocí kalibrované nádoby a stopek a metodou hydrometrování (obr. 11).
Na základě vyhodnocení dlouhodobého kontinuálního automatického monitoringu (AMS) byly vydatnosti přítoků do monitorovaného prostoru PVP Bukov I u většiny bodů beze změn. Z hlediska dlouhodobého trendu vydatnosti přítoků do r. 2024 klesaly u 7 přítoků (z 18 přítoků s AMS); dále 4 přítoky zaznamenaly nárůst, 4 přítoky konstantní vývoj, 1 přítok proměnlivý vývoj a u 2 přítoků nebyl trend stanoven. Největší vydatnosti byly kromě celkového odtoku 296HGM0001 (3,0 l/s) naměřeny u přítoků 296HGM0018 (BK26 – 1,1 l/s) a 296HGM0019 (BK27 (S-2) – 0,9 l/s)). Součet vydatností ostatních přítoků činil cca 1 l/s. Nejnižší vydatnosti pohybující se pod 0,01 l/s byly zaznamenány u 11 bodů (u více než poloviny dokumentačních bodů).
Významnější změny byly zaznamenány u bodu 296HGM0002 (BK23) - pokles a u bodu 296HGM0018 (BK26) - proměnlivost. Měření úkapů a výronů mezi BK26 a BK27 (S-2) významně zpřesnilo vybudování nového dokumentačního bodu 296HGM0052 v 06/2024. U vrtů 296HGM0042 (S-23) a 296HGM0044 (S-25) byl na základě přímých měření zaznamenán nárůst u vrtu S-23; u vrtu S-25 trend nebyl jednoznačně určen. Výsledky přímých měření byly v souladu s výsledky měření AMS.

3.4 Stáří vod

Stáří vod stanovené 2 nezávislými metodami izotopových analýz u podzemní vody z přítoku 296HGM0008 (BK18 (S-1)) odpovídalo stáří vody stanovenému u předchozích výzkumů. Z měřitelné koncentrace tritia 0,131±0,040 Bq/l lze usuzovat na vodu stáří před jadernými testy před r. 1950 s velmi malým příspěvkem průsaku současných povrchových, srážkových vod. Radiokarbonovou metodou byla stanovena doba zdržení na 4 900-5 200 ± 500 let; vzorek vody obsahoval příměs současné infiltrační vody, tzn. vody obsahující tritium proniklé po testech jaderných zbraní, které začaly v r. 1952.

Obr. 11 Kontrolní měření průtoků metodou rychlostního pole (hydrometrováním)
Fig. 11 Control flow measurement by hydrometry using the velocity field method

4. Závěr

Vyhodnocení hydrogeologického monitoringu podzemních, povrchových a důlních vod v PVP Bukov v období 2023-2024 doplnilo dosud získané znalosti o charakterizaci prostředí jejich vzniku, proudění a akumulace z předchozích výzkumných prací a umožnilo posouzení vzájemných vazeb jednotlivých typů vod.
Výsledky monitoringu v období 2023-2024 rovněž přispěly k upřesnění rozsahu monitorovací sítě na povrchu PVP Bukov I i v podzemí PVP Bukov.

5. Seznam literatury

Bukovská Z., Verner K., Brázda L., Buriánek D., Dobeš P., Dudíková Schulmanová B., Erban V., Franěk J., Halodová P., Hanák J., Havlová V., Holeček J., Jačková I., Jelének J., Kašpar V., Kolomá K., Kopačková V., Koucká L., Kučera P., Laufek F., Lněničková Z., Kočergina J., Myška O., Nahodilová R., Novotná I., Pertoldová J., Rukavičková L., Soejono I., Švagera O., Tomek F., Veselovský F., Zuna M., 2017: Komplexní geologická charakterizace prostorů PVP Bukov, závěrečná zpráva. TZ 191/2017. Archiv SÚRAO

Charvát, P., Kocman T., Kunovjánek A., Kuklík J., Navrátilová V., Pacl A., Paulin T., Průcha P., 2025: Hydrogeologický monitoring podzemních, povrchových a důlních vod v PVP Bukov v období 2023-2024. Závěrečná zpráva. TZ 824/2025. Archiv SÚRAO, Praha.

Vylamová P., Kocman T. et al., 2023: Hydrogeologický a hydrochemický monitoring podzemních a důlních vod v prostoru PVP Bukov. Etapová zpráva za rok 2022. Archív SÚRAO.

Zeman J., 2025: Podzemní vody - prostředí interakce s inženýrskými bariérami VJP. Prezentace, 33 str. - MUNI PřF, Ústav geologických věd. Nepublikováno. Archiv SÚRAO

Metodika hodnocení hladin podzemních vod pro potřeby stanovení přírodních zdrojů podzemních vod v kvartérních hydrogeologických rajonech

Methodology for Assessing Groundwater Levels for the Purposes of Determining Natural Groundwater Resources in Quaternary groundwater bodies

Ondřej Nol[1,2], Martin Zrzavecký[3],Vratislav Žabka[1], Jiří Burda[1]

[1]*Česká geologická služba, Klárov 131/1, 118 21 Praha 1, e-mail: ondrej.nol@geology.cz*
[2]*Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Albertov 6, 128 00 Praha 2, e-mail: ondrej.nol@geology.cz*
[3]*ČHMÚ, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany, e-mail: martin.zrzavecky@chmi.cz*

Abstrakt: Hydrologická bilance v kvartérních hydrogeologických rajonech (HGR) se v Česku neprovádí, protože je velmi složité provádět jednoduché bilancování podzemní vody v kvartérních sedimentech podél velkých řek. Podzemní voda přitéká ze svahů z okolních HGR, drénuje se z podložních HGR, infiltruje se v místě kvartérního HGR ze srážek nebo může přitékat z povrchového toku, kde je množství vcezené vody vůči průtoku povrchové vody zanedbatelné. Monitorované hladiny podzemní vody naopak odpovídají výslednému efektu všech možných způsobů doplňování podzemní vody v kvartérních HGR a také jejich využívání. Pro snadnější bilancování podzemní vody, kde to bylo zapotřebí, byly kvartérní HGR rozděleny na dílčí části – subrajony. Rozdělení proběhlo podle předpokládaného dosahu velkých jímacích území a upořádání okrajových podmínek. Pro každý subrajon resp. HGR byl vytvořen vlastní generelní vývoj hladiny podzemní vody (HPV), který byl stanoven zprůměrováním standardizovaných měsíčních HPV (sHPV) ze všech vrtů v subrajonu. V každém subrajonu byla pro nejvýznamnější suchá období stanovena minimální sHPV (sHPVmin) a vývoj odběrů podzemní vody (POD). Porovnáním sHPVmin v období sucha a s různou velikostí historických POD bylo stanoveno množstevní a hladinové kritérium, při kterém stav podzemní vody v subrajonu lze považovat za dobrý. Tento přístup byl použit pro celkem 64 ze 75 subrajonů. Pro zbývajících 11 subrajonů s nedostatečným POD a monitoringem HPV bylo postupováno specificky. Na základě hodnocení kvantitativního stavu subrajonu bylo provedeno hodnocení kvantitativního stavu HGR.

Abstract: Water balance assessments are generally not performed for Quaternary groundwater bodies (GWBs) in the Czech Republic because it is extremely difficult to establish a simple groundwater balance in Quaternary sediments along major rivers. Groundwater inflows originate from adjacent groundwater bodies on valley slopes, from drainage of underlying groundwater bodies, from local infiltration of precipitation, or from induced infiltration from surface watercourses, where the amount of infiltrated water is negligible compared to streamflow. Conversely, monitored groundwater levels reflect the combined effects of all groundwater recharge mechanisms and groundwater abstraction (GWA). To facilitate groundwater balance assessments, Quaternary GWBs were subdivided, where necessary, into smaller units (sub-regions) according to the estimated extent of major well fields and the configuration of boundary conditions. For each sub-region (or groundwater body), a representative groundwater-level (GWL) hydrograph was developed by averaging standardized monthly groundwater levels from all monitoring wells within the sub-region (sGWL). For each sub-region, the minimum standardized groundwater level during the most significant drought periods (sGWLmin) and the historical evolution of groundwater abstraction were determined. By comparing sGWLmin recorded during droughts with different historical abstraction rates, both volumetric and GWL based criteria were established to define the conditions under which the quantitative status of groundwater in a sub-region can be considered good. This methodology was applied to 64 of the 75 identified sub-regions. The remaining 11 sub-regions, characterized by insufficient abstraction records and GWL monitoring, required a site-specific assessment approach. Finally, the quantitative status of individual Quaternary GWBs was evaluated based on the assessments of their constituent sub-regions.

Klíčová slova: bilance podzemní vody, hladina podzemní vody, útvar podzemní vody

Key words: groundwater balance, groundwater level, groundwater body

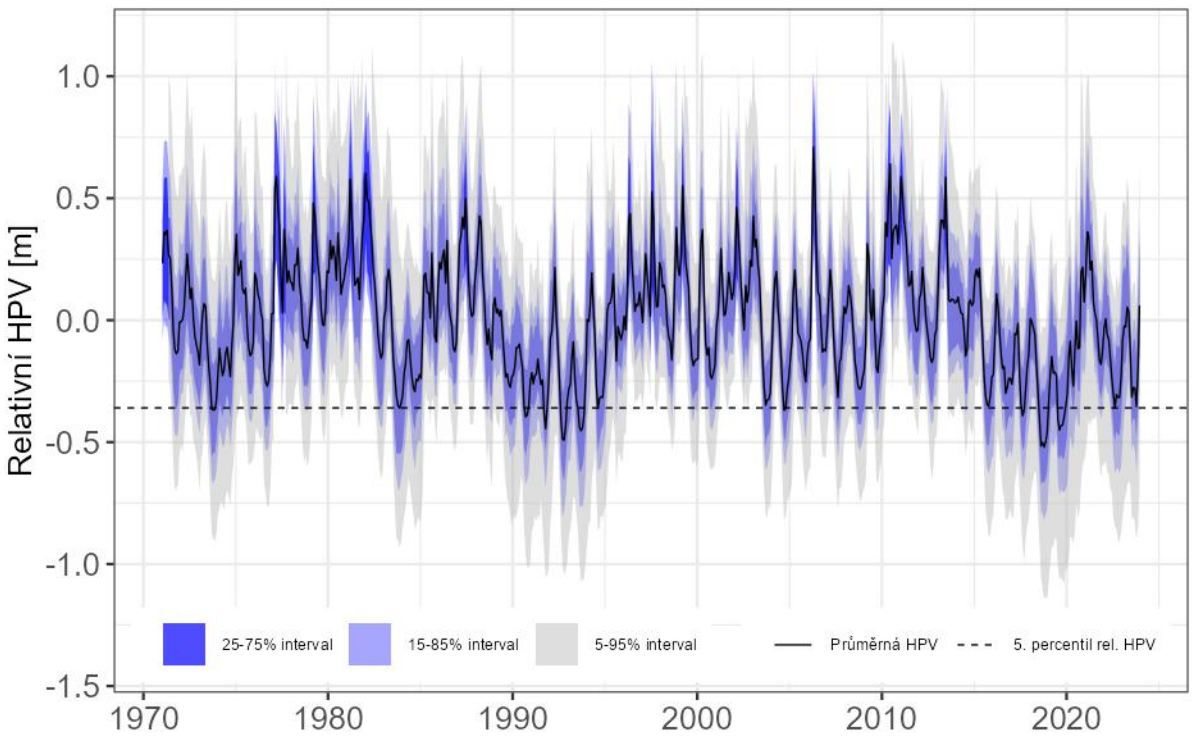
1. Úvod

V Česku je vodohospodářská bilance množství podzemní vody v hydrogeologických rajonech (HGR) základní vrstvy každoročně hodnocena jako poměr součtu odebíraných podzemních vod vůči přírodním zdrojům, stanovených prostřednictvím základního odtoku (ZO), separovaných Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) z celkových odtoků. Tento přístup je vcelku vyhovující pro hydrogeologické struktury mělkých

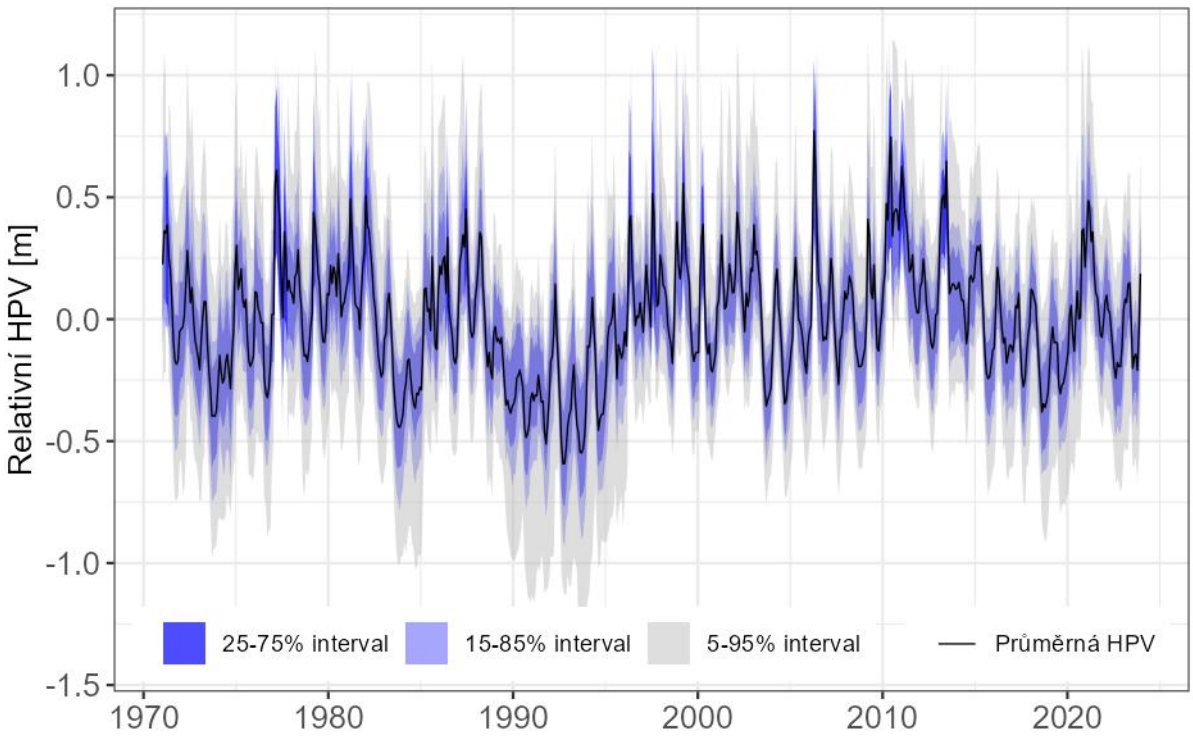
podzemních vod bez přímého vzájemného ovlivňování s povrchovou vodou, ale není dost dobře využitelný pro kvartérní HGR, kde je velmi složité provádět jednoduché bilancování podzemní vody. Zvláště v kvartérních rajonech se může někdy výrazně lišit základní odtok versus podzemní odtok (vlivem přetoků z okolí nebo podloží, nebo naopak vlivem části odtoku mimo závěrový hydrologický profil). Zdroje podzemní vody v kvartérních HGR se mohou v čase měnit, a to v závislosti na možnosti jejich doplňování ale i na rozsahu jejich využívání. Podzemní voda přitéká ze svahů z okolních HGR základní vrstvy, drénuje se z podložních HGR, infiltruje se v místě kvartérního HGR ze srážek nebo může přitékat z povrchového toku, kde je množství vcezené vody vůči průtoku povrchové vody zanedbatelné. Z tohoto důvodu se každoroční hodnocení základního odtoku v kvartérních HGR neprovádí.
Monitorovaná HPV naopak odpovídá výslednému efektu všech možných způsobů doplňování podzemní vody v kvartérních HGR a jejich využívání. Proto je HPV hodnocena v kombinaci s vývojem ZO v nátokových a v podložních HGR základní vrstvy, s vývojem hladiny povrchové vody na vodních tocích a s odběry podzemní vody (POD). Důležitým aspektem je hodnocení kolísání HPV na jednotlivých vrtech a na vrtech mezi sebou v závislosti na jejich hydrogeologické pozici a převažujícím typu kolísání HPV. Cílem je odlišit jednotlivé vlivy základního odtoku a POD na kolísání HPV a použít vztahy mezi analyzovanými veličinami pro metodické hodnocení bilance podzemní vody v kvartérních HGR.
V mnoha kvartérních HGR se nachází řada bilančně oddělených jímacích území a některé kvartérní HGR jsou rozděleny výrazným vodním tokem. Z tohoto důvodu byly mnohé HGR pro potřeby bilance podzemní vody rozděleny na subrajony. Každý subrajon byl hodnocen zvlášť.

2. Generelní vývoj HPV v kvartérních HGR

V kvartérních HGR, v jejich blízkém okolí a v podloží kvartérních HGR je v celém Česku sledováno celkem 484 vrtů, z čehož 39 vrtů má zahájen monitoring HPV v letech 2007 a 2008. Alespoň 30 let dlouhá časová řada HPV je k dispozici na 445 vrtech. Celkem 13 vrtů nebylo z důvodu chybějících záznamů v obdobích 1994–1990 a 2015–2020 zahrnuto do tohoto souhrnného hodnocení a dále bylo kalkulováno s HPV ze 432 monitorovacích vrtů.
Pro rámcovou představu o vývoji HPV ve všech kvartérních HGR byl vytvořen generelní vývoj HPV, který je výsledkem kolísání HPV na všech 432 dlouhodobě monitorovaných vrtech v kvartérních HGR, včetně jejich blízkého okolí, a v podloží kvartérních HGR.
V každoročním hodnocení stavu podzemních vod považuje ČHMÚ 5. percentil za hranici pro mimořádné sucho. K podkročení 5. percentilu generelního vývoje HPV došlo v letech 1973 (a lokálně v roce 1974) a 1983 (a lokálně v roce 1984), v období 1990–1994, v období 2003–2004, v období 2015–2020 a v období 2022–2023 (obr. 1). Tato období jsou označována jako suchá období. Období 1990–1994 a období 2015–2020 jsou nejdelší a s výskytem nejnižší HPV.
Nejnižší HPV v generelním vývoji byla zjištěna pro období 2015–2020 (říjen 2018 -0,52 m), těsně následována obdobím 1990–1994 s nejnižší HPV v říjnu 1992, která byla pouze o 2 cm výše než v období 2015–2020 (-0,50 m). Obě nejnižší hodnoty spadají do nejdlouhodobějších suchých období. V ostatních suchých obdobích generelní vývoj HPV dosáhl přibližně stejných hodnot: období 2003–2004 (-0,37 m), 1973–1974 (-0,37 m), 1983–1984 (-0,36 m) a 2022–2023 (-0,35 m). Maximální rozdíl mezi nejnižšími HPV v generelním vývoji v jednotlivých suchých obdobích je tedy pouze 17 cm.
I když HPV v generelním vývoji byla v říjnu 1992 o 2 cm výše než v říjnu 2018, neplatí to pro všechny monitorované vrty. Celkem 206 vrtů (48 %) se vyznačuje větším poklesem HPV v období 1990–1994, čemuž i odpovídá výsledný generelní vývoj HPV (obr. 2). Kromě období 1990–1994 HPV v generelním vývoji tohoto výběru významně zaklesla i v roce 1973 a k jejímu poklesu v roce 1983 se přidal i pokles HPV v roce 1984. Zhruba na stejně nízké úrovni se pohybovala HPV v generelním vývoji v období 2003–2004 a v období 2015–2020.



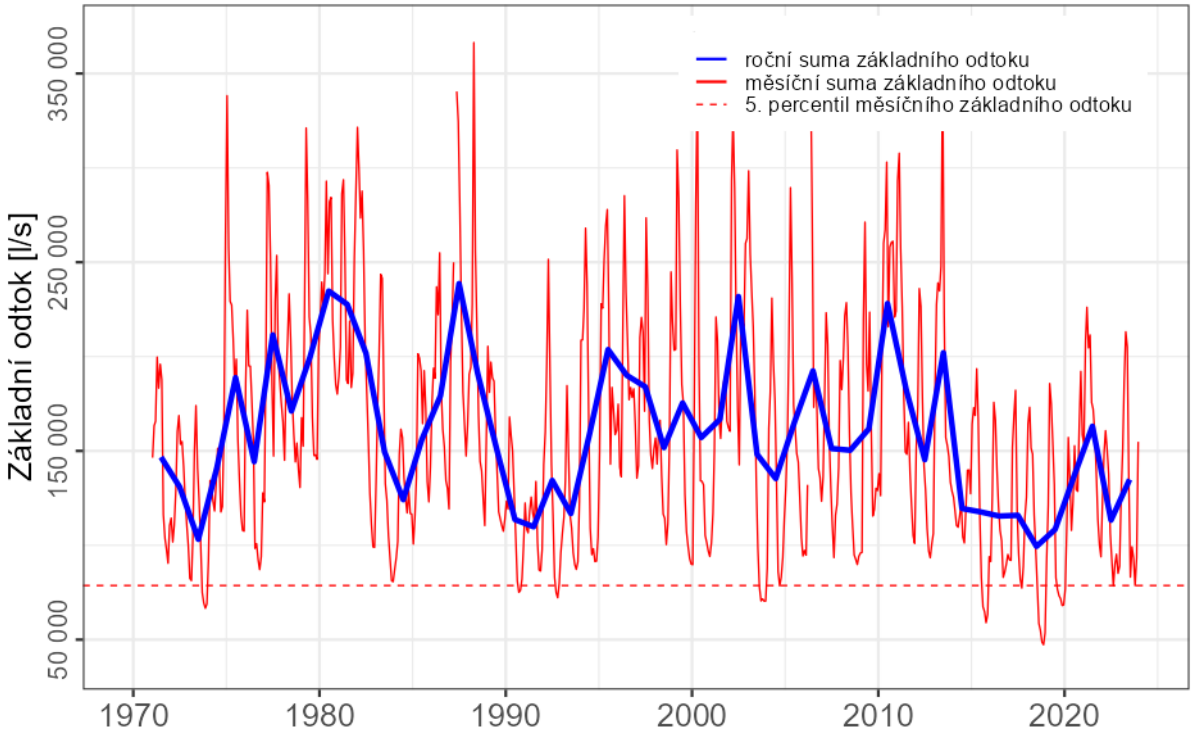
Obr. 1 Generelní vývoj HPV v kvartérních HGR – všechny vrty.
Fig. 1 Representative GWL hydrograph for all monitoring wells in Quaternary GWBs



Obr. 2 Generelní vývoj HPV v kvartérních HGR na vrtech s poklesem HPV v období 1990–1994.
Fig. 2 Representative GWL hydrograph for monitoring wells exhibiting the greatest GWL decline during the 1990–1994 drought.

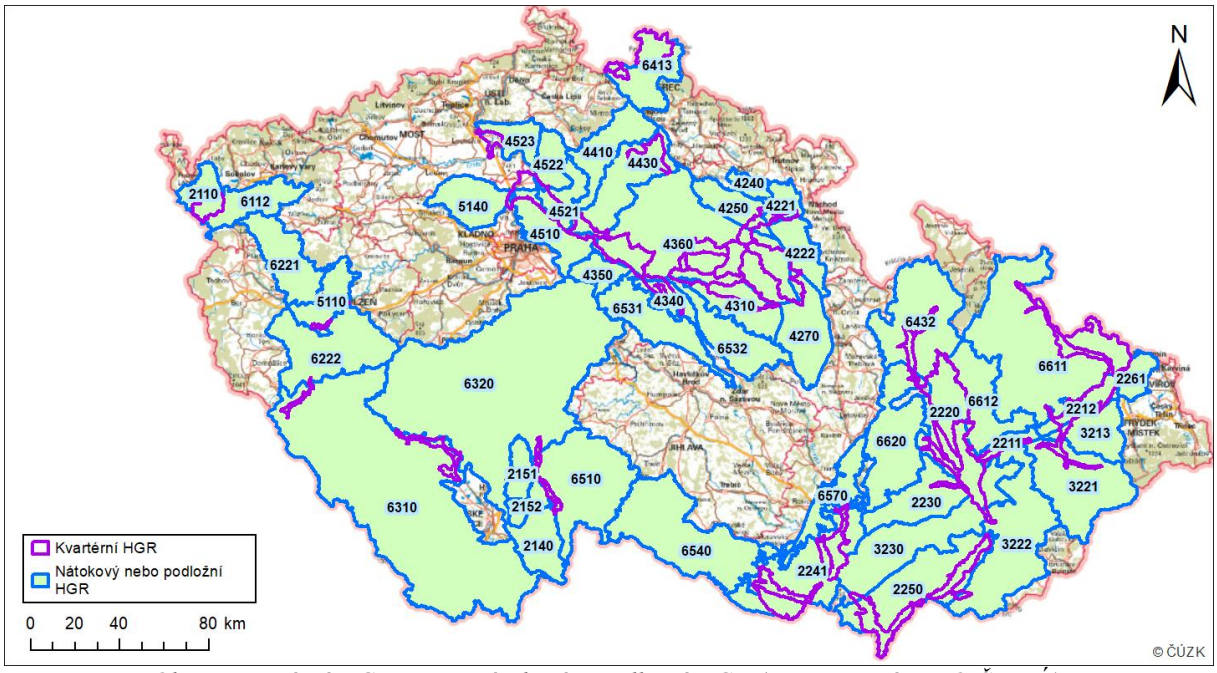
3. Základní odtok

Jako ukazatel doplňování podzemní vody v kvartérních HGR byl využit ZO ve formě přítoků podzemní vody z podložních HGR základní vrstvy (dále v textu označovány jako podložní HGR) nebo nátoků podzemní vody ze svahů HGR základní vrstvy (dále v textu označovány jako nátokové HGR). V podložních a nátokových HGR stanovuje ČHMÚ ZO pomocí Eckhardtova filtru. Všechny tyto ZO ze všech vybraných HGR, ze kterých podzemní voda může teoreticky přitékat do kvartérních HGR, byly posčítány pro každý kalendářní měsíc a zobrazeny (obr. 3 a 4). V případě mimořádného sucha, které podle ČHMÚ odpovídá 5. percentilu, byl výrazný pokles měsíčního ZO zjištěn v roce 1973, v prosinci 1983, v září 1990, v říjnu 1992, v prosinci 2003, v říjnu 2015 a v listopadu 2018. Nízké měsíční hodnoty ZO byly odvozeny i pro září 2004, srpen 2022 a říjen 2023.
Na průměrných ročních ZO se projevují nízké hodnoty především v období 1990–1994 a v období 2015–2020. V období 1990–1994 dosáhl průměrný roční ZO ze všech podložních i nátokových HGR nejnižší hodnoty okolo 110 000 l/s v roce 1991. Naopak v období 2015–2020 nejnižší ZO klesnul až na zhruba 99 000 l/s v roce 2018 (obr. 3). Mezi další významné poklesy ZO patří rok 2004. Tento ZO se však pohybuje v roční sumě výrazně nad úrovní ZO v obou obdobích 1990–1994 a 2015–2020. Další velmi výrazný pokles ZO nastal i v letech 2022 a 2023. I tyto velmi nízké ZO v letech 2022 a 2023 jsou však vyšší než v období 2015–2020.
Vývoj ZO je zpravidla ve shodě s generelním vývojem HPV na všech vrtech. Vývoj ZO z podložních HGR nebo z nátokových HGR tedy nevysvětluje generelní vývoj HPV na výběru vrtů s poklesem v období 1990–1994.
Obr. 3 Vývoj ZO v podložních a v nátokových HGR základní vrstvy, jejichž podzemní voda může přitékat do kvartérních HGR.



Obr. 3 Vývoj ZO v podložních a v nátokových HGR základní vrstvy, jejichž podzemní voda může přitékat do kvartérních HGR.

Fig. 3 Temporal evolution of baseflow in recharge and underlying GWBs supplying Quaternary GWBs.



Obr. 4 Kvartérní HGR versus nátokové a podložní HGR (se stanovenými ZO ČHMÚ).
Fig. 4 Quaternary GWBs and the associated recharge and underlying GWBs used in the baseflow analysis.

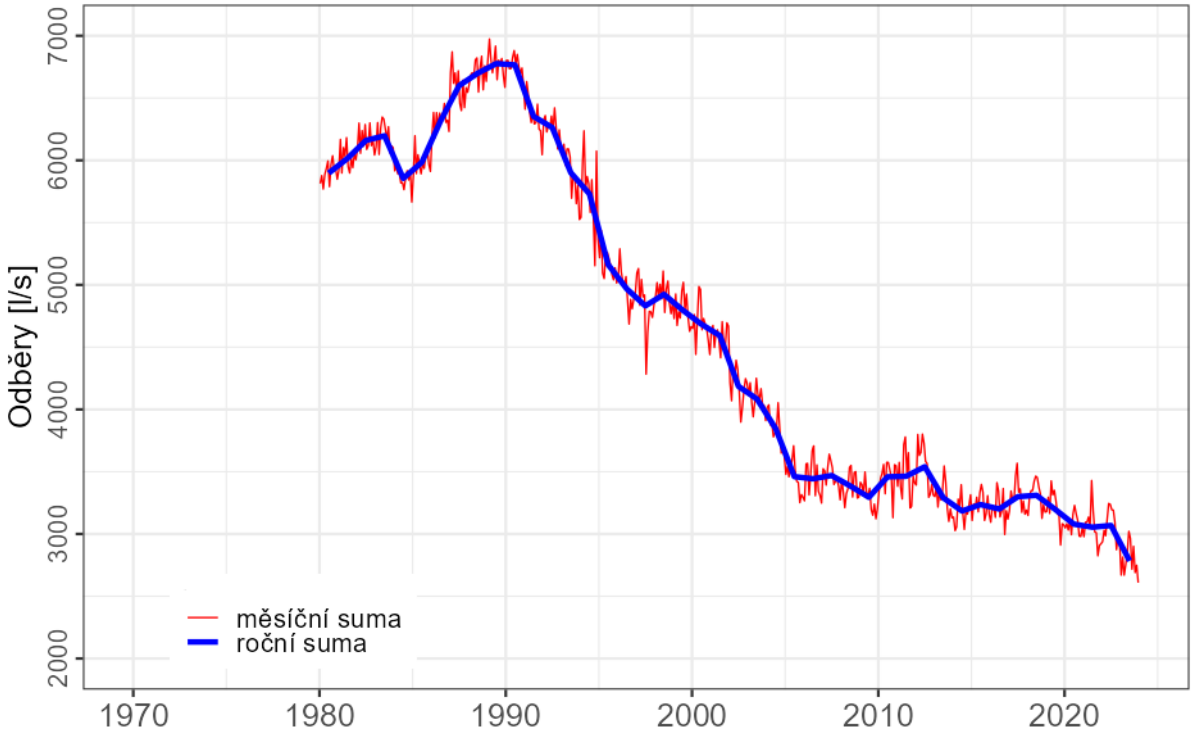
4. Odběry podzemní vody v kvartérních HGR

Historické POD jsou k dispozici od Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G.M (VÚV T.G.M.) v kvartérních HGR ve dvou datových sadách: první datová sada obsahuje POD pro období 2008-2022, kde POD jsou vztažené na HGR podle rajonizace z roku 2005; druhá datová sada je pro období 1980–2007, kde jsou často chybějící informace a POD jsou vztažené na HGR podle rajonizace 1986. Do datové sady 1980–2007 spadá z hlediska POD velmi důležité období 1990–1994. Z tohoto důvodu všechny POD, které neměly zatřídění do aktuální rajonizace z roku 2005 a polohopisné souřadnice a zároveň byly vyšší než 1 l/s, byly manuálně zatříděny do subrajonů a kvartérních HGR dle rajonizace z roku 2005. POD dále byly doplněny z další datové sady z celé ČR (VÚV T.G.M) o všechny POD větší než 5 l/s, protože ne všechny POD mající vztah ke kvartérním HGR byly historicky řazeny do kvartérních HGR. Pro každý subrajon byl sumarizován vývoj POD a posouzena kvalita záznamů z hlediska jejich úplnosti.
Do subrajonů byly zařazeny i POD v bezprostředním okolí kvartérního HGR. Pokud se POD nacházel mimo kvartérní HGR, ale byl hydraulicky přímo svázán s dotčeným kvartérním HGR a hydrogeologické prostředí bylo totožné, tento POD byl pro potřeby bilance podzemní vody zařazen do příslušného HGR a subrajonu. POD uvnitř kvartérních HGR, jímající hlubšími vrty nekvartérní vodu (po ověření ve vrtné dokumentaci, případně v archivní dokumentaci), byly z hodnocení vyřazeny.
Velikosti POD se od počátku jejich registrace výrazně liší. V roce 1989 dosáhly POD v kvartérních HGR a v jejich blízkém okolí maximální velikosti 6 777 l/s (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** 5). Za období 1990–1994 průměrný POD činil 6 202 l/s. Potom POD začaly významně klesat a v období 2015–2020 dosáhly průměrné hodnoty 3 221 l/s.
Průměrný POD v období 1990–1994 byl dvojnásobný oproti období 2015–2020 a zřejmě způsobil zaklesnutí HPV v generelním vývoji na vrtech s poklesem v období 1990–1994 (obr. 3).

5. Postup pro určení způsobu hodnocení kvantitativního stavu subrajonu

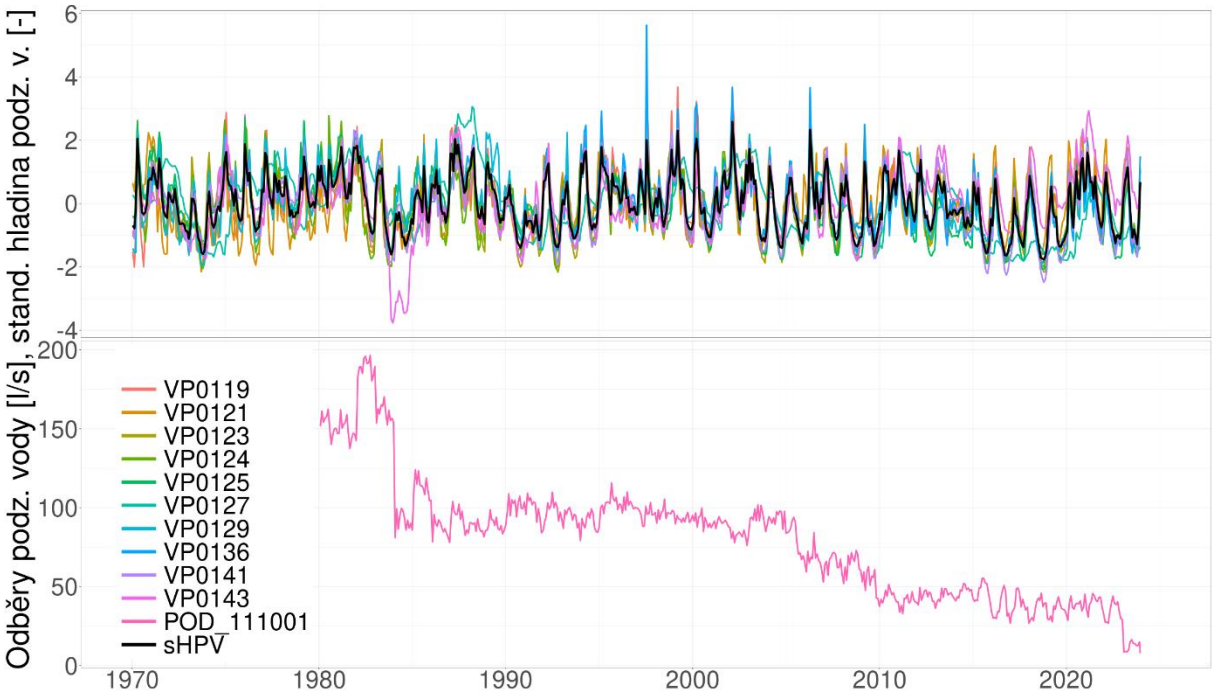
V mnoha kvartérních HGR se nachází řada bilančně oddělených jímacích území a některé kvartérní HGR jsou rozděleny výrazným vodním tokem. Z tohoto důvodu byla řada HGR pro potřeby bilance podzemní vody rozdělena na subrajony. Pro každý subrajon byla stanovena časová řada sHPV, což je standardizovaná měsíční HPV stanovená zprůměrováním standardizovaných měsíčních HPV ze všech vybraných vrtů v daném subrajonu. Pro významná suchá období byla odvozena sHPVmin, která odpovídá minimální sHPV podzemní vody v subrajonu v určitém suchém období (1990–1994, 2003–2004 a 2015–2020).
Základem určení způsobu hodnocení kvantitativního stavu subrajonu je vztah sHPVmin v suchých obdobích a POD v subrajonu. Odvozená velikost POD, při které není podkročena zvolená hladinová úroveň ve vybraném

suchém období, představuje množstevní kritérium a byla označena jako ověřené zdroje podzemní vody (OZ). Celkem bylo hodnoceno 75 subrajonů.



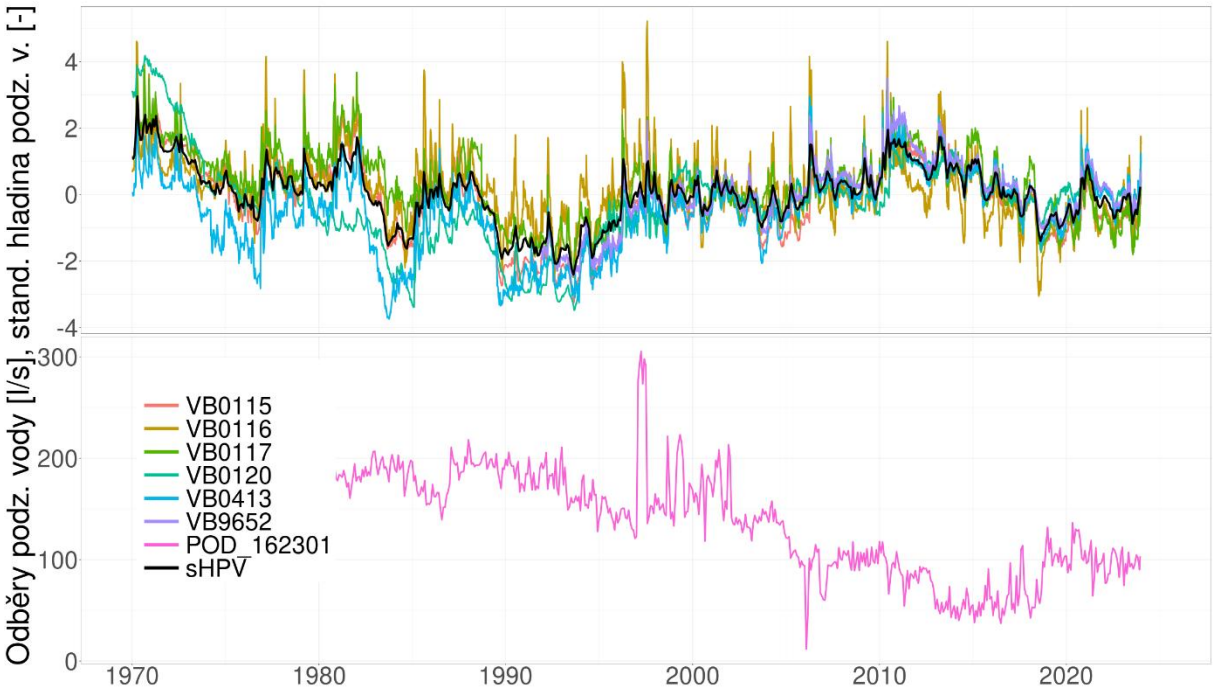
Obr. 5 Celkové POD ve všech kvartérních HGR.
Fig. 5 Total groundwater abstractions from all Quaternary GWBs.

Pokud však v subrajonech byla naopak sHPVmin v období 1990–1994 níže než v období 2015–2020 při nejvyšším POD v období 1990–1994 nebo pokud byl POD v subrajonu nejvyšší v období 2003–2004, hodnocení proběhlo podle POD z období 2003–2004. Je-li odvozená sHPVmin v období 2003–2004 výše než sHPVmin v období 2015–2020 znamená, že POD v období 2003–2004 odpovídají OZ.
Do této skupiny náleží 16 subrajonů. V subrajonu 162301, který je totožný s HGR 1623 Pliopleistocén Blaty, POD ve výši 180 l/s (v letech 1990–1992) přispěl k poklesu sHPV pod úroveň sHPVmin v období 2015–2020 (obr. 7). Naopak POD ve výši 139 l/s (roky 2003 a 2004) způsobem nepřispěl k poklesu sHPV pod úroveň sHPVmin v období 2015–2020. Velikost POD z období 2003–2004 je zde proto považována za OZ, jejichž výše nezpůsobila pokles sHPVmin v období 2003–2004 pod úroveň sHPVmin v období 2015–2020.
Některé subrajony měly však POD nejvyšší v období 2015–2020. V subrajonech, které měly v tomto období sHPVmin nejníže, nelze jednoznačně stanovit, zda je tento stav neovlivněný a v souladu s generelním vývojem HPV nebo je zde i vliv POD na sHPVmin. Nižší POD v období 1990–1994 mohlo být způsoben dvěma důvody. Na území subrajonu došlo ke zvýšení POD nebo záznamy jsou nekompletní. Příkladem zvýšení POD je subrajon 164401, odpovídající celému HGR 1644 Kvartér Moravy (obr. 8), kde došlo k pozvolnému nárůstu POD 22 l/s v roce 1992 na 31 l/s v roce 2015. V případě sousedního HGR 1642 Kvartér Jevišovky (subrajon 164201) sHPVmin v období 1990–1994 bylo níže než v období 2015–2020 a to i při nižších POD v období 1990–1994 (obr. 9). Zde však POD v období 1990–1994 nebyly však zřejmě kompletně registrovány a pravděpodobně byly ve skutečnosti mnohem vyšší. Vliv POD s neznámou výší způsobil pokles sHPVmin v období 1990–1994.
Tyto subrajony s nejvyšším POD v období 2015–2020 byly odborně posouzeny a pokud byl vývoj sHPV v akceptovatelném souladu s generelním vývojem HPV, i zde bylo OZ stanoveno jako POD v období 2015–2020. Subrajony jsou hodnoceny oběma kritérii – množstevním i hladinovým – OZ a sHPVmin v období 2015–2020. Mezi oběma kritérii uvedena spojka „nebo“. Spojka „nebo“ znamená, že stačí, aby alespoň jedno kritérium bylo splněno, tj. jedno kritérium splněno být nemusí. Toto je důležité hlavně v subrajonech, kde aktuální POD překročí OZ, ale zároveň nedojde k podkročení sHPVmin pro období 2015–2020. Důvodem je, že OZ v některých subrajonech jsou jen nepatrně vyšší než současný POD, protože mají nevěrohodné nebo nekompletní záznamy POD nebo jsou stejné díky nejvyšším POD v současnosti. Do této skupiny bylo celkem zařazeno 23 subrajonů.
Ve zbývajících 11 subrajonech je POD a monitoring HPV je nedostatečný, nevyužitelný nebo dokonce neexistující. V každém z těchto subrajonů bylo postupováno specificky.



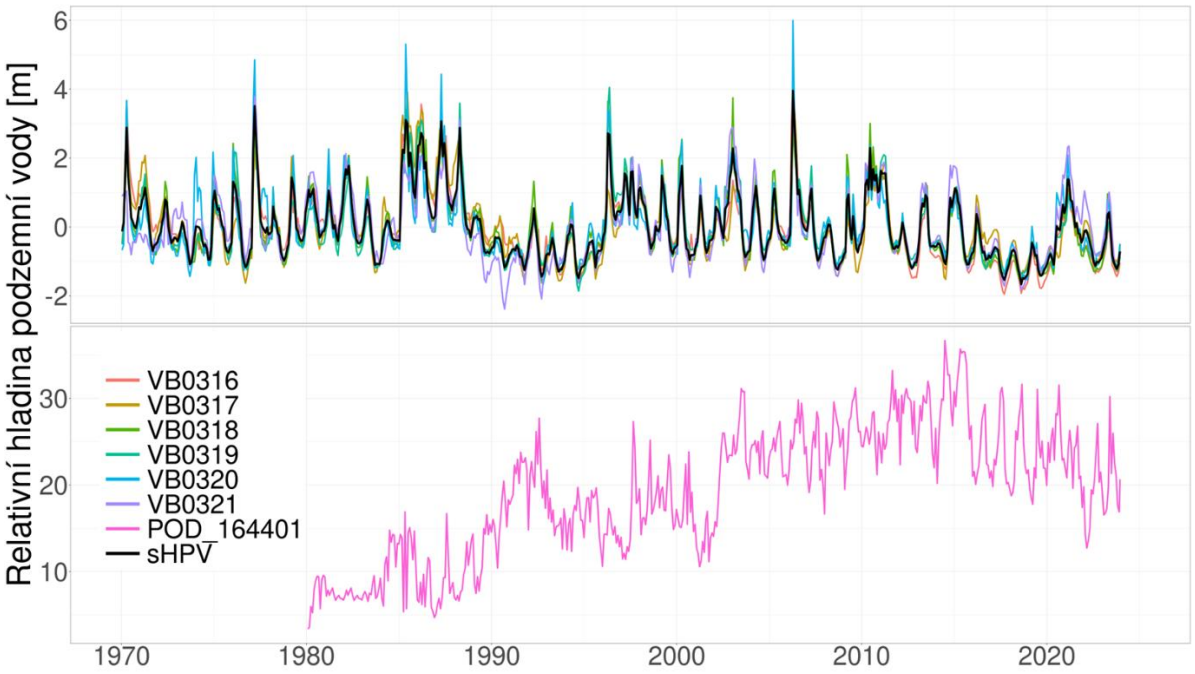
Obr. 6 Vývoj POD a sHPV v subrajonu 111001.

Fig. 6 temporal evolution of groundwater abstraction (GWA) and the standardized groundwater level (sGWL) in Sub-region 111001.



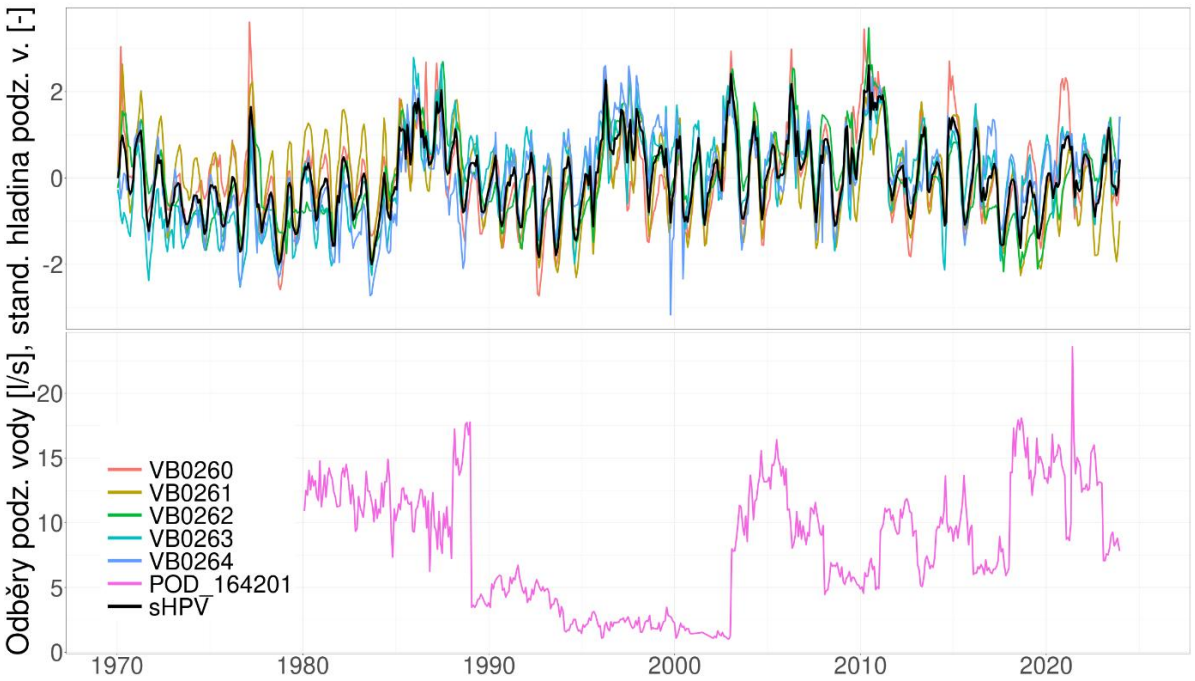
Obr. 7 Vývoj POD a sHPV v subrajonu 162301.

Fig. 7 Temporal evolution of groundwater abstraction (GWA) and the standardized groundwater level (sGWL) in Sub-region 162301.



Obr. 8 Vývoj POD a sHPV v subrajonu 164401.

Fig. 8 Temporal evolution of groundwater abstraction (GWA) and the standardized groundwater level (sGWL) in Sub-region 164401.



Obr. 9 Vývoj POD a sHPV v subrajonu 164201.

Fig. 9 Temporal evolution of groundwater abstraction (GWA) and the standardized groundwater level (sGWL) in Sub-region 164201.

6. Závěry

Ve všech subrajonech bylo provedeno hodnocení kolísání sHPV (sHPVmin) a POD za účelem nalezení způsobu hodnocení kvantitativního stavu subrajonu prostřednictvím dvou kritérií – množstevního a hladinového. Vyšší POD za suchého období v podstatě ověřuje dostupnost podzemní vody pro její odběr. Odvozená velikost POD, při které není podkročena zvolená hladinová úroveň ve vybraném suchém období, představuje množstevní kritérium a byla označena jako ověřené zdroje podzemní vody (OZ). Samotná srovnávací hladinová úroveň sHPVmin je využita jako hladinové kritérium. Pod pojmem OZ se neskrývá vysvětlení, jakým způsobem se podzemní voda do kvartérních HGR doplňuje, protože způsoby, resp. jejich kvantifikace, jsou neznámé a navíc se v průběhu času mohou měnit.
Porovnáním minimální sHPVmin v období sucha s různou velikostí historických POD bylo stanoveno množstevní a/nebo hladinové kritérium, při kterých lze kvantitativní stav subrajonu považovat za dobrý. Tento přístup byl použit pro celkem 64 ze 75 subrajonů. Pro zbývajících 11 subrajonů s nedostatečným POD a monitoringem HPV bylo postupováno specificky.

Poděkování: Příspěvek byl připraven v rámci projektu TAČR PERUN (SS02030040).

Seznam literatury

Nol, O., Zrzavecký, M., Žabka, V., Burda, J., 2026: *Metodika hodnocení hladin podzemních vod pro potřeby stanovení přírodních zdrojů podzemních vod v kvartérních hydrogeologických rajonech*. – Česká geologická služba, SS02030040-V9, TAČR.
ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Hydrologická bilance množství a jakosti vody v České republice – hydrologický rok 2024* – Praha: ČHMÚ, 2025.
European Parliament and Council. (2000). *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.*– Official Journal of the European Communities, L 327, 1–73.

Účelové hydrogeologické mapy kategorizace území z hlediska vsakování jako jeden výstupů projektu Podzemní voda v krystaliniku

Purpose-built hydrogeological maps of territory categorization in terms of infiltration as one of the outputs of the Groundwater in Crystalline Aquifers project

Jitka Novotná[1], Eva Kryštofová[1]

[1]*Česká geologická služba, Klárov 131/, 118 21 Praha 1, e-mail: jitka.novotna@geology.cz, eva.krystofova@geology.cz*

Abstrakt: Projekt Podzemní voda v krystaliniku je zaměřen na studium hydrogeologických masívů, konkrétně jsou řešeny hydrogeologické rajony 6230 Krystalinikum v povodí střední Vltavy, 6531 Kutnohorské krystalinikum a 6550 Krystalinikum v povodí Jihlavy. Projekt je zaměřen jak na zajištění zdrojů podzemních vod pro výrobu pitné vody, tak reflektuje i ekosystémová hlediska. Hydrogeologické masívy ve středních polohách jsou opakovaně postiženy suchem. V průběhu realizace projektu došlo na území hydrogeologického rajonu 6550 ke kolapsu rozsáhlých ploch lesních ekosystémů. Pro vybrané části rajonů byla zpracována sada účelových map. Mapové výstupy jsou zaměřeny jednak na vymezení území s potenciálem tvorby přírodních zdrojů podzemních vod, dále i na potenciál horninového prostředí vsakovat srážkovou vodu. Projekty na zadržení vody v krajině jsou jedním z opatření, kterými by mělo být řešeno jak riziko sucha, tak i eliminace rizika povodní. Jen ojediněle zohledňují hydrogeologické poměry území. Účelové hydrogeologické mapy kategorizace území z hlediska vsakování, kategorizují území jak z pohledu hydrogeologických poměrů, tak ve vztahu k poměrům geomorfologickým. Mapy jsou zpracovány na celkové ploše 2 444 km2. Hydrogeologickými kritérii byla storativita (zásobnosti) hornin a mocnosti a charakter eluvií. Z geomorfologických charakteristik byly použity sklonitost a charakter údolí. K jednotlivým kategoriím potenciálu vsaku jsou vztažena vhodná opatření a technická díla, kterými bude zajištěno převedení povrchového odtoku na odtok podzemní. Případně dojde ke snížení a zpomalení povrchového odtoku a zamezí se například erozi. Účelová hydrogeologická mapa kategorizace území z hlediska vsakování je zpracována tak, aby byla čitelná i pro uživatele, kteří nejsou geologové, jako jsou projektanti pozemkových úprav, krajinní inženýři nebo úředníci.

Abstrakt: The Groundwater in Crystalline Project is focused on the study of hydrogeological massifs. Specifically, the hydrogeological regions 6230 Crystalline in the central Vltava basin, 6531 Kutná Hora Crystalline and 6550 Crystalline in the Jihlava basin are addressed. The project is focused on securing groundwater resources for drinking water production and also reflects ecosystem aspects. Hydrogeological massifs in central locations are repeatedly affected by drought. During the implementation of the project, extensive areas of forest ecosystems collapsed in the territory of hydrogeological region 6550. A set of purpose-built maps was prepared for selected parts of the districts. The map outputs are focused on defining areas with the potential to create natural groundwater resources, as well as on the potential of the rock environment to absorb rainwater. Projects to retain water in the landscape are one of the measures that should address both the risk of drought and the elimination of the risk of floods. Only rarely do they take into account the hydrogeological conditions of the area. Purpose-built hydrogeological maps categorize areas in terms of infiltration, categorize areas both from the perspective of hydrogeological conditions and in relation to geomorphological conditions. The maps are processed over a total area of 2 444 km2. Hydrogeological criteria were the storativity of rocks and the thickness and character of eluvium. From the geomorphological characteristics, the slope and character of the valley were used. Appropriate measures and technical works are related to individual categories of seepage potential, which will ensure the conversion of surface runoff to underground runoff. Eventually, surface runoff will be reduced and slowed down, preventing, for example, erosion. The purpose-built hydrogeological map of the categorization of areas in terms of infiltration is prepared in such a way that it is readable even for users who are not geologists, such as land development planners, landscape engineers or civil servants.

Klíčová slova: podzemní voda, hydrogeologický masív, hydrogeologická mapa, podzemní odtok.

Keywords: groundwater, hydrogeological massif, hydrogeological map, underground runof

DRENÁŽ HLUBOKÝCH PODZEMNÍCH VOD A ZVÝŠENÁ MINERALIZACE V ŘECE DYJI V ÚSEKU LAA AN DER THAYA A PASOHLÁVKY

Mgr. Adam Říčka, Ph.D.

E-mail: ricka@sci.muni.cz
PřF MU, Kotlářská 2, Brno, 60200

Další autoři: Mgr. Kateřina Chroustová, Ph.D., Mgr. Bibiána Pasternáková, Ph.D., Mgr. Tomáš Kuchovský, Ph.D., Mgr. Petr Vaníček, Ph.D.

Abstrakt:
V příhraniční oblasti České republiky a Rakouska se nachází hydrogeologická struktura, tvořená především karbonáty jurského stáří, která dosahuje hloubek od 160 do více než −3000 m n. m. Termální minerální vody jsou z této struktury více než 20 let využívány lázeňskými resorty v Pasohlávkách a Laa an Der Thaya. V rámci přeshraniční spolupráce při projektu Hydrotermální potenciál oblasti (HTPO, ATCZ167) byla získána data, která umožnila komplexní analýzu směrů proudění podzemních vod a jejich množství. K tomu bylo využito numerického modelu proudění podzemních vod. V simulovaném kolektoru se nachází vody s významně odlišnými hustotami a viskozitou. Proto bylo k simulaci proudění využito programu SEAWAT. Výsledky modelu ukazují, že hluboký jurský kolektor je doplňován přítokem málo mineralizovaných podzemních vod ze svahů českého masívu na severozápadě a relativně intenzivním přítokem silně mineralizovaných vod z jihovýchodu. Drenáž podzemních vod byla identifikována podél zóny, jejíž poloha je částečně paralelní s průběhem toku řeky Dyje. Pro ověření výsledků modelu tak byl na řece Dyji proveden terénní průzkum zahrnující měření průtoků a vzorkování vod pro stanovení základního chemického složení. Takto zde byly identifikovány úseky rostoucích koncentrací chloridů indikující zóny, ve kterých dochází k drenáži jurské zvodně. Výsledný přítok 85 l/s, odvozený z naměřených průtoků a koncentrací chloridů, odpovídá hodnotě stanovené numerickým modelem. Relativně intenzivní přítoky hlubokých podzemních vod významně přispívají k vysokým mineralizacím pozorovaným opakovaně v řece Dyji v období nízkých průtoků. Právě tato období se v posledních letech stávají čím dál častějšími.

VYUŽITÍ ENVIRONMENTÁLNÍCH STOPOVAČŮ PRO URČENÍ PŮVODU A DOBY ZDRŽENÍ PODZEMNÍ VODY: PŘÍKLAD ZE SZ ČÁSTI ČESKÉ KŘÍDOVÉ PÁNVE

USE OF ENVIRONMENTAL TRACERS FOR DETERMINING THE ORIGIN AND RESIDENCE TIME OF GROUNDWATER: AN EXAMPLE FROM THE NORTHWESTERN PART OF THE BOHEMIAN CRETACEOUS BASIN

Martin Slavík[1], Jiří Bruthans[1], Jakub Mareš[1]

[1]*Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 00 Praha 2, e-mail: martin.slavik@natur.cuni.cz*

Abstrakt: Česká křídová pánev představuje významnou akumulaci podzemní vody, jejíž efektivní ochrana vyžaduje dobré poznání proudových systémů a doby zdržení podzemní vody. K tomu mohou sloužit environmentální stopovače – látky přírodního i antropogenního původu, které umožňují určit původ vody, dobu od infiltrace i procesy probíhající během jejího proudění. Příspěvek stručně představuje princip, možnosti využití i omezení nejčastěji používaných stopovačů (stabilní izotopy, tritium, radiouhlík, freony, SF_6, vzácné plyny, ^{39}Ar a ^{85}Kr). Jejich aplikace je demonstrována v hydrogeologických rajonech 4410, 4522 a 4640 České křídové pánve. Kombinace stopovačů zde potvrdila existenci akumulace kvalitních podzemních vod se střední dobou zdržení přes 300 let, vymezila infiltrační oblast těchto starých vod v okolí Bezdězu a prokázala, že studované vody náležejí ke kolektorům Ca a Cb a byly infiltrovány během holocénu. Studie zároveň ukazuje význam kombinace více environmentálních stopovačů pro spolehlivou interpretaci stáří a proudění podzemních vod.

Abstract: The Bohemian Cretaceous Basin represents important groundwater reservoirs in the Czech Republic, and its effective protection requires a thorough understanding of groundwater flow systems and residence times. Environmental tracers (substances of natural or anthropogenic origin present in groundwater) can be used to determine groundwater origin, recharge age, and the processes occurring during groundwater flow. This contribution briefly introduces the principles, applications, and limitations of the most commonly used environmental tracers, including stable isotopes, tritium, radiocarbon, chlorofluorocarbons (CFCs), SF_6, noble gases, ^{39}Ar, and ^{85}Kr. Their application is demonstrated in hydrogeological regions 4410, 4522, and 4640 in the Bohemian Cretaceous Basin. The combined use of environmental tracers confirmed the presence of a high-quality groundwater body with a mean residence time exceeding 300 years, delineated the recharge area of this old groundwater near Bezděz area, and demonstrated that the investigated groundwater belongs to the Ca and Cb aquifers and was recharged during the Holocene. The study highlights the value of combining multiple environmental tracers for reliable interpretation of groundwater age and flow systems.

Klíčová slova: environmentální stopovače, střední doba zdržení, česká křídová pánev, datování podzemní vody, tritium.

Key words: environmental tracers, mean residence time, bohemian cretaceous basin, groundwater dating, tritium.

1. Úvod

Česká křídová pánev představuje významnou přirozenou akumulaci podzemní vody. Pro správné pochopení proudových systémů v sedimentárních pánvích, stanovení střední doby zdržení i hodnocení trendů kontaminantů je vhodné využívat tzv. environmentální stopovače. Jde o látky přírodního i antropogenního původu přítomné v podzemní vodě, jejichž analýza umožňuje určit původ vody, procesy, kterými voda a v ní rozpuštěné látky prošly, i dobu, která uplynula od její infiltrace. Tento přístup je obzvláště přínosný pro vodohospodářsky využívané kolektory, aby bylo možné účelně chránit podzemní vody před kontaminací a efektivně plánovat a hodnotit ochranná opatření a regulační zásahy.

V ČR je dosud k dispozici omezené množství dat o stáří podzemních vod, většinou založených na kombinaci tritia a radiouhlíku. Tritium dnes slouží především k hrubému rozlišení, zda se voda infiltrovala před nebo po roce ~1955, radiouhlík je vhodný pro vody starší přibližně 1000 let. Střední doba zdržení je tak často určena pouze orientačně. Pro její přesnější kvantifikaci chybí zejména širší soubor analýz freonů a SF_6 pro vody staré řádově desítky let a izotopu ^{39}Ar pro vody staré řádově stovky let.

Konferenční příspěvek představuje běžné i v podmínkách ČR dosud méně využívané environmentální stopovače, jejich vhodnost, odběr, princip měření i možnosti interpretace získaných dat (včetně omezení těchto metod). Jmenovitě se jedná o stabilní izotopy vodíku, kyslíku a uhlíku (^{2}H, ^{18}O, ^{13}C), dále vzácné plyny, freony, plyn

SF_6, tritium (^3H), radiouhlík (^{14}C), izotop argonu ^{39}Ar a kryptonu ^{85}Kr. Příspěvek dále ukazuje využití stopovačů na příkladu SZ části české křídové pánve (hydrogeologické rajony 4410, 4522 a 4640 na pravém břehu Jizery), kde se nacházejí významná jímací území Bělá (více než 200 l/s) a Řepínský důl (cca 360 l/s) a velké prameny na Strenickém potoce (dohromady více než cca 50 l/s). Výzkum probíhal v rámci projektu „TAČR SS06010268 Poznání, kvantifikace a ochrana strategických zdrojů podzemní vody české křídové pánve hlubokého oběhu v hydrogeologických rajonech 4410 a 4522“. Vzhledem k rozsahu a formátu konferenčního příspěvku není možné podrobně popsat použitou metodiku ani prezentovat všechny získané výsledky. Detailní popis této případové studie, včetně metodiky, kompletního souboru naměřených dat a jejich interpretace, je uveden v článku Bruthans et al. (2026).

2. Princip využití vybraných environmentálních stopovačů a metodika případové studie

Environmentální stopovače jsou v zahraničí v sedimentárních pánvích široce využívané ke studiu proudových systémů, střední doby zdržení, dotace podzemní vody a hydraulické propojenosti na různých prostorových i časových škálách. V textu níže jsou stručně popsány princip a některé možnosti využití vybraných environmentálních stopovačů. Představené environmentální stopovače lze zjednodušeně rozdělit do tří skupin: stabilní izotopy, radioaktivní izotopy a specifické plyny rozpuštěné ve vodě.
Stabilní izotopy lehkých prvků jsou využívány jako přirozené stopovače, protože těžší izotopy daného prvku se v přírodě vyskytují v mnohem menším zastoupení než izotopy lehčí. Poměr jednotlivých izotopů se může během různých fyzikálních, biologických a chemických procesů měnit, této změně jejich relativního zastoupení se říká frakcionace. Pro vzájemné porovnávání izotopového složení různých vzorků jsou používány referenční materiály (standardy) se stálým a definovaným izotopovým poměrem. Izotopové složení vzorku se následně vyjadřuje pomocí izotopové odchylky (δ, rovnice 1), která udává relativní rozdíl mezi izotopovým poměrem (R) měřeného vzorku a příslušného standardu, tedy zda je vzorek obohacen (δ kladná) či ochuzen (δ záporná) o těžší izotop ve srovnání se standardem, a o kolik (v ‰).

$$\delta(‰)_{vzorek} = \frac{(R_{vzorek} - R_{standard})}{R_{standard}} \times 1000 \quad (1)$$

Radioaktivní izotopy se využívají ke stanovení stáří (doby zdržení) vody na základě jejich přirozeného radioaktivního rozpadu. Zjednodušeně jde o výpočet doby (t), která uplynula během rozpadu stopovače z jeho původní koncentrace v okamžiku infiltrace na současnou koncentraci (v době odběru) naměřenou ve vzorku. Pro tento výpočet je nutné znát počáteční koncentraci stopovače (při vstupu do systému, A_0), jeho současnou koncentraci ve vzorku (ta je měřena, A) a rychlost jeho rozpadu charakterizovanou poločasem rozpadu ($T_{1/2}$), dle vztahu uvedeného rovnicí 2. Při interpretaci je zároveň nutné zohlednit možné procesy, které mohou výslednou koncentraci ovlivnit.

$$t = \frac{T_{1/2}}{\ln(2)} \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) \quad (2)$$

Specifickou skupinou jsou rozpuštěné plyny, které se v hydrogeologii využívají jako stopovače pro určení podmínek a doby infiltrace podzemních vod. Princip spočívá ve stanovení koncentrace plynů rozpuštěných ve vodě, která kromě rozpustnosti plynu závisí jednak na teplotě vody v době infiltrace (rozpustnost plynů je teplotně závislá), jednak na době, kdy k infiltraci došlo, protože koncentrace některých plynů v atmosféře se v čase mění. Zatímco vzácné plyny (např. Ne, Ar, Kr, Xe) se využívají především k rekonstrukci infiltrační teploty, tak antropogenní plyny, jako jsou freony (CFC) a SF_6, slouží zejména k datování mladých podzemních vod.
V rámci případové studie v SZ části české křídové pánve bylo odebráno 31 vzorků na ^2H a ^{18}O, 71 vzorků na ^3H, 41 vzorků na ^{13}C, 20 vzorků na ^{14}C, 36 vzorků na freony a SF_6, 4 vzorky na vzácné plyny a 3 vzorky na ^{39}Ar, ^{85}Kr. Výzkum primárně sloužil pro lepší poznání hydrogeologické struktury, ve které se nacházejí významná jímací území Bělá a Řepínský důl a velké prameny na Strenickém potoce.
Většina vzorkovaných objektů byly jímací vrty využívané pro zásobování pitnou vodou, a byly tak vybaveny ponornými čerpadly a vystaveny intenzivnímu čerpání. Při odběru vzorků z monitorovacích vrtů bylo potřeba nejprve z vrtu odčerpat několik objemů vody ve vrtu, aby byla bezpečně vzorkována podzemní voda z okolního horninového prostředí, a nikoliv stagnující voda ve vrtu. Podzemní voda byla odebírána plastovou hadicí pevně připojenou k ventilu, přičemž při odběru vzorků pro analýzu plynných stopovačů bylo dbáno na zamezení kontaktu vody se vzduchem. Při odběru vzorků pro analýzu plynných stopovačů z vodních toků a pramenů byly vzorky odebírány pomocí ponorného čerpadla.

2.1 Stabilní izotopy O, H a vzácné plyny

Stabilní izotopy kyslíku ($\delta^{18}O$) a vodíku ($\delta^{2}H$) patří mezi základní nástroje hydrogeologického výzkumu. Využívají se zejména k určení oblastí a podmínek infiltrace podzemních vod a rozlišení míšení vod různého původu. Umožňují také rekonstruovat paleohydrologické podmínky a identifikovat fosilní podzemní vody. Vzorky se nejčastěji odebírají do plastových či skleněných lahviček o objemu prvních desítek mililitrů, důležité je zabránit odparu vody a výměně s atmosférickou vlhkostí. Výhodou je velmi jednoduchý odběr, minimální požadavky na úpravu vzorku a relativně nízké náklady na stanovení (první stovky Kč) s možností stanovení na území ČR.

Analýzu vzácných plynů (metoda NGT) lze využít pro stanovení teploty vzduchu v době infiltrace vody, a tedy jako proxy údaj pro identifikaci infiltrační oblasti a/nebo období infiltrace. Protože rozpustnost vzácných plynů (Ar, Ne, Kr, Xe a He) ve vodě závisí na teplotě, lze z naměřených koncentrací rekonstruovat teplotu vzduchu v době infiltrace (Aeschbach-Hertig a Solomon, 2013). Odběr je technicky náročný, protože je nutné zabránit provzdušnění vzorku i úniku rozpuštěných plynů. Vzorky se nejčastěji odebírají do plynotěsných měděných trubiček. Cena za analýzu začíná na 8000 Kč, přičemž vzorky se musejí posílat do zahraničních laboratoří, čímž cena ještě výrazně narůstá.

V rámci případové studie byly tyto izotopy a vzácné plyny využity ke stanovení nadmořské výšky infiltrace a k rozlišení, zda voda pochází z kolektoru A (tj. jedná se o starou vodu v cenomanských horninách infiltrovanou během poslední doby ledové), nebo z turonských kolektorů Ca a Cb (dříve označovaných souhrnně jako kolektor C).

2.2 Analýza ^{13}C a ^{14}C

Izotop ^{13}C se v hydrogeologii využívá mj. ke stanovení původu rozpuštěného anorganického uhlíku (zjednodušeně řečeno, zda jde o půdní CO_2, geogenní CO_2, či uhlík pocházejícího z rozpouštění karbonátových hornin; dále zda k rozpouštění docházelo v otevřeném či uzavřeném systému). Radioaktivní izotop ^{14}C má poločas rozpadu 5730 let a slouží především ke stanovení stáří podzemních vod v časovém rozsahu přibližně tisíc až 30 tisíc let. Při tomto datování se taktéž využívá ^{13}C, a to ke korekci vlivu různých zdrojů uhlíku na obsah ^{14}C v rozpuštěném anorganickém uhlíku. Odběr pro oba typy analýz je jednoduchý, zpravidla stačí 1–15 litrů (v závislosti na obsahu hydrogenkarbonátů) vody do plastových nádob. $\delta^{13}C$ lze stanovit běžně v ČR za vyšší stovky až tisíce Kč s možností buď přímé analýzy z vody, nebo je potřeba nejprve vytvořit sraženinu $BaCO_3$. Radiouhlíkové datování začíná na ceně 7000 Kč a laboratoř v ČR neumožňuje přímé stanovení z vody, je potřeba dodat sraženinu či využít zahraniční laboratoře.

V rámci naší studie byl izotop ^{14}C využit ke stanovení stáří podzemních vod. Porovnáním poměru ^{13}C a ^{14}C v našich vzorcích s údaji z předchozích studií jsme zařadili jednotlivé hydrogeologické objekty ke kolektoru A nebo k turonským kolektorům Ca a Cb.

2.3 Datování pomocí tritia, freonů a SF_6

Tritium (^{3}H) je radioaktivní izotop s poměrně krátkým poločasem rozpadu 12,3 roku, je proto vhodný pro datování relativně mladých vod se stářím maximálně vyšší desítky let až sto let. Kvůli termonukleárním testům v 50. a 60. letech byla výrazně narušena přírodní koncentrace tohoto stopovače a dnes je využitelný jen k rozpoznání, zda dominantní složka vzorkované vody byla infiltrována před či po roce ~1955. Odběr vzorku je jednoduchý, provádí se do běžné plastové lahve a většinou postačuje objem přibližně 0,5–1 l. Cena analýzy se obvykle pohybuje v rozmezí 3–6 tisíc Kč za vzorek a lze ji provádět na několika pracovištích v ČR.

Freony jsou plyny, chlorfluoruhlovodíky, v anglické literatuře označované jako CFC. Pro datování vod se využívají tyto freony: CFC-11, CFC-12, CFC-113. Společně s plynem fluoridem sírovým SF_6 se jedná o antropogenní látky, které se využívají k datování mladé podzemní vody s dobou zdržení přibližně od několika let do několika desetiletí. Jejich koncentrace v atmosféře v minulosti výrazně kolísaly a vývoj těchto koncentrací je dobře znám, což umožňuje na základě naměřených koncentrací rozpuštěných plynů ve vodě odhadnout dobu jejich infiltrace. Odběr vzorků vyžaduje speciální odběrové nádoby dodané laboratoří a přesné dodržení odběrového postupu, aby ve vzorku nezůstaly vzduchové bubliny. V ČR není tato analýza dostupná a vzorky se zasílají do zahraničí. Cena začíná přibližně na 8 000 Kč. Výhodou je poměrně vysoká přesnost a spolehlivost (při správném odběru) tohoto datování.

Všechny tyto stopovače jsme použili pro datování podzemní vody a byly využity v numerickém modelování střední doby zdržení (kapitola 2.5).

2.4 Datování pomocí ^{39}Ar, ^{85}Kr

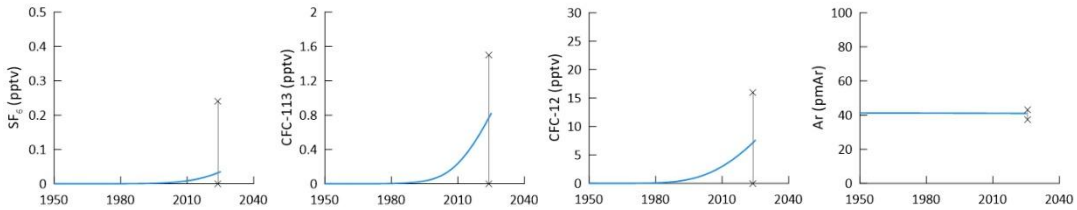
Metoda datování pomocí radioaktivních izotopů ^{39}Ar, ^{85}Kr (ATTA) je založena na stanovení koncentrací rozpuštěného ^{39}Ar a ^{85}Kr v podzemní vodě (Musy et al., 2025). Množství ^{39}Ar, kosmogenního radionuklidu s poločasem rozpadu 269 let, se po infiltraci vody a jejím oddělení od atmosféry začíná snižovat vlivem radioaktivního rozpadu, což umožňuje výpočet doby zdržení podzemní vody. ^{85}Kr, antropogenní radionuklid, který se v prostředí nevyskytoval před rokem 1950 a má poločas rozpadu 10,7 roku, lze použít pro krátké doby zdržení a odhad podílu moderní složky ve vodě. Tyto izotopy se běžně stanovují společně. Výhodou je vysoká přesnost a

spolehlivost metody. Nevýhodou je technicky náročný odběr, který vyžaduje terénní odplynění vody pomocí speciální aparatury (obr. 1), obvykle za účasti alespoň dvou osob nebo vyškoleného pracovníka laboratoře. Analýzy jsou dostupné pouze v omezeném počtu zahraničních laboratoří a jejich cena se pohybuje kolem 70 000 Kč za vzorek, k čemuž je nutné připočítat značné náklady na přepravu.
^{39}Ar jsme použili pro datování podzemní vody a byl využit v numerickém modelování střední doby zdržení pro odhad podílu staré vody, ^{85}Kr jsme použili jako doplňkový stopovač pro odhad podílu moderní vody.

Obr. 1 Odběr pro analýzu ^{39}Ar, ^{85}Kr.
Fig. 1 Sampling procedure for ^{39}Ar, ^{85}Kr analyses.

2.5 Modelování střední doby zdržení

Stanovení střední doby zdržení je založeno na porovnání naměřených koncentrací stopovačů s teoretickými modely proudění a mísení (obr. 2). Tyto modely popisují, jakým způsobem voda vstupuje do systému, jak se v něm pohybuje a jak se během proudění mění koncentrace stopovačů. Existuje celá řada modelů pro stanovení doby zdržení, jejichž detailní popis je nad rámec tohoto příspěvku. Nejčastěji se používá piston flow model (bez mísení, všechny částice vody mají stejné stáří), exponential model (dokonalé promíchání se širokým rozdělením stáří) a dispersion model (mísení řízené hydrodynamickou disperzí, kombinace advekce a disperze).
Vzhledem k předpokladu mísení dvou odlišných složek podzemní vody (zde označovaných jako mladá a stará) bylo v zájmové oblasti modelování primárně prováděno pomocí binárního mísicího přístupu, který simuluje mísení dvou složek podzemní vody různého stáří v kvantifikovatelných poměrech a každá tato složka může být popsána jiným modelem. Stáří staré složky bylo odvozeno z analýz ^{39}Ar na lokalitách, kde tato složka dominovala, a bylo vždy aproximováno pomocí disperzního modelu. Modelování probíhalo v programu TracerLPM (Jurgens et al., 2012).



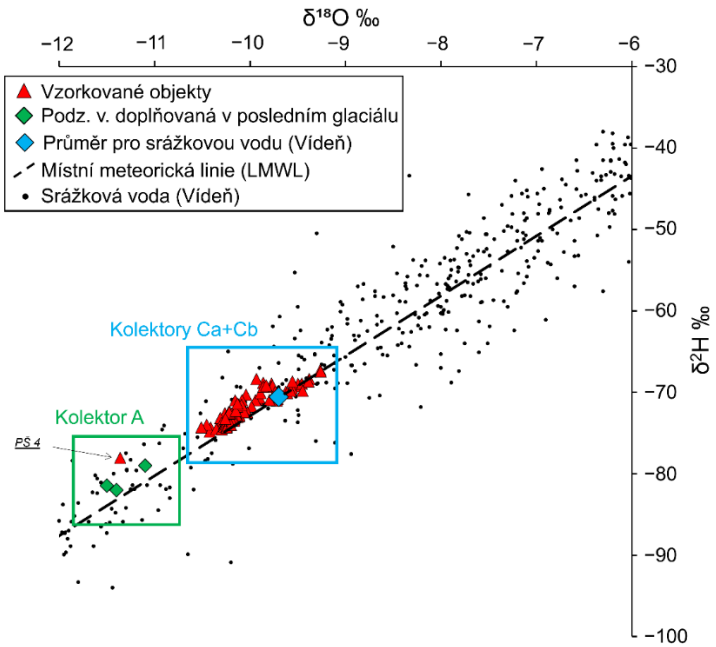
Obr. 2 Ukázka fitování křivek environmentálních stopovačů na měřená data z programu TracerLPM. Mezi křížky je koncentrace daného stopovače (rozsah dán chybou měření) a modrá čára ukazuje vývoj koncentrace daného stopovače pro vybraný model.
Fig. 2 Fitting environmental tracer curves to TracerLPM measured data. Crosses indicate the measured concentration of each tracer (the range reflects the measurement uncertainty), while the blue curve shows the predicted evolution of the tracer concentration for the selected model.

3. Výsledky případové studie

Výsledky souběžně běžícího hydrostratigrafického průzkumu (který není předmětem tohoto příspěvku) ukázaly, že studované vrty zachycují dva odlišné turonské kolektory Ca a Cb, oddělené izolátorem (dříve souhrnně označováno jako kolektor C), nikoliv cenomanský kolektor A. Toto umožnilo vytvořit nový konceptuální model proudění v dané oblasti, který byl následně podpořen i výsledky získanými pomocí environmentálních stopovačů, jak je ukázáno v následujícím textu. Environmentální stopovače umožnily určit, který kolektor jednotlivé objekty drénují, stanovit střední dobu zdržení podzemní vody a významně přispěly k vytvoření celkového obrazu proudění podzemní vody ve studované oblasti včetně oblasti infiltrace studované podzemní vody.

3.1 Stabilní izotopy O, H a vzácné plyny

Většina objektů vykazovala velmi úzký rozsah hodnot $\delta^{18}O$ od -10,5 do -9,3 ‰ a $\delta^{2}H$ od -74,8 do -67,3 ‰. Výjimkou byl jeden hluboký vrt (PŠ 4) v jímacím území Řepín, který zasahuje do cenomanského kolektoru A a který vykazuje hodnoty $\delta^{18}O$ -11,4 ‰ a $\delta^{2}H$ -78,1 ‰, což odpovídá cenomanským vodám z glaciálního období popsaným v předchozích pracích (Corcho Alvarado et al., 2011; Dupalová et al., 2012; obr. 3). S výjimkou tohoto vrtu ostatní objekty odvodňují turonské kolektory Ca a Cb a byly doplňovány vodou během holocénu. Srovnání izotopového složení s rozsáhlou databází Rebilance dále ukazuje, že voda pochází z relativně nízkých nadmořských výšek, což jednoznačně vylučuje krystalinická horská povodí obklopující českou křídovou pánev (okolí Ještědu apod.).



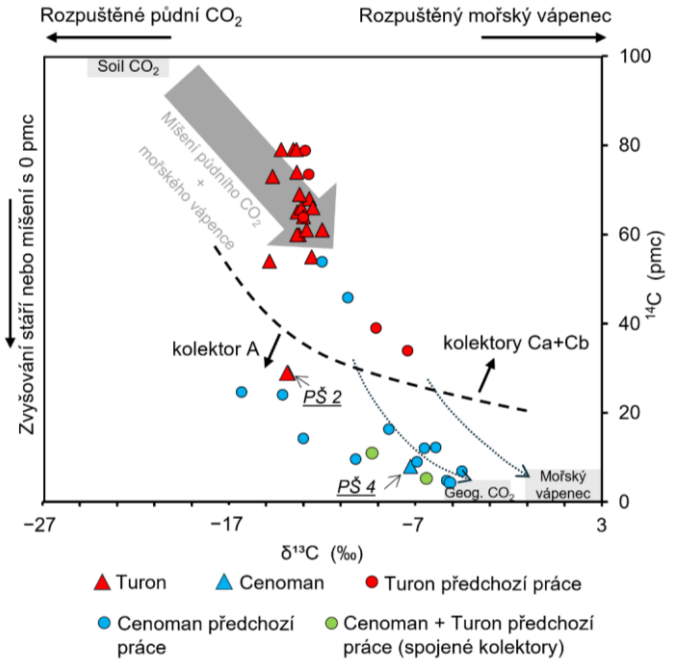
Obr. 3 Hodnoty $\delta^{18}O$ a $\delta^{2}H$ vzorkovaných objektů ve vztahu k místní meteoritické linii (LMWL). Data pro vody doplňované během posledního glaciálu byla převzata z Corcho Alvarado et al. (2011) a Dupalové et al. (2012). PŠ 4 je označení pro monitorovací vrt v jímacím území Řepín, který jediný zastihuje kolektor A.
Fig. 3 $\delta^{18}O$ and $\delta^{2}H$ values of the sampled objects in relation to the Local Meteoric Water Line (LMWL). Reference data for groundwater recharged during the Last Glacial Period were adopted from Corcho Alvarado et al. (2011) and Dupalová et al. (2012). PŠ 4 denotes a monitoring well in the Řepín wellfield, which is the only site draining aquifer A.

Celkem čtyři objekty z kolektorů Ca a Cb byly analyzovány na obsah vzácných plynů. Tři objekty z jímacích území Řepín a Bělá a v povodí Strenického potoka vykazují vypočtené teploty během infiltrace v rozmezí 8,0–8,2 °C, což naznačuje doplňování podzemní vody během holocénu a v relativně nízkých nadmořských výškách (tedy shodné se závěry O, H). Naproti tomu jeden monitorovací vrt ze severovýchodní části území (111062T společnosti DIAMO) vykazoval teplotu 5,8 °C, což naznačuje buď vodu infiltrovanou během glaciálu, nebo spíše původem z vyšších nadmořských výšek na severu.

3.2 Analýza ^{13}C a ^{14}C

Hodnoty $\delta^{13}C$ se pohybovaly v rozmezí od -17,4 do -8,3 ‰, přičemž méně negativní hodnoty indikovaly vyšší podíl HCO_3^- pocházejícího z rozpouštění mořských karbonátů, zatímco více negativní hodnoty odrážely větší podíl pocházející z rozpouštění půdního CO_2 (obr. 4). Pouze jeden vrt v severní části území (monitorovací STPT-50 společnosti DIAMO) vykazoval čistý signál otevřeného systému, sedm objektů vykazovalo čistě uzavřený systém a ostatní objekty vykazovaly hodnoty mezi krajními členy otevřeného a uzavřeného systému. Pouze dva monitorovací vrty v kolektorech Ca a Cb naznačovaly možný vliv hlubinného (geogenního) CO_2. Nejvyšší hodnota $\delta^{13}C$ byla naměřena ve vrtu PŠ 4 (-7,3 ‰) v kolektoru A, což jednoznačně indikuje přínos hlubinného CO_2 a zřetelný rozdíl ve složení $\delta^{13}C$ oproti kolektorům Ca a Cb.
Radiouhlíková měření byla provedena na 13 vzorcích z kolektorů Ca a Cb. Při uvážení všech možných faktorů a nejistot je závěr následující. Kolektory Ca a Cb vykazovaly charakteristiky moderní vody nebo stáří v řádu stovek až několika tisíc let, zatímco jednoznačně starší vody se vyskytovaly pouze v cenomanském vrtu PŠ 4 a ve

vrtu PŠ 2, který však dle obr. 3 spadá do turonských kolektorů a pravděpodobně se jedná o starou vodu akumulovanou v hlubších partiích kolektoru Ca v křemenných pískovcích.



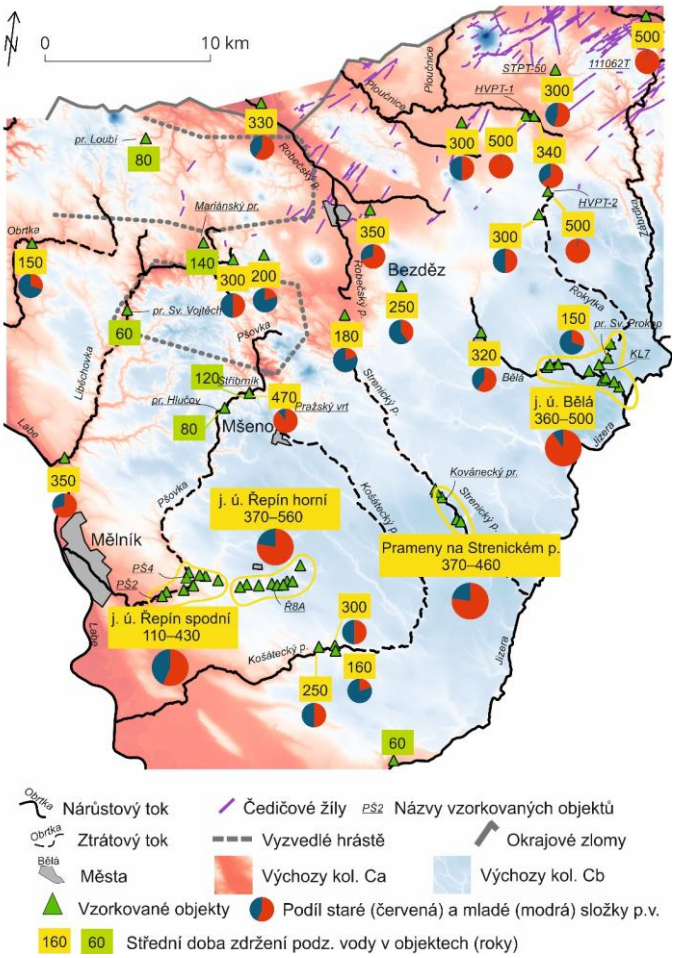
Obr. 4 Vztah mezi $\delta^{13}C$ a aktivitou ^{14}C. Obrázek zahrnuje data z předchozích studií (Jiráková et al., 2010; Pačes et al., 2008). Jediné dva cenomanské objekty z předchozích prací (modrá kolečka) nacházející se v poli kolektorů Ca+Cb jsou z infiltrační oblasti kolektoru A vzdálené do 10 km od lužické poruchy.

Fig. 4 Relationship between $\delta^{13}C$ and ^{14}C activity. The figure includes data from previous studies (Jiráková et al., 2010; Pačes et al., 2008). The only two Cenomanian objects reported in previous studies (blue circles) that plot within the Ca + Cb aquifer field are located in the recharge area of aquifer A, within 10 km of the Lusatian Fault.

3.3 Střední doba zdržení

Na základě analýz freonů, SF_6, ^3H a ^{39}Ar byla pro 62 objektů v kolektorech Ca a Cb modelována střední doba zdržení podzemní vody v programu TracerLPM. Výsledky ukázaly, že u většiny objektů je střední doba zdržení nejlépe aproximována přístupem binárního mísení, což indikuje mísení dvou složek podzemní vody různého stáří, a to v kvantifikovatelném poměru. Starší složka má stáří přibližně 500–600 let, zatímco mladší složka dosahuje stáří 5–300 let (v průměru 60 let). Střední doba zdržení u všech objektů s binárním mísením se pohybovala přibližně od 100 let do více než 500 let a podíl staré vody se pohyboval od 15 % do 99 % (obr. 5). Formát příspěvku nedovoluje detailní rozbor výsledků, nicméně níže v textu vyzdvihujeme důležité a zajímavé poznatky, které využití environmentálních stopovačů umožnilo získat.

V jímacím území Bělá se střední doba zdržení v čerpaných vrtech pohybovala přibližně mezi 360 a 500 lety (podíl staré složky nad 70 %). Tyto vrty jsou převážně dotovány z kolektoru Ca. Naproti tomu zachycený pramen Svatý Prokop a tzv. Prokopova studánka v jejich bezprostřední blízkosti vykazovaly střední dobu zdržení nižší, a to 150, resp. 210 let s podílem staré složky 30–40 %. To poukazuje na nižší podíl vody z kolektoru Ca v těchto dvou pramenech a vyšší zastoupení drénované vody z mělčího kolektoru Cb oproti jímacím vrtům.



Obr. 5 Mapa znázorňující střední dobu zdržení (v rocích) podzemní vody v jednotlivých vzorkovaných objektech. Hodnota podbarvená žlutě označuje binární mísicí model, zelené podbarvení označuje jednosložkový exponenciální model. Koláčové diagramy znázorňují podíly staré (červená) a mladé (modrá) složky podzemní vody v binárním mísícím modelu.

Fig. 5 Map showing the mean groundwater residence time (years) for the sampled sites. Yellow shading indicates the binary mixing model, whereas green shading indicates the single-component exponential model. Pie charts show the proportions of the old (red) and young (blue) groundwater components estimated by the binary mixing model.

V povodí Strenického potoka vykazovaly čerpaný vrt (pracovně označený) Horní Cetno a Velký pramen střední dobu zdržení a podíly staré složky vody srovnatelné s čerpanými vrty v jímacím území Bělá (střední doba zdržení 370 až 460 let a podíl staré složky okolo 80 %). Dále se zde nacházejí čtyři prameny se střední dobou zdržení přesahující 370 let, které odvodňují kolektor Ca.

Jímací území Řepín lze pro zjednodušení rozdělit na dvě části (horní ve V a SV části; a spodní v Z a JZ části). V horní části je podíl staré vody 75 až 90 % a střední doba zdržení je zde 370 až 560 let. Ve spodní části je podíl staré vody nižší, zhruba 25 až 70 %, a doba zdržení dosahuje 100 až 430 let. Spodní část tak má pravděpodobně mírně nižší zastoupení starých vod z kolektoru Ca, lze zde navíc předpokládat vliv přítoku velmi mladé vody ze Pšovky. Pod správou jímacího území Řepín je i tzv. Pražský vrt u Vojtěchova, ve kterém voda poměrem míšení i dobou zdržení odpovídá té z hlavní řepínské jímací struktury (90 % staré vody, doba zdržení 470 let). Oproti tomu hned vedle se nacházející jímáním podchycená štola Stříbrník odvádí v drtivé většině mladší vodu (dle exponenciálního modelu o stáří 120 let).

Nejvyšší podíly staré složky vody se vyskytují v severozápadní části studovaného území, což pravděpodobně reprezentuje pomalu proudící podzemní vodu v hlubších zónách křemenných pískovců. Většina ostatních objektů vykazuje obecně nižší střední dobu zdržení (<250 let) a nižší podíl staré složky (<50 %) ve srovnání s jímacími územími Bělá a Řepín. Prameny mají obecně výrazně mladší vody; nejčastěji je pro ně vhodný exponenciální model, se stářím mezi 40 a 140 lety. Existují však i výjimky. Jednou z nich je pramen Obora u Mimoně v severní části studovaného území, který vykazuje střední dobu zdržení přibližně 340 let a podíl staré složky 65 %, což pravděpodobně odráží hlubší hydraulické propojení a vývěr velmi staré vody z kolektoru Ca.

4. Diskuse

Bylo zjištěno, že stará složka podzemní vody (stáří 500–600 let) se vyskytuje výhradně v kolektoru Ca. S jednou možnou, avšak ne příliš pravděpodobnou výjimkou v jímacím území Řepín (vrt PŠ 2) výsledky jednoznačně ukazují, že nejde o přítok fosilní vody z cenomanského kolektoru A, což dokládají rozdílné hodnoty $\delta^{13}C$, ^{14}C a $\delta^{18}O$ (toto je podpořeno i odlišnými hladinami podzemní vody).

Stará podzemní voda má infiltrační oblast v okolí Bezdězu a následně se šíří vějířovitě, převážně směrem k jihozápadu a jihovýchodu (obr. 6). Směrem k severovýchodu proudění brání vyšší hladiny podzemní vody, zatímco na západ a severozápad je báze kolektoru Ca tektonicky vyzdvižena přibližně o 70–140 m v hrásťových strukturách a v podloží se nachází izolátor. Proudění podzemní vody v kolektoru Ca je tak těmito bariérami blokováno a podzemní voda je nucena bariéry obtékat, což účinně eliminuje proudění staré vody do povodí umístěných v západní části území (povodí Liběchovky a Obrtky).

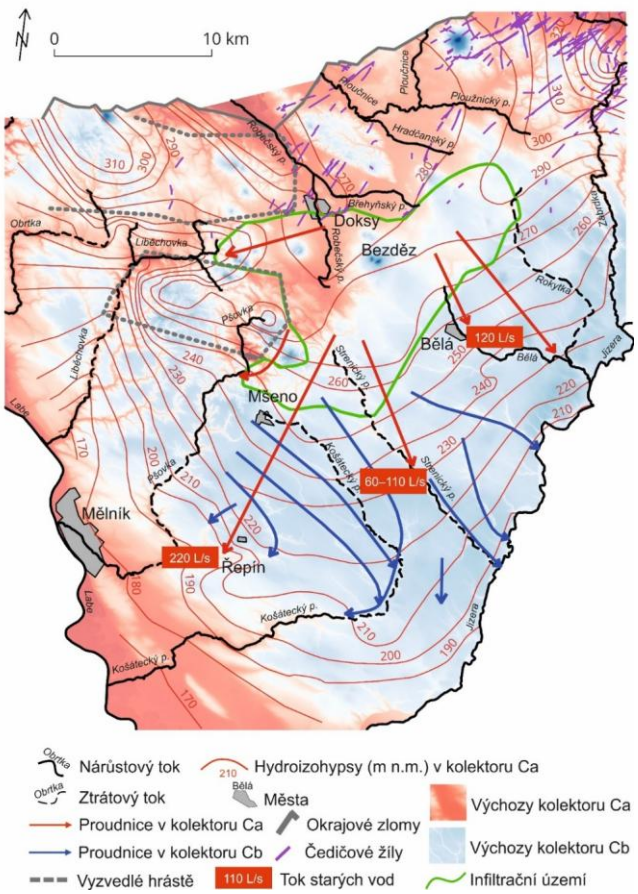
Většina staré podzemní vody je tak odváděna a následně jímána v jímacích územích Řepín (cca 220 l/s) a Bělá (cca 120 l/s) a odvodňována prameny v povodí Strenického potoka (cca nad 50 l/s) (obr. 6), jak vyplývá z výpočtů založených na střední době zdržení a podílu staré složky podzemní vody v jednotlivých objektech. Část této staré vody pravděpodobně pokračuje dále k erozní bázi na jihovýchodě, reprezentované Jizerou. Nedostatek vrtů a pramenů v této oblasti (mezi prameny Strenického potoka a Jizerou) však neumožňuje kvantifikaci tohoto odtoku.

Kolektor Ca místy obsahuje i mladou podzemní vodu. Nad ním se nachází kolektor Cb s hladinou podzemní vody o 30–100 m vyšší. Na jeho bázi se vyskytuje izolátor, který umožňuje vůbec existenci kolektoru Cb. V zaříznutých údolích je však mocnost izolátoru snížena erozí a jeho spojitost narušena zvětráváním, což umožňuje průsak vody z kolektoru Cb a přítok mladé vody do kolektoru Ca. Výskyt vysokého podílu staré složky je proto omezen na oblasti, kde nedochází k ředění mladší vodou z kolektoru Cb díky dostatečné mocnosti izolátoru nebo kde podzemní voda stagnuje v hlubších částech kolektoru Ca (v severní části území).

Nejvyšší podíl staré složky podzemní vody se vyskytuje v severovýchodní části studovaného území, kde je pravděpodobně akumulována v hlubších partiích kolektoru Ca v křemenných pískovcích, s infiltračním územím ležícím severně od studované oblasti. Dle hydroizohyps (obr. 6) tato voda proudí směrem k oblasti Bezdězu, kde se nachází relativně plochá hladina podzemní vody. Tato oblast představuje infiltrační území staré podzemní vody. Odtud se voda v kolektoru Ca šíří zejména směrem k jímacímu území Bělá (střední doba zdržení až 500 let), dolním částem Strenického potoka (prameny se střední dobou zdržení až 460 let) a jímacímu území Řepín (až 430, resp. 560 let). Celkový odtok této staré podzemní vody činí nejméně 450 l/s.

Podíl mladé a staré složky podzemní vody ve sledovaných objektech je řízen dvěma procesy: (i) vzestupným průsakem z kolektoru Ca přes izolátor do kolektoru Cb, což zvyšuje podíl staré složky v kolektoru Cb, a (ii) naopak sestupným průsakem přes lokálně porušený izolátor v zaříznutých údolích, což vede k přítoku mladé vody z kolektoru Cb do kolektoru Ca. Jasným příkladem mísení jsou velké prameny podél Košáteckého potoka, kde je poměr staré a mladé složky přibližně 1:1. Mladá voda z kolektoru Cb proudí pod zaříznutým údolím a je společně odváděna se starou vodou z kolektoru Ca.

Poněkud odlišný charakter má skupina pramenů v západní části území se střední dobou zdržení 60–140 let. Tyto prameny odvádějí mladou vodu z kolektoru Cb, případně se nacházejí v oblastech, kde kolektor Cb není vyvinut a infiltrující srážková voda tak přímo vstupuje do kolektoru Ca. Tato oblast nemůže být významně zásobována starou vodou infiltrovanou v oblasti Bezdězu, protože vyzdvižené bloky hornin zde fungují jako hydraulické bariéry a takové proudění znemožňují.



Obr. 6 Mapa znázorňující výskyt obou kolektorů, hrástí a bazických žil blokujících proudění podzemní vody. Zeleně ohraničená infiltrační oblast starých vod je vymezena na základě hydroizohyps v kolektoru Ca, mocnosti nadloží kolektoru Ca i měření průtoků na povrchových tocích a bilancování toku vody v různých povodích vůči základnímu odtoku. Dále jsou vyobrazeny povrchové toky s jejich ztrátovými a přítokovými úseky (dle Bruthanse et al., 2026), hladina podzemní vody v kolektoru Ca, směry proudění v kolektorech, kvantifikace toku staré podzemní vody a další detaily dle legendy.

Fig. 6 Map showing the distribution of the two aquifers, tectonic horsts, and basic dykes acting as barriers to groundwater flow. The recharge area of old groundwater (outlined in green) was delineated based on hydraulic heads in aquifer Ca, the thickness of the overlying strata, streamflow measurements, and water balance analyses comparing catchment runoff with baseflow. The figure also shows surface streams with losing and gaining reaches (after Bruthans et al., 2026), the groundwater table in aquifer Ca, groundwater flow directions, quantified fluxes of old groundwater, and other features explained in the legend.

5. Závěr

Příspěvek představil běžné i v ČR dosud méně využívané environmentální stopovače, jejich vhodnost, odběr, princip měření i možnosti interpretace získaných dat (včetně omezení těchto metod). Příspěvek dále ukázal využití stopovačů na příkladu části české křídové pánve (hydrogeologické rajony 4410, 4522 a 4640 na pravém břehu Jizery), kde se nacházejí významná jímací území Bělá a Řepínský důl. Zde byla s využitím environmentálních stopovačů potvrzena existence významné akumulace kvalitních podzemních vod s dobou zdržení přesahující 300 let. Voda je tvořena směsí dvou složek různého stáří, jejichž podíl bylo možné kvantifikovat. Dle izotopů voda jednoznačně spadá do kolektorů Ca a Cb a byla infiltrována během holocénu, nejedná se tedy o glaciální vodu (oproti spodnímu kolektoru A). Byla vymezena infiltrační oblast starých vod v okolí Bezdězu, odkud se šíří vějířovitě převážně směrem k jihu, jihozápadu a jihovýchodu. Tato stará voda je následně jímána v JÚ Řepín a Bělá a odvodňována prameny v povodí Strenického potoka.

Představená případová studie je součástí výrazně rozsáhlejšího a komplexnějšího hydrogeologického výzkumu. Interpretaci výsledků environmentálních stopovačů nelze oddělit od dalších použitých metod, zejména hydrostratigrafické interpretace karotážních měření, tvorby geologických řezů, měření průtoků, analýzy hydraulických poměrů a dalších hydrogeologických dat. Vzhledem k omezenému rozsahu příspěvku není možné všechny tyto aspekty podrobně popsat; detailní metodika i výsledky jsou uvedeny v Bruthans et al. (2026).

Poděkování: Výzkum v rámci projektu č. SS06010268 „Poznání, kvantifikace a ochrana strategických zdrojů podzemní vody české křídové pánve hlubokého oběhu v hydrogeologických rajonech 4410 a 4522“ byl spolufinancován Technologickou agenturou České republiky. Autoři příspěvku děkují K. Šabatové, I. Kůrkové, O. Nolovi za veškerou práci odvedenou při přípravě odborné publikace, Ing. L. Kozlové, Bc. V. Jáskovi, Ing. F. Kloučkovi, Ing. J. Průšovi a dalším pracovníkům společností Vodárny Kladno–Mělník, a.s., Vodovody a kanalizace Mladá Boleslav, a.s. a Severočeské vodovody a kanalizace, a.s., dále Mgr. V. Ekertovi, Ing. B. Cervantesovi a J. Bendovi ze společnosti DIAMO, s.p. za spolupráci a umožnění přístupu k jímacím a monitorovacím vrtům. Poděkování patří rovněž dr. T. Weissovi, Bc. K. Malechové, MSc. M. M. Finsovi, Bc. S. Fataciune (Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova) a dr. J. Nedvědovi (GeoHamry, s.r.o.) za pomoc při terénních pracích.

Seznam literatury

Aeschbach-Hertig W., Solomon D.K., 2013. *Noble gas thermometry in groundwater hydrology. In The Noble Gases as Geochemical Tracers* – Burnard, P., Ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany.

Bruthans J., Slavík M., Mareš J., Šabatová K., Kůrková I., Nol O., 2026. *Re-Evaluation of Groundwater Flow Systems in Sedimentary Basin Based on Wide Range of Environmental Tracers, Hydrostratigraphy, and Field Measurements* – Water 18, 683. https://doi.org/10.3390/w180606

Corcho Alvarado J.A., Leuenberger M., Kipfer R., Paces T., Purtschert R., 2011. *Reconstruction of past climate conditions over central Europe from groundwater data*. – Quat. Sci. Rev. 30, 3423–3429.

Dupalová T., Sracek O., Vencelides Z., Žák K., 2012. *The origin of thermal waters in the northeastern part of the Eger Rift, Czech Republic* – Appl. Geochem 27, 689–702.

Jiráková H., Huneau F., Hrkal Z., Celle-Jeanton H., Le Coustumer P., 2010. *Carbon isotopes to constrain the origin and circulation pattern of groundwater in the north-western part of the Bohemian Cretaceous Basin (Czech Republic)* – Appl. Geochem 25, 1265–1279.

Jurgens B.C., Böhlke J.K., Eberts S.M., 2012. *TracerLPM (Version 1): An Excel® Workbook for Interpreting Groundwater Age Distributions from Environmental Tracer Data* – Techniques and Methods 4-F3; U.S. Geological Survey: Reston, VA, USA.

Musy S.L., Hinsby K., Wachs D., Sültenfuss J., Troldborg L., Aeschbach W., Schilling O.S., Purtschert R., 2025. *Bridging the 39Ar–14C groundwater dating gap: A dual-permeability transport perspective based on numerical modeling and field data*. – Water Resour. Res. 61, e2025WR040370.

Pačes T., Corcho Alvarado J. A., Herrmann Z., Kodeš V., Mužák J., Novák R., Purtschert R., Remenarová D., Valečka J., 2008. *The Cenomanian and Turonian aquifers of the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic*. – In Edmunds, W. M., Shand, P. (ed.), Natural Groundwater Quality. Blackwell Publishing Ltd., Oxford.

KRUŠNOHORSKÝ TUNEL – HLUBŠÍ POHLED DO HYDROGEOLOGIE ZDEJŠÍHO KRYSTALINIKA A SEVEROČESKÉ PÁNVE V RÁMCI PŘEDBĚŽNÉHO HYDROGEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU PRO VYSOKORYCHLOSTNÍ TRAŤ

KRUŠNOHORSKÝ TUNNEL – A DEEPER LOOK AT THE HYDROGEOLOGY OF THE LOCAL CRYSTALLINE BASEMENT AND THE NORTH BOHEMIAN BASIN AS PART OF THE PRELIMINARY HYDROGEOLOGICAL SURVEY FOR THE HIGH-SPEED RAILWAY LINE

Jiří Starý[1], Jiří Bruthans[2], Václav Hájek[1], Daniel Kahuda[3], Jakub Mareš[2], Martin Slavík[2], Václav Starý[4], Nikola Vacková[5]

[1]*GeoTec-GS, a.s., Chmelová 6, Praha, e-mail: jiristary@atlas.cz, hajek@geotec-gs.cz*
[2]*Přírodovědecká fakulta UK, Albertov 6, Praha, e-mail: jiri.bruthans@natur.cuni.cz, jakub.mares@natur.cuni.cz, martin.slavik@natur.cuni.cz*
[3]*Vodní zdroje a.s., Jindřicha Plachty 16, Praha, e-mail: daniel.kahuda@vodnizdroje.cz*
[4]*Geotrend s.r.o., Smečenská 183, Slaný, e-mail: geotrend@geotrend.cz*
[5]*Správa železnic, s.o., Dlážděná 7, Praha, e-mail: vackovan@spravazeleznic.cz*

Abstrakt: V rámci předběžného hydrogeologického průzkumu pro stavbu tunelu pod Krušnými horami o celkové délce 26 km bylo provedeno v trase tunelu na české straně celkem 10 strukturních vrtů o hloubkách mezi 38 – 546 m a dále několik jádrových vrtů do hloubky až 37 m v oblasti portálu. Strukturní vrty byly hloubeny jádrovou technologií wireline ve vrtném průměru SQ (146 mm) a téměř všechny byly vystrojeny PVC zárubnicemi. Na všech vrtech byla provedena hydrokarotážní měření v celém profilu vrtů, byly definovány intervaly pro vodní tlakové zkoušky a následně provedeno několik druhů hydrodynamických zkoušek pro ověření hydraulických parametrů horninového prostředí. Současně byly detailně kvantitativně i kvalitativně monitorovány přilehlé povrchové toky, jímací objekty hromadného zásobování pro město Chlumec a domovní studny. Průzkum prokázal existenci četných artézsky napjatých zvodní v prostoru pánve, ale i ve vrcholových oblastech Krušných hor, dále úzkou provázanost vodárensky využívaných kvartérních zvodní a povrchových toků a poukázal na celkové zhoršování regionální hydrologické situace v souvislosti s klimatickými změnami. Průzkum zvodní hlubinného oběhu byl doplněn o vybrané radioizotopové analýzy pro účely stanovení stáří vod, jejich geneze a specifikaci oblastí vsaku.

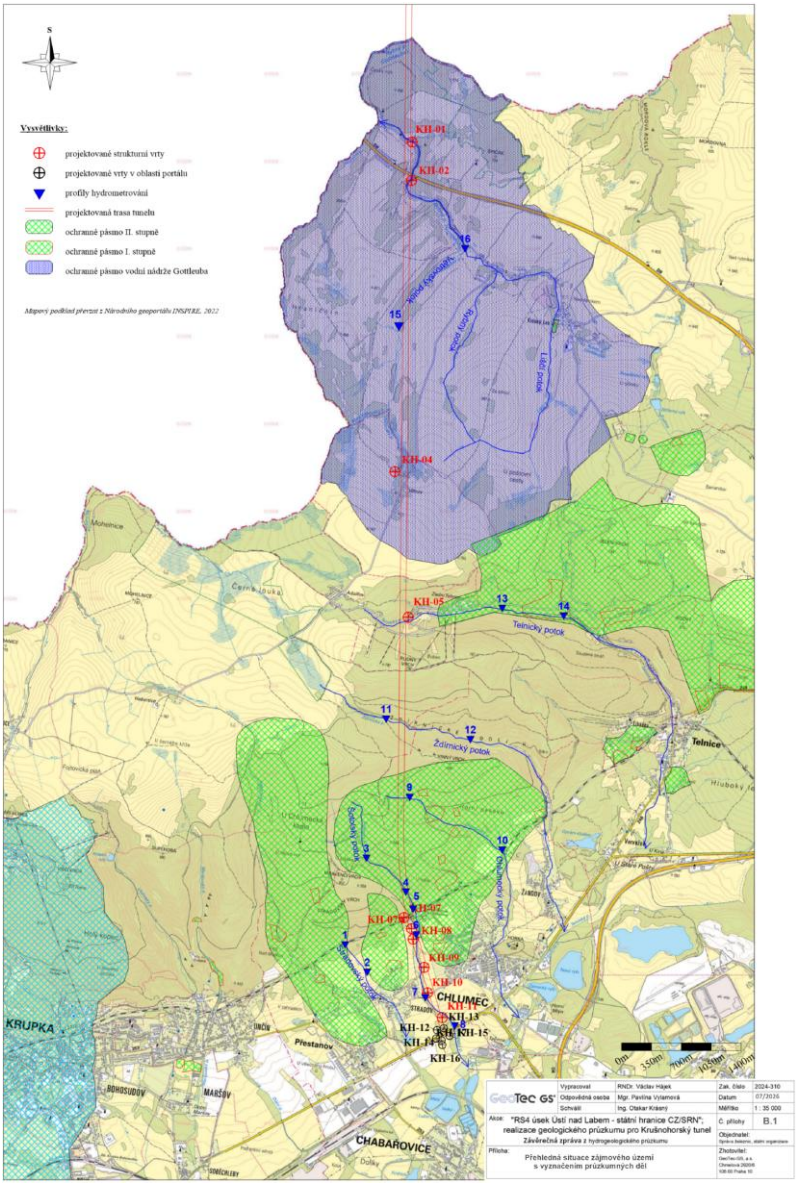
Abstract: As part of the preliminary hydrogeological survey for the construction of a 26 km-long tunnel beneath the (Krušné Mountains), a total of ten structural boreholes (ranging from 38 to 546 m in depth) were drilled along the tunnel alignment on the Czech side, alongside several core boreholes reaching depths of up to 37 m in the portal area. The structural boreholes were drilled using wireline coring technology with an SQ diameter (146 mm), and almost all were cased with PVC piping. Hydro-logging measurements were performed across the entire profile of all boreholes; intervals for water pressure tests were defined; and several types of hydrodynamic tests were subsequently conducted to verify the hydraulic parameters of the rock mass. Concurrently, detailed quantitative and qualitative monitoring was carried out on adjacent surface watercourses, public water supply abstraction facilities for the town of Chlumec, and private wells. The survey confirmed the presence of numerous artesian aquifers—both within the basin area and in the summit regions of the Krušné Mountains—and revealed a close interconnection between surface watercourses and Quaternary aquifers used for water supply; it also highlighted a general deterioration of the regional hydrological situation linked to climate change. The investigation of deep-circulation aquifers was supplemented by selected radioisotope analyses to determine water age and origin, as well as to identify recharge areas.

Klíčová slova: hydrogeologická stratifikace, artézské zvodně, hydrometrování, vodní tlakové zkoušky, hydrodynamické zkoušky, hydraulické vlastnosti kolektorů, radioizotopové analýzy.

Key words: hydrogeological stratification, artesian aquifers, flow measurements, water pressure tests, hydrodynamic tests, hydraulic properties of aquifers, radioisotope analyses.

1. Úvod

Cílem předběžného hydrogeologického průzkumu bylo ověření stávajících geologických a hydrogeologických poměrů zájmového území stavby, včetně posouzení možnosti ovlivnění stávajících vodních zdrojů sloužících jak k hromadnému, tak individuálnímu zásobování obyvatelstva pitnou vodou.



Obr. 1 Přehledná situace území průzkumných děl, měrných profilů a ochranných pásem vodních zdrojů.

Fig. 1 Overview map of the area of interest, showing exploratory works, gauging profiles, and water source protection zones.

Hydrogeologické poměry zájmového území by byly definovány zejména z pohledu množství a kvality podzemní vody, definování oblastí vzniku, akumulace a odvodnění hydrogeologických struktur a posouzení jejich vazeb k vodám povrchovým. Zásadním aspektem byla definice a vyhodnocení tektonicky predisponovaných linií jako významného prvku pro pohyb podzemní vody.
Ve vztahu ke stávajícím vodním zdrojům byla pozornost věnována zejména jímacím územím Chlumec, Stradov, Telnice a objektům individuálního zásobování podzemními vodami nacházejícími se v zájmovém území. Stavbou bude dotčeno také ochranné pásmo vodní nádrže Gottleuba.

2. Základní informace o vrtných a testovacích pracích

V rámci průzkumu pro stavbu tunelu pod Krušnými horami o celkové délce 26 km bylo provedeno v trase tunelu na české straně celkem 10 strukturních jádrových vrtů o hloubkách mezi 38 – 546 m a dále několik jádrových vrtů do hloubky až 37 m v oblasti portálu. Strukturní vrty byly hloubeny jádrovou technologií wireline ve vrtném průměru SQ (146 mm) a téměř všechny byly vystrojeny PVC zárubnicemi. Na všech strukturních vrtech byla provedena hydrokarotážní měření v celém profilu vrtů, byly definovány intervaly pro vodní tlakové zkoušky a následně provedeno několik druhů hydrodynamických zkoušek pro ověření hydraulických parametrů horninového prostředí. Účelem byla zejména identifikace poruchových systémů ve vrtech, stanovení přítoků do tunelových výrubů v hloubkových úsecích budoucí ražby a odhad možného dosahu vlivů ražby tunelu na okolní vodní zdroje.
Vrty v oblasti chabařovického portálu (celkem 6 ks vrtů o hloubkách mezi 28 – 37 m) byly prováděny jádrovou technologií jednoduchou TK jádrovkou. Na 2 portálových vrtech byly provedeny dlouhodobé hydrodynamické zkoušky pro určení hydraulických parametrů horninového prostředí, za současného pozorování hladin podzemní vody na okolních monitorovacích vrtech. Účelem bylo zejména stanovení přítoků do tunelových výrubů nebo hloubených úseků tunelu v hloubkových úsecích budoucí ražby, stanovení přítoků do portálové jámy a odhad možného dosahu vlivů ražby tunelu na okolní vodní zdroje.
Vodní tlakové zkoušky (dále VTZ) byly realizovány za účelem stanovení propustnosti horninového prostředí in situ ve strukturních vrtech před jejich vystrojením. Zkoušky byly realizovány ve smyslu ČSN 22282-3 Vodní tlakové zkoušky ve skalních horninách a ČSN ISO 22282-6 Zkoušky propustnosti ve vrtu pomocí uzavřených systémů. Účelem zkoušek bylo předběžné ověření hydraulických parametrů horninového prostředí (propustnosti) zejména pro zhodnocení drenážního účinku tunelu na horninový masiv a stanovení přítoků podzemní vody do tunelu. K realizaci vodních tlakových zkoušek byly využívány dvojité obturátory (pakry) průměru SQ (146 mm) délky 1 m pro testování zkušebního úseku o délce 3,0 m. Pouze v případě vrtu KH-8 byl pro nižší etáž vrty využit jednoduchý pakr. Vodní tlakové zkoušky byly prováděny ve 3 vzestupných zkušebních stupních, následovaných dvěma sestupnými stupni.

3. Základní informace o monitorovacích pracích

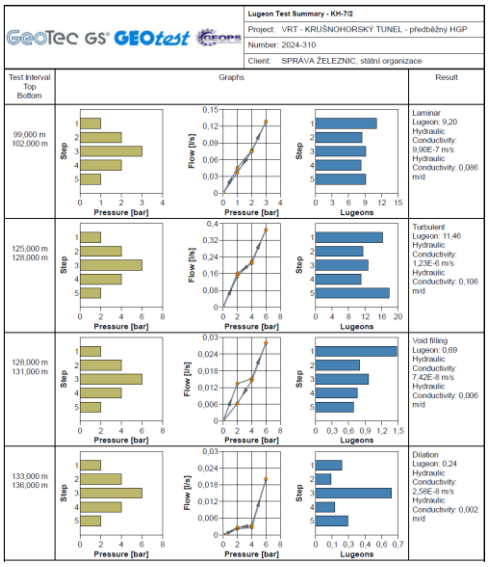
Hydrogeologický kvantitativní monitoring spočíval v jednorázových i kontinuálních záměrech hladiny podzemní vody ve stávajících vodních dílech a ve všech nově provedených vrtech, které byly vystrojeny jako pozorovací HG objekty a dále v jednorázových i kontinuálních záměrech průtoků vody na povrchových tocích. Monitoring byl prováděn v období květen 2025 – květen 2026. K vyhodnocení režimu podzemních a povrchových vod byla rovněž využita data z ČHMÚ – zejména srážkové úhrny za období realizace průzkumných prací a stavy hladiny podzemní vody na vybraném referenčním vrtu VP 1936 v Dubí. Data získaná při monitoringu objektů podél trasy VRT byla následně začleněna do dlouhodobého hydrologického režimu oblasti.

4. Základní informace o geologii, hydrogeologii a tektonice zkoumaného území

Převážná část plánové trasy krušnohorského tunelu zastihne krušnohorské krystalinikum (vrty KH-1 až KH-7). Pouze území portálu a přilehlý úsek plánované železniční vysokorychlostní tratě až ke krušnohorskému zlomu zastihne terciérní vulkanosedimentární formace a svrchnokřídové sedimentární formace v oblasti chabařovické pánve (vrty KH-8 až KH-11).
Krušné hory tvoří kra metamorfovaných, vyvřelých i výlevných hornin (typicky ortoruly, metagranity, metagranodiority, metapegmatity, ryolitové i bazické žilné horniny). Tato kra je skloněná na sever, a oddělená na jihu od podkrušnohorské pánve výrazným zlomem (krušnohorský zlom). Podél zlomu je pánev zakleslá a pohoří tak tvoří výrazný morfologický stupeň se strmými svahy a relativní výškou 500 až 700 m.
Chabařovická pánev je tektonická sníženina mezi Krušnými horami a Českým středohořím. Sníženina je tvořena ve svrchní části miocenními jezerními jíly a písky a hnědouhelnými slojemi mosteckého souvrství, ve spodní části cenomanskými pískovci, turonskými slínovci, kenozoickými (terciérními) vulkanity a pokryvy čtvrtohorních sedimentů. Údolní nivu Ždírnického potoka, Habartického potoka a jejich přítoků, která vznikla na

neogenním geologickém substrátu, tvoří fluviální kvartérní usazeniny. Přilehlé svahy jsou pokryty proluviálními a fluviálními štěrky a písky.
Projektovaný koridor trasy tunelu v oblasti Krušných hor protíná řada příčných zlomů, s prioritou ve směrech SSZ – JJV a Z – V. Další významná zlomová pásma jsou ve směru SZ – JV, přičemž významný je také Větrovský zlom a zlomové pásmo spojené s diatremou Špičák. Předpokládá se, že oba zlomy mají pravděpodobně strmý sklon k SV. Krušné hory jsou od oblasti pánve odděleny pásmem krušnohorského zlomu. Jedná se o poruchovou zónu, která prochází ve směru cca SV – JZ (60° / 240°).
V prostoru krušnohorského krystalinika je zvodnění vázáno na krystalinický masív, s hlavním zvodněním v úseku přípovrchového rozpojení hornin krystalinika. Jako výrazný strukturně-hydrogeologický prvek se uplatňuje vedle hloubkového dosahu Krušnohorského zlomového pásma, východní tektonické omezení teplického křemenného porfyru. Ten vymezuje dvě hydrogeologicky samostatné oblasti (struktury): teplickou a ústeckou s výskytem termálních Na-HCO_3 vod. Termální vody se vytváření ve dvou odlišných prostředích – porfyrovém a rulovém, spolu s bazálními psamity svrchní křídy. Jejich vzájemná souvislost však nebyla doposud prokázána.
Pánevní struktury terciéru mají většinou vlastní režim podzemích vod, hydrochemicky odlišný, v ústecké struktuře zcela samostatný. Zvodnění je zde vázáno na relativně dobře propustné uhelné sloje, prostorově nehomogenní písčité či štěrkovité polohy a vulkanické polohy s vyšším podílem hrubozrnné frakce (brekcie, písčité tufy, porézní tefrity, apod.)
V kvartérních sedimentech se vytváří mělký obzor podzemní vody. V pánevní části bývá většinou nevýznamný a samostatný, související s druhým zvodněným obzorem (v pánevních sedimentech). Na úpatí Krušných hor a při krušnohorském zlomovém pásmu je mělký obzor podzemí vody, vytvářející se v proluviálních štěrcích, významnou druhotnou akumulací, které je připisována úloha regulátoru, usměrňující doplňování hlubších zvodní podzemí vodou. Kvartérní uloženiny ve vrcholové části hor (holocénní fluviální a deluviofluviální) lemují pouze úzká údolí potoků. Jsou většinou písčitá a dobře propustná. Obdobně hlinito-kamenitá deluvia jsou uložena v horních částech povodí potoků, které sytí neznatelnými přírony. Většina pramenišť nezačíná soustředěnými výrony, vývěry jsou plošně rozptýlené a podmáčejí terén.

5. Diskuze výsledků vodních tlakových zkoušek a hydrodynamických zkoušek



Vyhodnocení p/Q diagramů bylo provedeno dle metodiky Houlsbyho (1976), která pro každý vzorový průběh hodnot Lugeonů zahrnující všechny tlakové stupně (základní vzory jsou laminární, turbulentní, dilatační, s výplachem puklin, se zanášením puklin) odvozuje odlišnými způsoby reprezentativní finální hodnotu Lugeonu pro testovaný úsek (viz také příloha B normy ČSN EN ISO 22282-3).
V následujícím obr. 2 jsou pro příklad prezentovány konkrétní výstupy z hodnocení jednotlivých úseků vodních tlakových zkoušek ve vrtu KH-7/2, který je situován přímo do prostoru krušnohorského zlomu. Tento prostor je hydrogeologicky a tektonicky výrazně heterogenní, a proto se ve vrtu se uplatňují na základě výsledků p/Q diagramů celkem 4 rozdílné mechanismy působení tlakové vody na horninové diskontinuity. Tyto mechanismy pak předurčují postupy pro výsledné hodnocení hydraulických vlastností jednotlivých úseků.

Obr. 2 Konkrétní výstupy z hodnocení vodních tlakových zkoušek ve vrtu KH-7/2.
Fig. 2 Specific results from the evaluation of water pressure tests in borehole KH-7/2.

Při celkovém porovnání hydraulických parametrů z VTZ ve všech vrtech (tab. 3) je zjevné, že nejvyšší propustnosti dosahují některé zkoušené úseky ve vrtech KH-2, KH-4, KH-5, KH-7/2, KH-8 a KH-11. Zejména

pánevní vrt KH-11 (společně s portálovým vrtem KH-13) dosahuje vůbec nejvyšších hydraulických parametrů, vzhledem k přítomnosti vysoce propustných terciérních vulkanických brekcií.

Tab. 1 Přehled hydraulických parametrů jednotlivých úseků testovaných vodními tlakovými zkouškami.
Tab. 1 Overview of hydraulic parameters for individual sections subjected to hydrostatic pressure tests.

vrt	testovaný úsek (m)	Lugeon	koeficient hydraulické vodivosti	charakter horninových diskontinuit (Quiñones-Rozo, 2010)	třída propustnosti (Jetel,1982)
KH-01	223-226	0,69	6,62E-08	velmi těsné	velmi slabě propustné
	358-361	0,16	1,51E-08	velmi těsné	velmi slabě propustné
	362-365	0,25	2,39E-08	velmi těsné	velmi slabě propustné
	368-371	0,12	1,21E-08	velmi těsné	velmi slabě propustné
KH-2	149-152	0	0,00E+00	velmi těsné	nepatrně propustné
	163-166	0	0,00E+00	velmi těsné	nepatrně propustné
	322-325	0	0,00E+00	velmi těsné	nepatrně propustné
	373-376	0	0,00E+00	velmi těsné	nepatrně propustné
	376-379	12,33	1,19E-06	mnoho rozevřených	dosti slabě propustné
KH-4	525-528	0	4,52E-10	velmi těsné	nepatrně propustné
	528-531	0	2,13E-10	velmi těsné	nepatrně propustné
	532-535	25,23	2,44E-06	mnoho rozevřených	dosti slabě propustné
	535-538	0,4	3,83E-08	velmi těsné	velmi slabě propustné
KH-5	61-64	25,38	2,45E-06	mnoho rozevřených	dosti slabě propustné
	122-125	0	0,00E+00	velmi těsné	nepatrně propustné
	154-157	0	0,00E+00	velmi těsné	nepatrně propustné
	436-439	0	0,00E+00	velmi těsné	nepatrně propustné
	454-457	0	0,00E+00	velmi těsné	nepatrně propustné
	462-465	0	0,00E+00	velmi těsné	nepatrně propustné
KH-7/2	99-102	9,2	9,90E-07	dosti rozevřených	slabě propustné
	125-128	11,46	1,23E-06	dosti rozevřených	dosti slabě propustné
	128-131	0,69	7,42E-08	velmi těsné	velmi slabě propustné
	133-136	0,24	2,58E-08	velmi těsné	velmi slabě propustné
KH-7A	154-157	0	0,00E+00	velmi těsné	nepatrně propustné
KH-8	56,5-59,5	117,69	1,14E-05	široce rozevřené pukliny či prostory	mírně propustné
	76-117,2	0,65	1,07E-07	velmi těsné	slabě propustné
KH-9	40-43	1,04	1,01E-07	některé rozevřené	slabě propustné
	57-60	8,82	8,52E-07	dosti rozevřených	slabě propustné
	60-63	0	0,00E+00	velmi těsné	nepatrně propustné
	64-67	0	0,00E+00	velmi těsné	nepatrně propustné
KH-10	25-28	0	0,00E+00	velmi těsné	nepatrně propustné
	35-38	2,61	2,52E-07	některé rozevřené	slabě propustné
	39-42	3,2	3,10E-07	některé rozevřené	slabě propustné
	44-47	0,02	1,92E-09	velmi těsné	nepatrně propustné
KH-11	18-21	27,53	2,66E-06	dosti rorevřených	dosti slabě propustné
	23-26	192,57	1,86E-05	široce rozevřené pukliny či prostory	mírně propustné
	27-30	181,9	1,76E-05	široce rozevřené pukliny či prostory	mírně propustné

Následující tab. 2 až 4 uvádějí souhrnné porovnání hydraulických parametrů vystrojených strukturních a portálových vrtů, ověřených finálními hydrodynamickými zkouškami.

Tab. 2 Souhrn hydraulických parametrů a odvozených veličin vrtů KH-01 až KH-11.
Tab. 2 Summary of hydraulic parameters and derived quantities for boreholes KH-01 to KH-11.

Parametr	KH-01	KH-02	KH-4	KH-05	KH-07	KH-08	KH-09	KH-10	KH-11
Model fitu	WR + WBS + skin	Boulton (volná hladina)	WR + WBS + skin	WR + přetékání + WBS + skin	WR + přetékání + WBS + skin	WR + přetékání + WBS + skin	WR + WBS + skin	WR + WBS + skin	WR + WBS + skin
L_s – délka filtru (m)	28	20	28	10	28	20	16	12	16
b – mocnost kolektoru (m)	39	364	35	465	55	59	68	32	26,8
T (m^2/s)	**$1{,}98\cdot10^{-7}$**	**$6{,}44\cdot10^{-7}$**	**$3{,}17\cdot10^{-6}$**	**$3{,}61\cdot10^{-7}$**	**$1{,}00\cdot10^{-5}$**	**$1{,}15\cdot10^{-4}$**	**$3{,}49\cdot10^{-4}$**	**$3{,}16\cdot10^{-5}$**	**$1{,}03\cdot10^{-3}$**
K = T/b (m/s)	**$5{,}07\cdot10^{-9}$**	**$1{,}77\cdot10^{-9}$**	**$9{,}05\cdot10^{-8}$**	**$7{,}77\cdot10^{-10}$**	**$1{,}82\cdot10^{-7}$**	**$1{,}94\cdot10^{-6}$**	**$5{,}13\cdot10^{-6}$**	**$9{,}87\cdot10^{-7}$**	**$3{,}85\cdot10^{-5}$**
S (–)	**$1{,}12\cdot10^{-3}$**	**$4{,}55\cdot10^{-4}$ (elast.)**	**$3{,}81\cdot10^{-4}$**	**$2{,}76\cdot10^{-2}$**	**$2{,}52\cdot10^{-4}$**	**$3{,}89\cdot10^{-4}$**	**$6{,}67\cdot10^{-2}$**	**$2{,}36\cdot10^{-1}$**	**$2{,}26\cdot10^{-1}$**
Skin σ (–)	58,74	–	14,10	-4,90	-1,01	6,08	40,09	56,75	-1,81
Δs skinem (m) při Q (l/s)	+118,25 (Q = 0,0025)	–	+17,71 (Q = 0,025)	-539,48 (Q = 0,250)	-2,21 (Q = 0,138)	+1,41 (Q = 0,167)	+2,56 (Q = 0,140)	+23,74 (Q = 0,083)	-0,14 (Q = 0,500)
s_{dost} – dostupné snížení	120	130	180	150	58	30	30	18	11

Parametr	KH-01	KH-02	KH-4	KH-05	KH-07	KH-08	KH-09	KH-10	KH-11
(m)									
Q_{max} (l/s)	0,0023	0,028	0,163	0,0093	0,401	0,934	1,21	0,057	3,33
Kritérium Q_{max}	dost. snížení	Sichardt	dost. snížení	Sichardt	Sichardt	Sichardt	Sichardt	dost. snížení	Sichardt
s při Q_{max} (m)	120,0	27,9	180,0	2,1	17,9	19,5	26,5	18,0	3,0
Q predikce (l/s)	0,0023	0,019	0,010	0,040	0,181	0,423	0,494	0,055	5,53
s za 30 dnů (m)	112,66	9,98	9,87	9,20	10,03	10,01	10,00	18,01	4,18
Dosah deprese R za 30 dnů (m)	79	100	42	15	311	607	79	120	400
Teplota vody (°C)	8,8	9,9	8,4	9,3	13,0	10,1	11,2	10,7	9,9
ΔT od průměru (°C)	-1,3	-0,2	-1,7	-0,8	+2,9	-0,0	+1,1	+0,6	-0,2

Tab. 3 Souhrn hydraulických parametrů, odvozených veličin, maximální využitelné vydatnosti a predikce snížení pro vrty KH-12 a KH-15.

Tab. 3 Summary of hydraulic parameters, derived quantities, maximum usable yield, and drawdown predictions for boreholes KH-12 and KH-15.

Parametr	KH-12	KH-15
Model fitu	Warren–Root + objem vrtu a skin	Warren–Root (dvojitá porozita)
B – mocnost kolektoru (m)	34	24
L_s – délka filtru (m)	28	20
Doba zkoušky (dny)	13,9	18,7
Průběh zkoušky	3 čerpací etapy 0,10–0,20 l/s s přerušením	stupňovitá zkouška, 6 stupňů 0,11–0,76 l/s
S fixováno z	KHV-7obs (S = $2{,}79\cdot10^{-2}$, fixováno)	KHV-4obs (S = $2{,}51\cdot10^{-3}$, fixováno)
T (m²/s)	$1{,}50\cdot10^{-5}$	$1{,}08\cdot10^{-4}$
K = T/b (m/s)	$4{,}41\cdot10^{-7}$	$4{,}5\cdot10^{-6}$
S (–)	$2{,}79\cdot10^{-2}$	$2{,}51\cdot10^{-3}$
Skin σ (–)	-0,40	–
Q predikce (l/s)	0,153	0,355
s za 30 dnů (m)	9,99	4,92
Dosah deprese R za 30 dnů (m)	123	882
s za 30 dnů v pozorovacích vrtech (m)	KHV-7obs: 0,32; KH-13obs: 0,12; KH-15obs: < 0,01	KHV-4obs: 1,00; KH-13obs: 0,80; KH-16obs: 0,70
Teplota vody (°C)	10,5	10,5
ΔT od průměru kampaně (°C)	+0,3	+0,3

Tab. 4 Zjištěné hodnoty T a S po jednotlivých vrtech (individuální fit shodného modelu). Žlutě podbarvené řádky = výsledný model čerpaného vrtu se storativitou fixovanou z pozorovacího vrtu.

Tab. 4 Determined T and S values for individual boreholes (individual fit of a consistent model). Rows highlighted in yellow = final model for the pumped well, with storativity fixed based on the observation well.

Zkouška	Vrt	r (m)	T (m²/s)	S (–)	RMSE (m)	R² (–)
KH-12	**KH-12pump (čerpaný)**	0,04	$1{,}51\cdot10^{-5}$	$2{,}63\cdot10^{-2}$	4,423	0,666
KH-12	KH-13obs	83,50	$9{,}31\cdot10^{-5}$	$3{,}62\cdot10^{-4}$	0,069	0,927
KH-12	KH-15obs	162,00	$1{,}45\cdot10^{-5}$	$4{,}60\cdot10^{-3}$	0,032	0,703
KH-12	KHV-7obs	61,22	$6{,}04\cdot10^{-5}$	$2{,}79\cdot10^{-2}$	0,011	0,976
KH-12	*výsledný model (S fix.)*	*0,04*	*$1{,}50\cdot10^{-5}$*	*$2{,}79\cdot10^{-2}$*	*4,397*	*0,670*
KH-15	**KH-15pump (čerpaný)**	0,04	$6{,}71\cdot10^{-5}$	$4{,}84\cdot10^{-1}$	1,747	0,856
KH-15	KH-13obs	109,80	$8{,}47\cdot10^{-5}$	$1{,}05\cdot10^{-3}$	0,513	0,357
KH-15	KH-16obs	134,70	$3{,}96\cdot10^{-5}$	$2{,}23\cdot10^{-3}$	0,227	0,265
KH-15	KHV-4obs	74,00	$3{,}12\cdot10^{-5}$	$2{,}63\cdot10^{-3}$	0,428	0,531
KH-15	*výsledný model (S fix.)*	*0,04*	*$1{,}08\cdot10^{-4}$*	*$2{,}51\cdot10^{-3}$*	*2,069*	*0,798*

Lze konstatovat, že **výsledky vodních tlakových zkoušek ve většině případů dobře korelují s výsledky karotáže a následně také s výsledky hydrodynamických zkoušek ve vystrojených strukturních vrtech**. Významné neshody v některých úsecích vrtů můžou být způsobeny částečnou kolmatací (zejména u vrtu KH-2),

kdy VTZ prokázaly v některých úsecích existenci relativně dobře propustných diskontinuit, nicméně při běžných hydrodynamických zkouškách za nízkých tlaků tyto diskontinuity nebyly identifikovány.

6. Okrajové podmínky a charakteristika kolektorů - hydraulická a hydrogeologická syntéza lokality

Soubor zkoušek zastihl výrazně heterogenní puklinové prostředí: transmisivita se pohybuje v rozpětí více než tří řádů od $2{,}0\cdot10^{-7}$ m²/s (KH-01) po $1{,}0\cdot10^{-3}$ m²/s (KH-11), čemuž odpovídá hydraulická vodivost $7{,}8\cdot10^{-10}$ (KH-05) až $3{,}9\cdot10^{-5}$ m/s (KH-11). Vydatnost jednotlivých objektů je proto určena především tím, zda vrt zastihl průběžnou propustnou puklinovou zónu, a dále stavem zóny na plášti vrtu (skinem) – extrémní kladné skiny (KH-01 $\sigma \approx 59$, KH-10 $\sigma \approx 57$, KH-09 $\sigma \approx 40$) ukazují na kolmataci, pravděpodobně rezidua vrtného výplachu.
Finální fity kvantifikují dotaci u tří vrtů členem přetékání: nejvýrazněji u KH-07 (B ≈ 3,2 m, náhradní napájecí hranice d ≈ 2 m – prakticky okamžitá dotace v bezprostředním okolí vrtu), dále u KH-05 (B ≈ 211 m; d ≈ 118 m) a KH-08 (B ≈ 538 m; d ≈ 302 m, ve shodě s poklesem derivace obou fází). U vrtů bez členu přetékání zůstává dotace kvalitativní indikací z klesající pozdní derivace (KH-09, KH-11); u vrtu KH-02 je pokles hladinové odezvy vysvětlen opožděným gravitačním odvodněním volné hladiny (Boultonův model, Sy ≈ 0,21) s přechodem do radiálního režimu (pozdní n ≈ 2). Bariérové (nepropustné) okrajové podmínky naznačuje strmý růst pozdní derivace u KH-4, KH-07 a KH-10; nelze jej však jednoznačně odlišit od vlivu objemů vrtů.
V souboru se projevuje **dvojí porozita**. Podíl zásobnosti puklin je ve finálních fitech u většiny vrtů vyrovnaný – ω ≈ 0,3 až 0,75 u KH-09 (0,28), KH-05 (0,42), KH-08 (0,45), KH-07 (0,52), KH-4 (0,55) a KH-10 (0,75); nízký podíl mají KH-11 (ω = 0,06) a KH-01 (ω = 0,08), kde zásobnost nese matrice, resp. gravitační odvodnění. Geometrii proudění dokresluje diagnostika derivace: raná dimenze n ≈ 3 u KH-02, KH-4, KH-07, KH-08, KH-09 a KH-10 svědčí o přítocích soustředěných do krátkých úseků filtru (průsečíky puklin s vrtem), zatímco n < 1,5 u KH-05 (1,1–1,4) a KH-11 (0,6) odpovídá toku v deskovitých puklinových zónách či kanálech; u KH-01 není derivace pro diagnostiku dostatečně hladká. Hloubkovou polohu přítoků z průběhu snížení určit nelze.
Z hlediska hydraulického režimu odpovídají storativity $S \approx 2{,}5\cdot10^{-4}$ až $1{,}1\cdot10^{-3}$ **polonapjaté odezvě u vrtů KH-07, KH-4, KH-08 a KH-01**; vysoké storativity $S \approx 3\cdot10^{-2}$ až 0,24 u **KH-05, KH-09, KH-10 a KH-11 odpovídají mělké zvodni s volnou hladinou či přechodem k ní** a u KH-02 odděluje Boultonův model elastickou složku ($S \approx 4{,}5\cdot10^{-4}$) od storativity volné hladiny Sy = 0,21. Teploty vody při zkouškách se pohybují od 8,4 do 13,0 °C (průměr 10,1 °C**). Teplejší vodu mají vrty s vyšší propustností a indikovanou dotací – KH-07** (+2,9 °C, nejvýraznější anomálie) **a KH-09** (+1,1 °C), což může naznačovat příspěvek hlubšího či delšího oběhu; **nejchladnější KH-4** (8,4 °C) a **KH-01** (8,8 °C) **odpovídají stagnantním, málo propustným blokům**.
Dle dlouhodobých zkoušek vrtů KH-12 a KH-15 lze kvantifikovat plošnou homogenitu kolektoru. Obě zkoušky shodně ukazují, že **prostředí je na měřítku prvních stovek metrů heterogenní**, avšak v odlišné míře. **Okolí vrtu KH-12 je výrazně heterogenní a směrově anizotropní**: transmisivity individuálních fitů se liší faktorem ≈ 6,4 ($1{,}4\cdot10^{-5}$ až $9{,}3\cdot10^{-5}$ m²/s) a storativity faktorem ≈ 77 (dva řády, $3{,}6\cdot10^{-4}$ až $2{,}8\cdot10^{-2}$). Kontrast interpretujeme jako preferenční transmisivní zónu procházející prostorem KH-12 → KHV-7obs → KH-13obs, zatímco směr k jižněji položenému KH-15obs a bezprostřední okolí čerpaného vrtu jsou méně propustné; vysoká storativita v blízkém poli (KHV-7obs) proti nízké storativitě vzdálenější zóny (KH-13obs) odpovídá kombinaci mělčí zvodně s volnější hladinou a napjatější propustné zóny.
Okolí vrtu KH-15 je naproti tomu relativně homogenní: transmisivity se liší faktorem ≈ 2,7 a storativity pozorovacích vrtů faktorem ≈ 2,5. Nezávislou kontrolou spojitosti prostředí je vrt KH-13obs, zastižený oběma zkouškami z různých směrů a vzdáleností: transmisivita z něj určená činí $9{,}3\cdot10^{-5}$ m²/s (zkouška KH-12, r = 83,5 m) a $8{,}5\cdot10^{-5}$ m²/s (zkouška KH-15, r = 109,8 m), tedy shoda na ≈ 10 %. To potvrzuje existenci souvislé transmisivní zóny vyšší vodivosti (řádu 10^{-4} m²/s) v prostoru mezi oběma testovanými vrty, na kterou jsou oba objekty hydraulicky napojeny; storativita KH-13obs se mezi zkouškami liší faktorem ≈ 3 ($3{,}6\cdot10^{-4}$ proti $1{,}0\cdot10^{-3}$), což je při rozdílné geometrii vyhodnocení přijatelné. Prakticky z toho plyne, že **odběry (resp. odtoky) z prostorů vrtů KH-12 a KH-15 se mohou touto zónou vzájemně ovlivňovat** a je vhodné interferenci ověřit (superpozicí modelů nebo krátkým společným testem).
Hodnoty storativity (10^{-3} až 10^{-2}) a strmý pokles pozdních derivací u obou zkoušek shodně ukazují na **polonapjatý až mírně odkrytý režim zvodně s dotací v dosahu deprese**; charakter dotace (přetok z mělčího oběhu, boční napájení) nebylo možné z dostupných dat rozlišit. Hloubkovou polohu přítoků nelze z průběhu snížení určit ani u dlouhodobých zkoušek – k lokalizaci doporučujeme flowmetrovou, teplotní a konduktivitní karotáž při čerpání; plošnou stavbu transmisivní zóny by upřesnilo doplnění piezometrů.

7. Přítoky podzemních vod do prostoru tunelového výrubu

Na základě výše uvedených výsledků bylo možné provést orientační výpočty přítoků podzemních vod do tunelových výrubů v prostoru jednotlivých vrtů. Pro posouzení přítoků do tunelových výrubů o kruhovém průřezu v prostoru strukturních průzkumných vrtů byla využita Goodmanova analytická metoda (Goodman, 1965), výsledky výpočtů jsou prezentovány níže v tab. 5.

odstranil: . odhad ustáleného přítoku

Tab. 5 Souhrnná tabulka přítoků do tunelového výrubu v místech strukturních vrtů a portálového vrtu KH-13.
Tab. 5 Summary table of inflows into the tunnel excavation at the locations of structural boreholes and portal borehole KH-13.

vrt	koeficient hydraulické vodivosti **K** (m/s)	výška vodního sloupce nad osou tunelu $\mathbf{H_0}$ (m)	hloubka tunelu pod hladinou podzemní vody **z** (m)	poloměr výrubu tunelu **r** (m)	specifický přítok podzemní vody (l/s/metr délky tunelu)
KH-1	1,95E-08	348,94	354,24	5,3	**8,73E-03**
KH-2	1,19E-06	375,98	381,28	5,3	**5,66E-01**
KH-4	2,44E-06	535,21	540,51	5,3	**1,54E+00**
KH-5	0,00E+00	469,3	474,6	5,3	**0,00E+00**
KH-7/2	1,23E-06	133,2	138,5	5,3	**2,60E-01**
KH-8	1,07E-07	100,03	105,33	5,3	**1,83E-02**
KH-9	8,52E-07	58,03	63,33	5,3	**9,79E-02**
KH-10	3,10E-07	47,15	52,45	5,3	**3,08E-02**
KH-11	1,86E-05	17,11	22,41	5,3	**9,36E-01**
KH-13	1,03E-05	0,69	6,72	5,3	**4,80E-02**

8. Diskuze výsledků monitoringu hladiny podzemních vod ve vrtech

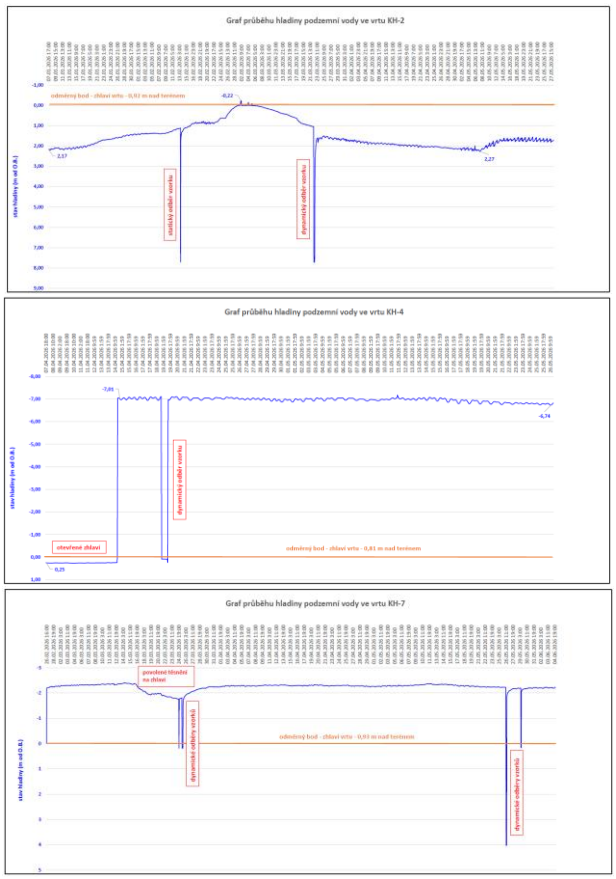
V rámci aktuálního hydrogeologického průzkumu byla **u většiny strukturních vrtů, které dosahovaly významně větších hloubek**, než mělké archivní vrty, zjištěna **hladina podzemní vody s pozitivní výtlačnou úrovní nad úroveň terénu**. V oblasti pánevních vrtů se piezometrická úroveň hladiny u vrtů s napjatým režimem pohybovala mezi 0,5 – 3,5 m nad úrovní terénu, v oblasti krystalinických vrtů mezi 0,2 – 12 m nad úrovní terénu. Celkem 7 strukturních vrtů z 10 provedených zastihlo artézsky napjatou zvodeň, u mělkých portálových vrtů KH-12 až KH-16 již byla registrována hladina podzemní vody pod úrovní terénu. Přehledné výsledky úvodního zaměření hladin podzemní vody jsou součástí následující tab. 6.

Tab. 6 Iniciální hladiny podzemní vody ve strukturních a portálových vrtech
Tab. 6 Initial groundwater levels in structural and portal boreholes

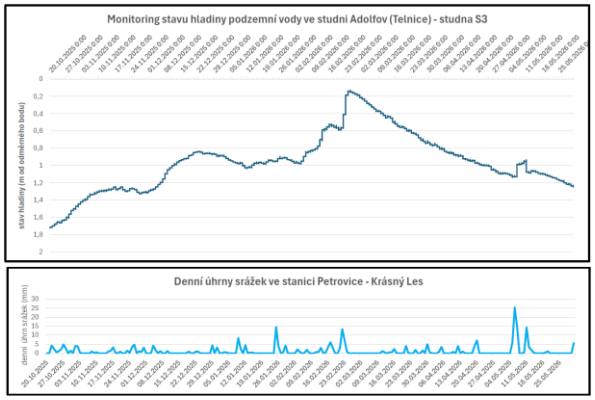
vrt	zhlaví (m nad terénem)	hladina (m od zhlaví)	datum měření
KH-1	0,70	-13,76	18.03.2026
KH-2	0,92	-0,84	18.03.2026
KH-4	0,81	**7,1**	14.04.2026
KH-5	0,20	**12**	05.11.2025
KH-7	1,02	**1,5**	29.03.2026
KH-7a	vrt s MPT senzory	**přetok po dovrtání**	21.03.2026
KH-8	0,85	**-0,32**	17.03.2026
KH-9	0,65	-7,92	24.03.2026
KH-10	0,85	**2,6**	20.02.2026
KH-11	0,86	-4,75	20.02.2026
KH-12	0,59	-5,85	07.04.2026
KH-13	0,53	-5,84	07.04.2026
KH-14	0,59	-5,73	07.04.2026
KH-15	0,62	-3,27	07.04.2026
KH-16	0,58	-6,2	07.04.2026

tučně zvýrazněny pozitivní úrovně hladiny nad terén

Byl potvrzen předpoklad, že u hlubokých vrtů v prostoru krušnohorského zlomu a pánevních struktur na úpatí Krušných hor se projeví přítomnost napjatých kolektorů. **Překvapivým zjištěním se však přítomnost těchto napjatých struktur i ve vrcholové části Krušných hor.** V případě vrtu KH-2 se jedná o mírně napjatou hladinu cca 0,2 m nad terén, která se projevuje především v období hydrologických maxim (obr. 3). V nejhlubším vrtu KH-4 dosahuje výtlačná úroveň poruchové zóny krystalinického kolektoru až 8 m nad terén (obr. 3). Vrt je vystrojen na snímání hladiny hluboce situované puklinové zvodně v úseku 506 – 546 m. Vzhledem k ověření přítomnosti dobře propustných poloh v úseku 532 – 538 m a napjaté hladině podzemní vody lze uvažovat o spojitosti této polohy s mnohem výše situovanými puklinovými systémy v hřebenové části Krušných hor. Dobrá reakce na režimní kolísání hladiny tomu nasvědčuje. Vrt KH-07 má napjatou hladinu podzemní vody s pozitivní výtlačnou úrovní cca 3 m nad úroveň terénu a nachází se v prostoru krušnohorského zlomu. Na průběhu hladiny je také patrný režimní pokles výtlačné úrovně podzemní vody v průběhu doznívání jarních měsíců. Vrt je vystrojen na snímání hladiny silně tektonicky porušené krystalinické puklinové zvodně v úseku 110 - 145 m. Vzhledem k ověření přítomnosti dobře propustných poloh v úseku 125 - 128 m a napjaté hladině podzemní vody lze uvažovat o spojitosti této polohy s tektonickým pásmem podél krušnohorského zlomu. Dobrá reakce na režimní kolísání hladiny tomu nasvědčuje. Také u vrtu KH-07 se pravděpodobně projevují drobné amplitudy vyvolané slapovými jevy. Jarní maximum okolo 15. 3. se projevilo s cca 14-denním zpožděním oproti hlavní jarní oblevě. U všech výše uvedených vrtů se pravděpodobně projevují drobné amplitudy vyvolané slapovými jevy.



Obr. 3 Monitoring hladiny podzemní vody ve vrtu KH-02, KH-04 a KH-07.
Fig. 3 Groundwater level monitoring in boreholes KH-02, KH-04, and KH-07.

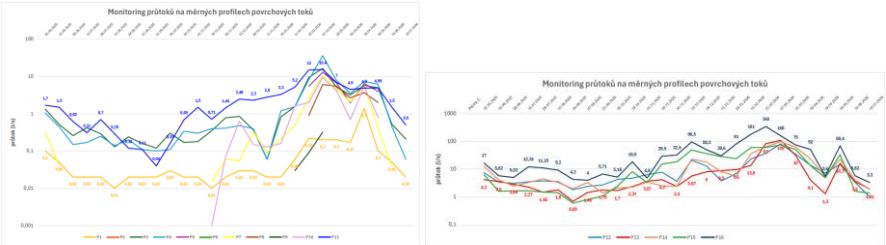


Obr. 4 Automatický monitoring hladiny podzemní vody ve studni S3 a srážkové úhrny ve stanici Krásný Les
Fig. 4 Automatic monitoring of groundwater levels in well S3 and precipitation totals at the Krásný Les station.

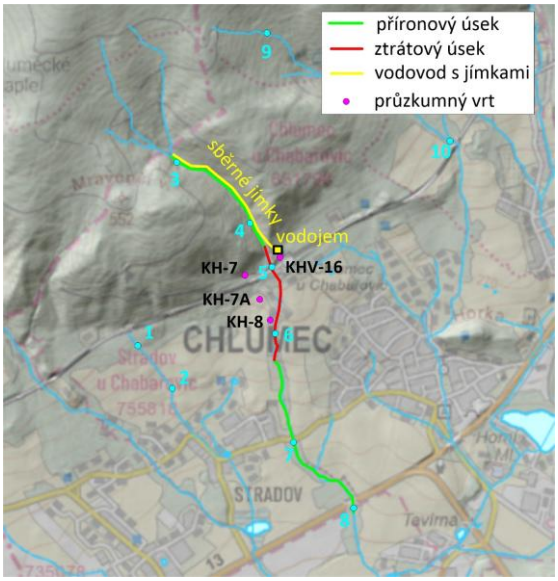
V hřebenové části Krušných hor v obci Adolfov byl vybrán referenční objekt pro sledování neovlivněného režimu podzemní vody – nevyužívaná studna S3 (obr. 4). Z automatického hladinového záznamu ve studni S3 je patrné, že na náhlých hladinových vzestupech se podílí především období výrazné oblevy na přelomu února a března 2026 (amplituda hladiny 43 cm) a vysoké úhrny srážek v období 6.-7. 5. 2026 (amplituda 14 cm). Je zjevné, že vrt KH-2 výrazně koreluje s průběhem hladiny v referenční studni S3, protože zastihuje také mělčí oběh podzemní vody, narozdíl od vrtů KH-04 a KH-07, které jsou vystrojeny na hlubinný oběh v krystaliniku a korelace je zde méně výrazná, s větším zpožděním odezvy na hydrologické výkyvy.

9. Diskuze výsledků monitoringu průtoků na povrchových tocích

Měření průtoků na povrchových vodách v intervalu 1x 14 dní bylo prováděno na celkem 16 měrných profilech, jejichž situace je zachycena na obr. 5. Na 2 měrných profilech bylo prováděno automatické měření průtoků v intervalu 1 hodina za využití záznamového leveloggeru.



Obr. 5 Grafy průtoků povrchových vod na profilech P1 – P16
Obr. 5 Streams flow graphs at monitoring sites P1 – P16



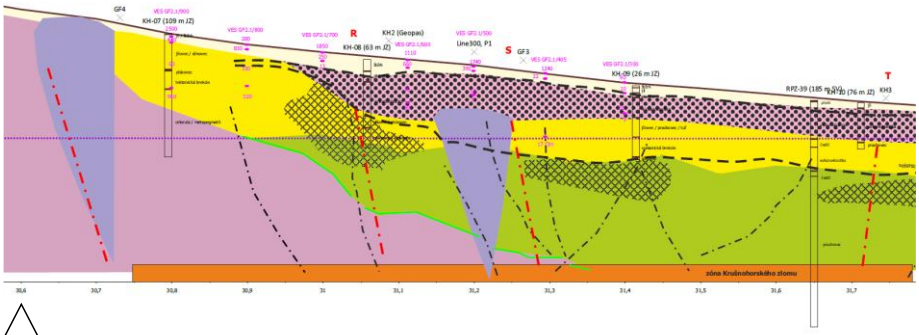
Jak vyplývá z grafů na obr. 5, **profily P2 a P5 – P10 neprotéká voda celoročně, jedná se o občasné toky**. U profilu P6 sice nebyl zaznamenán žádný průtok v období režimních měření, ale v období jarního tání spojeného se srážkovým obdobím došlo i u tohoto profilu k zavodnění v období mimo pravidelné režimní záměry. **Profily P11 – P16** (Telnický potok, Ždírnický potok, Rybný potok) spolu velmi dobře korelují, **jsou vodnatejší, mají pravidelný celoroční průtok a nacházejí se převážně v hřebenové části Krušných hor.** Naopak toky v nižších partiích území (Stradovský potok, Šotolský potok, Chlumecký potok) mají nepravidelné průtoky a ztrátové úseky v oblasti úpatí Krušných hor. Typickou ukázkou je Šotolský potok, který má pravidelný průtok ve své horské části (profily P3 a P4), nicméně od profilu 5 k profilu 6 je indikován **významný ztrátový úsek** (obr. 6). Ztrátový úsek na Šotolském potoce je podmíněn zejména

Obr. 6 Situace příronových úseků a nejvýraznějšího ztrátového úseku na Šotolském potoce (měrné profily znázorněny modrými kroužky)

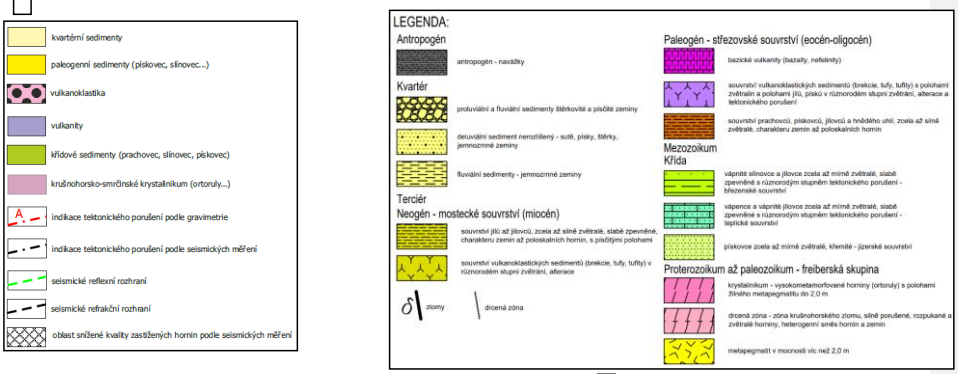
Fig. 6 Locations of gaining reaches and the most significant losing reach on Šotolský Stream (gauging sites indicated by blue circles)

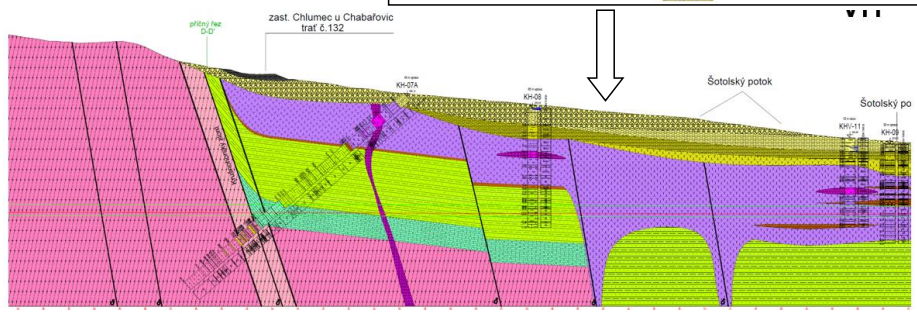
geologickou situací této lokality, jedná se o prostor dejekčního kuželu kvartérních proluviálních sedimentů, které mají výrazný podíl štěrkovité a písčité složky a jsou tedy pro vodu relativně dobře propustné. Dalším faktorem výrazně ovlivňující vodnost Šotolského potoka je soustava sběrných jímek s vodovodem podél horského úseku potoka (viz obr. 6), která zásobuje vodojem pro cca 8 nemovitostí v této části Chlumce. Část podzemních vod, které by se za přírodního stavu drénovaly do Šotolského potoka, je odebírána právě těmito vodními díly. Průtok ve sběrných jímkách je zde celoroční, zejména v dolních jímkách J7 a J9 (na obr. 6 se jímky J5 až J9 nacházejí podél žluté linie). Na obr. 8 je zachycen geologický řez v úseku východní tunelové trouby, který dobře dokumentuje přítomnost proluviálních sedimentů ve ztrátovém úseku Šotolského potoka.

10. Aktuální geofyzikální a geologické modely prostoru krušnohorského zlomu



Obr. 7 Geologicko-fyzikální model nad tunelem v podélném úseku km 30,5 – 31,8 (Gebauer et al., 2026)
Obr. 7 Geological-physical model above the tunnel in the longitudinal section from km 30.5 to 31.8 (Gebauer et al., 2026)





Obr. 8 Geologický řez podél východní tunelové trouby v km 30,75 – 31,45 (Hájek et al., 2026)
Obr. 8 Geological cross-section along the eastern tunnel tube - km 30,75 – 31,45 (Hájek et al., 2026)

Existence Krušnohorského zlomu byla zaznamenána do výsledného geologicko-geofyzikálního modelu prostředí (obr. 7), kde je uveden jednak v podobě jeho předpokládaného severojižního rozsahu, a také v podobě čtveřice dílčích tíhových minim (indexy Q, R, S a T). Kromě Krušnohorské zlomové zóny byly v této oblasti identifikovány další strukturní nespojitosti, a to od severu ve staničení cca 29,730 předpokládaný Chlumecký zlom (index O), a dále bezejmenná indikace s indexem P (kilometráž cca 30,100).
Současně byl vypracován také nejaktuálnější geologický řez této oblasti, který vychází ze syntézy výsledků všech dosavadních geofyzikálních, geologických, hydrogeologických a vrtných prací (obr. 8).

11. Radioizotopové analýzy pro určení střední doby zdržení podzemních vod

Vybrané stukturní vrty vzorkované pomocí **tritia, freonů a SF6**, u kterých bylo možné provést modelování (KH-04, KH-07, KH-08), vykazovaly shodně **střední dobu zdržení podzemních vod v rozmezí 150 až 190 let a nízký podíl vody infiltrované po roce 1955**. U vrtu KH-04 nelze vyloučit nízký podíl (do 20 %) vody staré tisíce let, u vrtu KH-08 je pravděpodobný nízký podíl vody (do 10 %) staré první tisíce let. Pro vrt KH-07 nelze poskytnout informace o případném podílu vody staré tisíce let. Vrt KH-05 obsahuje směs vod infiltrovaných před rokem 1955 a po roce 1955 a nelze vyloučit určitý malý podíl vody o stáří několika tisíc až prvních desítek tisíc let. Analýzy izotopového složení z hlediska kyslíku a vodíku pro určení nadmořské výšky infiltrace vod jsou ve fázi zpracování.

12. Závěr

Cílem této přednášky bylo popsat a zhodnotit pouze základní okruhy průzkumných a monitorovacích hydrogeologických metod v rámci průzkumu pro rozsáhlou podzemní liniovou stavbu, jakou Krušnohorský tunel bezesporu je a na základě konkrétních výsledků poukázat na typické vlastnosti a časově-prostorové vztahy zdejších studovaných kolektorů. Vzhledem k rozsahu tématu si přednáška neklade za cíl postihnout detailně popsat všechny sledované okruhy průzkumných prací, ale především zdůraznit některé zajímavosti či anomálie vyplývající z dosavadního průběhu průzkumných prací. Na základě výsledků předběžného geologického průzkumu budou následně cíleny a navrženy další testovací a monitorovací práce pro navazující fázi podrobného hydrogeologického průzkumu.

Poděkování: poděkování náleží celému týmu českých a bulharských kolegů, kteří se podíleli na provádění a zpracování jednotlivých tematických okruhů průzkumu, a současně našim německým kolegům, kteří nám poskytli cenné informace k dalším vhodným metodickým přístupům řešení průzkumných prací.

Seznam literatury

Bruthans J., 2006: *Využití přirozených stopovačů (18O, 3H, freony, SF6) a dalších metod pro zhodnocení doby zdržení vod a charakteru proudění v krasových oblastech ČR.* Doktorská disertační práce. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova 207 str.
Gebauer J., 2026: *„RS4 úsek Ústí nad Labem – státní hranice CZ/SRN“, realizace geologického průzkumu pro Krušnohorský tunel. Závěrečná zpráva z GP, část C, geofyzikální průzkum.* GP Krušnohorský tunel, Praha.
Goodman R, Moye D, Schalkwyk A, Javendel I., 1965: *Groundwater inflow during tunnel driving.* Eng Geol 1965;1:150–62.
Hájek V., Gebauer J., Vylamová P., 2025: *I/13 „RS4 úsek Ústí nad Labem – státní hranice CZ/SRN“, realizace geologického průzkumu pro Krušnohorský tunel. Předběžný inženýrskogeologický průzkum; realizační projekt geologických prací pro Krušnohorský tunel.* GP Krušnohorský tunel, Praha.
Hájek V., 2026: *„RS4 úsek Ústí nad Labem – státní hranice CZ/SRN“, realizace geologického průzkumu pro Krušnohorský tunel. Závěrečná zpráva z GP, souhrnná zpráva, inženýrskogeologický průzkum.* GP Krušnohorský tunel, Praha.
Houlsby, A.C., 1976: *Routine interpretation of the Lugeon water-test.* Quarterly Journal of Engineering Geology, 9, 303–313.
Jetel, J., 1982: *Určování hydraulických parametrů hornin hydrodynamickými zkouškami ve vrtech,* ÚÚG Praha.
Lugeon, M., 1933: *Barrages et Geologie.* Dunod, Paris.
Preene, M., 2019: *Design and interpretation of packer permeability tests for geotechnical purposes. Quarterly* Journal Of Engineering Geology, 52, 2, May, 182–200.
Quiñones-Rozo C., 2010: *Lugeon test interpretation, revisited.* Collaborative Management of Integrated Watersheds, US Society of Dams, 30th Annual Conference, 405–414.
Starý V., Vojkůvka J., 2026: *„RS4 úsek Ústí nad Labem – státní hranice CZ/SRN“, realizace geologického průzkumu pro Krušnohorský tunel. Závěrečná zpráva z GP, část D, karotážní průzkum.* GP Krušnohorský tunel, Praha.

VODNÍ REŽIM RAŠELINIŠŤ A SLATIN V CHKO SLAVKOVSKÝ LES

WATER REGIME OF PEAT AND MOOR IN SLAVKOVSKÝ FOREST

Irena Šupíková[1], Tomáš Vránek[1], Petr Charvát[1]

[1]*Česká geologická služba, Klárov 131/, 118 21 Praha 1,*
e-mail: irena.supikova@geology.cz, tomas.vranek@geology.cz, petr.charvat@geology.cz

Abstrakt: Ložiska peloidů jsou velmi důležitým a účinným systémem pro zachycení vody v krajině. V souvislosti s lázeňstvím byla některá ložiska těžena. Příkladem je rašeliniště Krásno v CHKO Slavkovský les. Po ukončení těžby rašeliny v 90. letech proběhla na ložisku řada prací s cílem omezení odtoku, přehrazení drenáží, obnovení vodního režimu na rašeliništi, obnovení saturace tělesa rašeliniště vodou s následným obnovením růstu rašeliníku. Cestou, jak tohoto dosáhnout je zmapování hydrologické a hydrogeologické situace, porovnání dat s ostatními ložisky. V rámci projektu TAČR byla instalována monitorovací síť nejen na rašeliništi Krásno, ale i na rašeliništi Lysina jako referenční neovlivněná oblasti a na slatině Číhaná jako zástupce ložisek peloidů. Na každé lokalitě byl kontinuálně měřen průtoků povrchových vod, a hladina podzemní vody v sítí mělkých piezometrů. Data průtoků, specifických odtoků z lokalit ze všech tří lokalit byla vzájemně porovnána a vyhodnocena v kontextu s atmosférickými srážkami. Antropogenní ovlivnění bylo hodnoceno z pohledu kolísání hladin podzemní vody v ložiscích společně se srážkami. Z výsledku prací vyplynulo významné antropogenní ovlivnění a degradace svrchních vrstev rašeliniště Krásno a Lysiny. Naopak z dat ze slatiny Číhaná je vidět, že ložisko peloidů není antropogenně ovlivněno a funkce slatiny jako svrchního krytu vývěrů minerálních vod je plně funkční.

Abstract: Peloid deposits are a very important and effective system for capturing water in the landscape. In connection with the spa industry, some deposits were mined. An example is the Krásno peat in the Slavkovský les Protected Landscape Area. After the end of peat extraction in the 1990s, a number of works were carried out on the deposit with the aim of limiting runoff, damming drainage, restoring the water regime on the peat, restoring the saturation of the peat body with water and subsequently restoring the growth of peat moss. The way how to reach tis maping the hydrological and hydrogeological situation, comparing data from other areas. As part of the TAČR project, a monitoring network was installed not only on the Krásno peat, but also on the Lysina peat as a reference unaffected area and on the Číhaná bog as a representative of peloid deposits. Surface water flow rates and groundwater levels were continuously measured at each location in a network of shallow piezometers. Data on flow rates and specific runoff from all three locations were compared and evaluated in the context of atmospheric precipitation. Anthropogenic influence was evaluated from the perspective of fluctuations in groundwater levels in the deposits together with precipitation. The results of the work revealed significant anthropogenic influence and degradation of the upper layers of the Krásno and Lysiny peatlands. On the contrary, data from the Číhaná bog shows that the peloid deposit is not anthropogenically influenced and the function of the bog as the upper cover of mineral water springs is fully functional.

Klíčová slova: peloidy, drenáže, rašeliniště, revitalizace, mokřady

Key words: peloids, drainages, peat bogs, revitalization, wetlands.

1. Úvod

Na území CHKO Slavkovský les se nachází celá řada velmi cenných hydrogeologických fenoménů mezi které patří jak přírodní léčivé zdroje, zdroje přírodních minerálních vod, ale i ložiska peloidů. Některá ložiska byla vyhlášena jako chráněné přírodní léčivé zdroje (rašeliniště Čistá – Krásno, slatina Babice - Číhaná) nebo jinak chráněné oblasti např. jako národní přírodní rezervace (Kladská rašeliniště). Průzkumné práce prováděné za přispění projektu TAČR č. SS06010461 „Tvorba podkladů pro stanovení ochranných pásem HG fenoménů v CHKO Slavkovský les“ na ložiscích peloidů měly pomocí systematického monitoringu, sběru a zpracování získaných dat přispět k zajištění nových poznatků o hydrologické a hydrogeologické situaci. Ložiska peloidů na území CHKO Slavkovský les byla v minulosti dlouhodobě intenzivně odvodňovány. Na většině ložisek byly vybudovány drenážní systémy, které doposud ložiska odvodňují, což má za následek vysychání ložisek a změnu vegetačního krytu. V rámci ochrany a navrácení krajiny do původního stavu včetně obnovení původních druhů rostlin je třeba ložiska peloidů opět zavodnit, obnovit původní hydrologický stav. Z počátku se tento úkol zdál jednoduchý, nicméně časem se ukázalo, že v některých případech je to složitější. Zejména se jedná o místa, která byla zasažena intenzivní těžbou ložiska rašeliny. Pro úspěšnou revitalizaci ložisek peloidů je nezbytná dobrá znalost hydrogeologických a hydraulických poměrů, která přispěje k návrhu opatření vedoucích k postupné

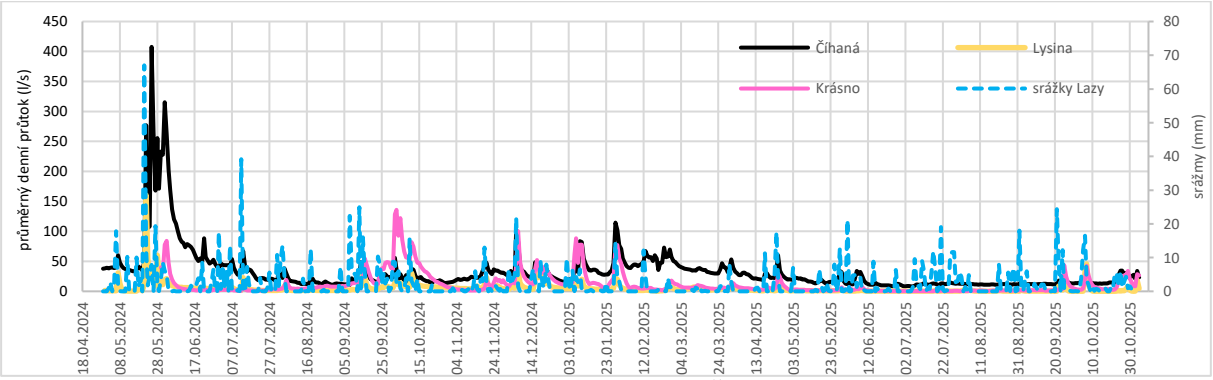
revitalizaci a vytvoření podmínek pro opětovný růst rašeliníku což přispěje k zachování tohoto přírodních fenoménů.

2. Metodika prací

Pro poznání hydrologických a hydraulických poměrů na vybraných lokalitách Krásno, Lysina, Číhaná bylo nejprve potřeba naprojektovat, postavit, nainstalovat a následně provozovat automatickou síť měřících stanic, které byly osazeny dataloggery pro kontinuální záznam průtoků povrchových vod a hladin podzemní vody v monitorovaných ložiscích. Na každé z lokalit byla na odtoku povrchové vody z lokality postaveny provizorní automatická stanice s dataloggerem Solinst pro kontinuální měření průtoku.
Pro monitoring úrovně hladin podzemní vody byla na každé z lokalit vybudována síť piezometrů do hloubky max. 2m p.t., které byly vystrojeny perforovanými pažnicemi a následně osazeny dataloggery Solinst. Na plošně nejmenším rašeliništi Lysina byly vyhloubeny 2 piezomety (jeden na nátoku podzemní vody do rašeliniště) a druhý na odtoku podzemní vody z rašeliniště. Na slatině Číhaná byly vyhloubeny tři piezometry v linii po směru proudění podzemní vody – jeden piezometr na nátoku podzemní vody do slatiny, druhý uprostřed slatiny a třetí na odtoku podzemní vody ze slatiny. Na rašeliništi Krásno bylo celkem v linii po směru proudění podzemní vody vyhloubeno 5 piezometrů. Jeden piezometr na nátoku podzemní vody do rašeliniště. Další tři piezometry uprostřed rašeliniště byly vyhloubeny do různých hloubek (do hloubky 2,0 m, 1,5 m a 1,0 m pod terénem) pro sledování průběhu hladin podzemní vody v různých horizontech. Na odtoku podzemní vody z rašeliniště byl vyhlouben jeden piezometr. Pro hydrogeologický monitoring kolísání hladiny vody v předpolí rašeliniště, na nátoku podzemní vody do tělesa rašeliniště byly pro monitoring využity i 2 hydrogeologické vrty.
Všechny piezometry byly za účelem monitoringu úrovně podzemní vody osazeny dataloggery Solinst. Celkem na lokalitě Lysina byly instalovány 2 dataloggery do piezometrů, na lokalitě Číhaná 3 dataloggery a na lokalitě Krásno 7 dataloggerů (2 vrty a 5 piezometrů).
Současně na každou ze tří lokalit byl instalován i barologger. Kontinální monitoring ložisek peloidů byl zahájen na jaře 2024 a ukončen na podzim 2025, resp. data byla vyhodnocena do podzimu 2025. Kontinální monitoring stále pokračuje.

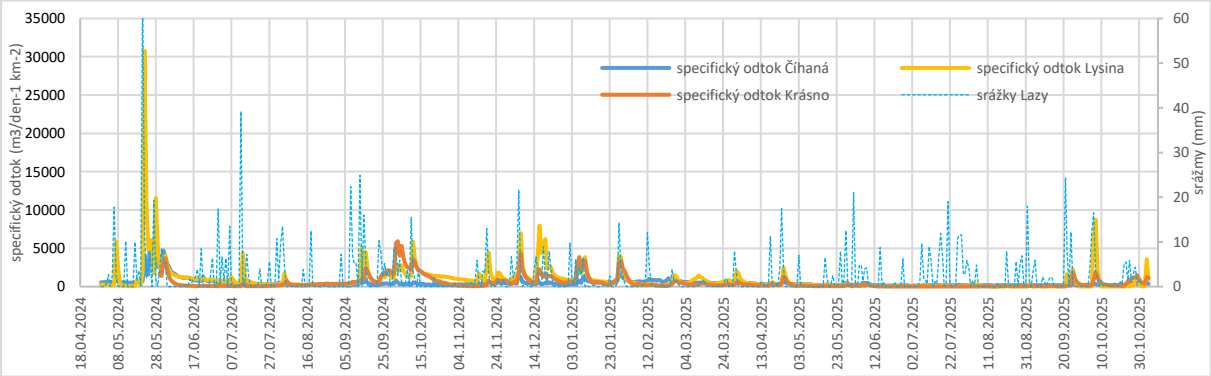
3. Výsledky

Pro hodnocení hydrologických poměrů byly do hodnocení zahrnuty i srážky ze srážkoměrné stanice Lazy. Výsledky kontinuálního měření průtoků na třech sledovaných lokalitách jsou vyobrazeny na obr.1. Pro názornost byly do grafu zařazeny i srážky ze stanice Lazy.
Porovnáme-li naměřené průtoky odtékající povrchové vody z rašelinišť Krásno, Lysina a slatiny Číhaná, pak je patrné, že nejvyšší průtoky byly většinou měřeny na lokalitě Číhaná (na Lučním potoce). Nižší průtoky byly pozorovány na Krásně (na Komářím potoce). A nejmenší průtoky byly sledovány na rašeliniště Lysina (na Černém potoce). Tyto výsledky jsou v souladu s velikostí povodí daného toku. Při porovnání všech tří monitorovaných lokalit můžeme pozorovat, že ve většině případů je chod průtoků na všech třech lokalitách obdobný, ale v některých případech byly zjištěny i významné odchylky. Vzhledem k velikosti povodí by měly být průtoky vyšší na lokalitě Číhaná. Z monitorovaného období 5/2024 – 10/2025, kdy probíhal monitoring, byly v období od 24.9. – 23.10.2024, 6.1. – 8.1.2025, 25.9.2025, 7.10.2025 průtoky na Krásně výrazně vyšší než na Číhané. Jedná se o období podzim - zima.



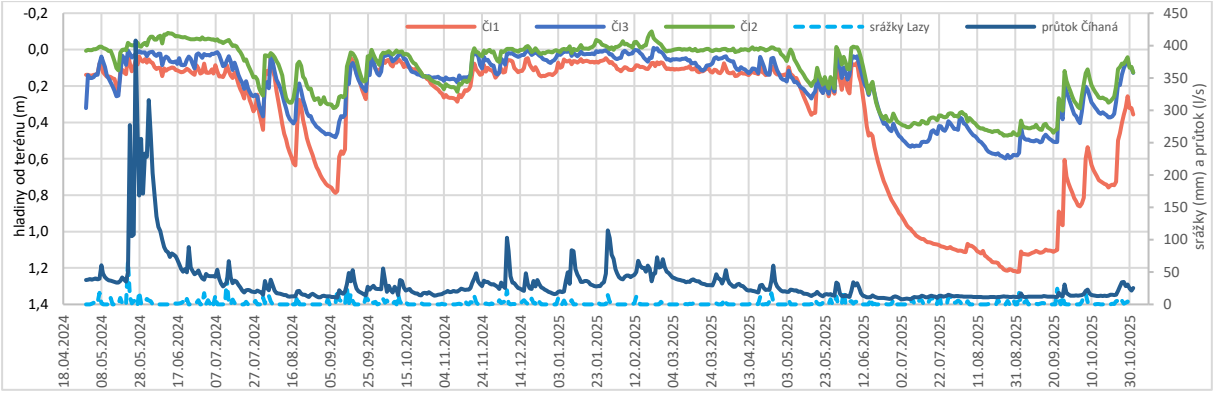
Obr. 1 Graf porovnání srážek a průtoků – Číhaná, Krásno, Lysina.
Fig. 1 Graph comparing precipitation and flow rates – Číhaná, Krásno, Lysina.

Pro lepší hodnocení byly u všech tří lokalit průtoky převedeny na specifický odtok. Jak je patrné z grafu na obr. 2 vysoké specifické odtoky byly na všech třech lokalitách pozorovány od září přes zimu až do května. Nejvyšší specifický odtok na jednotku plochy byl pozorován z rašeliniště Lysina s výjimkou léta 2025, kdy byly nízké. V porovnání s lokalitou Číhaná jsou specifické odtoky na Lysina v extrémních případech až 8x vyšší. Porovnáme-li specifický odtok z lokality Krásno s lokalitou Číhaná, pak je patrné v extrémních případech je specifický odtok z lokality Krásno 4 – 6 x vyšší než z Číhané. Z grafu na obr. 2 je patrné, že z rašeliniště Krásno odtéká velmi hodně vody především v epizodních situacích, při velkých srážkových úhrnech anebo při dlouhodobějších trvalých deštích. Rašeliniště z různých důvodů není schopné pojmout a zadržet množství srážkové vody. Jedná se především o výše uvedená období (24.9. – 23.10.2024, 6.1. – 8.1.2025, 25.9.2025, 7.10. 2025) na podzim v září – říjnu a pak v zimě. V letním období od května do září v závislosti na srážkách naopak z rašeliniště Krásno neodtéká skoro žádná voda. Rašeliniště Lysina se chová obdobně jako rašeliniště Krásno. Ze všech tří sledovaných lokalit byly nejvyrovnanější specifické průtoky pozorovány na lokalitě Číhaná. V letních měsících, kdy jsou obecně pozorovány velmi nízké průtoky a stejně tak i specifické průtoky, což je dáno vysokých odparem a vysokou evapotranspirací, byly v létě 2025 ze všech tří lokalit nejvyšší specifické odtoky pozorovány na lokalitě Číhaná.



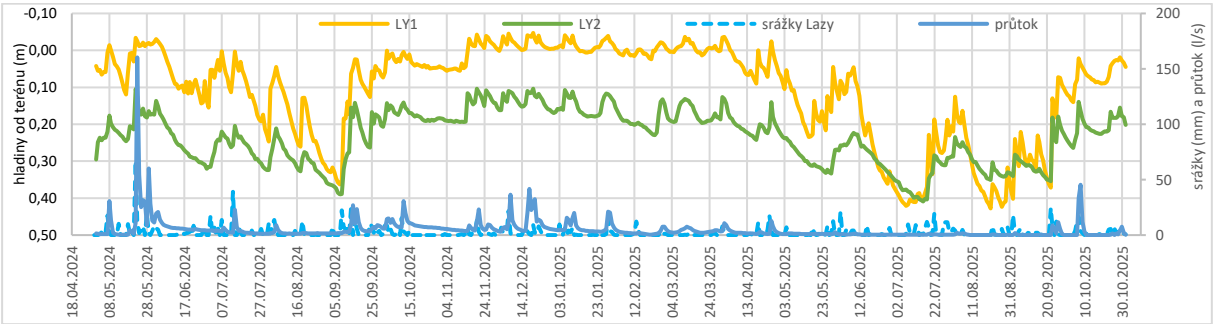
Obr. 2 Graf porovnání srážek a specifických odtoků – Číhaná, Krásno, Lysina.
Fig. 2 Graph comparing precipitation and specific runoff – Číhaná, Krásno, Lysina.

Pro lepší vyhodnocení hladin kvartérní zvodně ve slatině Číhaná monitorované piezometry Či1 na nátoku, Či2 uprostřed slatiny, Či3 na odtoku do hloubky 0-2 m p.t, byly kontinuálně měřené hladiny podzemní vody vztaženy k terénu, viz obr. 3. Jak je vidět z grafu největší kolísání hladiny podzemní vody kvartérní zvodně bylo monitoronáno v piezometru na nátoku vody do slatiny (Či1). Oblast nátoku vody do slatiny je významně závislá na atmosférických srážkách, kdy v létě byly zaznamenány největší poklesy hladiny podzemní vody. V létě (červenec – polovina září) 2024 ve vegetačním období hladina zaklesla 0,8 m pod terén a v r. 2025 klesla ještě níže 1,2 m pod terén a byla na svých minimech. V období od konce září, přes celý podzim, zimu a jaro do června, mimo vegetační období byly hladiny podzemní vody v tomto piezometru sledovány na své nejvyšší úrovni, která kolísala v rozmezí 0,06 – 0,15 m pod terénem, nikdy v období duben 2024 – říjen 2025 hladina v tomto piezometru nedosáhla úrovně terénu. Kolísání hladiny v Či1 se pohybovalo v rozmezí 0,06 až 1,2 m p.t.
Nejvyšší úroveň hladiny kvartérní zvodně byla pozorována ve vrtu Či2 ve středu slatiny, kde na terén vyvěrají minerální vody. Maximální úroveň hladiny, která byla v úrovni terénu anebo v některých případech i napjatá nad terén, byla sledována v období květen – červenec 2024 (díky extrémním srážkám) a pak mimo vegetační období od podzimu do jara zhruba od konce září 2024 do června 2025. Naopak minimální úroveň hladiny v Či2 byla pozorována v letních měsících ve vegetačním období od července do září 2024 (0,03 m p.t.) a v létě 2025 díky suchému jaru, malé saturaci slatiny vodou z jara 2025 hladina zaklesla až 0,5 m p.t. Kolísání hladiny v Či2 se pohybovalo v rozmezí 0,0 až 0,5 m p.t.
V piezometru Či3 na odtoku vody ze slatiny zaklesla hladina v letních měsících r. 2024 na 0,50 m p.t. (od července do září 2024) a další léto od června do října 2025 na 0,7 m p.t. Nejvyšší úrovně hladin dosahující úrovně terénu v Či3 byly pozorovány ve stejném období jako u Či 1 a Či2 v období květen – červenec 2024 a pak od podzimu do jara zhruba od konce září 2024 do února 2025. Mezi březnem a květnem hladina v Či3 mírně zaklesla na 0,10 m p.t. Kolísání hladiny v Či3 se pohybovalo v rozmezí 0,0 až 0,7 m p.t.



Obr. 3 Graf porovnání srážek a průtoku a hladin kvartérní zvodně ve slatině Číhaná měřených od terénu (m).
Fig. 3 Graph comparing precipitation and flow and levels of the Quaternary aquifer in the Číhaná bog measured from the terrain (m).

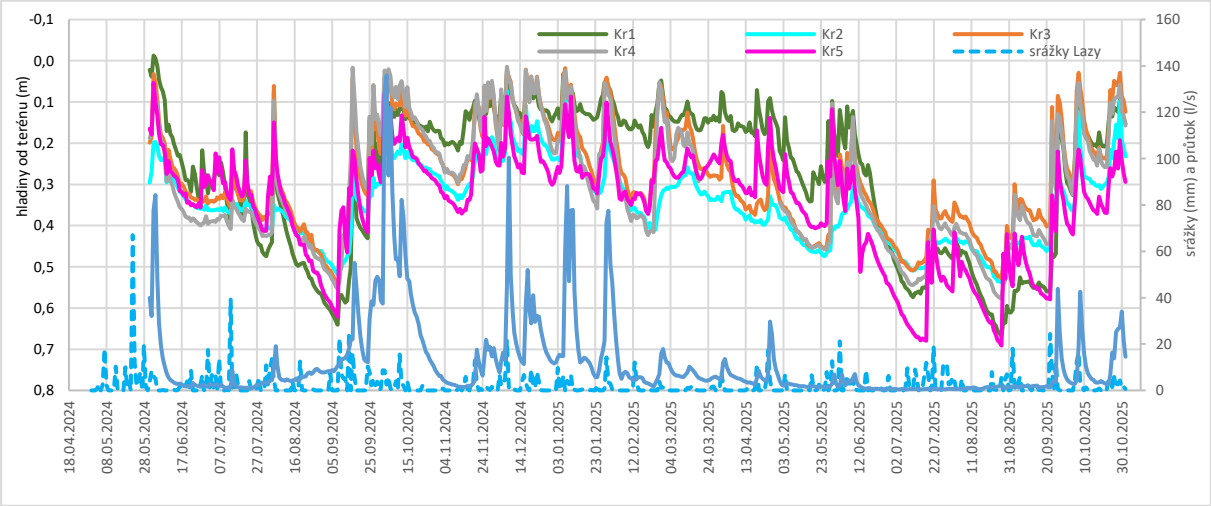
Na lokalitě Lysina, kdy byly instalovány dva piezometry Ly1 na nátoku a Ly2 na odtoku vystrojené perforovanou pažnicí do hloubky 2 m p.t. Z grafu na obr. 4 je patrné větší kolísání hladiny podzemní vody kvartérní zvodně v piezometru Ly1 na nátoku. V letním období v letech 2024 i 2025 ve vegetační době od května do konce září hladina v piezometru Ly1 zaklesla až na 0,4 m p.t. V období mimo vegetační období od října do dubna po dobu 7 měsíců se hladina vody v Ly1 pohybovala v úrovni terénu stejně tak i při extrémních srážkách v červnu 2024 kdy hladina vody v Ly1 byla také v úrovni terénu. Kolísání hladiny v Ly1 se v období 5/2024–10/2025 pohybovalo v rozmezí 0,0 až 0,4 m p.t.
Menší kolísání hladiny podzemní vody v rozmezí 0,11 – 0,40 m p.t. bylo monitorováno v piezometru Ly2 na odtoku vody z rašeliniště. V zimním období od listopadu do února po dobu 4 měsíců se hladina vody v Ly2 pohybovala okolo 0,11 m p.t., výš nevystoupila. Následně od února 2025 začala pozvolna klesat až v červenci 2025 dosáhla svého minima. Nejnižší úrovně hladin vody v Ly2 byly pozorovány stejně jako v Ly1 od května do září s výjimkou období s extrémními srážkami v 6/2024, kdy i v Ly2 hladina mírně stoupla.
Hladina kvartérní zvodně v piezometru Ly2 se chová odlišně, dynamika pohybu hladiny není tak rychlá jako v Ly1 na nátoku z čehož lze usuzovat, že do Ly2 voda přitéká z vyšších poloh nad piezometrem, kolísání hladiny je nižší než v Ly1. Co se jeví jako problematické je skutečnost, že svrchní vrstva rašeliniště o tloušťce 0,0 - 0,10m až 0,15 m zůstává trvale bez vody, hladina kvartérní zvodně nevystoupí do úrovně terénu. Vrstva prvních 10 cm až 15 cm je vystavena dlouhodobé degradaci, rašeliník zde nemůže dorůstat. Tento poznatek koresponduje i faktem, že rašeliniště v oblasti Ly2 není schopné zadržet srážkovou vodu, a to ani v období vegetačního klidu od podzimu do jara (od září do února), kdy vidíme na grafu extrémní průtoky vody nebo specifické odtoky z oblasti piezometru Ly2.



Obr. 4 Porovnání srážek, průtoku v Černém potoce a hladin podzemní vody v piezometrech v rašeliništi Lysina měřených od terénu (m)
Fig. 4 Comparison of precipitation, flow in the Černý potok stream and groundwater level in piezometers in the Lysina peat bog measured from the terrain (m).

Na rašeliništi Krásno bylo instalováno 5 piezometrů, Kr1 na nátoku do hloubky 1,8 m p.t., uprostřed rašeliniště trojice piezometrů Kr2 do hloubky 2,0 m p.t., Kr3 do hloubky 1,5 m p.t. a Kr4 do hloubky 1,0 m p.t. a na odtoku piezometr Kr5 do hloubky 1,1 m p.t. na bázi rašeliniště. Pro lepší vyhodnocení byly hladiny kvartérní zvodně v rašeliništi Krásno vztaženy k terénu Jak je vidět z grafu na obr. 5 za celé sledované období od května 2024 do října 2025 pouze 1x v piezometru Kr4 (nejsvrchnější horizont 0-1 m p.t.) a 1x v piezometru Kr1 (na nátoku podzemní vody do rašeliniště) byla shodně na konci května 2025 a začátkem června 2024 zaznamenána hladina kvartérní

zvodně v úrovni terénu. V ostatních piezometrech ve středu a ve spodní části rašeliniště nevystoupila hladina vody do úrovně terénu.
Ve všech 5 monitorovaných piezometrech byly nejvyšší hladiny monitorovány shodně v období od poloviny září do konce ledna, v ostatních měsících byly hladiny výrazně níže. Naopak minimální úrovně hladin v kvartérní zvodni byly monitorovány v období vysoké evapotranspirace a odpadu v letních měsících od konce června do poloviny září. Tyto trendy jsou obdobné jako u rašeliniště Lysina i slatiny Číhaná.
Porovnáním hladin ve všech 5ti piezometrech je patrné, že významný vliv na hladinu má jak poloha sondy tak je z dat patrná vertikální zonalita, resp. rozdíly v chování hladin podzemní vody v různých výškových horizontech. Chování hladin v různých výškových horizontech je uvedeno dále.
V severní polovině rašeliniště, která je lépe revitalizovaná a výrazně méně postižena erozí, se na podzim a v zimě tedy v době, kdy by potenciálně mělo být rašeliniště celé saturované vodou, jak je to vidět u sondy Ly1 na Lysině a u sond na Číhané, se průměrně hladiny ve všech piezometrech pohybovaly okolo 0,2 m p.t., tzn. horních 20 cm rašeliniště nebylo v době nejvyšších odtoků z rašeliniště Krásno saturováno vodou. V letních měsících od konce června do poloviny září, tedy v době vysoké evapotranspirace a odparu se hladiny v severní části v r. 2024 pohybovaly v průměru v rozmezí 0,3 – 0,4 m p.t. a v r. 2025 klesly ještě o 20 cm níže a pohybovaly se v rozmezí 0,5 – 0,6 m p.t. Rašeliniště Krásno není v současné době schopno zadržet potřebnou srážkovou vodu.



Obr. 5 Graf porovnání srážek, průtoku v Komářím potoce a hladin podzemní vody v rašeliništi Krásno měřených od terénu (m).
Fig. 5 Graph comparing precipitation, flow in Komáří potok and groundwater levels in the Krásno peat bog measured from the terrain (m).

4. Diskuse

Specifický odtok z lokality Číhaná byl v porovnání s ostatními dvěma lokalitami ve většině případů nejnižší. Sezónně nejvyšší specifické odtoky jsou na této lokalitě pozorovány v období vegetačního klidu od září, přes zimní období až do května s maximy v únoru. V letním období v červenci a srpnu v době vysoké evapotranspirace a odparu jsou specifické odtoky z celého roku nejnižší. Při porovnání tří ložisek peloidů, byla jako referenční lokalita zvolena Číhaná z důvodu jejího minimálního antropogenního ovlivnění.
Porovnáme-li specifické odtoky na Lysině s lokalitou Číhaná, zjistíme, že v extrémních případech jsou specifické odtoky z Lysiny až 8x vyšší než na Číhané. Největší rozdíl mezi specifickými odtoky z Číhané a na Lysině jsou vidět na podzim a v zimě od září do ledna, tedy v období, kdy by mělo docházet k sycení rašeliniště vodou. Po zbytek roku jsou srážkové odtoky z Lysiny srovnatelné s Číhanou.
Porovnáme-li specifické odtoky na Krásnu a Číhané vidíme, že stejně jako na Lysině dochází i na Krásnu v období od září do ledna tedy v období, kdy by mělo docházet k sycení rašeliniště vodou k výraznému nárůstu specifických odtoků v porovnání s Číhanou. V extrémních případech je specifický odtok z lokality Krásno 4 – 6 x vyšší než z Číhané. Rašeliniště Krásno není v současné době schopno zadržet dostatečně srážkovou vodu hlavně v období od podzimu a přes celou zimu.
Z monitoringu hladin podzemní vody na lokalitě Krásno, je patrné, že v severní polovině rašeliniště, která je lépe revitalizovaná a výrazně méně postižena erozí, se na podzim a v zimě (druhá polovina září – leden) tedy v době, kdy by potenciálně mělo být rašeliniště celé nasyceno vodou až do úrovně terénu, jak je to vidět u sondy Ly1 na Lysině a u sond na Číhané, se průměrně hladiny ve všech piezometrech pohybovaly okolo 0,2 m p.t., tzn. horních 20 cm rašeliniště nebylo v době nejvyšších odtoků z rašeliniště Krásno saturováno vodou. V letních měsících od

konce června do poloviny září, tedy v době vysoké evapotranspirace a odparu se hladiny v severní části v r. 2024 pohybovaly v průměru v rozmezí 0,3 – 0,4 m p.t. a v r. 2025 klesly ještě o 20 cm níže a pohybovaly se v rozmezí 0,5 – 0,6 m p.t. Tedy v letním období je hladina podzemní vody v rašeliništi zakleslá a svrchní vrstva v rozmezí do 30-60 cm je suchá bez vody.
Když porovnáme data o odtocích s dlouhodobým srážkovým normálem v Karlovarském kraji (1961-2024, zdroj ČHMÚ) je patrné, že v zimě jsou srážková maxima nižší než v letních měsících. Periodicky vyšší odtoky jsou monitorovány v zimních měsících při nižších srážkových úhrnech. Nejvyšší odtoky jsou dlouhodobě monitorovány v lednu a únoru, kdy se srážky nezasáknou v dostatečném množství do tělesa rašeliniště a následně po povrchu odtečou do vodoteče. Nejvyšší dlouhodobé srážky jsou v letních měsících, nicméně nejvyšší odtoky z rašeliniště jsou v zimním období. Když se podíváme na dynamiku srážek a odtoků vody z rašeliniště nejvyšší zimní srážkové úhrny jsou dlouhodobě v prosinci, ale extrémní odtoky jsou monitorovány až v lednu nebo v únoru, tedy se zpožděním 1-2 měsíční oproti srážkám. V letních měsících při ročních srážkových maximech odtéká z rašeliniště málo vody. Situace se změní pouze při extrémních srážkách, kdy odtoky prudce vzrostou. Vysvětlením může být vysoká evapotranspirace a výpar v letních měsících. Letní srážkové úhrny se do rašeliniště nezasáknou, ale odtečou a hladiny podzemní vody v rašeliništi zůstanou na minimech.
Rašeliniště Krásno není v současné době schopno zadržet srážkovou vodu. V období od září do ledna byly monitorovány nejvyšší specifické odtoky z rašeliniště, hladiny v této době sice dosahovaly svých maxim, ale i tak byla svrchní vrstva 20 cm bez vody.
Jak již bylo výše popsáno i na Lysině ve spodní části rašeliniště u Ly2 byla pozorována částečná degradace rašeliniště, čemuž přispívá zvýšený odtok vody v Černém potoce. V oblasti Ly2 bylo celoročně pozorováno, že svrchní vrstva minimálně 10 cm není nasycena vodou, srážková voda předčasně odteče. Pro zachování rašeliniště by bylo dobré zde přijmout určitá opatření pro zamezení odtoku vody z oblasti rašeliniště.

5. Závěry

Z doposud naměřených dat je možné konstatovat, že slatina Číhaná není zasažena zvýšeným odtokem podzemní vody z tělesa slatiny. Rašeliniště Lysina je v oblasti sondy Ly-1 zachovalé, hladina podzemní vody dosahuje periodicky terénu, rašeliniště není antropogenně zasažené umělým, antropogenním odvodněním. Odlišná situace je v oblasti Ly-2, kde se trvale nachází nesaturovaná zóna rašeliniště, voda nedosahuje ani v zimním období terénu. Stejně tak celé rašeliniště Krásno, kde stejně jako na Lysině v oblasti Ly-2 se trvale nachází nesaturovaná zóna rašeliniště, voda nedosahuje ani v zimním období terénu.

Poděkování: Příspěvek byl připraven v rámci projektu TAČR SS06010461 Tvorba podkladů pro stanovení ochranných pásem HG fenoménů v CHKO Slavkovský les. Děkujeme za spolupráci společnosti Loketské městské lesy s.r.o. za spolupráci a poskytnutá data.

Seznam literatury

Brožek B. (1971): *Peloidy: rašeliny, slatiny, bahna*. Praha: Balnea, 64 s.
Benda, J., Brožek, B. (1986): *Peloidy a peloterapie. Mariánské Lázně: Výzkumný ústav balneologický*, 206 s.
Český hydrometeorologický ústav (2020): *Srážky – klimatologický normál 1991–2020 a denní data srážek ze srážkoměrných stanic*. Národní databáze hydrometeorologických údajů (ČHMÚ), Praha. Dostupné z: https://opendata.chmi.cz/
Fuksa V. (1968): *Zpráva o průzkumu rašelinných ložisek v kraji Západočeském*. – Expediční skupina pro průzkum půd, Praha-Suchdol, Čes. Akad. zemědělská.
Hrazdíra P. (1994): *Hydrogeologická mapa 1 : 50 000 list 11-41 Mariánské Lázně*. – Český geologický ústav. Praha.
Holeček J. (2026): *Souhrnná výzkumná zpráva projektu SS06010461*. 347 s, Praha
Hrazdíra P. (1997): *Hydrogeologická mapa 1 : 50 000 list 11-23 Sokolov*. – Český geologický ústav. Praha.
Hrkal Z. (1989): *Hydrogeologická mapa 1 : 50 000 list 11-21 Karlovy Vary*. – Ústřední ústav geologický. Praha.
Hrkal Z. (1990): *Hydrogeologická mapa 1 : 50 000 list 11-14 Cheb*. – Český geologický ústav. Praha.
Hynie O. (1963): *Hydrogeologie ČSSR, II. díl, Minerální vody*; NČSAV Praha.
Cháb, J., Stráník, Z. a Eliáš, M. (2007): Geologická mapa České republiky 1:500 000. 1. vyd. Praha: Česká geologická služba, 2007.
Klír S. (1953): *Geologické a hydrogeologické poměry okolí Mariánských Lázní a Lázní Kynžvartu*. Přírodovědecká fakulta University Karlovy, Praha.

Kolářová M., Hrkal Z. (1986): *Vysvětlivky k Základní hydrogeologické mapě ČSSR 1 : 200 000 list 11 Karlovy Vary, 01 Vejprty*. - Ústř. Úst. geol. Praha.
Kolářová M., Hrkal Z. (1987): *Mapa chemismu podzemních vod ČSSR 1:200 000 list 01 Vejprty, 11 Karlovy Vary*. Ústř. úst. geol. Praha.
Kolářová M., Hrkal Z. (1987): *Základní hydrogeologická mapa ČSSR 1:200 000 list 01 Vejprty, 11 Karlovy Vary*. Ústř. Úst. geol. Praha.
Kolářová M., Myslil V. (1979): *Minerální vody Západočeského kraje*. - Ústř. Úst. geol. Praha.
Krásný, J., Cígler, V., Čurda, J., Datel, J., Havlíček, J., Kněžek, M., Kněžek, S., Koula, P., Kryl, J., Kycl, P., Mls, J., Novák, S., Olmer, M., Pačes, T., Prchalová, H., Pryl, K., Rukavičková, L., Staněk, F., Šantrůček, J., Šíma, J., Vítková, H., Vlčková, L., Zeman, J. (2012): *Podzemní vody České republiky*. – Česká geologická služba, 690 s. Praha. ISBN 978-80-7075-797-0.
Kůrková, I., Žáček, V., Landa, D., Rozkošný, I., Vylita, T. (2026): *Slavkovský les. Zrození vody z kamene*. Česká geologická služba, vyd. 1., 120 s. Praha.
Pěček J. (1992): *Hydrogeologický průzkum na lokalitě Číhaná u Mariánských Lázní*.- AQUATEST - Stavební geologie, akciová společnost, Praha 1.
Pěček J. (1992): *Zpráva o hydrogeologickém průzkumu na lokalitě Číhaná u Mariánských Lázní*. Aquatest, stavební geologie a.s., Název úkolu: Mariánské Lázně - Číhaná, číslo úkolu: 91 0038 2000, pořadové číslo na úkole: 1, Karlovy Vary.
Reitrová J. (1992): *Zpráva o výsledcích průzkumně - jímacích vrtů na lokalitě Číhaná u Mariánských Lázní*. Soukromý podnik „Artezia“, Název úkolu: Číhaná u Mariánských Lázní, číslo úkolu: 031 0021, Praha.
Tolasz, R., a kolektiv (2007). *Atlas podnebí Česka/Climate atlas of Czechia*. ČHMÚ - Univerzita Palackého v Olomouci. Praha – Olomouc, 260 s.
Vylita T. (2020): *Studie ochrany vývěrů minerálních vod, výronů přírodních plynů a ložisek peloidů v CHKO Slavkovský les, NPR Soos a NPP Bublák a niva Plesné*. Hydrogeologická práce. Objednatel AOPK ČR.
Žáček, V. (red.), Rozkošný, I., Dudíková, B., Jelínek, J., Radoměřský, T., Skácelová, Z., Kadlubiec, R. (2026). *Účelová geologická mapa Slavkovského lesa 1:50 000*. – Česká geologická služba. Praha.

VÝVOJ ZÁKLADNÍHO ODTOKU V LETECH 1981–2025

Ing. Radek Vlnas

E-mail: r.vlnas@post.cz

ČHMÚ, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4 – Komořany

Další autoři: Ondřej Nol, Jiří Bruthans, Hana Černá

Abstrakt:
Příspěvek analyzuje trendy základního odtoku v České republice v období 1981–2025 na základě dat ČHMÚ, sloužících k hodnocení přírodních zdrojů podzemních vod a kalibraci hydrologických modelů. Základní odtok, tvořený odtokem z podzemních vod, je určován automatizovanou separací hydrogramů metodou podle Eckhardta s korekcí hydrogeologických rajonů na nadmořskou výšku. Výsledky jsou porovnávány s metodami Kliner Kněžek, Kille a klouzavých minim. Porovnání referenčních období 1981–2010 a 1991–2020 ve 101 hydrogeologických rajonech ukazuje průměrný roční pokles normálu základního odtoku o 9 % (nejvýraznější v období duben–září: 11–14 %) a 80 % kvantilu o 13 % (duben–září: 14–20 %). Změny korelují se suchými epizodami a litologií povodí. Aktualizace referenčního období jednotně pro všechny klimatické i hydrologické veličiny umožňuje konzistentní bilanční hodnocení, zároveň však nižší normál způsobuje, že dopady změny klimatu v bilanci vypadají menší, než jsou ve skutečnosti.

www.hgig.cz

Sekce 2

Vodárenská a komunální hydrogeologie, využívání a ochrana zdrojů podzemních vod

METODICKÉ PŘÍSTUPY K VÝZKUMU INTERAKCE ODBĚRŮ POVRCHOVÉ A PODZEMNÍ VODY A PRŮTOKŮ NA TOCÍCH V POVODÍ JIZERY

METHODOLOGICAL APPROACHES TO RESEARCH ON THE INTERACTION OF SURFACE AND GROUNDWATER WITHDRAWALS AND FLOW RATES IN STREAMS IN THE JIZERA RIVER BASIN

Josef Vojtěch Datel[1], Michal Polák[2], Pavel Eckhardt[1], Anna Hrabánková[1], Kateřina Kučerová[1], Martin Milický[2], Vojtěch Moravec[1], Martina Peláková[1], Petr Sklenář[1], Jan Uhlík[2]

[1]*Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Podbabská 2582/30, 16000 Praha 6, josef.datel@vuv.cz*

[2]*PROGEO, s.r.o., Tiché údolí 113, 252 63 Roztoky u Prahy, progeo@1progeo.cz*

Abstrakt: Článek shrnuje první rok řešení výzkumného projektu Dopady změny klimatu na minimální zůstatkové průtoky v říční síti Jizery a na odběry podzemní vody v blízkosti toku, TAČR SQ01010176, který je finančně podpořen z prostředků Technologické agentury ČR. Cílem projektu je predikovat vliv změny klimatu na vodnost říční sítě a množství zásob podzemních vod. Bude posouzena udržitelnost stávajících a povolených odběrů podzemní a povrchové vody s ohledem na výsledky modelových simulací dopadu klimatických změn na příkladu povodí Jizery. Ověří se hydraulické souvislosti mezi vydatností jímacích území s odběry podzemních vod v blízkosti říční sítě a velikostí zůstatkových průtoků v době sucha. Budou navržena opatření pro vzájemnou udržitelnost minimálních zůstatkových průtoků a odběrů blízko toku. V důsledku klimatické změny jsou pozorovány významné úbytky průtoků na úrovni prvních desítek procent, významná část odběrů mělké poříční podzemní vody v blízkosti toků závisí na břehové infiltraci vody z říční sítě, a další blízké odběry omezují drenáž podzemních vod do toku.

Abstract: The paper summarizes the first year of the research project Impacts of climate change on minimum residual flows in the Jizera river network and on groundwater abstractions near the stream, TAČR SQ01010176, which is financially supported by the Technology Agency of the Czech Republic. The aim of the project is to predict the impact of climate change on the water content of the river network and the amount of groundwater reserves. The sustainability of existing and permitted groundwater and surface water abstractions will be assessed with regard to the results of model simulations of the impact of climate change on the example of the Jizera river basin. The hydraulic connections between the yield of catchment areas with groundwater abstractions near the river network and the size of residual flows during droughts will be verified. Measures will be proposed for the mutual sustainability of minimum residual flows and abstractions near the stream. As a result of climate change, significant decreases in flow rates of the first tens of percent are observed, a significant part of shallow river groundwater abstractions near streams depends on bank infiltration of water from the river network, and other nearby abstractions limit groundwater drainage into the stream.

Klíčová slova: povodí Jizery, podzemní voda, odběry podzemní vody, model proudění podzemní vody, interakce podzemní a povrchové vody

Key words: Jizera river basin, groundwater, groundwater abstraction, groundwater flow model, groundwater and surface water interaction

1. Úvod

Širším zájmovým územím je celé hydrologické povodí Jizery. Podrobnější zaměření bude soustředěno na vybrané úseky říční sítě Jizery potenciálně ovlivňovaných odběry, na struktury kvartérních fluviálních sedimentů (především údolní a nejnižší terasy) a přilehlé prostředí podložních hornin dotčených hydrogeologických rajónů. Dotčenými hydrogeologickými rajóny jsou HGR 4410 Jizerská křída pravobřežní, HGR 4420 Jizerský coniak, HGR 4430 Jizerská křída levobřežní, 5151 Podkrkonošský permokarbon, a 6414 Krystalinikum Jizerských hor v povodí Jizery a Krkonoš.

Vodárenské odběry pro pitné i ostatní účely v povodí Jizery jsou velmi významné. Celkem 240 míst v roce 2023 znamenalo celkový odběr 1150 l/s a povolené odběry ve výši až 3120 l/s. Z tohoto množství jsou zásobeny pitnou vodou statisíce obyvatel v Libereckém a Středočeském kraji a v Praze. V posledních desetiletích jsou v říční síti ČR v důsledku klimatické změny pozorovány významné úbytky průtoků na úrovni prvních desítek procent. Mnohé mělké zdroje podzemní vody bilančně závisí na břehové infiltraci z říční sítě, v suchých periodách dochází k poklesu hladin a zásob podzemní vody a tím i průtoků v říční síti. Jiné odběry z podložních kolektorů mohou mít

vliv na velikost drenáže podzemních vod do toků. Jsou tak ohrožovány ekologické a další funkce toků, a v konečném důsledku i vlastní odběry podzemní vody, které jsou také zdrojem vody pro kritickou infrastrukturu. Pro některé zdroje jsou stanoveny místní směrodatné limity v "Suchém plánu", minimální hladiny nebo minimální zůstatkové průtoky. Je žádoucí stanovit realistická pravidla a postupy pro posuzování a řešení těchto situací, jejichž četnost se zvláště v sušších obdobích bude do budoucna výrazně zvyšovat.

Tok Jizery byl vybrán v souladu s prioritním výzkumným cílem 3.2 jako pilotní území pro výzkum těchto dopadů, protože na jejím povodí se vyskytuje řada významných vodních zdrojů, které mohou ovlivňovat průtoky v říční síti, zvláště za minimálních stavů. Specifický přístup bude volen na horním toku Jizery s ohledem na zohlednění prioritních zájmů ochrany přírody (AOPK, KRNAP, CHKO Jizerské hory) a úsek, kdy je Jizera hraničním tokem (možné přeshraniční vlivy).

Novost výzkumu na pomezí tří oborů (hydrologie, hydrogeologie a vodárenství) spočívá v komplexním pojetí protikladných aspektů, které jsou oba veřejnými zájmy – minimální průtoky v tocích a odběry podzemních vod v blízkosti. Inovativními aspekty je i v synergickém souběhu hydrologického a hydraulického modelování a využití vybraných klimatických scénářů pro budoucí simulace. Pro povodí Jizery je to jedinečný a komplexní výzkum, který zde doposud neproběhl.

Povodí Jizery se vyznačuje vysokou hydrologickou i hydrogeologickou prozkoumaností. Projekt vychází z množství dat, která jsou k dispozici v potřebné podrobnosti i struktuře – hydrologické charakteristiky říční sítě, regulace toku, hydrogeologická data z četných průzkumů a mapovacích prací, databáze odběrů a vypouštění vod, dlouhodobé časové řady z monitorovací sítě povrchových a podzemních vod ČHMÚ. Vybrané dostupné klimatické scénáře budou použity pro časové simulace změn vodních poměrů. Hlavní modelový nástroj (MODFLOW-USG) je optimální pro simulace vzájemné interakce podzemní a povrchové vody v regionálním i lokálním měřítku. Vzájemná vazba mezi odběry podzemních vod a blízkým tokem byla hodnocena u některých hydrogeologických průzkumů, ale většinou bez přesnější kvantifikace. Tu umožnil až rozvoj moderního hydraulického modelování od 90. let 20. století, kdy už ale velké průzkumy vesměs skončily. Pokud máme někde dílčí výsledky této interakce (např. Káraný QJ1320213), neřešily se dopady na minimální průtoky v toku, ale jen aspekty množství a kvality jímané vody. Všechny dostupné práce řešily doposud jen aktuální stav, nikoliv simulaci budoucího stavu v závislosti na klimatické změně.

Projekt je postaven především na sběru a vyhodnocování dat v několika hlavních směrech:

- hydrologická data, situace a modelování
- hydraulická data z říční sítě povodí Jizery
- data o odběrech, vypouštění a další vodohospodářská data
- hydrogeologická data o podzemní vodě, jejím výskytu, vlastnostech prostředí

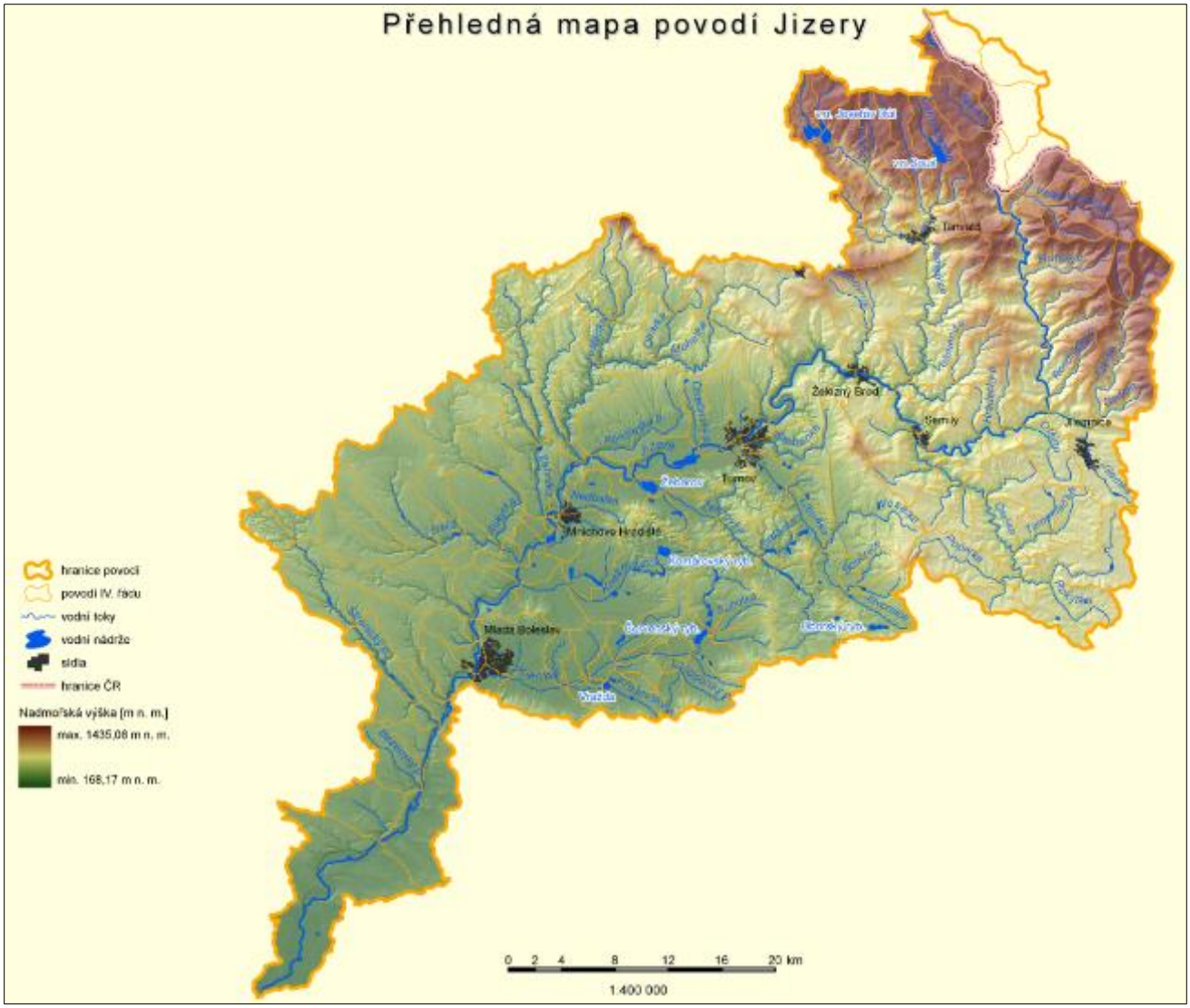
Kromě těchto dat jsou průběžně shromažďovány i další údaje (mapové podklady, databáze, vrtná prozkoumanost, data z ochrany přírody aj.). Data jsou různými metodami průběžně zpracovávána a vyhodnocována, mj. prostředky GIS, statistickými postupy a numerickým modelováním, za účelem dosažení stanovených výsledků. Výzkum se týká celého povodí Jizery, viz obr. 1.

2. Odběry v povodí Jizery

Vliv klimatické změny na minimální zůstatkové průtoky

Dopady klimatické změny se projevují mimo jiné na průtocích v suchých obdobích. V rámci ČR jsou však patrné rozdíly, v některých profilech se minima snižují a jinde se zvyšují. Zaměřili jsme se na průtoky ve 14 profilech v povodí Jizery, pro něž jsou k dispozici porovnatelná data z období 1931 až 1960 a 1981 až 2020. Z M-denních průtoků byly vypočteny hodnoty minimálních zůstatkových průtoků (MZP). Následně byly vypočteny relativní odchylky MZP v období ovlivněném klimatickou změnou oproti referenčnímu období bez jejího vlivu. Odchylky MZP v období 1981–2010 jsou v naprosté většině kladné, což odpovídá skutečnosti, že toto období bylo obecně nadprůměrně vodné. Záporné odchylky jsou způsobeny pravděpodobně odběry vody. Odchylky MZP z období 1991–2020 jsou z poloviny kladné a z poloviny záporné. Toto období bylo obecně podprůměrně vodné. Výrazné anomálie budou dále zkoumány. Celkově lze konstatovat, že klimatická změna se v minimech průtoků sledovaných profilů v povodí Jizery zatím neprojevuje výrazným poklesem.

V povodí Jizery vynikají největším odebíraným množstvím odběry pro vodovody určené pro veřejnou potřebu. Tyto odběry zahrnují jak povrchové zdroje – zejména vodní nádrže v horní části povodí Jizery – tak podzemní zdroje (viz tabulka 1). Menší část odebrané vody zásobuje blízká sídla a po využití je vypouštěna zpět do sítě vodních toků v povodí Jizery. Většina odebrané vody je však převáděna vodárenskými systémy do jiných povodí, zejména do povodí Lužické Nisy a do povodí Vltavy. Na tyto odběry znázorněné na obrázku 3 je dále zaměřena pozornost, protože snižují průtoky v říční síti Jizery. Jedná se o odběry pro vodárenské soustavy Liberec – Jablonec nad Nisou a Praha – Střední Čechy.



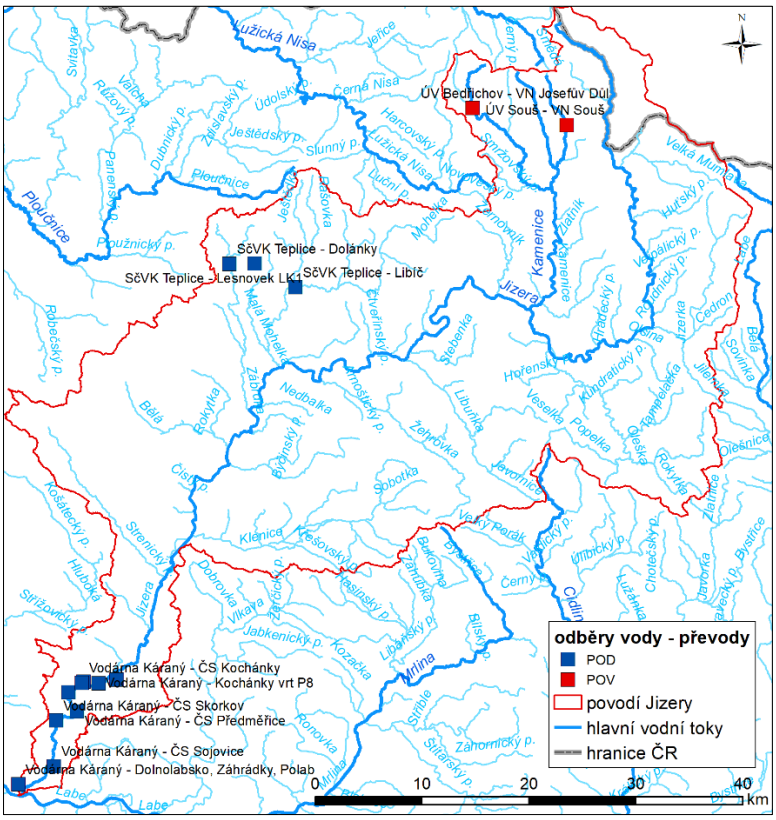
Obr. 1 Hydrologické povodí Jizery

Fig. 1 Hydrological basin of the Jizera River

Tab. 1 Nejvýznamnější odběry povrchových a podzemních vod převáděné mimo povodí Jizery

Table 1 The most significant surface and groundwater abstractions transferred outside the Jizera river basin

	Limity		Skutečnost 2024
Zdroje vody	Maximální (okamžité) povolené množství odebírané vody (l/s)	Průměrné povolené množství odebírané vody (l/s)	Průměrné odebírané množství vody (l/s)
Povrchové	**870**	**550**	**275**
- VN Josefův Důl	520	300	139
- VN Souš	350	250	136
Podzemní	**429**	**224**	**124**
- Libíč	173	89	57
- Lesnovek	16	15	6
- Dolánky	240	120	61
POV+POD Káraný	**1149**	**859**	**556**



Obr. 2 Nejvýznamnější odběry povrchových a podzemních vod převáděné mimo povodí Jizery

Fig. 2 The most significant surface and groundwater abstractions transferred outside the Jizera river basin

Vliv sezónních odběrů vody pro závlahy a zasněžování na průtoky

Odběry vody pro závlahy, na rozdíl od odběrů pro obyvatelstvo a průmysl (s výjimkou energetiky), představují trvalou ztrátu vody z vodních toků, protože většina závlahové vody se vypaří do atmosféry a spotřebuje rostlinami. Rovněž odběry vody pro zasněžování ski-areálů představují ztrátu vody z toku, byť pouze dočasnou. V ročních průměrech nejsou tyto odběry příliš významné. V měsíčních hodnotách už mohou dosahovat nezanedbatelných objemů. Odběry pro závlahy probíhají zejména v období od dubna do září. Odběry pro zasněžování jsou realizovány zejména od listopadu do února.

Největším rizikem pro množství vody ve vodních tocích jsou hodnoty okamžitých odběrů. Na obrázku 3 jsou znázorněna místa evidovaných odběrů. V celém povodí Jizery může být zároveň odebíráno podle platných povolení až 773 l/s pro závlahy a 785 l/s pro zasněžování (viz tab. 2). Vzhledem k omezeným možnostem kontroly skutečných okamžitých odběrů však nelze vyloučit jejich překračování ze strany některých odběratelů**.** Odběry vody v řádu stovek litrů za sekundu až jednotek m³/s jsou na průtocích dolní Jizery během sucha znatelné (Q_{355d} = 6 m^3/s).

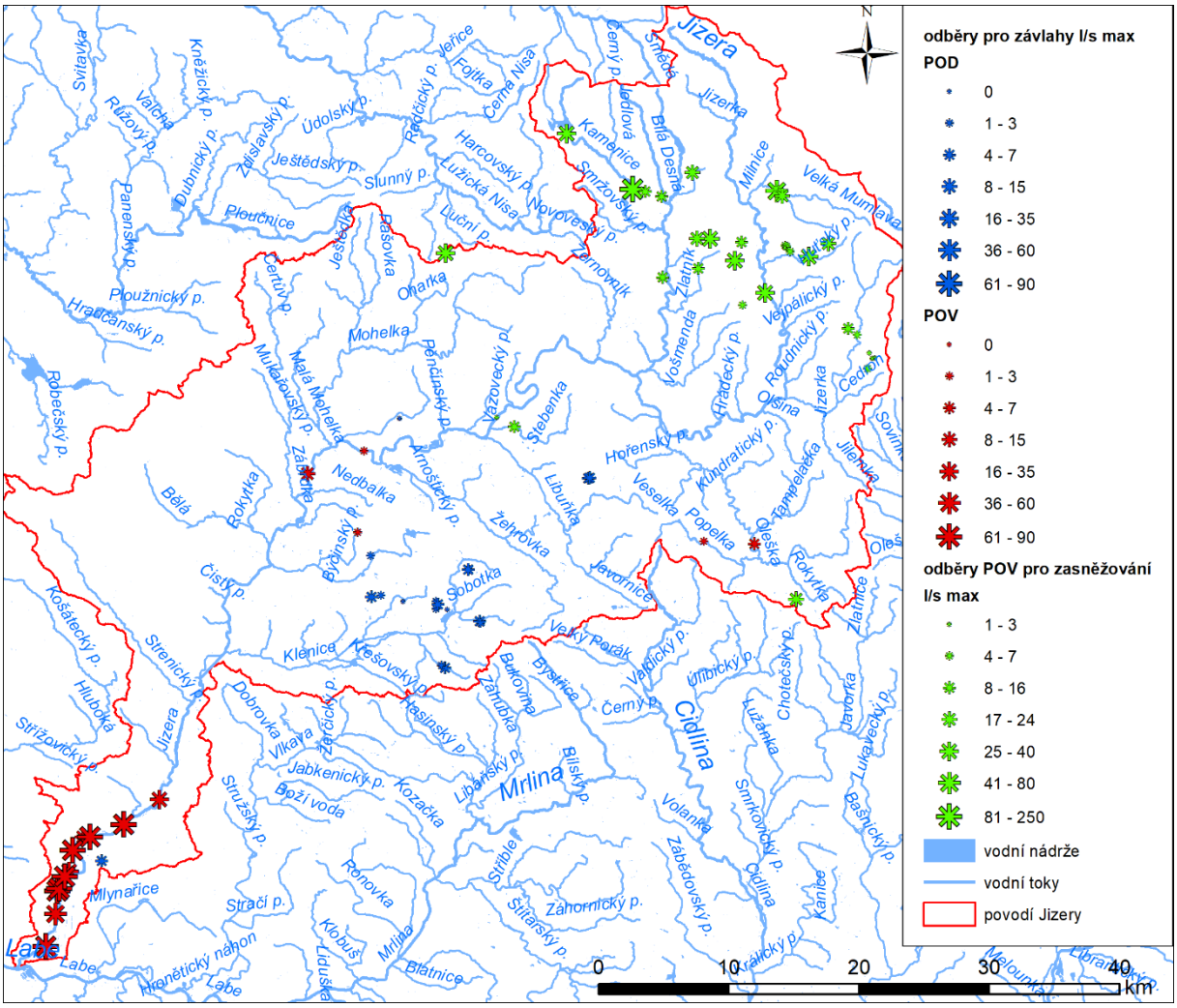
Na menších vodních tocích v povodí Jizery se tyto odběry mohou projevit ještě výraznějšími úbytky průtoků**.** Například v povodí Kamenice po profil Bohuňovsko lze odebírat až 370 l/s pro zasněžování a hodnota Q_{355d} činí 883 l/s. Průtoky ve vodních tocích mohou dosahovat minim i během zimy, např. při mrazivém počasí, po období s podprůměrnými srážkami apod. V období se zápornými teplotami a beze srážek zároveň umělé zasněžování dosahuje největší intenzity, čímž dochází k časové shodě malých průtoků a velkých odběrů vody.

Odběry podzemní vody pro závlahy se koncentrují v povodí Klenice, která se vlévá do Jizery v Mladé Boleslavi. Tyto odběry slouží převážně pro zálivku sadů. Souhrnně činí okamžité maximální povolené odběry v povodí Klenice 23 l/s. V roce 2024 dosahovaly měsíční odběry nevyšších hodnot – souhrnně v průměru 11 l/s – v květnu. V porovnání s 355denním průtokem Klenice, který činí 28 l/s v obci Březno a 60 l/s v Mladé Boleslavi, takové odběry představují významnou ztrátu vody z povodí. Je zřejmé, že časová kumulace malých průtoků a největších závlahových potřeb nastává často.

Tabulka 2 Sezónní odběry povrchových a podzemních vod pro závlahy a zasněžování v povodí Jizery

Table 2 Seasonal withdrawals of surface and groundwater for irrigation and snowmaking in the Jizera river basin

	Limity		Skutečnost 2024
Účel odběru - typ zdroje	Maximální (okamžité) povolené množství odebírané vody (l/s)	Maximální měsíční povolené množství odebírané vody (průměrně) (l/s)	Maximální měsíční odebrané množství vody (průměrně) (l/s)
závlahy	**773**	**193**	-
- podzemní zdroje 18x	40	28	16 (květen)
- povrchové zdroje 17x	733	165	61 (červenec)
zasněžování (32x povrchové z.)	**785**	**169**	100 (leden)



Obr. 3 Odběry povrchových a podzemních vod pro závlahy a zasněžování v povodí Jizery, velikost bodů odpovídá okamžitým maximálním povoleným odběrům (l/s)

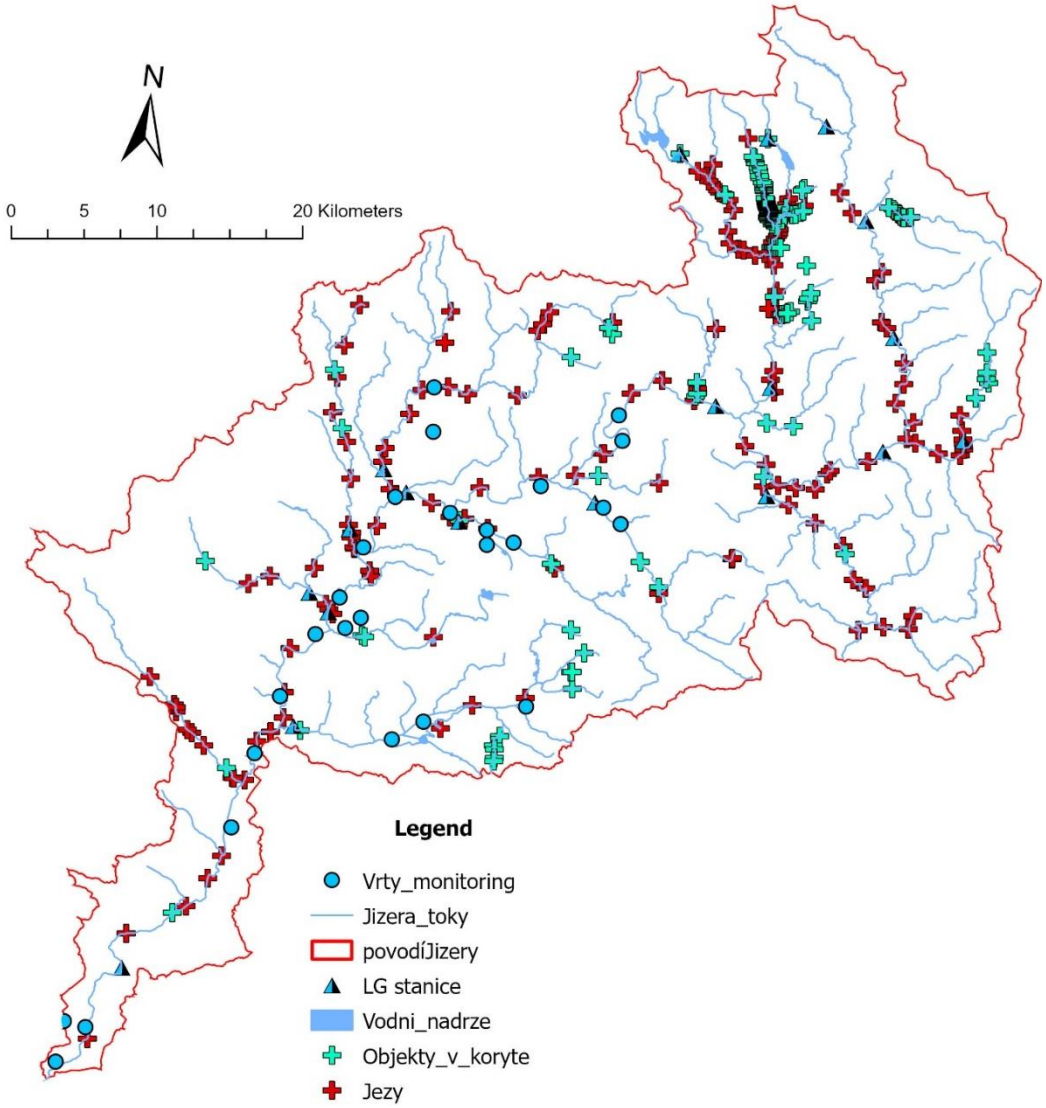
Fig. 3 Surface and groundwater withdrawals for irrigation and snowmaking in the Jizera river basin, the size of the points corresponds to the instantaneous maximum permitted withdrawals (L/s)

3. Vliv jezů a stabilizačních objektů na hladinu vody a podzemní vody v povodí Jizery

Tato kapitola se zabývá výskytem jezů a stabilizačních objektů v říční síti povodí Jizery a jejich vlivem na hladinu vody v korytě a interakci s podzemními vodami v poříční oblasti. Analýza vychází ze tří mapových podkladů:

(1) výskyt jezů a objektů v říční síti
(2) prostorové rozložení základního odtoku v období sucha
(3) zranitelnost nivních sedimentů na základě bilance odtoku a odběrů podzemní vody.

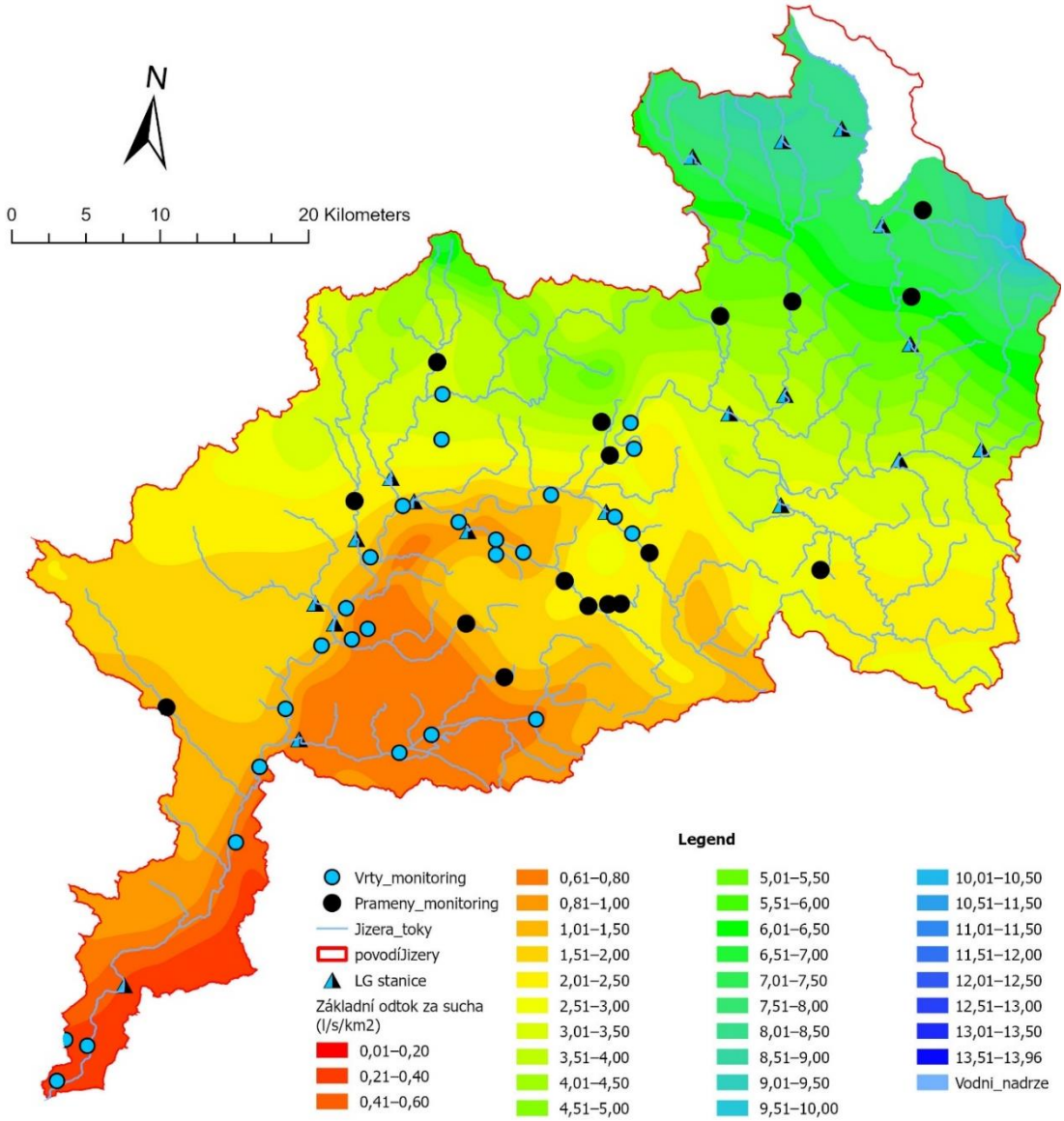
Z první mapy obr.4 vyplývá, že v říční síti povodí Jizery se nachází rozsáhlá síť jezů a stabilizačních objektů dna. Tyto objekty nejsou soustředěny pouze na hlavním toku Jizery, ale vyskytují se rovněž na významných přítocích, jako jsou Kamenice, Mohelka, Zábrdka, Kněžmostka, Žehrovka a Bělá. Jezy zde plní nikoliv primární, přesto klíčovou roli při udržení hladiny vody v korytě, stabilizaci morfologie toku a podpoře infiltrace do poříčních sedimentů.



Obr. 4 Četnost výskytu jezů a objektů v korytě v povodí Jizery včetně monitoringu kvantity povrchových a podzemních vod

Fig. 4 Frequency of occurrence of weirs and objects in the riverbed in the Jizera basin including monitoring of the quantity of surface and groundwater

Mapa na obr.5 ukazuje prostorové rozložení základního odtoku v období sucha v jednotkách l/s/km². V horním povodí Jizery, zejména v oblasti Krkonošského národního parku a Harrachova, dosahuje základní odtok vyšších hodnot díky vyšším srážkám a méně propustnému podloží. Naopak v nížinných oblastech s kvartérními sedimenty, jako jsou okolí Mnichova Hradiště, Kněžmostu a Benátek nad Jizerou, je základní odtok výrazně nižší, což zvyšuje zranitelnost vodních zdrojů v období sucha.



Obr. 5 Distribuce základního odtoku v povodí Jizery za sucha včetně monitoringu kvantity povrchových a podzemních vod

Fig. 5 Distribution of base runoff in the Jizera river basin during drought, including monitoring of surface and groundwater quantity

Jezy a stabilizační objekty dna plní v říční síti několik zásadních hydrologických funkcí:

- Udržení hladiny vody v korytě i v období sucha
- Zpomalení proudění a zvýšení retence vody
- Stabilizace morfologie koryta a omezení dnové eroze
- Podpora infiltrace vody do poříčních sedimentů a tím i doplňování podzemních vod

V období klimatického sucha hrají jezy zásadní roli při ochraně vodních zdrojů. Udržováním hladiny vody v korytě zajišťují hydraulický kontakt s poříčními sedimenty, čímž podporují přirozenou infiltraci a zpomalují pokles hladiny podzemní vody. V oblastech s nízkým základním odtokem a vysokými odběry je jejich význam pro udržení vodního režimu klíčový.

Součástí hodnocení vodního režimu v povodí Jizery je také základní monitoring ČHMÚ, který poskytuje dlouhodobá a prostorově reprezentativní data o stavu povrchových i podzemních vod. Tento monitoring tvoří základní referenční rámec pro interpretaci hydrologických procesů, identifikaci trendů sucha a posouzení zranitelnosti vodních zdrojů. V povodí Jizery je provozováno 28 monitorovacích vrtů mělké zvodně, které sledují kolísání hladiny podzemní vody v kvartérních sedimentech a umožňují vyhodnocovat reakci mělkých zvodní na

srážkové a odtokové poměry. Dále je zde 17 sledovaných pramenů, které poskytují informace o přirozené obnově podzemních vod a o dlouhodobé stabilitě vývěrů v různých hydrogeologických podmínkách. Pro hodnocení povrchových vod je v říční síti Jizery provozováno 19 stanic vodních stavů a průtoků, které zachycují dynamiku odtoku, odezvu na srážkové epizody i vývoj nízkých průtoků v suchých obdobích. Kombinace těchto tří monitorovacích systémů umožňuje komplexní posouzení interakce mezi povrchovou a podzemní vodou a poskytuje nezbytný podklad pro interpretaci vlivu jezů a stabilizačních objektů na vodní režim v povodí.

Jezy a stabilizační objekty v říční síti Jizery představují důležitý nástroj pro udržení vodnosti toku a ochranu podzemních vod v období sucha. Jejich přítomnost významně přispívá k hydrologické stabilitě, zejména v poříčních oblastech s kvartérními sedimenty. Kombinace prostorových dat o základním odtoku, odběrech a zranitelnosti niv umožňuje efektivní plánování adaptačních opatření s ohledem na zajištění zůstatkových průtoků v korytech říční sítě Jizery v období sucha.

4. Hydrologické modelování

V roce 2025 probíhaly činnosti spojené se sběrem a přípravou hydrologických dat pro hydrologické modelování v povodí řeky Jizery. Ze společných jednání mezi VÚV TGM a PROGEO vyšel konsensus, že první hydrologické modelování bude mít globální přístup k povodí Jizery a bude tak modelováno celé povodí Jizery. V rámci adresování variability se VÚV TGM a PROGEO shodlo na ensemblovém přístupu řešení, kdy na VÚV TGM budou nakalibrovány modely Bilan na tři sub-povodí Jizery (viz obrázek 6), které budou kalibrovány pomocí pozorovaných odtoků na vodoměrných stanicích (komponenta modelu = R) a také pomocí hladin podzemních vod (komponenta modelu = GS). S tím, že jako okrajové podmínky budou použity efektivní infiltrace (komponenta modelu = RC), které poskytlo PROGEO pro jednotlivé hydrogeologické rajony.

Model Bilan byl upraven tak, aby kalibrace konvergovala na zadaný pozorovaný odtok a zároveň aby zásobník GS koreloval s pozorovanými hladinami podzemních vod. Za účelem redukce nejistoty, byly v daných sub-povodích iterativně korelovány průběhy hladin podzemních vod v jednotlivých vrtech, které se na území povodích nacházejí, se zásobníkem podzemní vody GS. Do finálního ensemblu modelů byly zařazeny pouze ty, jejichž korelační koeficient byl větší jak 0.8. Pro povodí 1 byl k dispozici jeden vrt, pro povodí 2 bylo k dispozici 34 vrtů, z toho 3 se dostaly tímto filtrem do ensemblu a pro povodí 3 bylo k dispozici 53 vrtů, z toho 6 se dostalo tímto filtrem do ensemblu modelů. Pomocí tohoto ensemblu nakalibrovaných modelů bude vytvořen dataset efektivní infiltrace (komponenta modelu RC), který byl předán PROGEO jako podklad pro jejich hydrogeologický model.

Shodnost mezi modelovanými a pozorovanými odtoky lze vidět v tabulce 4, kde kromě KGE je Kling-Gupta efficiency a Nash–Sutcliffe efficiency koeficientu jsou také horní a dolní limity efektivní infiltrace od PROGEA, ke kterým se při kalibraci přihlíželo. Proto EI MEAN značí efektivní infiltraci při kalibraci pouze na pozorovaný odtok a EI MEAN GS kalibraci na pozorovaný odtok a korelaci GS s hladinami podzemní vody ve vrtech. Níže lze pak vidět výsledky kalibrací pro dané sub-povodí.

Obr. 6 Sub-povodí pro stavbu modelu Bilan

Fig. 6 Sub-basins for building the Bilan model

5. Hydrogeologický výzkum a modelování

Jedním z nástrojů využitých při zpracování výzkumného úkolu TAČR *Dopady změny klimatu na minimální zůstatkové průtoky v říční síti Jizery a na odběry podzemní vody v blízkosti toku* je hydrogeologický matematický model proudění podzemní vody. Model proudění podzemní vody bude v rámci jednotlivých etap řešení projektu realizován v různých úrovních měřítka a pro různou dynamiku režimu proudění podzemní vody. V úvodní etapě řešení projektu v roce 2025 byly práce soustředěny především na získání a zpracování informací a dat pro celou

regionální oblast zájmu, kterou tvoří celé povodí Jizery. Archivní hydrogeologická data z rešerše byla v této etapě zpracována do formy regionálního matematického modelu ustáleného proudění podzemní vody v nejširším rozsahu zájmového území – zahrnujícím celé hydrogeologické povodí řeky Jizery.

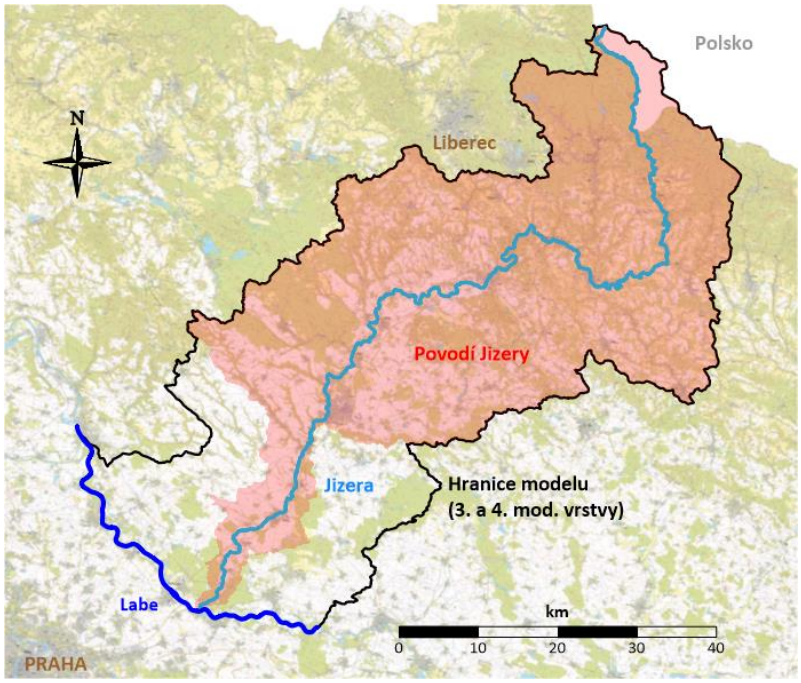
Regionální model stacionárního proudění podzemní vody slouží v rámci celého řešení úkolu jako základní rámec pro další modely, které budou zaměřeny specifičtěji, na režim kolísání hladiny podzemní vody (i v závislosti na úrovni hladiny ve vodních tocích) nebo detailní území pro analýzu vztahů průtoků v tocích a odběru podzemních vod v kontextu klimatického vývoje. Regionální model ustáleného stavu poskytne především bilanční podklad, základní geometrii modelové domény a okrajové podmínky pro numerické řešení.

Podklady pro zpracování regionálního modelu ustáleného proudění v roce 2025 jsou především odborné zprávy, které byly zpracovány ČGS v rámci projektu Rebilance podzemní vody, veřejně dostupné informace v databázi ČGS-Geofondu a dostupné informace z pozorovací sítě ČHMÚ. Využity byly i informace z vlastních archivů řešitelů úkolu.

5.1. Modelové území

Rozsah regionálního modelu proudění podzemní vody je zvolen s ohledem na potřebu hydrogeologické bilanční uzavřenosti celé oblasti tak, aby výpočet mohl být založen na předpokladu, že veškerá vody, která se v oblasti do geologické struktury infiltruje je rovněž v této oblasti drénována a přetoky přes ostatní vnější hranice modelu (vertikální hranice modelu a modelová báze) jsou nulové. Modelová oblast je tak v jižní části větší než samotné povodí Jizery (Obr. 7). K definici modelové oblasti je využito geometrické sjednocení hydrogeologických rajónů definovaných v prostoru pánevních sedimentů české křídové pánve a hydrologických rozvodnic v prostředí hydrogeologického masivu, tvořeného krystalinickými a permokarbonskými horninami a kvartérem.

Různý způsob vymezení hranic (hranicí hg. rajónu nebo rozvodnicí) je dán rozdílným charakterem proudění podzemní vody v různých typech hydrogeologického prostředí, který tvoří povodí Jizery. V oblasti sedimentů křídy převládá v regionálním měřítku charakter proudění typický pro vrstevnaté horninové formace, ve kterých lze vymezit laterální tělesa s funkci hydrogeologického kolektoru nebo izolátoru. Proudění je zde výrazně prostorové a mimo nejsvrchnější vrstvu je pouze omezeně ovlivněno nevýraznou morfologií terénu, a tedy i hydrologickými rozvodnicemi drobnějších toků. V oblastech hornin, které lze vzhledem k jejich vlastnostem označit jako hydrogeologický masiv (odporové i kapacitní parametry prostředí jsou více závislé na hloubce pod terénem a tektonice než na litostratigrafii) a převládá v nich lokální charakter proudění (od infiltračních oblastí k blízkým drenážním bázím), hraje morfologie terénu významný vliv. Hydrogeologická povodí jsou převážně shodná s povodími hydrologickými.



Obr. 7 Vymezení regionálního hydrogeologického modelu

Fig. 7 Definition of the regional hydrogeological model

Oblast regionálního modelu zahrnuje zcela nebo částečně 3 svrchní hydrogeologické rajóny (HGR), 5 základních HGR a 2 hlubinné HGR (Obr. 8).

Obr. 8 Hydrogeologické rajóny (HGR) v modelové oblasti

Fig. 8 Hydrogeological regions (HGR) in the model area

Součástí modelového území je i nejsevernější část povodí Jizery, která se nachází v Polské republice (obr. 1, obr. 7). V Polsku je 46,75 km^2 plochy nejsvrchnější části povodí toku Jizery v krystalinických horninách. Model je v této oblasti založen na shodných předpokladech jako v hg. rajónu 6414 na české straně hranice.

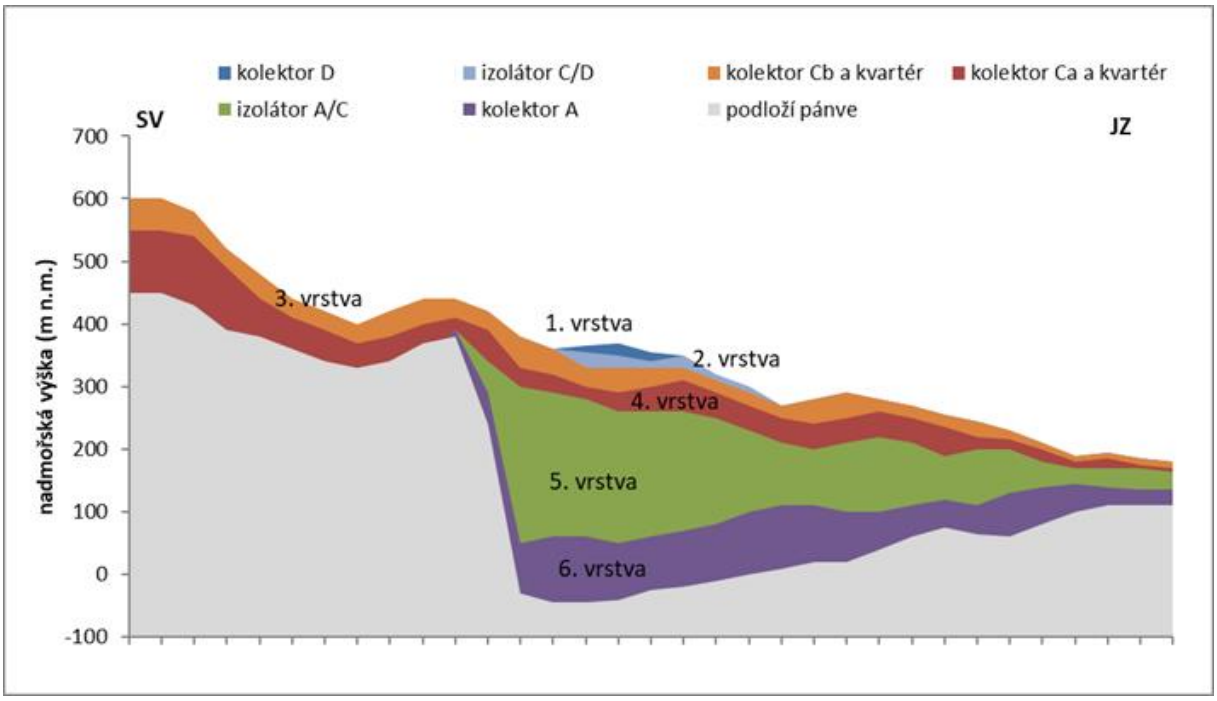
5.2 Modelové diskretizace

Cílem diskretizace modelu je vhodné (z hlediska výpočtu i očekávaných výsledků) rozdělení oblasti modelového řešení do výpočetních elementů a modelových vrstev (horizontální a vertikální diskretizace). Vertikálně je modelové oblast členěna do 2 až 6 vrstev (Obr. 9). V oblastech s charakterem proudění podzemní vody odpovídajícím hydrogeologickému masivu jsou vymezeny 2 modelové vrstvy. V oblastech s charakterem hydrogeologické pánve je horninový profil rozčleněn do 4 až 6 modelových vrstev. První modelová vrstva (od shora) nepokrývá celou plochu modelové oblasti a reprezentuje kolektor coniaku (kolektor D) v rozsahu předpokládaného výskytu kolektorských hornin v HGR 4420. Druhá modelová vrstva pokrývá část území, kde se vyskytuje kolektor D nebo kde je v HGR 4430 turonský kolektor C překryt izolátorem. Druhá modelová vrstva tedy reprezentuje izolátor C/D v křídové pánvi.

Třetí modelová vrstva je rozšířena v celé ploše modelu a reprezentuje:
- vrchní část kolektoru C v oblastech, kde nelze vymezit dílčí kolektory turonu,
- dílčí turonský kolektor Cb v prostoru jeho předpokládaného výskytu,
- sedimenty kvartéru v oblasti podél toku Labe (části HGR 1171 a 1172),
- svrchní zónu aktivního proudění podzemní vody v krystaliniku (HGR 6414) a permokarbonu (HGR 5151).

Čtvrtá modelová vrstva je rozšířena v celé ploše modelu a reprezentuje:

- spodní část kolektoru C v oblastech, kde nelze vymezit dílčí kolektory turonu,
- dílčí turonský kolektor Ca v prostoru jeho předpokládaného výskytu,
- sedimenty kvartéru lokalizované podél toku Labe (části HGR 1171 a 1172).
- spodní zónu zpomaleného (ale stále aktivního) proudění podzemní vody v HGR 6414 a permokarbonu HGR 5151.



Obr. 9 Schéma vertikální diskretizace regionálního modelu

Fig. 9 Scheme of vertical discretization of the regional model

Přechod vykliňujícího turonského kolektoru C do kvartérního kolektoru Labe je v modelu zadán pomocí rozdílných zón hydraulických parametrů. Mocnost obou vrstev směrem k jihozápadu klesá a jejich společná mocnost odpovídá reálným mocnostem kolektorů.

Pátá modelová vrstva reprezentuje izolátor bělohorského a jizerského souvrství oddělující kolektory A a C a zprostředkovává mezi nimi hydraulickou komunikaci. Šestá modelová vrstva reprezentuje křídový bazální kolektor cenomanu – kolektor A. Rozsah kromě bazálního HGR 4710 na severozápadním okraji zahrnuje i část bazálního HGR 4720.

V horizontální rovině je modelové území diskretizováno pomocí pravidelné čtvercové sítě s velikostí strany 100 m. Každá modelová vrstva je rozdělena na 787 řádek a 862 sloupců. V modelovém řešení je celkem 1 069 381 aktivních výpočetních buněk (buňky, do kterých jsou zadávána vstupní data a ve kterých probíhá výpočet hydraulické výšky).

5.3 Okrajové podmínky

Množství podzemní vody, které proudí v simulované struktuře, je definováno pomocí okrajových podmínek – zdrojů podzemní vody. Jedná se o:

- efektivní srážkovou infiltraci (přítok atmosférických srážek přes nesaturovanou zónu na hladinu podzemní vody),
- indukované zdroje podzemní vody (vcez povrchové vody do horninového prostředí),
- umělou infiltraci (vsakovací objekty, případně úniky z vodovodní sítě či kanalizace).

Odtok podzemní vody z modelového území probíhá prostřednictvím drenáže podzemní vody do:

- říční sítě,
- pramenů,
- jímacích objektů (vrty, jímky).

V rámci modelové domény je cyklus proudění podzemní vody považován za uzavřený. Na převážné části vnější hranice modelového území je zadána homogenní okrajová podmínka druhého typu – nulového toku přes hranici. Výjimku tvoří jihozápadní hranice modelového území ve 3. modelové vrstvě, kterou tvoří Labe. Zde je zadána okrajová podmínky třetího typu a je přijat předpoklad, že veškerá podzemní voda, která k této hranici přitéká, je jí drénována.

Srážková infiltrace

Efektivní srážková infiltrace je dána srážkou, zmenšenou o výpar a o povrchový a hypodermický odtok. V modelovém řešení stacionárního proudění je srážková infiltrace zadána pomocí 22 zón s hodnotami v rozsahu $1 \cdot 10^{-9}$ m.s^{-1} až $9 \cdot 10^{-9}$ m.s^{-1}. Nejvyšší infiltrace je zadána v severovýchodní části modelového území v oblasti hraničních hor. Nejnižší infiltrace je zadána na východě (v povodí Klenice, Vlkavy a v kvartérních hg. rajónech). Průměrná infiltrace pro celou modelovou oblast dosahuje přibližně hodnoty 5,1 l.s^{-1}.km^{-2}, tedy celková infiltrace zadaná do modelu dosahuje cca 14,65 m^3.s^{-1}. Infiltrace je zadána do první modelové vrstvy v místě jejího výskytu (aktivních buněk). V místech, kde se první modelová vrstva nevyskytuje, je infiltrace zadána do druhé vrstvy, případně třetí vrstvy. Velikost srážkové infiltrace je do modelu zadána především s ohledem na stanovený základní odtok v povodích s dostupnými informacemi o průtoku (z projektu Rebilance) a aktualizované mapy základního odtoku.

Infiltrace z toků

V modelovém řešení je vzhledem k zaměření modelu předpokládána potenciální břehová říční infiltrace nejen v prostoru násoskových řadů podél Jizery a Labe (řady Kochánecký, Skorkovský, Dolnosojovický, Hornosojovický, Benátecký, Předměřický, Dolnolabský, Zahrádky, Polabsko), ale i u ostatních vodních toků zadaných v modelu. Velikost indukovaných zdrojů je dána rozdílem hladiny v toku a hydraulickým tlakem v kolektoru. Ve stacionárním modelu s odběry podzemní vody na úrovni roku 2023 dosahuje velikost indukovaných zdrojů cca 482 l.s-1, z toho 237 l.s-1 je vypočtená břehová infiltrace z Jizery a Labe v oblasti jímání pro úpravnu vody Káraný. Břehová infiltrace je v modelovém řešení zadána okrajovou podmínkou třetího typu.

Umělá infiltrace

V modelovém řešení je v oblasti vodárenského odběru Káraný uvažován systém umělé infiltrace, který se skládá z napouštěcích (infiltračních) van, studní s radiálními sběrači a sběrných studní s na ně napojenými násoskovými řady. Při simulaci režimu proudění je v modelu předpokládána umělá infiltrace na úrovni cca 407 l/s (při odběru podzemní vody ze systému umělé infiltrace na úrovni cca 410 l/s). V modelovém řešení je umělá infiltrace simulována pomocí okrajové podmínky druhého typu.

Odběry podzemní vody

Odběry podzemní vody jsou do hydraulického modelu zadány okrajovou podmínkou druhého typu. V modelovém území bylo v roce 2023 evidováno celkem 433 odběrů. Z toho je 161 odběrů podzemní vody s průměrem větším než 0,5 l.s^{-1}. Tyto odběry jsou zadány v modelu. Okrajová podmínka druhého typu, představující odběr podzemní vody (a také dotaci prostřednictvím napouštění van systému umělé infiltrace v oblasti odběru Káraný), je v modelu zadána do 517 výpočetních buněk. Odběry z databáze ISVS (často registrovány souhrnně) byly v případě, že se podařilo dohledat konkrétní vrty, rozděleny do jednotlivých objektů. Z první modelové vrstvy je odebíráno cca 105 l/s. Ze třetí vrstvy cca 1247 l/s (při současném napouštění prostřednictvím van systému umělé infiltrace v Káraném cca 407 l/s). Ze čtvrté modelové vrstvy je odebíráno cca 172 l/s a ze šesté vrstvy cca 8 l/s.

Drenáž do toků

Drenáž podzemí vody do říční sítě je zadána pomocí okrajové podmínky třetího typu (velikost průtoku závislá na vypočteném rozdílu hydraulické výšky v okrajové podmínce a příslušné výpočetní buňce) v MODFLOW modulu RIV. Vstupní data okrajové podmínky obsahují generalizované údaje o nadmořské výšce toku, úrovni říčního dna, čísla úseku (z důvodu evidence bilance) a odporového koeficientu reprezentujícího hydraulickou spojitost mezi odvodňovaným horninovým prostředím a tokem. V modelovém řešení jsou toky (okrajová podmínka) zadány do první, druhé a třetí modelové vrstvy (v nejvyšší aktivní buňce s výskytem toku). Úrovně hladin v toku byly odečteny z map a modelu digitálního terénu 4. generace.

5.4 Hydraulické parametry

Zadané hodnoty koeficientu hydraulické vodivosti vychází z dostupných informací vyhodnocených hydrodynamických zkoušek z databáze ČGS. Plošná interpretace bodových hodnot v prostoru modelu byla zpracována prostřednictvím zón se zadanou shodnou hodnotou hydraulického parametru. Model předpokládá horizontální izotropii hydraulického odporu, hydraulická vodivost ve vertikálním směru je obvykle nižší, nezávislá na horizontální. V modelu se poměr k_{xy}:k_z pohybuje v rozsahu 1:1 až 10:1. vyšší anizotropie je předpokládána v prostředí sedimentů křídy a permokarbonu. Pro části modelové domény, pro které nejsou k dispozici žádné údaje o odporových hydraulických parametrech (jako jsou např. izolátory nebo rozsáhlé oblasti v permokarbonu a krystaliniku), jsou zóny hydraulických vodivostí zadány na základě kvalifikovaných odhadů.

V rámci kalibrace modelu došlo k úpravám hodnot koeficientů hydraulické vodivosti pro jednotlivé zóny tak, aby byla docílena dobrá shoda modelových a měřených nebo předpokládaných hladin podzemní vody, a aby byla docílena rovněž přiměřená shoda pozorovaných průtoků a modelových podzemních odtoků. Pro oblast křídových a kvartérních HGR byly pro kalibraci využita data z projektu Rebilance. Oblast hydrogeologického masivu byla v této etapě kalibrována na předpokládané úrovně hladiny a předpokládané odtoky.

V dalších etapách řešení úkolu budou odporové (a také kapacitní) parametry dílčích oblastí dále upřesňovány na základě aktualizovaných dat.

5.5 Výsledky modelového výpočtu

Simulace proudění podzemní vody v 1. etapě reprezentují ustálený režim proudění podzemní vody. V modelu nedochází ke změně zásoby podzemní vody. Koncepce je založena na předpokladu, že simulovány jsou obvyklé úrovně hladiny podzemní vody při odpovídajících odběrech a při obvyklé drenáži podzemní vody do říční sítě.

V rámci první etapy řešení byly realizovány varianty stacionárních simulací:

- varianta s odběry podzemní vody přibližně na úrovni roku 2023 (současný/kalibrační stav),
- varianta bez odběrů podzemní vody (ideový neovlivněný stav).
- varianta při maximálních povolených odběrech podzemní vody.

Modelová varianta při odběrech podzemní vody přibližně na úrovni roku 2023 (celkový odběr cca 1462 l/s při umělé infiltraci cca 407 l/s) představuje základní stav, který bude v dalších etapách upřesněn (doplněn aktuálními daty) a který bude využit k parametrizaci dílčích modelových oblastí.

Pro izolátory, pro vrstvu kolektoru A, HGR 6414 a HGR 5151nebyly v této etapě k dispozici kalibrační body. Hladina v těchto oblastech byla při kalibraci odladěna tak, aby její přibližná úroveň odpovídala buď hladinám ve vrtech z databáze ČGS, nebo aby hladina odpovídala běžným úrovním pod terénem odpovídajícím danému prostředí.

Základní bilance modelové varianty proudění podzemní vody regionálního modelu proudění podzemní vody při odběrech na úrovni roku 2023 je uvedena v tab. 3.

Tab. 3 Základní bilance podzemní vody regionálního modelu

Table 3 Basic groundwater balance of the regional model

	IN (l/s)	OUT (l/s)
Odběry/UI	406.8	1535
Toky	495.3	14013.4
Infiltrace	14646.3	
Suma	15548.4	15548.4

6. Lokality pro detailní výzkum

Ve shodě s harmonogramem projektu bylo na konci stávající etapy řešení vybráno devět lokalit, na kterých budou v dalších etapách realizovány výzkumné práce a modely proudění podzemní vody v detailním měřítku. Z průběžné diskuse v rámci řešitelského týmu a se zástupcem externího aplikačního garanta vyplynuly následující lokality pro detailní výzkum v letech 2026-2027:

(1) Benátky nad Jizerou
(2) Bělá
(3) Dolánky
(4) Libíč
(5) Svijany
(6) Rokytka
(7) Cedron
(8) Turnov
(9) Mladá Boleslav

Jsou analyzována konkrétní vodohospodářská data o odběrech, mj. budou kontaktováni i jejich provozovatelé k získání podrobnějších údajů o odběrech, hydrologické práce se soustředí na získání konkrétních hydrologických a bilančních dat z vymezených pilotních území, včetně M-denních průtoků a hydrologické bilance, se simulacemi budoucího stavu. Hydrogeologický výzkum se zaměří na co nejpodrobnější charakterizaci hydrogeologického prostředí pilotních území. V každém pilotním území bude sestaven koncept proudění podzemní vody a její interakce s povrchovou vodou. Budou sestaveny a kalibrovány dílčí modely ustáleného proudění podzemní vody pro vytipované lokality. Tyto modely budou sestaveny na podkladě výsledků regionálního modelu proudění a zpracovány s ohledem na variantní prognózní simulace proudění, plánované ve 3. etapě řešení úkolu v roce 2027.

Poděkování: Výzkumný projekt Dopady změny klimatu na minimální zůstatkové průtoky v říční síti Jizery a na odběry podzemní vody v blízkosti toku, TAČR SQ01010176, řešený v letech 2025-2028, je finančně podpořen z prostředků Technologické agentury ČR.

INV-FLOW: Nové možnosti v diagnostice jímacích vrtů

INV-FLOW: New possibilities in the diagnosis of extraction wells

Jan Kukačka[1,2], Daniel Kahuda[2], Pavel Pech[2], Václav Ficaj[2]

[1]Dekonta, a.s., Volutová 2523, 150 00 Praha 5, kukacka@dekonta.cz
[2] Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6

Abstrakt: V rámci projektu INV-FLOW byl zkonstruován a otestován funkční vzorek zařízení pro vyhodnocení správné funkce jímacího vrtu pomocí měření vertikálního proudění vody ve vrtu. Skládá se ze dvou elektromagnetických indukčních průtokoměrů, dvou pneumatických ucpávek a regulovatelného čerpadla. Zařízení bylo testováno na reálných jímacích vrtech určených pro zásobování vodou zemědělského výrobního družstva. Pilotní testy potvrdily funkčnost zařízení a možnost použití pro vyhodnocení míry kolmatace a inkrustace jímacího vrtu. Provozovatel tak může rozhodnout o potřebě daný vrt regenerovat, případně o ukončení jeho provozu

Abstract: As part of the INV-FLOW project, a functional sample of equipment was designed and tested to evaluate the functionality of an extraction well by measuring the vertical water flow through its screen and filters. The equipment consists of two electromagnetic induction flow meters, two pneumatic seals and a pump with the possibility of regulation. After an initial laboratory verification of the fundamental concept, the equipment was successfully tested in real conditions on actual extraction wells intended for water supply to an agricultural production plant. Pilot tests confirmed the functionality of the equipment and the possibility of using it to evaluate the degree of clogging and encrustation of an extraction well. The operator can thus decide on the need of a well rehabilitation, or on altering (or even on the termination) of its operation.

Klíčová slova: indukční průtokoměr; studna; životnost vrtu; podzemní voda; kolektor; kolmatace

Key words: electromagnetic flowmeter; pumping well; pumping well lifetime; groundwater; aquifer; well clogging

1. Úvod

Na jímací vrt působí řada faktorů ovlivňujících jeho životnost, která je dána zejména konstrukcí a způsobem využívání ve vztahu s geologickým prostředím, ve kterém je situován.

Hodnocení technického stavu jímacích vrtů lze provádět souborem hydraulických a geofyzikální metod. Výhoda hydraulických spočívá v jejich přímosti a zpravidla i nižší instrumentální náročnosti či nákladnosti. Základem jsou hydrodynamické zkoušky, které lze rozšířit o hydrometrické měření vertikální složky proudění, v každém případě však tyto metody poskytují jen minimální informaci o případné variabilitě stanovených parametrů podél vertikálního profilu objektu. Geofyzikální metody – při použití v hydrogeologických vrtech standardně označované jako (hydro)karotážní – jsou nepřímé, velmi náročné z hlediska potřebného vybavení a pro vyhodnocení naopak poskytují výhradně vertikální profil měřených charakteristik. Výhodou je potenciálně vysoké rozlišení a možnost interpretace provozních vlastností daných objektů z hlediska fyzikálně-chemických charakteristik příslušného kolektoru podzemní vody. Základní metodou je zde konduktometrie v různých variantách provedení, do výčtu používaných metod patří kavernometrie, akustická karotáž, hustotní karotáž, gama karotáž, gama-gama karotáž a neutron-neutron karotáž a také kamerová prohlídka vrtu (Bláha et al, 2005, Hanák, 2018, Nakládal, 2019).

2. Konstrukční specifika jímacího vrtu

Filtrační část jímacího vrtu je tvořena štěrkovým obsypem, který se opírá zejména o perforovanou (tj. vtokovou) část výstroje. Vedle konstrukční funkce má štěrkový obsyp především filtrační funkci, která spočívá v omezení vtoku mechanického sedimentárního znečištění podzemní vody do vrtu (tzv. pískování). Z hlediska konstrukce je v současné době preferována štěrbinová geometrie perforace (oproti kruhové), protože zajistí nižší minimální průřez otvorů při zachování shodného podílu otevřené plochy. Technologicky jsou perforované segmenty vrtných výstrojí připravovány lisováním (oproti dříve převažující metodě frézování), existují ovšem i specializované konstrukce např. pro eliminaci ulpívání sedimentárních částic v otvorech perforace (typ Johnson). Filtrační obsyp jímacího vrtu bývá zpravidla sypaný a má zároveň stabilizační funkci. Dalším typem je lepený obsyp, který je integrální součástí perforované části výstroje. Konstruovat vrt bez obsypu je zpravidla riskantní. V principu je to

možné u skalních hornin s nízkým obsahem pohyblivých sedimentárních frakcí, ale i tam obsyp může plnit stabilizační funkci a pro dosažení dlouhé životnosti vrtu je doporučen (Čížek, 2010). Parametry obsypového materiálu jsou popsány v normě Jímání pozemní vody (ČSN 75 5115).

Hlavními parametry obsypového materiálu jsou velikost zrn, šířka obsypu a typ materiálu. Tyto parametry jsou mimo jiné zvoleny v závislosti na typu horniny, kterou vrt penetruje. Správná volba obsypového materiálu má na životnost vrtu rozhodující vliv, zvolená velikost frakce musí rozměrově převyšovat vnitřní průřez perforace výstroje vrtu, zároveň však zohledňovat přítomnost a zrnitost pohyblivé složky rozpuštěného sedimentu v kolektoru podzemní vody. Cílem je nalezení rovnováhy mezi zachováním maximální propustnosti, filtrační schopností a zároveň přístupností pro udržovací a regenerační práce, a to rovněž při dlouhodobém a intenzivním čerpání z kolektorů podzemní vody v případě jímacích vrtů. Pro určení velikosti zrn je doporučeno vycházet z křivek zrnitosti (ČSN 75 5115). Ve skalních horninách obsyp slouží zejména ke stabilizaci, jeho zrnitost se volí podle velikosti vtokových otvorů výstroje vrtu (Čížek, 2010).

Materiály, které jsou vhodné k obsypu, jsou přírodní písky a štěrky s oblým tvarem zrn, neměly by to být drcené materiály. Vhodný je obsyp z křemičitých materiálů s obsahem <4 % nehomogenních složek, jako jsou jíly, slídy, živce, vápence a železo. Optimální je používat vodárenské filtrační materiály pro pitnou vodu, jelikož u nich je obsah příměsí minimální (Betuš a Pinka, 1998). Šířka obsypu je ovlivněná průměrem zrn, minimální a doporučená šířka v nezpevněných nebo jen slabě zpevněných horninách je uvedena v normě Jímání pozemní vody – ČSN 75 5115.

3. Životnost jímacího vrtu

V praxi je pro životnost jímacích vrtů limitující především vliv procesu kolmatace, tj. zanášení pórového prostoru filtračního obsypu, popř. části horninového prostředí v nejbližším okolí perforovaných úseků výstroje vrtu. Jedná se zpravidla o kombinaci faktoru mechanického (sufozi) – tj. vnosu pohyblivých sedimentární částic vlivem unášecí schopnosti proudící vody – a chemicko-biologického, kde se projevují oxidační procesy vysrážením v podzemní vodě rozpuštěných iontů. Na tomto ději se zpravidla podílí řada chemolitotrofních mikroorganismů a v makroskopickém měřítku proces vede až k tvorbě inkrustací (sraženin) uvnitř otvorů perforace i vnitřního prostoru výstroje vrtu.

Kolmatace způsobuje zmenšení otevřené plochy perforované části výstroje a snížení objemu efektivních pórů ve filtračním obsypu. Výsledkem je pokles vydatnosti jímacích vrtů, který navíc může v čase eskalovat, pokud je provozní reakcí intenzifikace čerpání a následné zvýšení gradientu vtoku větším snižováním úrovně hladiny podzemní vody ve vrtu. Rychleji proudící voda unáší více sedimentárních částic a další snižování hladiny vede k rozšiřování zóny oxidačního prostředí, které zapříčiňuje inkrustaci minerálními nárůsty a podporuje růst kolonií chemolitotrofních mikroorganismů (California Department of Water Resources, 1998). I když jen málo vrtů zcela selže kvůli kolmataci nebo přímo inkrustaci, jsou tyto jevy vždy příčinou snížené vydatnosti vrtu (Company, 1990).

Koroze výstroje vrtu, která se netýká jen kovu, ale i plastu nebo hornin, způsobuje zvětšení otvorů v perforované části výstroje vrtu a tím snižuje pevnost výstroje (Company, 1990). Kovy trpí korozí nejvíce. Koroze vzniká reakcí materiálu v oxidačně-redukčním prostředí (zejména v kontaktu se vzdušným kyslíkem), což může být ještě podpořeno přítomností korozivních kontaminantů, například u sanačních vrtů.

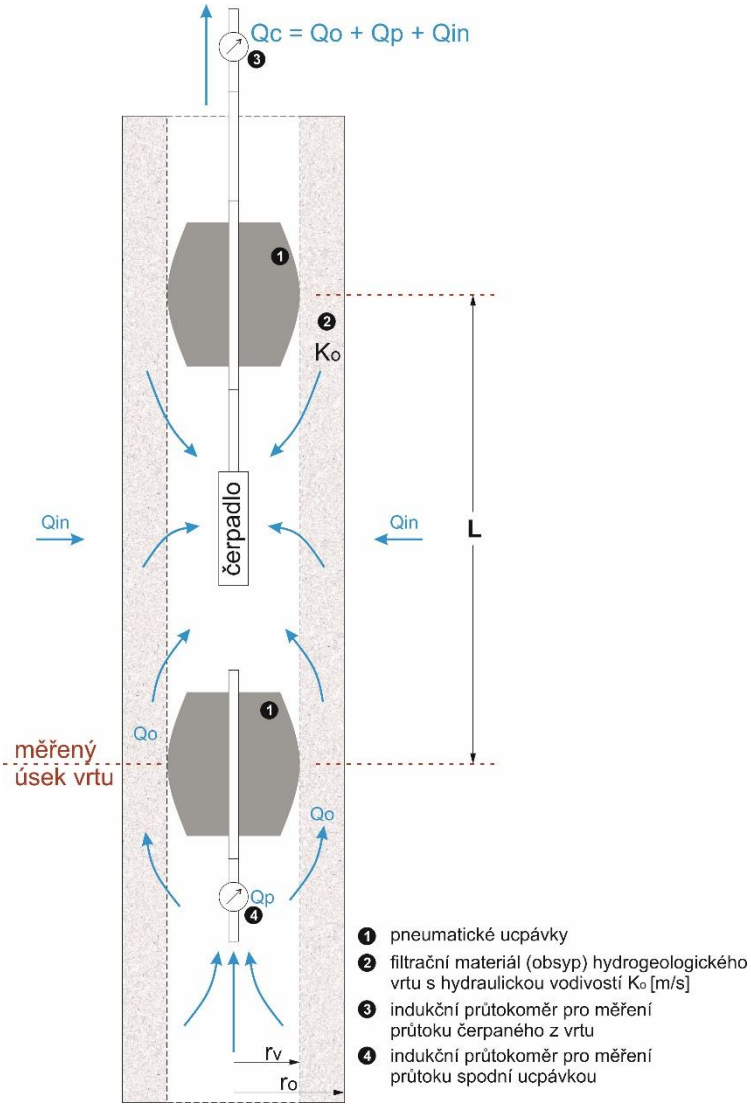
Vrt je v případě kolmatace a inkrustace možné regenerovat. Po nezbytné diagnostice lze aplikovat řadu mechanických a chemických postupů (California Department of Water Resources, 1998).

4. Nová metoda pro hodnocení filtrační funkce jímacího vrtu

Pracovníci z České zemědělské univerzity v Praze a společnosti DEKONTA, a.s. v rámci svých výzkumných aktivit vyvinuli nové zařízení, pomocí kterého lze provádět přímé hodnocení technického stavu filtrační části jímacího vrtu. Tedy té části vrtu, která se podílí na správné funkci každého vrtu. Zařízení INV-FLOW je realizováno jako přenosné a skládá se z následujících částí (Obrázek 1):

- 2 x průtočná pneumatická ucpávka pro utěsnění měřeného úseku v jímacím vrtu
- čerpadlo umístěné v prostoru mezi ucpávkami s možností plynulé regulace výkonu
- elektromagnetický průtokoměr umístěný na povrchu terénu pro měření průtoku vody čerpané čerpadlem z jímacího vrtu
- elektromagnetický průtokoměr umístěný pod spodní ucpávkou ve vrtu pro měření průtoku vody čerpané skrz spodní ucpávku

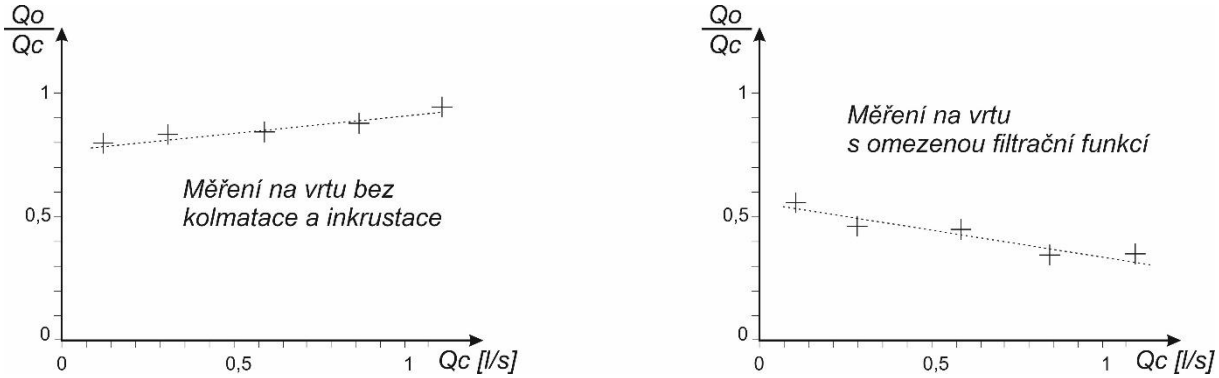
Funkci zařízení INV-FLOW je možné ilustrovat pomocí obrázku 1 a 2. Zařízení je spuštěno do měřeného vrtu do příslušné hloubkové úrovně, ve které chceme hodnotit filtrační funkci vrtu, přičemž měřený úsek vrtu odpovídá středu spodní pneumatické ucpávky (obr. 1).



Obr. 1 Koncepční schéma zařízení INV-FLOW.
Fig. 1 Schematic diagram of the INV-FLOW apparatus.

Po instalaci zařízení do měřeného úseku je provedeno utěsnění pneumatických ucpávek pomocí tlakového vzduchu. Následně čerpáním pomocí čerpadla a měřením celkového čerpaného průtoku (Qc) a průtoku protékajícího spodní ucpávkou (Qp) měříme průtok vody obtékající spodní ucpávku, tedy průtok vody filtračním materiálem vrtu (Qo) v dané hloubkové úrovni. Vyhodnocením podílu Qo na celkovém čerpaném množství Qc v závislosti na intenzitě čerpání Qc, jsme schopni určit, zda je v daném měřeném úseku filtrační část funkční (bez kolmatace či inkrustace), nebo zda dochází k omezení filtrační schopnosti. Vyhodnocujeme tedy závislost Qo/Qc = f(Qc) (obr. 2).

V případě, že většina vody je schopna protékat filtračním materiálem vrtu (Qo/Qc>0,5) a závislost Qo/Qc = f(Qc) má přibližný tvar přímky s kladnou směrnicí, můžeme konstatovat, že měřená filtrační část vrtu je funkční bez kolmatace či inkrustace. V případě, že filtračním materiálem vrtu protéká pouze omezené množství čerpané vody (Qo/Qc<0,5) a závislost Qo/Qc = f(Qc) má přibližný tvar přímky se zápornou směrnicí, můžeme konstatovat, že měřená filtrační část vrtu má omezenou funkci a je pravděpodobně kolmatovaná, případně s výskytem inkrust na výstroji vrtu. Tímto způsobem můžeme postupně proměřit celou filtrační část jímacího vrtu a ověřit, které úseky daného vrtu mají omezenou funkci.



Obr. 2 Výsledky měření na zařízení INV-FLOW pro funkční vrt a vrt s omezenou filtrační funkcí.
Fig. 2 Measurement results from the INV-FLOW apparatus for a functional well and a well with limited filtration capacity.

Průtok vody filtračním materiálem vrtu (Qo) v dané hloubkové úrovni vyjádříme z hlavní bilanční rovnice pro celkové čerpané množství

$$Qc = Qo + Qp + Qin \qquad (1)$$

odkud lze vyjádřit Qo

$$Qo = Qc - Qp - Qin \qquad (2)$$

Qo - množství vody protékající obsypem okolo spodní ucpávky (l/s); Qc - čerpané množství (měřeno) (l/s); Qp - průtok spodní ucpávkou (měřeno) (l/s); Qin – přítok z kolektoru výškou L (l/s);

Jedinou neznámou v rovnici 2 je přítok z kolektoru výškou L – Qin (obr. 1 a obr. 3). Tento přítok máme možnost určit dvěma způsoby. Jednak je možné ho změřit pro danou hloubkovou úroveň pomocí hydrokarotážní metody – rezistivimetrie. Druhou možností je výpočet z poklesu hladiny v pozorovacím vrtu v průběhu měření. Situaci názorně ukazuje schéma na obrázku 3.

Použijeme rovnici pro ustálené proudění k úplnému vrtu (Thiemova rovnice) s využitím parametrů na čerpaném vrtu a na pozorovacím vrtu P_{V1}:

$$h_{V1}^2 - h_V^2 = \frac{Q_{přít}}{\pi K}\, ln \frac{R_{PV1}}{r_V} \qquad (3)$$

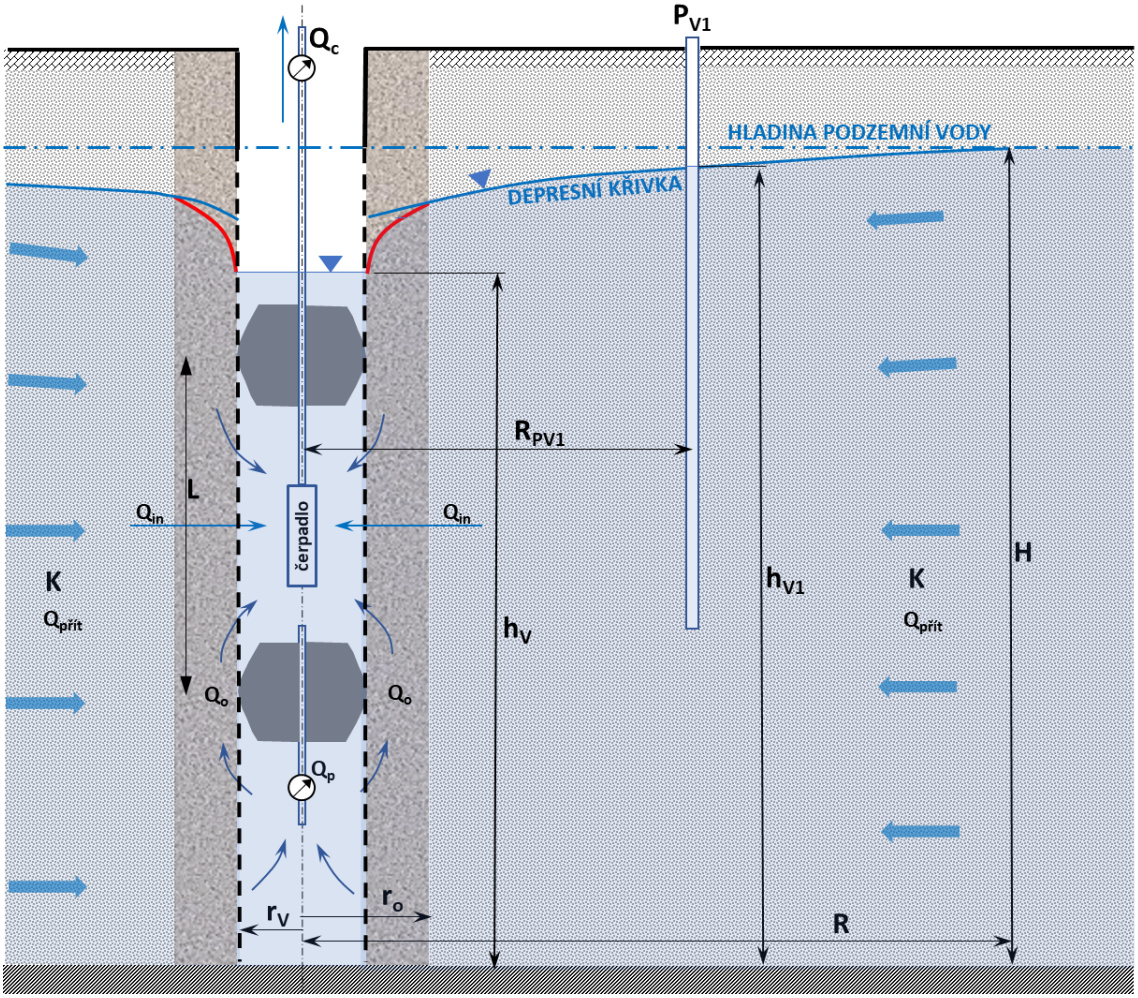
h_{V1} – výška vody v pozorovacím vrtu P_{V1} (m); h_V – výška vody v čerpaném vrtu (m); $Q_{přít}$ – přítokové množství vody z kolektoru ($m^3.s^{-1}$); r_V - poloměr odčerpávaného vrtu (m); R_{PV1} - vzdálenost pozorovacího vrtu od osy odčerpávaného vrtu (m); K – hydraulická vodivost kolektoru ($m.s^{-1}$);

Z rovnice (3) vyjádříme přítokové množství vody do vrtu

$$Q_{přít} = \frac{\pi K.(h_{V1}^2 - h_V^2)}{\ln \frac{R_{PV1}}{r_V}} \qquad (4)$$

Výškou L vtéká do vrtu množství vody

$$Q_{in} = \frac{Q_{přít}}{h_V}.L \qquad (5)$$



Obr. 3 Schéma k určení přítokového množství podzemní vody do vrtu výškou L.
Fig. 3 Diagram for determining the inflow rate of groundwater into a well using the height L.

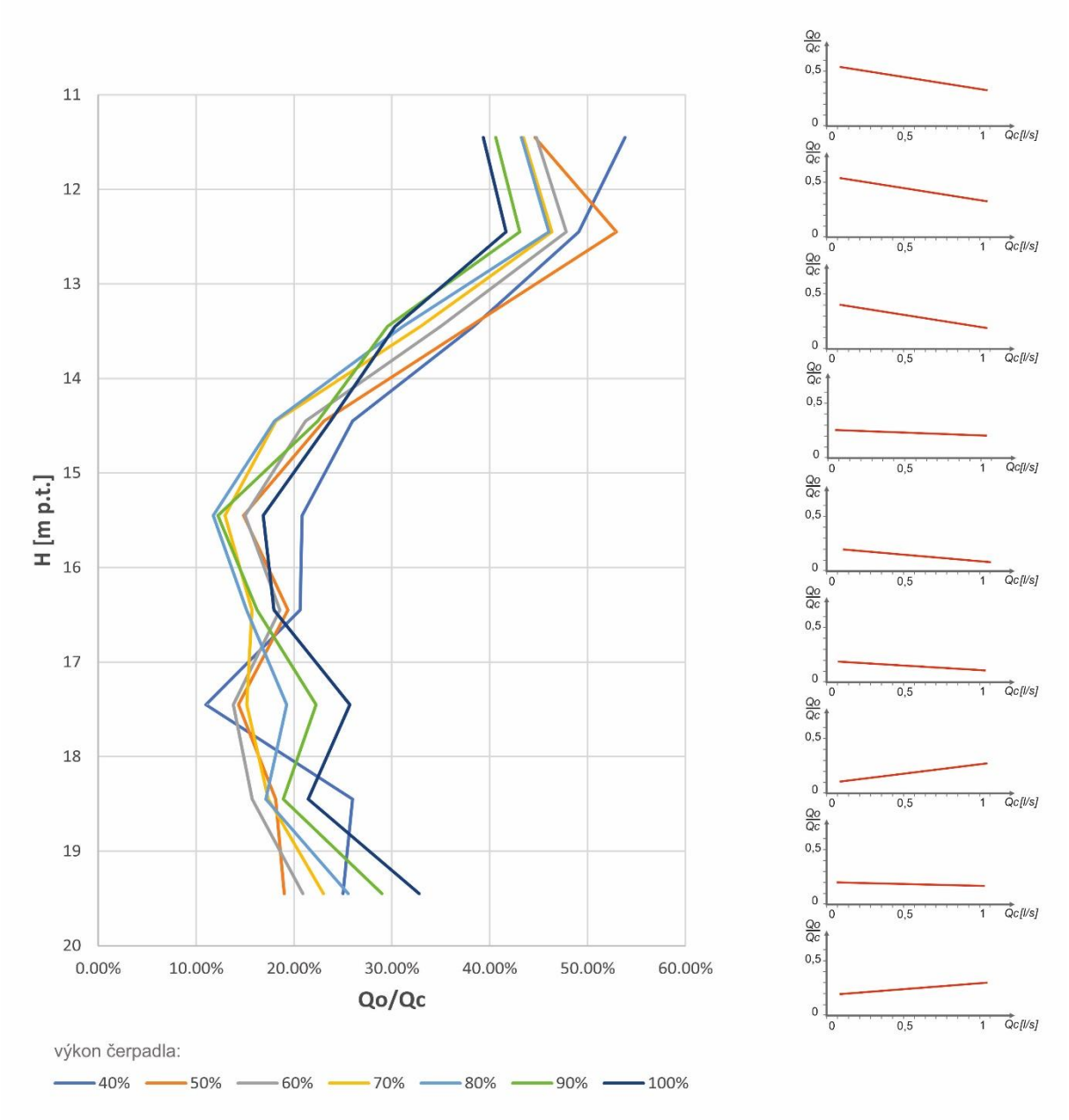
5. Laboratorní a pilotní ověření zařízení INV-FLOW

Princip měření byl v první fázi testován v laboratorním měřítku na Katedře vodního hospodářství a environmentálního modelování, ČZU. Za tímto účelem byl zkonstruován fyzikální model (obr. 4) simulující indukované vertikální proudění podzemní vody v hydraulicky neúplném vrtu se současným udržováním konstantní piezometrické úrovně hladiny tak, aby tato problematika byla omezena na jednorozměrnou složku bez významných vnějších vlivů. Principiálně zde byl modelován „ideální“ stav proudění při průzkumném či provozním čerpání objektů podzemní vody pro možnost bilančního srovnání jednotlivých složek vertikálního proudění.

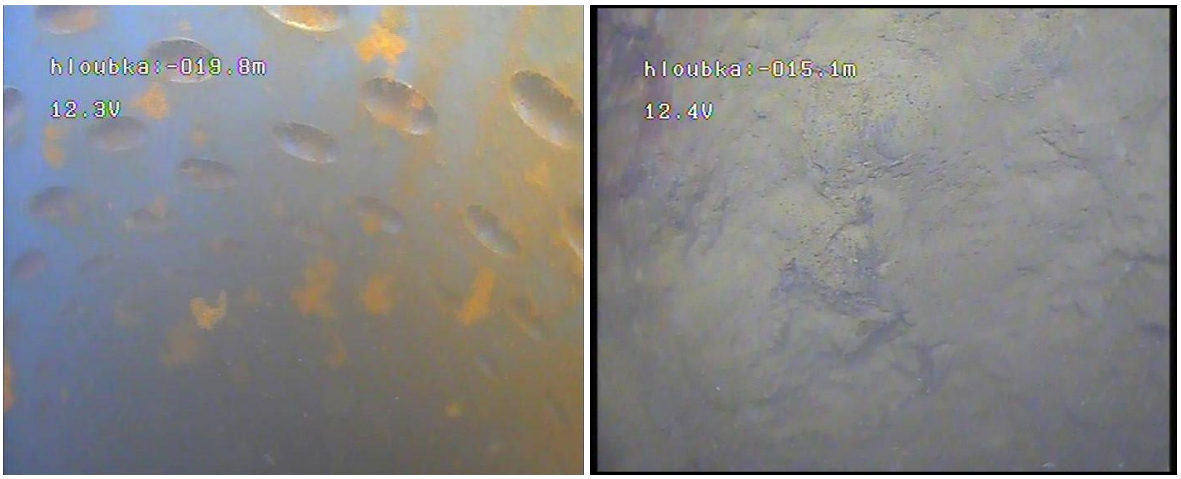
Obr. 4 Laboratorní testování zařízení INV-FLOW.
Fig. 4 Laboratory testing of the INV-FLOW apparatus.

Následně v rámci pilotního ověření zařízení INV-FLOW na lokalitě Výrov u obce Hadačka na starém jímacím vrtu HJ 3 s omezenou funkcí vlivem kolmatace (vrt původně určen pro zásobování zemědělského družstva Kralovická zemědělská, a.s.) byl měřen vertikální profil tohoto vrtu pomocí zařízení INV FLOW. Obrázek 5 ukazuje na levém grafu výsledky měření v různých hloubkových úrovních a při různých výkonech čerpadla a v pravé části jsou zobrazeny jednotlivé závislosti Qo/Qc = f(Qc) v jednotlivých hloubkových úrovních. Z uvedeného grafu lze vyhodnotit, že v úseku 11 až 15 m pod terénem dochází k postupnému snižování podílu vody, které je schopno protékat filtračním materiálem, z hodnoty cca 50 % až na hodnotu cca 20 %. V tomto úseku tedy filtrační schopnost s hloubkou klesá a kolmatace vrtu narůstá. V úseku 15 – 20 m pod terénem se podíl schopný protékat filtračním materiálem pohybuje trvale pod 30 %. V tomto úseku je filtrační funkce vrtu výrazně snížena vlivem kolmatace, případně inkrustací.

Výsledky měření potvrzují a zároveň dokumentují i fotografie pořízené kamerovou prohlídkou měřeného vrtu HJ 3, které ukazují významné inkrusty na perforaci výstroje v měřeném úseku vrtu. Obrázek 6 (vpravo) ukazuje situaci v hloubce 15,1 m pod terénem. Obrázek 6 (vlevo) ukazuje pro srovnání fotografii z kamerové prohlídky vrtu HJ-4 (hloubka 19,8 m pod terénem), který byl na pilotní lokalitě nově instalován v době provádění pilotních zkoušek na vrtu HJ-3 (červenec 2020), jako náhrada nefunkčního vrtu HJ-3.



Obr. 5 Výsledky pilotního ověření zařízení INV-FLOW na vrtu s omezenou filtrační funkcí.
Fig. 5 Results of the pilot test of the INV-FLOW apparatus at a well with limited filtration capacity.

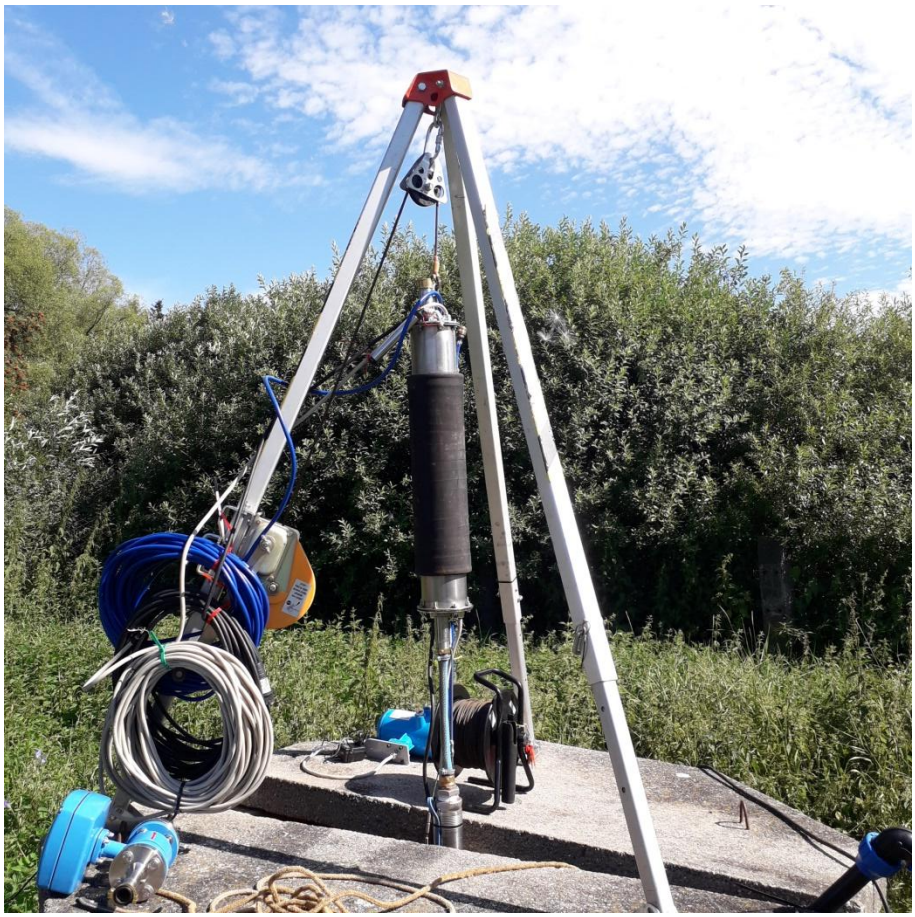


Obr. 6 Kamerový snímek vnitřní stěny výstroje měřeného vrtu HJ-3 (vpravo) a nově instalovaného vrtu HJ-4 (vlevo).
Fig. 6 A camera image of the inner wall of the casing in the HJ-3 well (right) and the newly installed HJ-4 well (left).

Funkční vzorek zařízení INV-FLOW, testovaný v rámci pilotních testů (obr. 7 a obr. 8), měl následující provozní parametry:

- Vnitřní průměr měřeného hydrogeologického vrtu dle použité pneumatické ucpávky: 150 – 300 mm
- Rozsah měření průtoku vody čerpaného z hydrogeologického vrtu dle použitého indukčního průtokoměru (průtokoměr DN20) Qc = 0,032 – 3,2 l/s
- Rozsah měření průtoku pneumatickou ucpávkou dle použitého indukčního průtokoměru (průtokoměr DN10) Qp = 0,01 - 0,98 l/s

Obr. 7 Sestava zařízení INV-FLOW použitá v rámci pilotních testů.
Fig. 7 The INV-FLOW setup used in the pilot tests.



Obr. 8 Zařízení INV-FLOW při instalaci do měřeného vrtu HJ-3 na pilotní lokalitě.
Fig. 8 The INV-FLOW apparatus being installed in the HJ-3 monitoring well at the pilot site.

6. Možnosti uplatnění zařízení INV-FLOW

Nově vyvinuté zařízení INV-FLOW, určené pro vyhodnocení filtrační funkce jímacího vrtu pomocí měření vertikálního proudění vody ve vrtu, je primárně určeno pro vodárenské společnosti provozující jímací hydrogeologické vrty, případně pro environmentálně-geologické společnosti provozující sanační vrty. Provozovatel jímacího vrtu je schopen na základě přímého měření pomocí zařízení INV-FLOW vyhodnotit míru kolmatace a inkrustace vrtu a rozhodnout tak o potřebě daný vrt regenerovat, případně o ukončení jeho provozu.

Zařízení INV-FLOW je realizováno jako modulární systém, u kterého lze změnou parametrů některé z jeho části změnit celkové parametry zařízení a tím i aplikační parametry. Změnou průměru pneumatických ucpávek lze ovlivnit použití zařízení pro větší nebo naopak menší průměry vrtů a změnou měřících parametrů průtokoměrů a výkonu čerpadla lze modifikovat zařízení pro testování například ve velmi propustném prostředí s velkou zásobou podzemní vody.

Poděkování: Projekt INV-FLOW – Zařízení pro zonální měření vertikálního proudění podzemní vody a přímou kvantifikaci přítoků do jímacích vrtů na principu elektromagnetické indukce, č. TH04030492 vznikl v rámci řešení aktivity, na jejíž řešení poskytnula Technologická agentura České republiky (TAČR) finanční podporu.

Seznam literatury

Bláha, P. a kol., 2005: *Co můžeme najít v zapažených průzkumných vrtech?* Dostupné na www: https://core.ac.uk/download/pdf/8987242.pdf
Betuš, Z., Pinka, J., 1998: *Hydrogeologické vrty.* - s.l.: Štroffek, Košice. ISBN: 8088896274.
California Department of Water Resources, 1998: *Cathodic Protection Well Standards.* - Southern District [online]. Dostupné z: https://water.ca.gov/
Company, R. M., 1990: *Handbook of Ground Water Development*. - Roscoe Moss Company, LA California. Wiley-Interscience; 1st Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1990. ISBN: 978-0-471-85611-5

Čížek, P., 2012: *Zákony a předpisy. Informační servery A až Z - hydrogeologie a studny* [online]. Dostupné z: http://www.geolog.cz
Česká technická norma Jímání podzemní vody: ČSN 75 5115
Hanák, D., 2018: *Zpracování komplexního karotážního měření, Diplomová práce* - Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha.
Nakládal, P., 2019: *Skryté a úmyslné vady ve výstroji vrtů* - TZB info, dostupné na www: https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/19085-skryte-a-umyslne-vady-ve-vystroji-vrtu

SKRYTÝ HYDRAULICKÝ ZKRAT VE VRTECH.

A HIDDEN HYDRAULIC SHORT CIRCUIT IN THE BOREHOLES.

Mgr. Petr Nakládal

petr-nakladal@email.cz

Abstrakt: Klasický hydraulický zkrat ve vrtech je sice nežádoucí, ale standartními metodami detekovatelný a vesměs jednoduchými prostředky opravitelný jev. Před několika lety jeden inženýr, nadhodil dotaz „*Co když se ten zkrat odehrává za plnou zárubnicí výstroje vrtu*“. Zprvu absurdní dotaz se s časem stával stále méně absurdní, až v současnosti máme zjištěno, že se jedná o jev zcela reálný a poměrně dost hojný. Nevhodným vystrojením a hlavně těsněním mezikruží vrtu dochází k propojování jednotlivých kolektorů s důsledkem na jakost čerpané vody a hladiny podzemních vod v jeho okolí. Skrytý hydraulický zkrat je velmi obtížně detekovatelný a bez podrobných znalostí také standartními metodami obtížně opravitelný.

Abstract: A classic hydraulic short circuit in a well is certainly undesirable, but it is a phenomenon that can be detected using standard methods and, for the most part, repaired with simple means. A few years ago, an engineer posed the question, “*What if this short circuit occurs behind the well casing*?” What initially seemed like an absurd question became less and less so over time, and we have now determined that this is a very real and relatively common phenomenon. Improper well casing installation—and especially inadequate sealing of the annulus—leads to the interconnection of individual aquifers, affecting the quality of the pumped water and the groundwater level in the surrounding area. A hidden hydraulic short circuit is very difficult to detect and, without detailed knowledge, is also difficult to repair using standard methods.

Klíčová slova: hydraulický zkrat, kolmatace vrtů, výstroj vrtů, nekvalitní práce, sucho, klimatická změna.

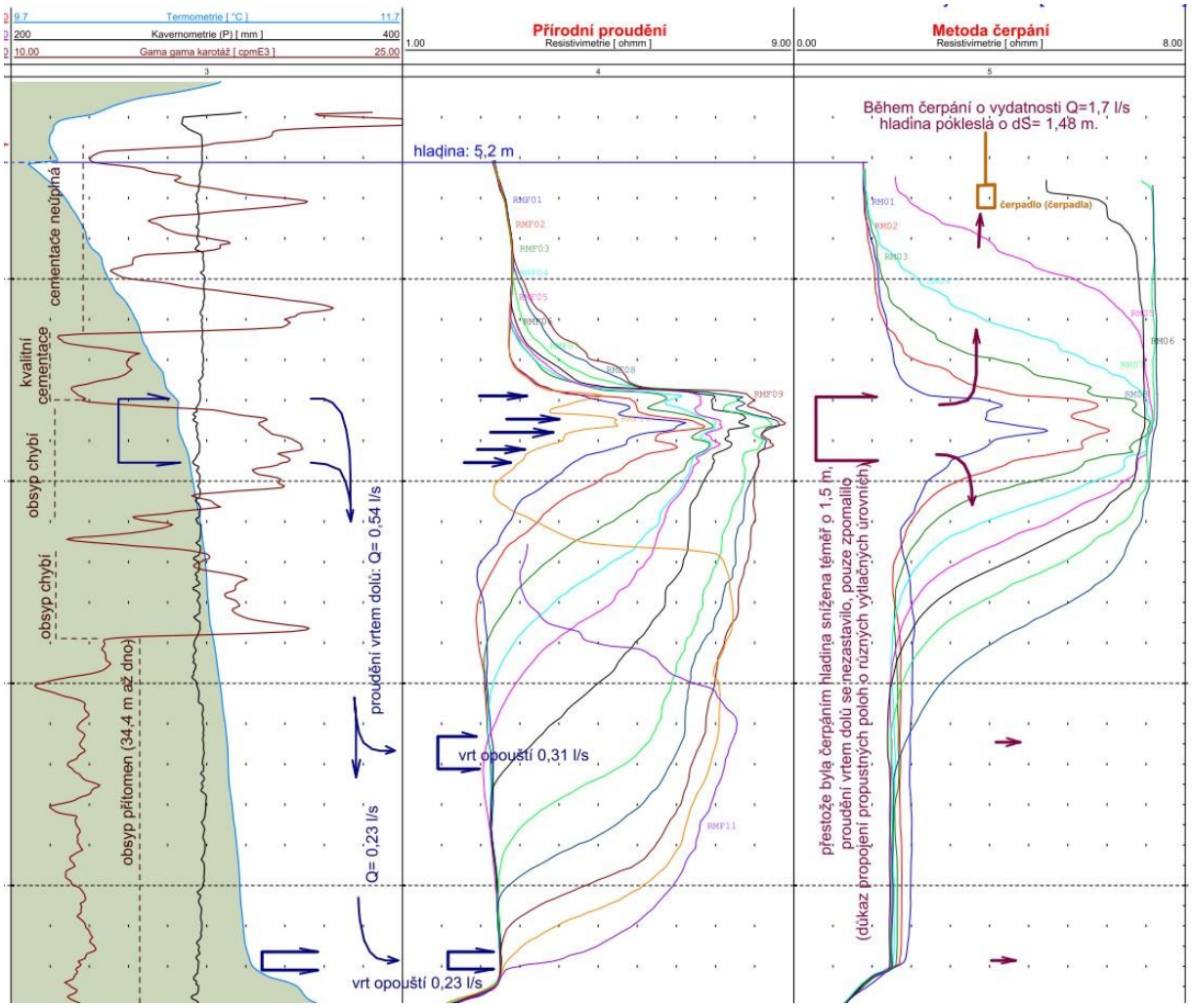
Key words: hydraulic short circuit, well clogging, well equipment, substandard work, drought, climate change.

1. Úvod

Vlivy klasického hydraulického zkratu, v rámci kterého jsou vrtem propojeny přes perforovanou zárubnici dva kolektory (obr. 1), jsou mezi odbornou veřejností poměrně dobře známy. O problematice hojně přednáší kolega RNDr. Martin Procházka. Co způsobuje klasický hydraulický zkrat je zřejmé z obrázku 2. Obrázek byl určen pro vysvětlení hydraulických zkratů u zemních výměníků tepelných čerpadel, ale funkcí jde o totožný princip jako u vrtů na vodu. Vrty vytvářející hydraulicky velmi vodivé propojení mezi jednotlivými kolektory (minimálně dva ale může se zadařit a vrtař propojí i více než tři kolektory) nejsou v České republice výjimečné. Obce se diví, proč se ztrácí voda z obecních vodovodů a domovních studní (foto 1) a přitom stačí uhodit na posledního vrtaře, co hloubil v obci vrt pro vrtanou studnu nebo zemní výměník pro tepelné čerpadlo. Z hlediska principu vzniku bych hydraulické zkraty rozdělil na vnitřní (detekovatelné uvnitř vrtu), vnější (přes obsyp za plnou výstrojí), trvalé nebo občasné (sezónní v době infiltrace). Nejsnáze detekovatelné jsou trvalé vnitřní hydraulické zkraty. Protože tato problematika je dostatečně odborné veřejnosti známa, zaměřím se pouze na skryté hydraulické zkraty a to jak trvalé tak občasné.

Skrytý trvalý hydraulický zkrat.

Skrytý trvalý hydraulický zkrat se nejčastěji skrývá za plnou výstrojí (obr. 3). Voda z vyššího kolektoru proniká přes obsyp nebo v případě, že vrt není obsypán, protéká v mezikruží vrtu (také hojný případ v ČR, podle některých vrtařů se prý vrty nikdy neobsypávaly). Často se tak děje v rámci konstrukce vrtů pro vrtané studny, kdy vrtař umisťuje výstroj o průměru 125 mm do vrtu průměru 150 mm. Ale jak je možné, že se vrtem propojí dva kolektory a nikdo si toho nevšimne? Jedná se o zanedbání odborného geologického dozoru v průběhu vrtných prací. Nelze předpokládat, že vrtaři občas jen s ukončeným základním vzděláním v lepším případě s ukončeným odborným vzděláním budou rozumět geologii. Vrtaři při hloubení vrtu „honí peníze“ a tak s vrtnými pracemi pospíchají. Je jim úplně jedno, že vrtají navlhlou horninu indikující drobný zvodnělý kolektor. V rámci dalšího hloubení se stává, že drobnější kolektory (vydatnost do 0,2 l/s) se tlakem vzduchového výplachu obsahující prachové částice zalepí a otevřou se až po vypláchnutí vrtu po naražení vydatnějšího přítoku. To, že ve vrtu začalo šumět, vrtařům běžně unikne. Už od 80 let podceňovali vrtaři práci s výstrojí. Také v současnosti zapustí do vrtu co nejrychleji výstroj, nasypou kačírek a rychle pryč. Práci si taky usnadní, když mezikruží zasypou kačírkem až k povrchu. Můžete být rádi, když do mezikruží kus pod terénem nasypou jeden až dva pytle bentonitu. Co vznikne je vidět z obrázku 4.

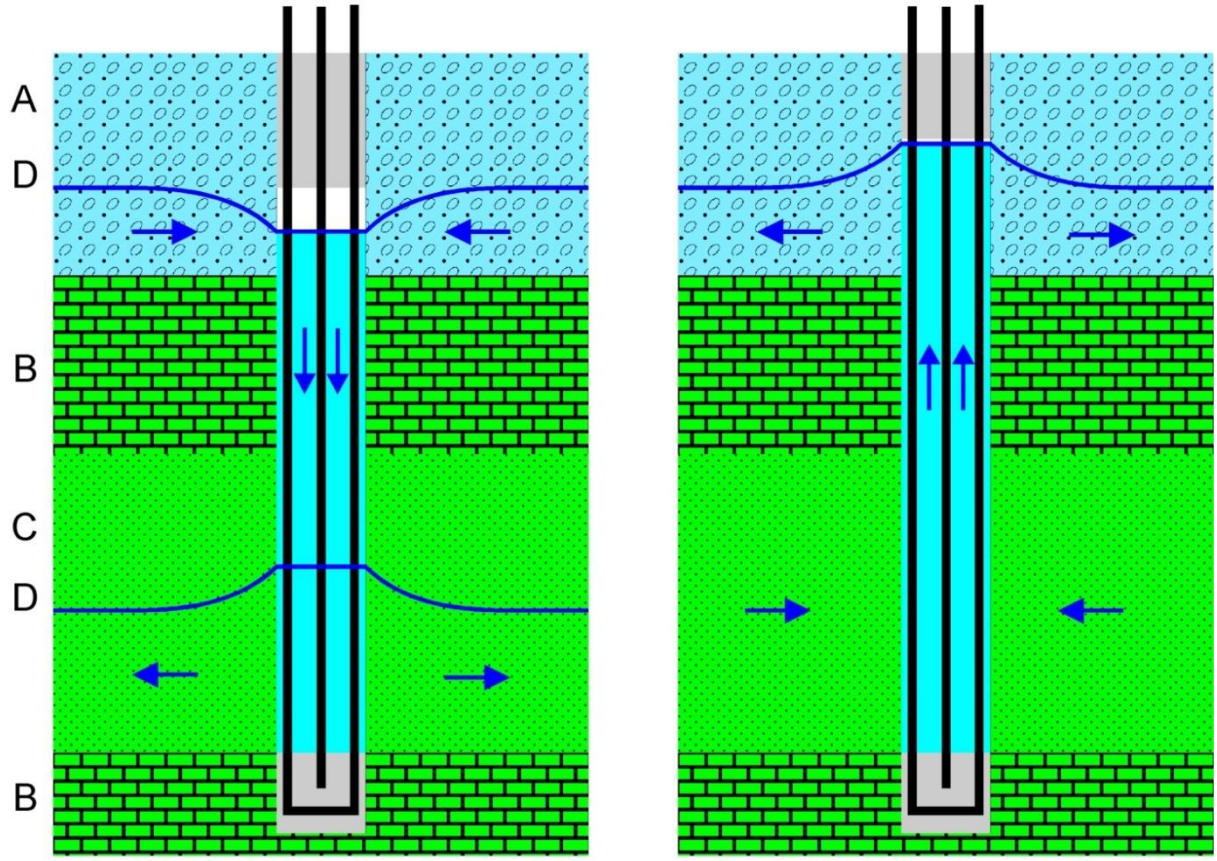


Obr. 1: Klasický projev hydraulického zkratu mezi dvěma kolektory přes perforovanou část výstroje na záznamu karotáže (převzato od SG Geotechnika Praha).

Fig. 1: A typical example of a hydraulic short circuit between two collectors through a perforated section of the logging tool, as shown on a logging trace (courtesy of SG Geotechnika Praha).

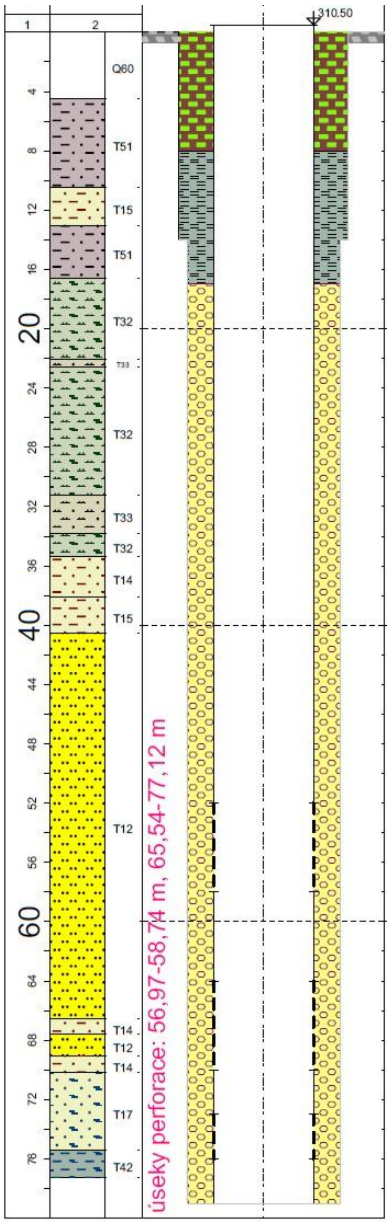
Foto 1: Pokles hladiny vody ve studni vlivem vrtu s hydraulickým zkratem (lokalita Obruby, ve studni bylo normálně 4 m vody).
Photo 1: Drop in the water level in the well caused by a borehole with a hydraulic short circuit (Obruby site; the well normally contains 4 m of water).

Foto 2: Jílovitější poloha se závalkami prachovce ve studni v Dobšíně.
Photo 2: A clayier section with siltstone interbeds in the well at Dobšín.



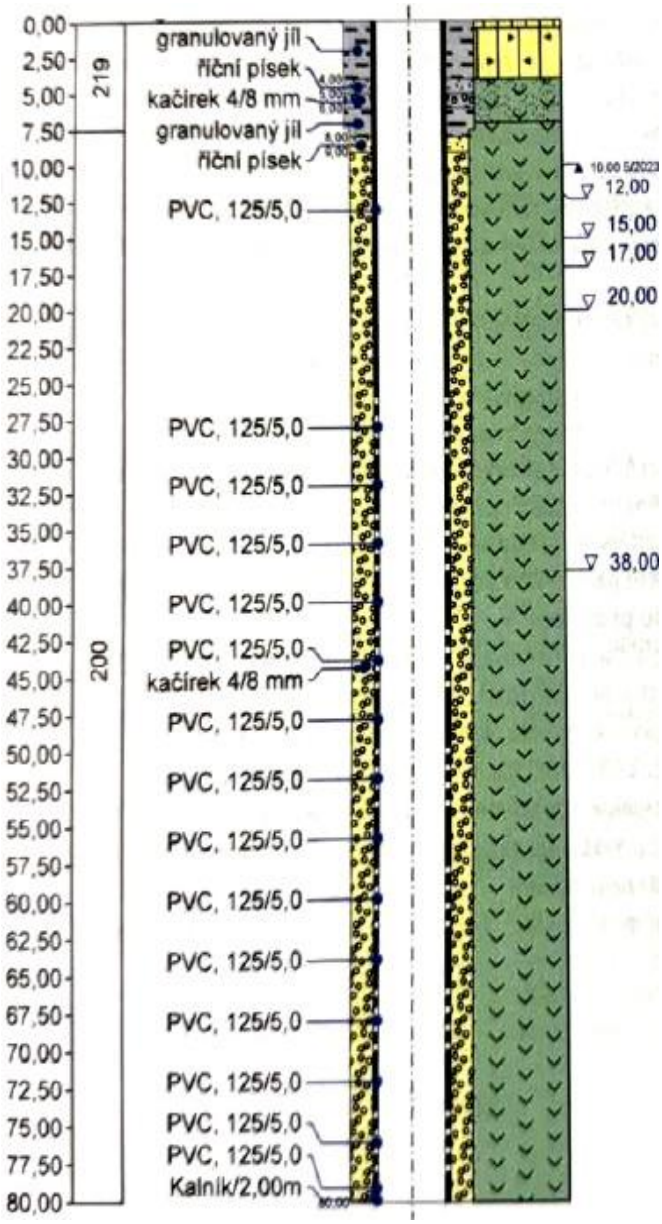
Obr. 2: Princip hydraulického zkratu vlivem vrtu zemního výměníku tepelného čerpadla.
A – štěrkopísek; B – hydraulický izolátor; C – hydraulický kolektor (např. pískovec);
D – hladina podzemní vody; modré šipky – proudění podzemní vody. Vlevo hydraulický zkrat mezi pískovcovým a štěrkopískovým kolektorem s volnou hladinou podzemní vody. Vpravo hydraulický zkrat mezi pískovcovým kolektorem s napjatou hladinou a štěrkopískovým kolektorem s volnou hladinou podzemní vody.

Fig. 2: Principle of a hydraulic short circuit caused by a ground-source heat pump borehole.
A – gravel-sand; B – hydraulic isolator; C – hydraulic collector (e.g., sandstone);
D – groundwater table; blue arrows – groundwater flow. On the left, a hydraulic short circuit between a sandstone collector and a gravel-sand collector with a free groundwater table. On the right, a hydraulic short circuit between a sandstone collector with a confined groundwater table and a gravel-sand collector with a free groundwater table.



Obr. 3: Klasický profil vrtu v křídě podezřelého na hydraulický zkrat.

Fig. 3: Typical well profile in the Cretaceous formation suspected of a hydraulic short circuit.



Obr. 4: Klasický profil vrtu v krystaliniku podezřelého na hydraulický zkrat.

Fig. 4: A typical well profile in crystalline rock suspected of having a hydraulic short circuit.

Je zřejmé, že v oblasti prachovců může existovat (a v případě obr. 3 v cca 20 metrech také existuje) drobný puklinový kolektor. Přítok vody přes obsyp vně zárubnice se následně zasakuje do nižšího pískovcového kolektoru. Vzniká tak skrytý trvalý hydraulický zkrat. Z hlediska litologie se nemusí jednat jenom o puklinové kolektory v prachovito pelitických horninách, ale i o drobné polohy obtížně zjistitelných jílovitějších hornin v kvádrových pískovcích (foto 2) nebo dokonce o různé puklinové systémy v horninách krystalinika. Skrytý trvalý hydraulický zkrat se projevuje hlavně v oblasti spojů zárubnic. Spoje zárubnic netěsní a tak spojem přitéká při tomto typu zkratu do vnitřního prostoru trocha vody (foto 3). Obdobně po určité době netěsní trhací nýty používané jako spojovací materiál hrdlovaných zárubnic (foto 4). Není to tím, že by byly primárně netěsné, ale kombinace uhlíkové oceli a hliníku tvoří elektrochemický článek. Po určité době tak dojde k odkorodování hliníku a zpočátku těsný nýt samovolně vypadne.

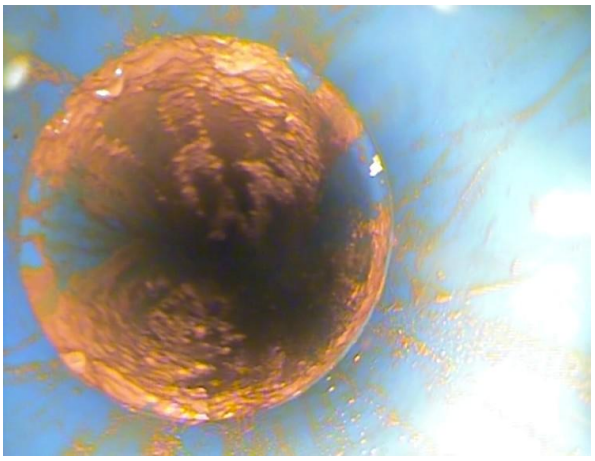


Foto 3: Vlivem oxohydroxidů železa viditelný malý přítok vody (rez) přes spoj zárubnic.

Photo 3: Due to iron oxohydroxides, a small trickle of water (rust) is visible seeping through the joint between the door frames.

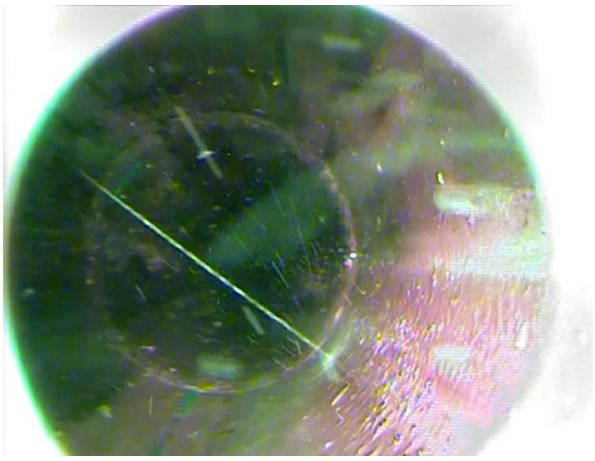
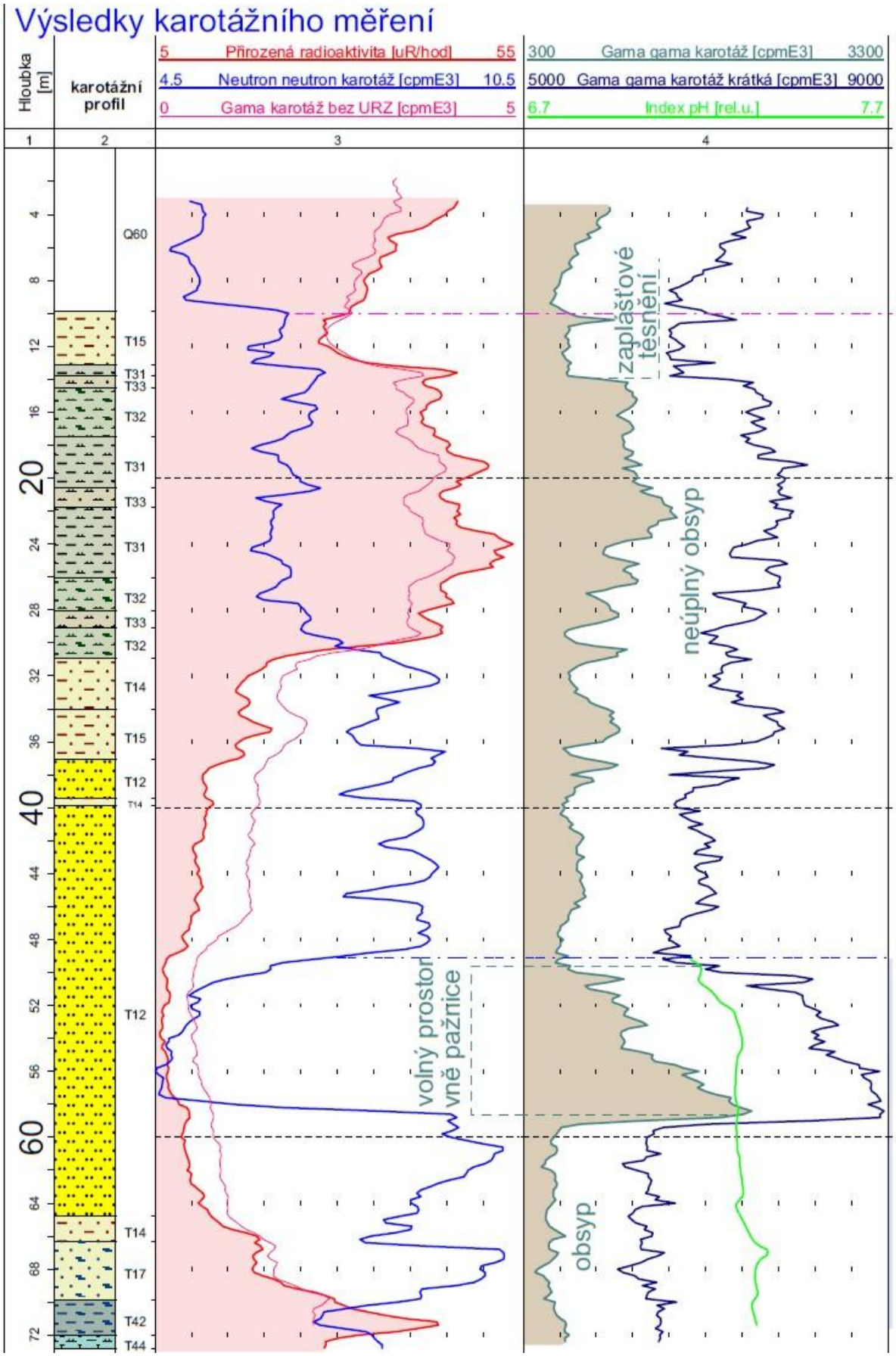


Foto 4: Proud vody přes odkorodovaný nýt. Původní vnější trvalý hydraulický zkrat z obr. 3

Photo 4: Water flowing through a corroded rivet. The original external permanent hydraulic short circuit shown in Fig. 3

Množství vody protékající vně zárubnice ale také není úměrné množství, co prosakuje spojem. Vně plné roury může protékat „vodopád“ zatím co vevnitř jen voda kape. Občas vrtaři argumentují, že zásyp vrtaným materiálem je náhrada za těsnění vrtu. Podle zkušeností není (obr. 5). I z prachovce nadrceného ponorným kladivem nevznikne po nasypání do vrtu opět původní hornina. Navíc jeho konzistence je taková, že se nalepí na stěny a vytvoří nedokonale těsný obsyp (vlastní praxe z jeskyní). Skrytý trvalý hydraulický zkrat je také zákeřný tím, že klasická metoda rezistivimetrie ho nedokáže odhalit. Podzemní voda z vyššího kolektoru se může postupně zasakovat do kolektoru nižšího, aniž by se to projevilo v oblasti hladiny podzemní vody v takto postiženém vrtu. Vlivem chemicko-bakteriálních pochodů aktivovaných proudící vodou se kolmatují cesty proudící vody a skrytý trvalý hydraulický zkrat se stává postupem doby více a více viditelný až spoji začne vytékat podzemní voda v plné vydatnosti vyššího kolektoru (foto 3 a 4). To se obvykle stává až po záruční době vrtané studny.



Obr. 5: Oblast neúplného obsypu = zához vrtnou drtí (převzato od SG Geotechnika Praha).
Fig. 5: Area of incomplete backfill = backfill with drill cuttings (courtesy of SG Geotechnika Praha).

Skrytý občasný hydraulický zkrat.
Nejobtížněji detekovatelné jsou hydraulické zkraty občasné (foto 5 a 6). Ty jsou podmíněny provrtáním plošně málo rozšířeného a málo významného drobného kolektoru plněného jen v období s významnou infiltrací (když dlouho prší nebo na jaře při tání sněhu). Na rozdíl od předchozího případu provrtáním tak drobného kolektoru nelze způsobit v okolí vrtu katastrofu podmíněnou ztrátou vody v okolních studnách. Po vyhloubení vrtu je zdánlivě vše v pořádku. Vrt je stabilní a ani v něm není slyšet tok vody. Prakticky ani geologický dozor nemůže nic podezřelého zpozorovat. Pro vrtaře je to jasný signál, že může vrt obsypat až k terénu, možná s jednou polohou bentonitu. Problém nastává právě v období zvýšené infiltrace, kdy nevhodně vystrojeným vrtem může proudit poměrně slušné množství vody řádově v 0,X l/s. Vrt se vlivem mísení vod s rozdílným chemickým složením kolmatuje a majiteli vrtu to způsobuje komplikace s jeho využíváním (foto 6).

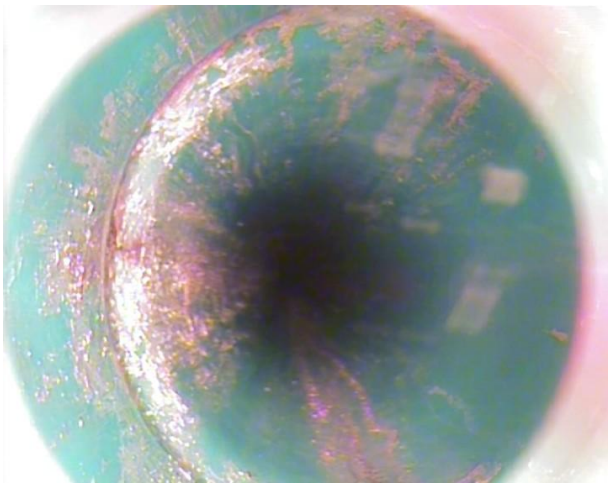


Foto 5: Karbonátem (bílé šmouhy) zviditelněný občasný příron vody do vrtu v 15 m. Foto nad hladinou vody.

Photo 5: Occasional water inflow into the well at a depth of 15 m, made visible by carbonate (white streaks). Photo taken above the water level.

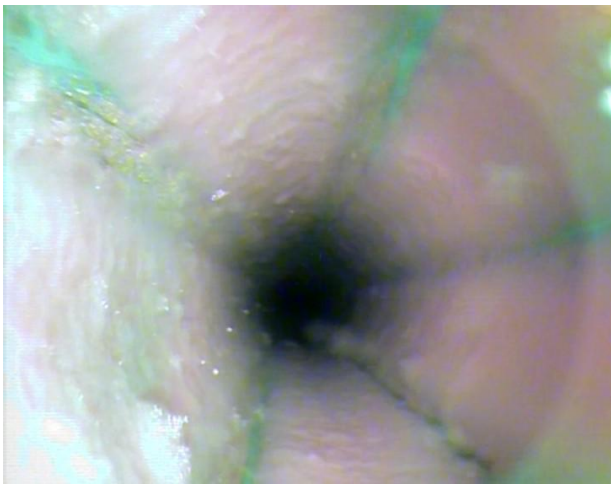
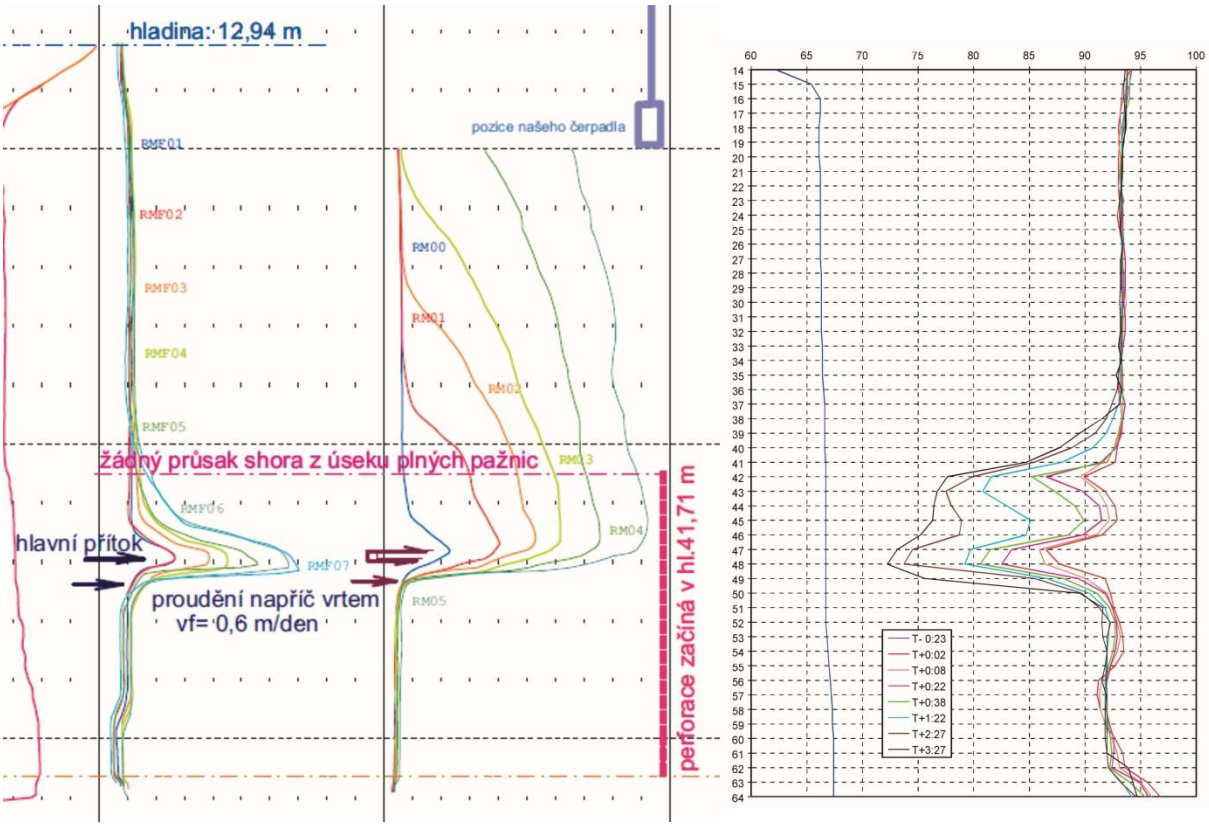


Foto 6: Společná kolmatace mikrobiálního původu a kalcitem (doloženo RTG difrakční analýzou) vlivem přítoku z foto 5. Foto pod hladinou vody.

Photo 6: Combined colmatation of microbial origin and calcite (confirmed by X-ray diffraction analysis) caused by the inflow shown in Photo 5. Photo taken below the water surface.

V rámci následujících prohlídek a měřením ve vrtu (karotáž) se nemusí nic podezřelého odhalit, pokud vrtem aktuálně neprotéká voda z vyššího kolektoru (obr. 6). V průběhu většiny roku lze ale na stěnách vrtu pozorovat jevy související s občasným přítokem vody. Bohužel tyto jevy nebývají pozorovatelné hned po vyhloubení vrtu, ale až po nějaké době související s rychlostí srážení minerálů nebo s nárůstem mikroorganismů (foto 3, 5 a 7). Pokud je vrtař prase a nechává výstroj ležet v bahně, pak mohou nečistoty na výstroji vzniklé před její zabudování vypadat jako inkrustace po toku vody vrtem.



Obr. 6: Porovnání rezistivimetrie v období s nízkou (vlevo) a zvýšenou infiltrací (vpravo) na vrtu v Potštejně. Ve vrtu občas šumí a je v něm rezavá voda. Vrt je v ochranném pásmu vodních zdrojů v místě se zemědělskou činností.

Fig. 6: Comparison of resistivity measurements during periods of low (left) and increased (right) infiltration at the Potštejn well. The well occasionally makes a gurgling sound and contains rusty water. The well is located within a water source protection zone in an area where agricultural activities take place.

Jak na detekci občasných hydraulických zkratů a jak se jim bránit.

Vrtané studny postižené trvalým hydraulickým zkratem, ať už je měřitelný uvnitř vrtu nebo skrytý za výstrojí, negativně ovlivňují hladiny podzemních vod v širokém okolí až do vzdálenosti cca 250 m (empirická zkušenost). Také životnost takových vrtů je omezená chemickými a biologickými jevy (viz foto 6 a 8). Obdobně tak fungují i vrty s občasným hydraulickým zkratem. Přítokem vod mělkého oběhu do oběhu hlubšího dochází k chemickým reakcím (minimálně srážení kalcitu a oxohydroxidů železa) a rychlého nárůstu mikroorganismů (foto 3, 5 a 7). Takto postiženým vrtům se výrazně snižuje vydatnost a trvale z nich teče kalná voda. Postižená vrtaná studna se tak musí často regenerovat (foto 6 a 8). A to úplně ignoruju pozici vrtaných studní v oblasti ochranných pásem zdrojů podzemních vod. Mělké a občasné kolektory bývají často kontaminovány antropogenní činností. Pracovníky vodárenských firem by mělo předně zajímat, zda v ochranných pásmech nebo i v hydrogeologickém povodí jejich vrtů se nenachází vrty se všemi typy hydraulických zkratů (viz obr. 6). Možná by to lépe vysvětlovalo některé neočekávané změny chemizmů čerpané vody než oblíbené svádění všeho na klimatické změny.

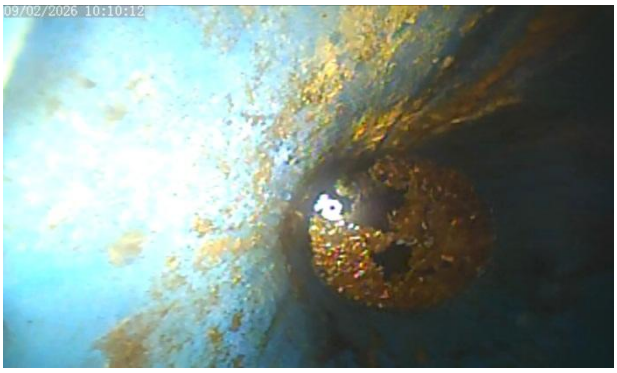


Foto 7: Mikrobiální nárůsty na stěně a na hladině ve vrtu vyhloubeného na podzim 2025. Foto únor 2026.

Photo 7: Microbial growth on the wall and on the surface of a borehole drilled in the fall of 2025. Photo taken in February 2026.

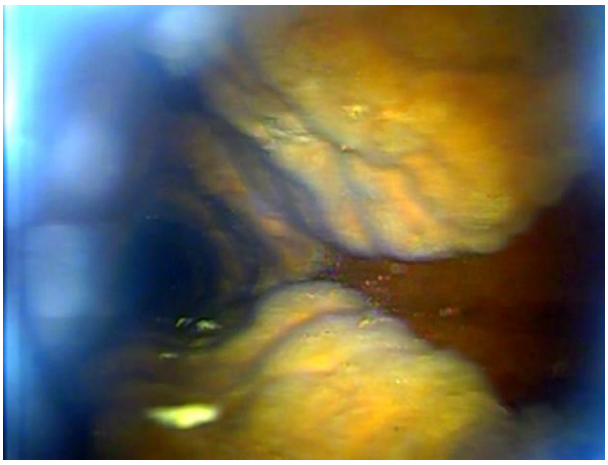


Foto 8: Nárůsty mikrobiálního původu ve vrtu postiženého trvalým hydraulickým zkratem.

Photo 8: Microbial growth in a well affected by a permanent hydraulic short circuit.

Jak se pozná, že je ve vrtané studni skrytý hydraulický zkrat? Jednoduše, poslechem. V kvalitně vybudovaném vrtu je ticho. Pokud je ve vrtu skrytý hydraulický zkrat tak v něm šumí nebo kape. Bohužel až po určité době po jeho vyhloubení. Další indikace je měření hladiny vody ve vrtu. Chemickou a biologickou kolmatací spodního kolektoru dochází k pozvolnému vzestupu hladiny vody ve vrtu. Nejmarkantnější indikace skrytých hydraulických zkratů obou druhů je proudění vody vrtem nad hladinou vody a nárůsty na jeho stěně (foto 3, 4, 5 a 7). Proto je velmi vhodné před převzetím vrtané studny na ní realizovat kamerovou prohlídku a tu zopakovat před ukončením záruční doby na vrt (vrtaná studna je stavba, takže 5 let).

No a na závěr jak se skrytým hydraulickým zkratům bránit? Naražení malého nebo občasně zvodnělého kolektoru se dá při postupu vrtných prací snadno přehlédnout, takže tudy cesta nevede. Několikadenní bádání nad čerstvě vyhloubeným vrtem zase neprojde u vrtařů. Jedna z možností je po vyhloubení vrtu změřit rezistivimetrií proudění vody vrtem. To se dá zvládnout do hodiny. Další metoda je prohlídka nevystrojeného vrtu kamerou. Přítoky z vyšších kolektorů bývají docela dobře patrné. Co je ale důležité, je vystrojení vrtu a jeho těsnění. Nic nelze zkazit, když se vrtem podchytí jeden kolektor (ostatně jak to vyžaduje naše legislativa) a zbylé kolektory se odtěsní a to až po terén. Klasické těsnění vrtu se dělá jílem nebo cementací. Vrtaři dost lamentují nad cenou pytlovaného bentonitu. Další a výhodnější možnost je na těsnění vrtu použít beton. Je to daleko levnější než hydraulickým zkratem postižený vrt následně opravovat. Opravy takto problematických vrtů je možné pouze převrtáním, a to znamená v cenové relaci jako vrt nový.

DATABÁZE OCHRANNÝCH PÁSEM VODNÍCH ZDROJŮ

DATABASE OF WATER RESOURCES PROTECTION ZONES

Hana Nováková[1]

[1]*VÚV TGM, v.v.i., Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6, e-mail: hana.novakova@vuv.cz*

Abstrakt: Databáze ochranných pásem vodních zdrojů vznikla ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka, v. v. i., přibližně v roce 2003. V následujících letech byla několikrát revidována. V současnosti je databáze v rámci projektu podpory výkonu státní správy aktualizována jednou ročně, a to především na základě dokumentů z Centrálního registru vodoprávní evidence. Databáze obsahuje pouze ochranná pásma, jejichž platnost a správnost zákresu byly ověřeny příslušným vodoprávním úřadem krajského úřadu nebo obce s rozšířenou působností. Ke každému polygonu ochranného pásma je připojen dokument vodoprávního rozhodnutí (opatření obecné povahy) v digitální podobě. Vlastníkem dat je Ministerstvo životního prostředí. Data jsou ukládána ve formě prostorové geodatabáze na platformě ESRI ArcGIS. Databáze není oficiálním zdrojem informací o existenci ani platnosti ochranných pásem vodních zdrojů a nepředstavuje evidenci ochranných pásem vodních zdrojů podle vodního zákona.

Abstract: The database of water source protection zones was created at the T. G. Masaryk Water Research Institute, v. v. i., around 2003. It was revised several times in the following years. Currently, as part of a project to support the functioning of state administration, the database is updated once a year, primarily based on documents from the Central Register of Water Law Records. The database contains only protection zones whose validity and accuracy of delineation have been verified by the relevant water authority of the regional office or municipality with extended powers. A digital copy of the water management decision (general measure) is attached to each protection zone polygon. The Ministry of the Environment is the owner of the data. The data is stored as a spatial geodatabase on the ESRI ArcGIS platform. The database is not an official source of information regarding the existence or validity of water source protection zones and does not constitute a register of water source protection zones under the Water Act.

Klíčová slova: ochranné pásmo vodního zdroje, databáze, evidence, geografický informační systém, vodní zákon.

Key words: water source protection zone, database, records, geographic information system, Water Act.

1. Úvod

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i. (VÚV TGM), spravuje v rámci projektu podpory výkonu státní správy pro Ministerstvo životního prostředí ČR (MŽP) databázi ochranných pásem vodních zdrojů (OPVZ). Při komunikaci s vodoprávními úřady i dalšími subjekty zabývajícími se problematikou OPVZ se stále častěji objevují dotazy týkající se správného postupu při evidenci ochranných pásem vodních zdrojů a také, kde lze o OPVZ získat relevantní informace. Postup vychází z platné legislativy, zejména ze zákona č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon).
Cílem článku je stručně představit databázi OPVZ, shrnout její vývoj a současný stav a popsat způsob její publikace. Text dále upozorňuje na některé nedostatky současného systému evidence ochranných pásem vodních zdrojů v České republice a informuje, jak správně při evidenci postupovat.

2. Databáze

Databáze ochranných pásem vodních zdrojů je geoprostorová databáze vedená na platformě geografického informačního systému ArcGIS Desktop společnosti ESRI. Skládá se ze dvou tříd prvků: ochranných pásem vodních zdrojů (OPVZ) a ochranných pásem vodárenských nádrží (OPVN). Data jsou rovněž ukládána ve formátu Shapefile a ve webových mapových službách.
K polygonovým zákresům hranic ochranných pásem jsou připojeny atributové informace, jako jsou: číslo jednací a datum dokumentu o stanovení ochranného pásma, stupeň ochranného pásma, základní místopisné informace, typ a označení zdroje, poznámky a několik pracovních atributů. Jedním z atributů je také hypertextový odkaz na dokument ve formátu PDF, kterým je ochranné pásmo stanoveno.
Třída prvků OPVN obsahuje ochranná pásma vodárenských nádrží vyjmenovaných ve vyhlášce č. 137/1999 Sb. Jelikož jsou ochranná pásma vodárenských nádrží zpravidla plošně rozsáhlejší než ochranná pásma běžných podzemních zdrojů a je u nich účelné evidovat odlišné atributy, jsou vedena v samostatné třídě prvků.

Databáze publikovaná na veřejných portálech státní správy (viz dále) obsahuje pouze ochranná pásma, jejichž platnost a správnost zákresu byly ověřeny příslušným vodoprávním úřadem (krajským úřadem, dále jen KÚ, nebo obcí s rozšířenou působností, dále jen ORP). Ke každému polygonu je připojen dokument příslušného vodoprávního rozhodnutí (opatření obecné povahy) v digitální podobě. Pracovní verze databáze obsahuje i pásma neplatná, neověřená nebo bez dohledaného dokumentu.

2.1 Historie

Prostorová data ochranných pásem vodních zdrojů, která jsou součástí Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD; Fojtík et al., 2022), vznikla přibližně v roce 2003, primárně digitalizací papírových vodohospodářských map v měřítku 1 : 50 000. Databáze byla zčásti naplněna dokumenty získanými ze zrušených okresních úřadů. Od svého vzniku byla několikrát revidována. Vzhledem k nedostatku finančních prostředků se však vždy jednalo pouze o jednorázové několikaměsíční akce, při nichž byly zohledňovány především reklamace konkrétních ochranných pásem. V roce 2013 zadal Odbor ochrany vod MŽP aktualizaci dat ochranných pásem externí společnosti. V roce 2014 databáze obsahovala necelých **12 000** polygonů.
V roce 2015 získalo oddělení GIS a kartografie VÚV TGM od MŽP tříletou zakázku na komplexní aktualizaci databáze OPVZ. Cílem projektu s názvem Aktualizace OPVZ v ČR bylo vytvořit databázi platných ochranných pásem vodních zdrojů s připojenými dokumenty vodoprávních rozhodnutí (opatření obecné povahy). Byla navázána spolupráce se všemi krajskými úřady v České republice. Protože se způsob evidence ochranných pásem v jednotlivých krajích výrazně lišil, bylo nutné získání a implementaci ověřených dat řešit individuálně. V mnoha případech bylo nezbytné oslovit také vodoprávní úřady (VPÚ) ORP. Na aktualizaci databáze OPVZ spolupracovaly rovněž Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, Český úřad zeměměřický a katastrální a státní podniky Povodí.
Projekt byl ukončen dne 30. 11. 2017. Databáze k tomuto datu obsahovala celkem **17 466** polygonů OPVZ, z toho **14 549** ověřených a platných s připojeným dokumentem, a **1 466** polygonů OPVN, z nichž **1 457** bylo ověřených a platných. Výsledná databáze byla publikována na Národním geoportálu INSPIRE a na portálech VÚV HEIS a DIBAVOD. Podrobnější informace o průběhu řešení projektu jsou uvedeny v článku Nováková et al. (2019).

2.2 Současnost

Od roku 2018 do roku 2025 pokračovaly práce na aktualizaci databáze v omezeném rozsahu. V rámci každoročních aktualizací je hlavním cílem doplnit databázi o nově vyhlášená, změněná nebo zrušená ochranná pásma podle záznamů v Centrálním registru vodoprávní evidence (CRVE). Současně jsou prověřovány podněty získané od VPÚ ORP, provozovatelů vodních zdrojů i dalších subjektů. V roce 2020 byly do databáze doplněny atributy kódu a názvu ORP. Editace databáze jsou každoročně ukončovány v listopadu a data jsou následně publikována na níže uvedených portálech, zpravidla v prosinci daného roku.
V listopadu 2025 databáze obsahovala celkem **17 985** prvků OPVZ a **1 484** prvků OPVN. Podrobné rozdělení ochranných pásem do skupin podle jejich ověření, platnosti a existence připojeného vodoprávního rozhodnutí v digitální podobě je uvedeno v tab. 1 a 2**. Do exportu databáze pro MŽP, určeného pro veřejnou publikaci, jsou zařazeny pouze polygony uvedené v prvním řádku tabulek**.

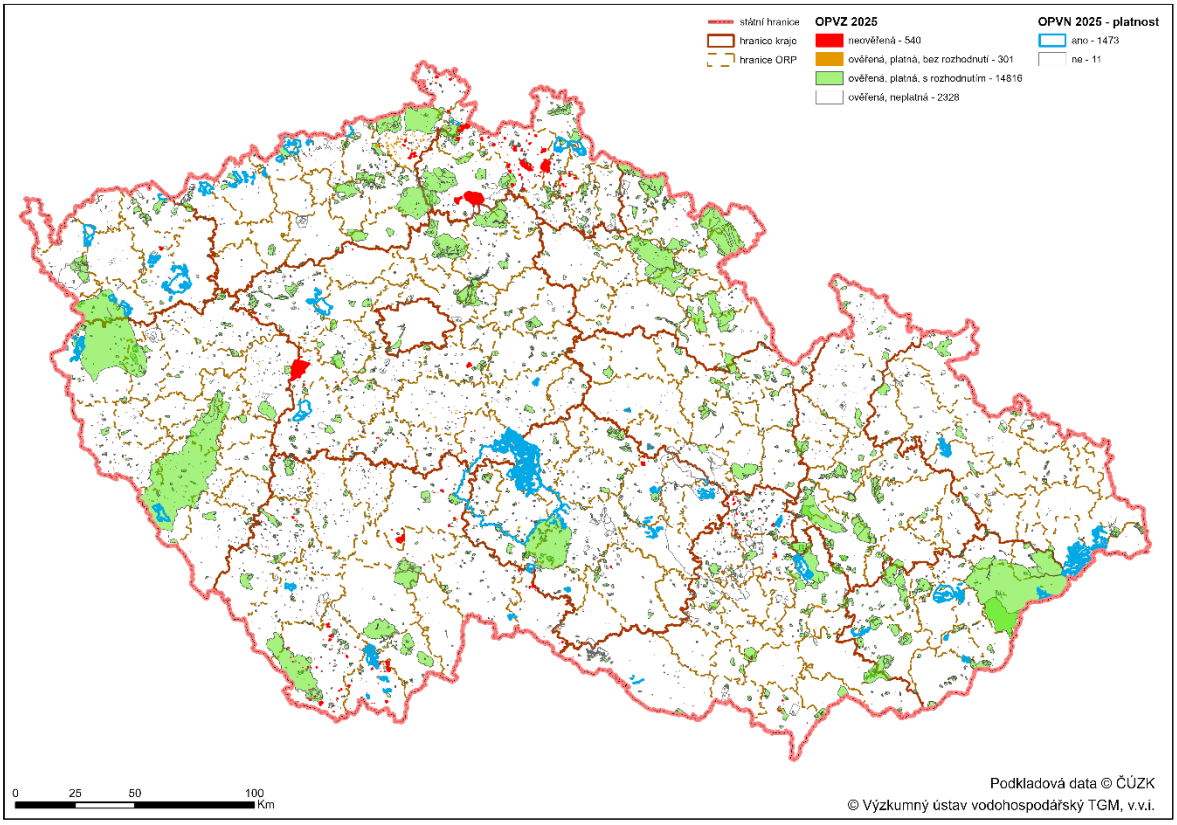
Tab. 1 Počet polygonů OPVZ v kategoriích
Tab. 1 Number of OPVZ polygons in categories

Ověřeno	Platné	Rozhodnutí	Počet
ano	ano	ano	14 816
ano	ano	ne	301
ano	ne	x	2 328
ne	x	x	540

Tab. 2 Počet polygonů OPVN v kategoriích
Tab. 2 Number of OPVN polygons in categories

Ověřeno	Platné	Rozhodnutí	Počet
ano	ano	ano	1 473
ano	ne	x	11

Na obr. 1 jsou zobrazena všechna pásma v konečné verzi databáze (před závěrečným exportem). Červenou barvou jsou zakreslena neověřená pásma, oranžovou pásma ověřená, platná, ale bez příslušného dokumentu rozhodnutí o stanovení OPVZ. Zelenou pásma platná a světle šedivou pásma neplatná. Světle modrá jsou pásma OPVN.



Obr. 1 Přehled OPVZ a OPVN v ČR.
Fig. 1 Overview of OPVZ and OPVN in the Czech Republic.

V roce 2026 došlo k výraznému omezení financování ze strany MŽP. V databázi budou s vysokou pravděpodobností i nadále aktualizována všechna OPVZ podle nových dokumentů z CRVE, avšak další podněty již nemusí být zpracovány. Také výhled pokračování pravidelné aktualizace databáze je v současné době velmi nejistý.

2.3 Publikace databáze

VÚV TGM zajišťuje pro MŽP v rámci projektu podpory výkonu státní správy různé evidence v oblasti vodního hospodářství a ochrany vod a předává údaje z těchto evidencí do informačních systémů veřejné správy. Mezi tyto evidence patří i databáze OPVZ, kterou publikuje na několika portálech.

1) V rámci evidence ISVS-VODA jsou data přístupná prostřednictvím portálu VÚV HEIS na adrese:
   https://heis.vuv.cz/isvs
   Na serveru HEIS jsou data poskytována k prohlížení (odkaz „Souhrnná mapa evidencí ISVS-VODA v gesci MŽP spravovaných VÚV TGM, v.v.i.“) a dále ke stažení ve formátu shapefile a k využití prostřednictvím WMS a WFS služeb na adrese:
   https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/isvs/opvz/HTML_ISVS$opvz$stazeni.asp?doc=full
2) Pro informování veřejnosti o datech z oboru vodního hospodářství slouží aktualizovaný portál ISVS-VODA:
   https://voda.gov.cz/
   Pro prohlížení dat OPVZ je zde vytvořena prohlížečka na adrese:
   https://voda.gov.cz/?page=ochranna-pasma-mapa
   Informace o datech OPVZ včetně odkazu na jejich stažení (který uživatele přesměruje na výše uvedené stránky HEIS) je na adrese:
   https://voda.gov.cz/?page=ochranna-pasma
3) Na serveru DIBAVOD zůstává funkční mírně upravená jednoduchá prohlížečka ochranných pásem oddělení GIS a kartografie VÚV TGM na adrese:
   http://www.dibavod.cz/ochranna-pasma
   Zde je možné zobrazit si i neplatná pásma, neověřená pásma a pásma bez připojeného dokumentu vodoprávního rozhodnutí. Vrstvy se zapínají samostatně v seznamu vrstev na zeleném proužku nahoře

zcela vpravo. Na stránce s informacemi o projektu jsou rovněž uvedeny odkazy na stažení dat (Shapefile) z portálů VÚV HEIS a DIBAVOD:
http://www.dibavod.cz/aktualizace-ochrannych-pasem

4) Podle zákona č. 123/1998 Sb. o právu na informace o životním prostředí je výsledná databáze OPVZ publikována na Národním geoportálu INSPIRE. Prohlížečka dat je na adrese:
https://geoportal.gov.cz/web/guest/map
Cesta k zobrazení vrstev OPVZ a OPVN vede přes „Mapové kompozice“ vpravo dole, „Životní prostředí“, „VÚV ochranná pásma vodních zdrojů“. K vrstvám jsou připojena metadata s informacemi o datech.
Na všech výše uvedených místech jsou vystavena zcela shodná data (z jednoho zdroje).
5) Databázi OPVZ MŽP poskytuje Ministerstvu zemědělství, které ji používá jako podklad do veřejného registru půdy LPIS:
http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny2/plpis/

3. Evidence

Legislativa České republiky rozlišuje tři typy evidencí souvisejících s agendou OPVZ. Jedná se o vodoprávní evidenci, evidenci v katastru nemovitostí a evidenci ochranných pásem vodních zdrojů. Všechny tři typy evidencí jsou definovány vodním zákonem.
Vodoprávní evidence podle § 19 vodního zákona je evidencí správních rozhodnutí a jiných správních aktů (opatření obecné povahy). Prováděcím předpisem je vyhláška č. 414/2013 Sb., o vodoprávní evidenci, která stanoví rozsah a způsob vedení evidence správních aktů vydávaných podle vodního zákona. Příslušné údaje předává subjekt, který správní rozhodnutí vydal (příslušný vodoprávní úřad), do informačního systému veřejné správy, konkrétně do Centrálního registru vodoprávní evidence, který spravuje Ministerstvo zemědělství (MZe).
Tato evidence v praxi funguje poměrně dobře. Pouze u některých vodoprávních úřadů dochází, často v důsledku pracovního vytížení nebo méně uživatelsky přívětivého prostředí registru CRVE, ke zpoždění při vkládání údajů, případně k nenahrání příslušných dokumentů. Vodní zákon stanoví povinnost ukládat údaje nejpozději do 15. dne následujícího čtvrtletí, tento termín však není vždy dodržován.
Podle § 20 vodního zákona se ochranná pásma vodních zdrojů vyznačují v katastru nemovitostí údaji o způsobu ochrany nemovitostí. Vodoprávní úřad je povinen zaslat příslušnému katastrálnímu úřadu údaje potřebné pro zápis do 30 dnů od nabytí právní moci příslušného dokumentu. Tuto povinnost vodoprávní úřady ve většině případů plní. Problémem však je, že zákres hranic ochranného pásma v katastrální mapě není nijak propojen s dokumentem vedeným ve vodoprávní evidenci. Především však neexistuje prostředí, ve kterém by bylo možné ochranná pásma evidovaná v katastru nemovitostí přehledně zobrazit. Ve veřejném přístupu do katastru nemovitostí, jehož rozsah se postupně omezuje, lze při dotazu na konkrétní pozemek získat informaci o existenci ochranného pásma, nikoliv však zobrazit jeho celkový rozsah.
Třetím typem je evidence ochranných pásem vodních zdrojů uvedená v § 21 vodního zákona a částečně definovaná v § 20 vyhlášky č. 252/2013 Sb., o rozsahu údajů v evidencích stavu povrchových a podzemních vod a o způsobu zpracování, ukládání a předávání těchto údajů do informačních systémů veřejné správy. Tato vyhláška stanoví, že „ochranná pásma vodních zdrojů se evidují v rozsahu údajů o polohovém určení ochranného pásma polygonem a údajů stanovených ve vyhlášce o vodoprávní evidenci“ a že „údaje podle odstavce 1 zpracovává a do informačního systému veřejné správy ukládá pověřený odborný subjekt“.
Jedná se tedy o evidenci existujících ochranných pásem jako geografických objektů. Problém spočívá v tom, že žádný právní předpis neurčuje, který subjekt je tímto „pověřeným odborným subjektem“. Ani vodní zákon, ani vyhláška č. 252/2013 Sb. toto pověření nekonkretizují. V praxi tak tato evidence neexistuje. Nejenže není určena konkrétní instituce odpovědná za vedení prostorové evidence ochranných pásem, ale zároveň není stanoven ani legislativně ukotvený postup, který by zajistil promítnutí informací ze správního aktu do zákresu v katastru nemovitostí, případně propojení obou typů informací v samostatném informačním prostředí (např. geoportálu orgánu státní správy).

4. Praxe

V praxi tedy neexistuje propojení dokumentů vydaných vodoprávními úřady s prostorovou informací o lokalizaci ochranného pásma (jeho zákresem v mapě). Neexistuje proto ani žádná oficiální databáze, která by poskytovala komplexní informace o existenci nebo platnosti ochranných pásem vodních zdrojů.
Výše popsaná databáze spravovaná VÚV TGM má ambici tuto chybějící evidenci co nejlépe nahradit. Z principu ji však nelze považovat za legislativně zakotvený zdroj informací o tom, zda má konkrétní vodní zdroj stanoveno ochranné pásmo. Přesněji řečeno, ochranná pásma publikovaná ve veřejných exportech databáze (tj. ověřená, platná a s připojeným dokumentem rozhodnutí) lze považovat za spolehlivá. Naopak absence ochranného pásma

v databázi sama o sobě neznamená, že nebylo stanoveno. Znamená pouze, že se správce databáze o jeho existenci během revizních a aktualizačních prací nedozvěděl.
Důvodů je několik. Především není snadné dohledat informace o ochranných pásmech stanovených před více než čtyřiceti lety, tedy v době před nástupem digitálních technologií a za účinnosti předchozích vodních zákonů. Řada dokumentů se v průběhu let ztratila, například při převodu agendy z okresních úřadů na obce s rozšířenou působností. Dalším problémem je rozdílná úroveň spolupráce jednotlivých vodoprávních úřadů. Některé úřady na žádosti nereagují, jiné na komunikaci nemají dostatečné personální kapacity. Také plnění Centrálního registru vodoprávní evidence nově vydanými dokumenty není zcela bezchybné. Některé dokumenty jsou do registru vloženy se zpožděním, jiné nejsou vloženy vůbec. V některých případech jsou navíc zařazeny do nesprávné kategorie rozhodnutí (správně kategorie 710-730 určené pro ochranná pásma vodních zdrojů). Takové dokumenty pak nejsou při pravidelném exportu dat z CRVE vyfiltrovány a nemohou být při aktualizaci databáze zohledněny.
Je rovněž třeba zdůraznit, že hranice ochranných pásem v databázi jsou pouze orientační. Polygony byly vytvářeny podle dostupných podkladů. U nejstarších ochranných pásem vycházely z vodohospodářských map v měřítku 1 : 50 000, později z mapových příloh rozhodnutí o stanovení ochranného pásma. Tyto mapové přílohy však často nebyly společně s rozhodnutími archivovány, případně jsou v nevhodném měřítku nebo odkazují na hranice pozemků, které již v současnosti neexistují. Odpovídající přesnosti lze dosáhnout pouze u ochranných pásem stanovených v posledních letech, kdy je k dispozici digitální katastrální mapa. Podle výkladu MŽP je navíc závazný výhradně text vodoprávního rozhodnutí, nikoliv jeho mapová příloha ani zákres ochranného pásma v databázi.
Aby databáze mohla i nadále sloužit pracovníkům vodoprávních úřadů i další odborné veřejnosti, je nezbytné zajistit její pravidelnou aktualizaci. Ta závisí především na dostupnosti finančních prostředků a současně na součinnosti vodoprávních úřadů a provozovatelů vodních zdrojů.
Pokud vodoprávní úřad vydá opatření obecné povahy, kterým stanoví, změní nebo zruší ochranné pásmo vodního zdroje, je nezbytné vložit příslušný dokument ve lhůtě stanovené vodním zákonem do Centrálního registru vodoprávní evidence. Bez zaevidování opatření obecné povahy v CRVE nelze příslušné ochranné pásmo do databáze doplnit ani aktualizovat. Současně je podle vodního zákona nutné předat příslušnému katastrálnímu úřadu podklady pro zakreslení ochranného pásma do katastrální mapy. Tím se usnadní i jeho převzetí do spravované databáze OPVZ. Dokumenty není nutné zasílat přímo VÚV TGM (případně jiné organizaci zajišťující správu databáze), postačuje jejich řádné vložení do CRVE. Vhodné je rovněž přiložit mapovou přílohu, která usnadní správný zákres ochranného pásma. Dokumenty jsou následně u jednotlivých ochranných pásem dostupné k prohlížení i stažení prostřednictvím veřejných publikací databáze.
Nadále existuje také možnost oprav nepřesností a doplnění chybějících údajů u starších ochranných pásem. Pokud například provozovatel vodního zdroje zjistí, že je ochranné pásmo v databázi zakresleno nepřesně, a má k dispozici podklady umožňující jeho opravu (např. mapovou přílohu, digitální zákres ve formátu Shapefile nebo CAD), nebo pokud se vodoprávnímu úřadu podaří dohledat dříve nedostupné dokumenty ke starším platným ochranným pásmům, doporučuje se tyto podklady předat garantovi projektu aktualizace OPVZ na Ministerstvu životního prostředí, oddělení ochrany vod. V roce 2026 tuto roli vykonává Mgr. Lea Petrová.
Skutečnost, že ochranná pásma nejsou ve veřejných publikacích databáze OPVZ zobrazena správně nebo nejsou zobrazena vůbec, sama o sobě nepředstavuje porušení právních předpisů. Databázi však každoročně přebírá Ministerstvo zemědělství, které ji využívá při aktualizaci veřejného registru půdy LPIS. Na základě těchto údajů jsou mimo jiné kontrolována pravidla hospodaření v ochranných pásmech vodních zdrojů a mohou být ukládány sankce za jejich porušení. Správnost zákresu ochranných pásem má proto přímý dopad nejen na kvalitu evidence, ale i na ochranu vodních zdrojů v praxi.

5. Závěr

Databáze ochranných pásem vodních zdrojů spravovaná VÚV TGM představuje v současné době nejucelenější soubor prostorových informací o ochranných pásmech vodních zdrojů v České republice. Přestože se nejedná o legislativně stanovenou evidenci podle vodního zákona, v praxi slouží jako hlavní zdroj informací pro pracovníky státní správy i další odbornou veřejnost. Její význam spočívá především v tom, že propojuje prostorová data s vodoprávními rozhodnutími a zpřístupňuje je prostřednictvím veřejných mapových aplikací.
Zkušenosti z aktualizace databáze zároveň ukazují, že současný systém evidence ochranných pásem není zcela dořešen. Chybí jednoznačně stanovený subjekt odpovědný za vedení prostorové evidence a také jasně nastavený postup, jak převést nově vydaná vodoprávní rozhodnutí do jednotné mapové databáze. Kvalita a úplnost databáze je proto závislá především na spolupráci vodoprávních úřadů, na řádném plnění vodoprávní evidence a také na možnostech pravidelné aktualizace databáze.
Aby databáze mohla i nadále plnit svoji funkci, je potřeba zajistit nejen financování její průběžné aktualizace, ale také pokračující spolupráci všech institucí, které se na evidenci ochranných pásem podílejí. Do budoucna by bylo vhodné legislativně vyjasnit vedení prostorové evidence ochranných pásem vodních zdrojů tak, aby existoval jednoznačný a dlouhodobě udržitelný systém poskytování těchto informací.

Poděkování: Děkuji nástroji ChatGPT (OpenAI), že mi pomohl zorientovat se v legislativních předpisech týkajících se evidence OPVZ. Rovněž mi pomohl s jazykovou a stylistickou úpravou textu.

Seznam literatury

Fojtík T. et al, 2022: *GIS a kartografie ve VÚV TGM*. – Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, roč. 64, č. 1, str. 47–52. ISSN 0322-8916. Praha.
Nováková H. et al, 2019: *Databáze ochranných pásem vodních zdrojů v České republice*. – Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, roč. 61, č. 2, str. 12–19. ISSN 0322-8916.

LIKVIDACE ARTÉSKÉHO VRTU Z ROKU 1902

DECOMMISSIONING OF THE ARTESIAN WELL DATED 1902

Jan Patka[1], Milan Gröger[2], Martin Verfel[3]

[1] Photon Water Technology s. r. o., Generála Svobody 25/108, 460 01 Liberec, email: jan.patka@photonwater.com
[2] Ekodrill, s.r.o. Sokolská 418, 760 01 Zlín, email: groger@ekodrill.cz
[3] Pražské vodovody a kanalizace, a.s., Hlavní 22, 250 75 Káraný, email: martin.verfel@pvk.cz

Abstrakt: Nekontrolované přetoky na artéských vrtech představuje v podmínkách České republiky významný hydrogeologický i bezpečnostní problém. Mnohé vrty, vybudované převážně v první polovině 20. století bez současných technických standardů, dnes vykazují degradaci pažnic, narušení výstrojí a ztrátu těsnosti, což vede k trvalým, periodickým nebo havarijním přetokům artéské vody na povrch. Tyto přetoky mohou způsobovat lokální zaplavování, destabilizaci podloží, ovlivnění hydrochemických poměrů a v některých případech i rizika kontaminace povrchových vod.

Klíčová slova: havárie, vrt, artéský, cenoman, sanace, Káraný

Abstract: Uncontrolled overflows from artesian wells represent a significant hydrogeological and safety problem in the Czech Republic. Many wells, constructed mainly in the first half of the 20th century without meeting current technical standards, now show signs of casing degradation, damage to the wellhead equipment and loss of seal integrity, leading to continuous, periodic or emergency overflows of artesian water to the surface. These overflows may cause localised flooding, destabilise the subsoil, affect hydrochemical conditions and, in some cases, pose a risk of surface water contamination.

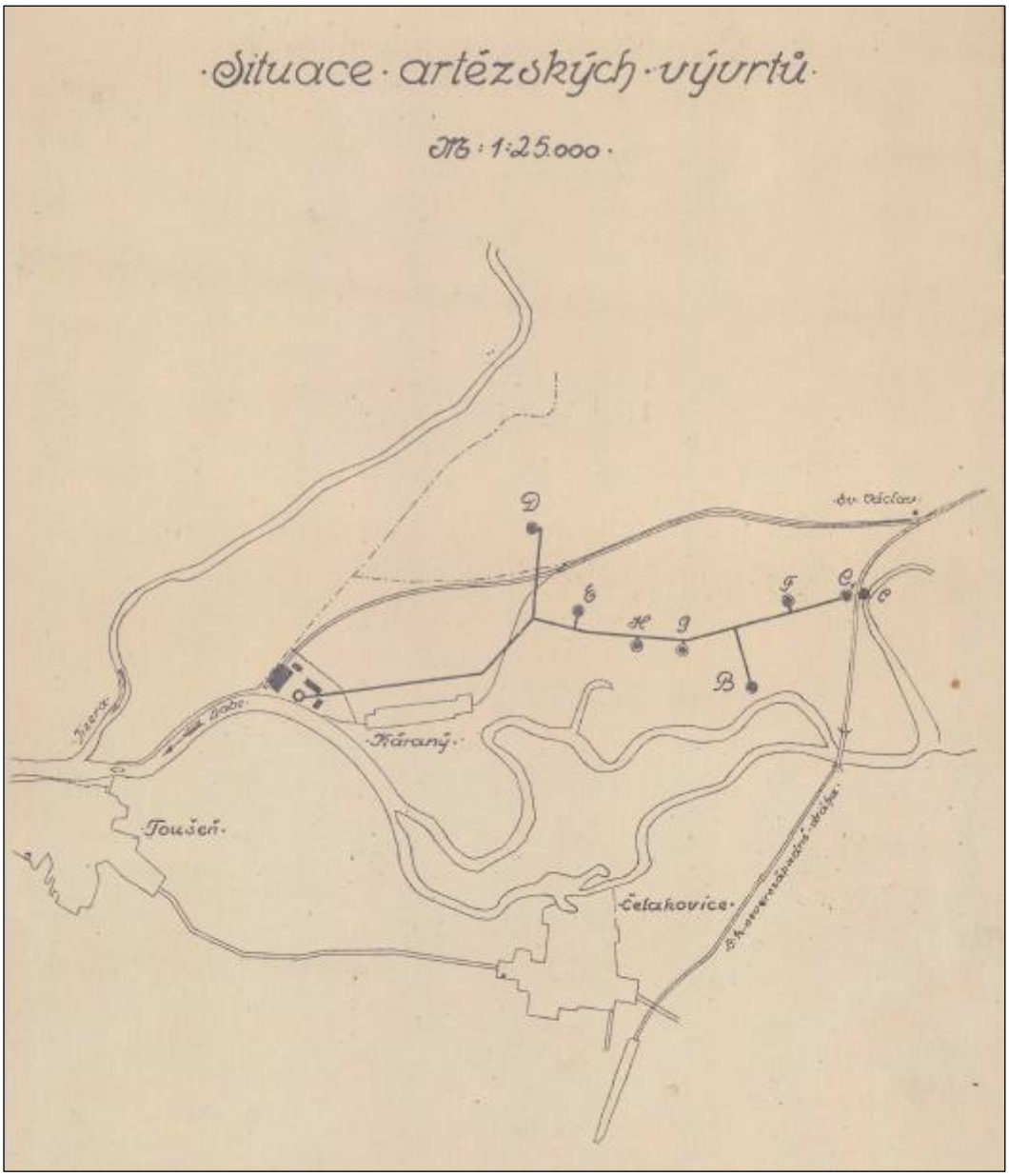
Keywords: accident, well, artesian, Cenomanian, remediation, Káraný

1. Historie vrtných prací v Káraném

Přetoky z nezajištěných artéských vrtů jsou na území ČR celkem častý jev a se týkají i vodárenských území, o kterých mají provozovatelé a dozorující hydrogeologové přehled a dostatek informací. Přesto se může stát, že vrty, které byly v minulosti odborně zrušeny a zacementovány, stále představují riziko. To je i případ artéského vrtu E ve vodárenském území Káraný, k jehož havárii došlo v roce 2024.

Vodárna v Káraném patří mezi nejvýznamnější zdroje pitné vody pro Prahu a okolí. Její vznik souvisel s narůstajícím nedostatkem kvalitní pitné vody v Praze na přelomu 19. a 20. století. V roce 1899 byl schválen zákon o vzniku společného vodovodu pro Prahu a přilehlá města, což otevřelo cestu pro výstavbu nové moderní vodárny. Z předložených návrhů byl vybrán projekt hydrogeologa Adolfa Thiema z Lipska, který navrhl využití podzemních zdrojů v dolním Pojizeří, zejména přirozené infiltrace vody z Jizery do štěrkopískových náplavů. První část vodárny v Káraném byla vybudována v letech 1906–1913. Od 15. října 1912 bylo zahájeno nepřetržité čerpání do Prahy a oficiální zahájení provozu proběhlo 1. ledna 1914. Čerpání bylo zajišťováno z několika stovek studní a dodávka vody činila cca 880 l/s.

Voda byla jímána jednak indukci z řeky Jizery systémem sběrných studní umístěných v kvartérních štěrkopíscích údolní nivy. Během 20. století bylo jímání kvartérní vody doplněno sofistikovaným systémem umělé infiltrace, který využívá vysoké propustností výše umístěných říčních teras. Terasy jsou syceny přečištěnou povrchovou vodou z Jizery, která je následně jímána jako podzemní. Druhým způsobem jímání podzemní vody v Káraném bylo podtlakové čerpání z artéských vrtů, které zachycují vodu z bazálního křídového kolektoru A. Již projektem A. Thiema bylo navrženo vybudování sedmi vrtů do hloubek 60 až 80 m tzv. artéské větve. Tyto vrty byly označeny jako D, E, H, G, B, F a C. První průzkumné práce v hlubším kolektoru provedl v širším okolí rovněž A. Thiem na konci 19. století (1898-1902). V letech 1902 až 1914 bylo pak v jímacím území vybudováno všech 7 plánovaných artéských vrtů. Pravděpodobně prvních vrtem, který zde byl vyvrtán, byl právě vrt E.



Obr. 1: Umístění artéských vrtů v mapě z počátku 20. století

2. Geologie, hydrogeologie a charakteristika vrtů

Z geologického hlediska spadá zájmové území do v jižní části České křídové pánve. Stratigraficky je v této části pánve podloží křídových sedimentů tvořeno jílovitými břidlicemi ordovického stáří. Nadložní sled křídových sedimentů je zastoupen pískovci perucko-korycanského souvrství stáří cenoman a slínovci bělohorského souvrství stáří spodní turon. Svrchní část geologického profilu tvoří kvartérní pokryvy, především terasové sedimenty řeky Labe – štěrkopísky a písky.

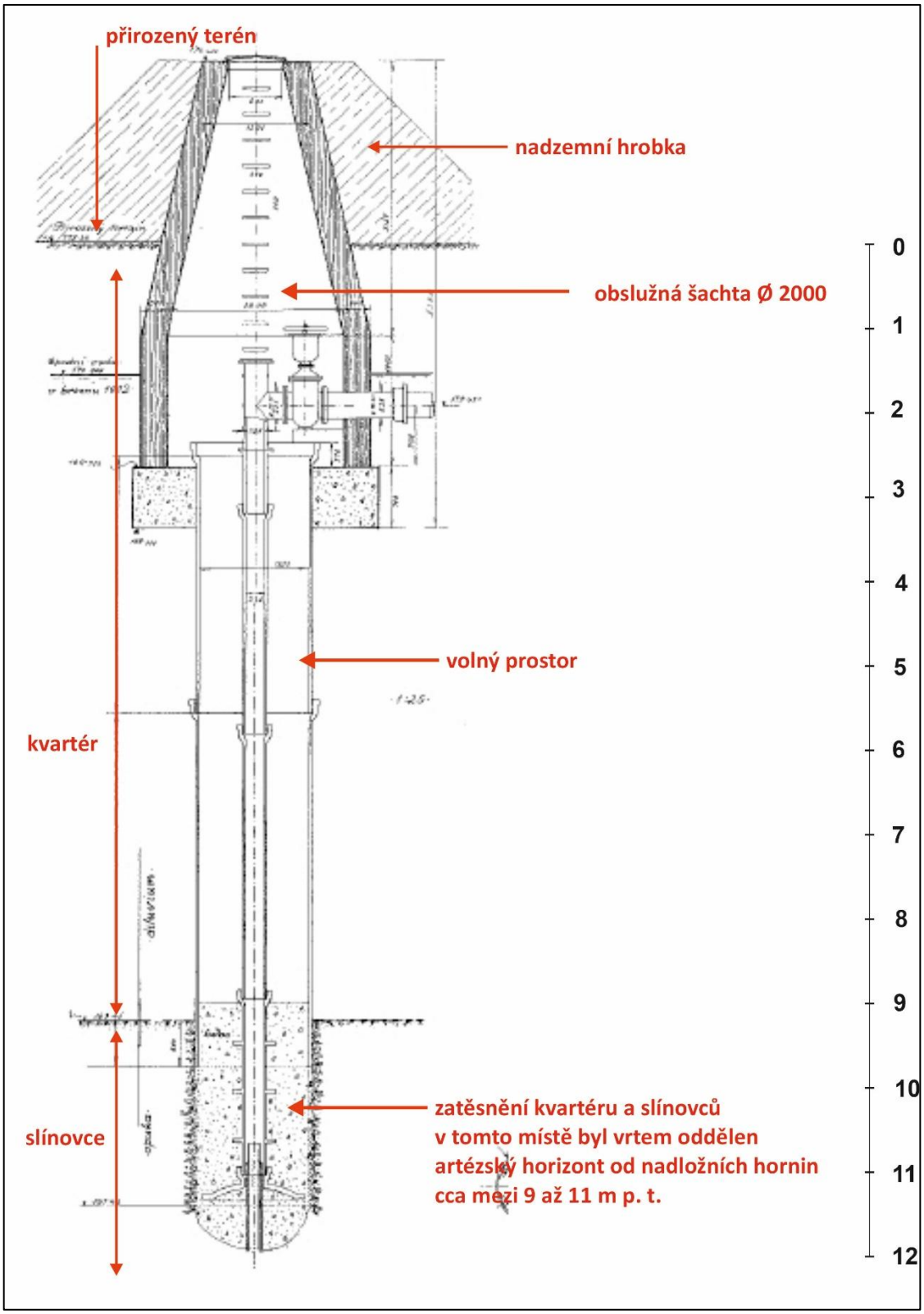
Z hlediska hydrogeologického je artéský kolektor vázán na cenomanské sedimenty (pískovce a pelity peruckých vrstev a na pískovce korycanských vrstev) a je označovan jako kolektor A. Regionálně je řazen do HGR 4710 - Bazální křídový kolektor na Jizeře. Jeho mocnost kolísá v rozmezí 40–60 m, v blízkosti Labe jeho mocnost klesá na 15 až 25 m. Kolektor A má v této části HGR charakteristickou puklino průlinovou propustnost se střední hodnotou transmisivity 3,8.10-4 m^2/s. Artéský strop kolektoru tvoří několik metrů mocné vápnité prachovce, které jsou ještě součástí korycanských vrstev. V jejich nadloží vystupují slínovce a slínité prachovce bělohorského souvrství, které mají v zájmovém území maximální mocnost 40 m. Toto souvrství má funkci významného regionálního izolátoru. Z historických a také ze současných

průzkumů je však známo, že při hloubení vrtů dochází k vzestupu hladin již vysoko nad rozhraním cenomanského a turonského souvrství. Tento jev svědčí o určité puklinové propustnosti spodní části slínovcového souvrství. V zájmovém území proudí podzemní voda v kolektoru A proudí k jihu, k drenážní bázi – řece Labi.

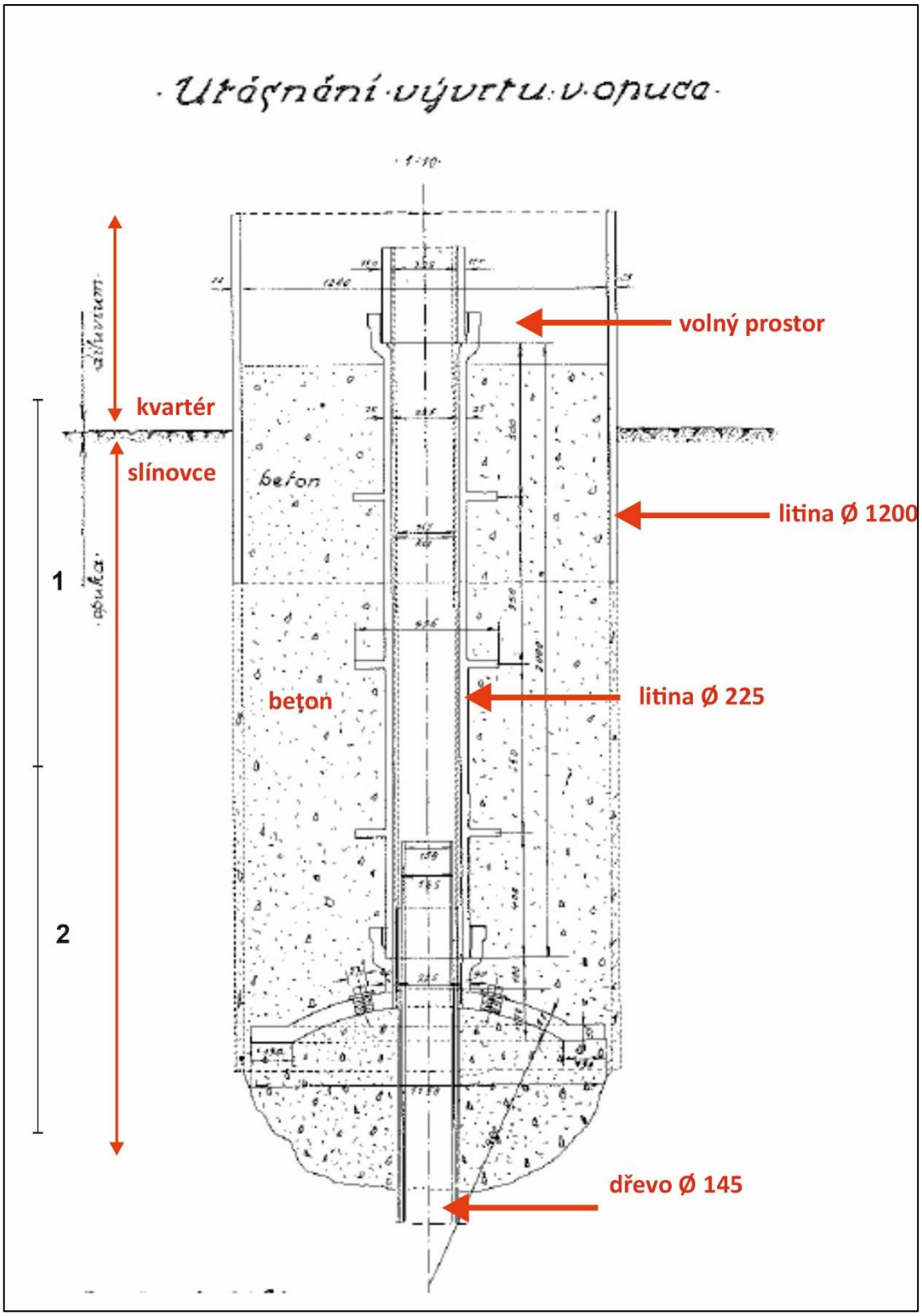
Jak už bylo zmíněno výše, první vlna vrtů byla v jímacím území vybudována na počátku 20. století. Vrty byly budovány metodou nárazové vrtání, kdy bylo těžké vrtné dláto zavěšeno na laně nebo tyčích a opakovaně spouštěno na dno vrtu a nárazy drtily horninu. Zvláštní mechanismus zajišťoval pootočení dláta pro dosažení kruhového profilu. Zajímavý byl postup vystrojení vrtů. Přes kvartérní uloženiny byl stvol vrtu umístěn v jakési „pracovní šachtě“ o Ø 1200 mm, která byla vystrojena litinovými pažnicemi. Vnitřek této šachty byl prázdný, pouze jejím středem běžel stvol vrtu tvořený litinovou zárubnicí DN 225 mm, která přecházela hlouběji do zárubnice dřevěné o Ø 145 mm a tato pak pokračovala až na dno vrtů. Pracovní šachta končila na rozhraní kvartérních štěrkopísků a slínovců, do kterých byla také částečně zahloubena. Vystrojení úseku mezi kvartérem a slínovci je znázorněno na obrázcích 2 a 3. Na těchto obrázcích je znázorněn způsob přechodu mezi kvartérem a slínovci, který byl zřejmě vybudován za účelem oddělení artéského horizontu od nadložních hornin a suploval zaplášťovou cementaci. Těsně pod povrchem a na povrchu byl vrt ukončen obslužnou šachtou kuželovitého tvaru o Ø 2000 mm.

Obnova vrtů artéské jímací větve proběhla zhruba po 50 letech. V letech 1960 až 1961 byly provedeny nové artéské vrty vedle stávajících studní B, C, D, F, G a H, tedy vyjma nového vrtu E, který byl vybudován zřejmě později a chybí k němu dokumentace. Vrtné práce probíhaly opět nárazovou vrtnou soupravou typu RNM. Vrty byly shodně vrtány přes kvartérní uloženiny Ø 1500 mm, přes slínovce Ø 800 mm a v artéském horizontu Ø 480 mm. Vrty byly definitivně vystrojeny ocelovými zárubnicemi Ø 530 mm plnými přes nepropustné slínovce. Mezikruží mezi zárubnicí a stěnou vrtu bylo naspodu utěsněno ječmenným pakrem, výše zacementováno a zajílováno. Takto zajištěné vrty byl dále vystrojeny překližkovými zárubnicemi Ø 340 mm (Js 311 mm), přes zvodnělý cenomanské horizont perforovanými, bez zaplášťové úpravy (Obr.5). Tyto vrty byly vybudovány ve vzdálenostech 20 až 30 m od původních vrtů, viz Obr. 4.

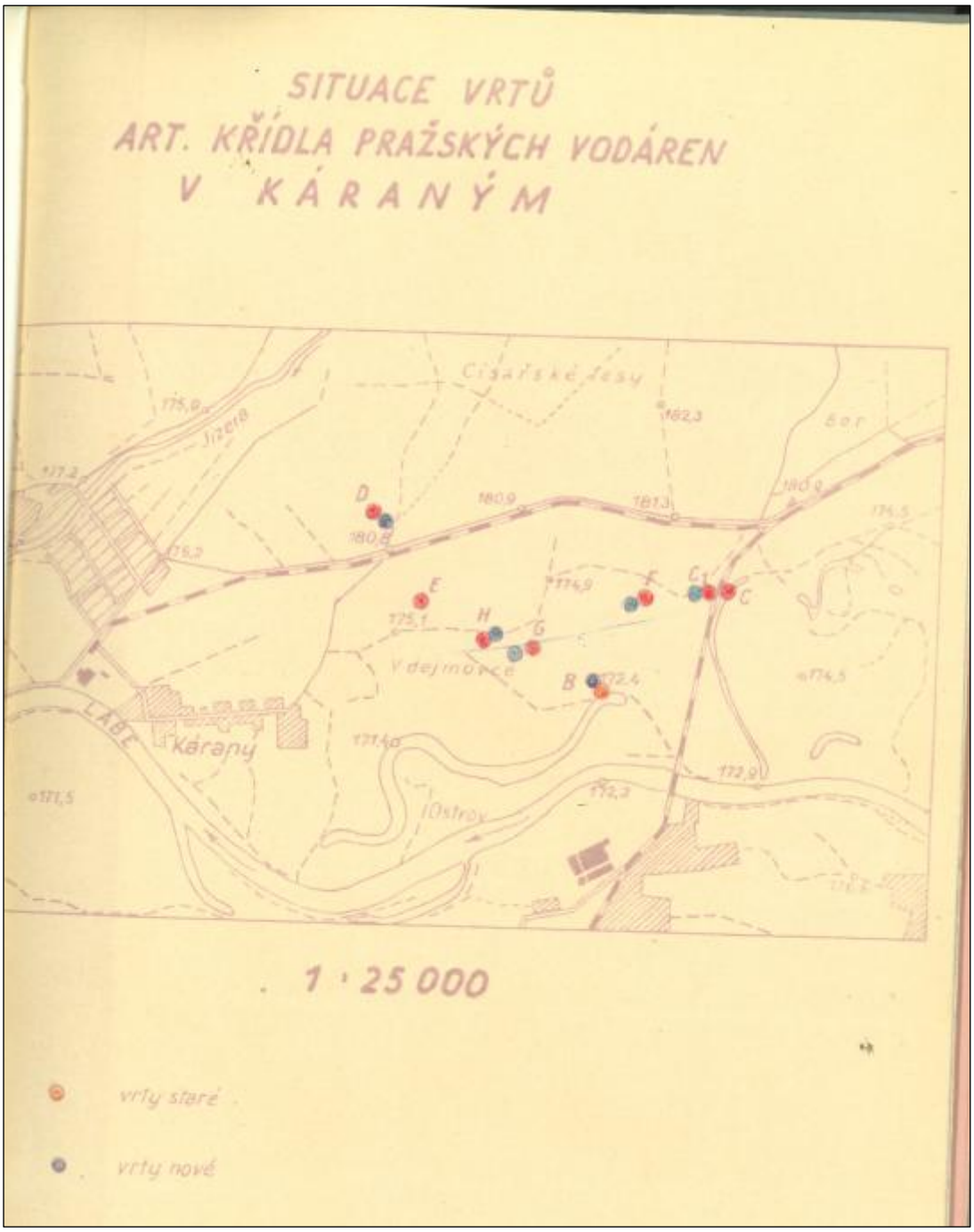
Od 70. let až do dnes byly na využívaných vrtech prováděny pouze drobné opravy (převystrojení, úpravy násosek a zhlaví atd.). V roce 2018 byly vrty zkontrolovány pomocí karotážních metod a byly na nich provedeny TV prohlídky. Až v posledních letech, tj. asi 65 let od posledních vrtných prací, došlo k obnově několika vrtů.



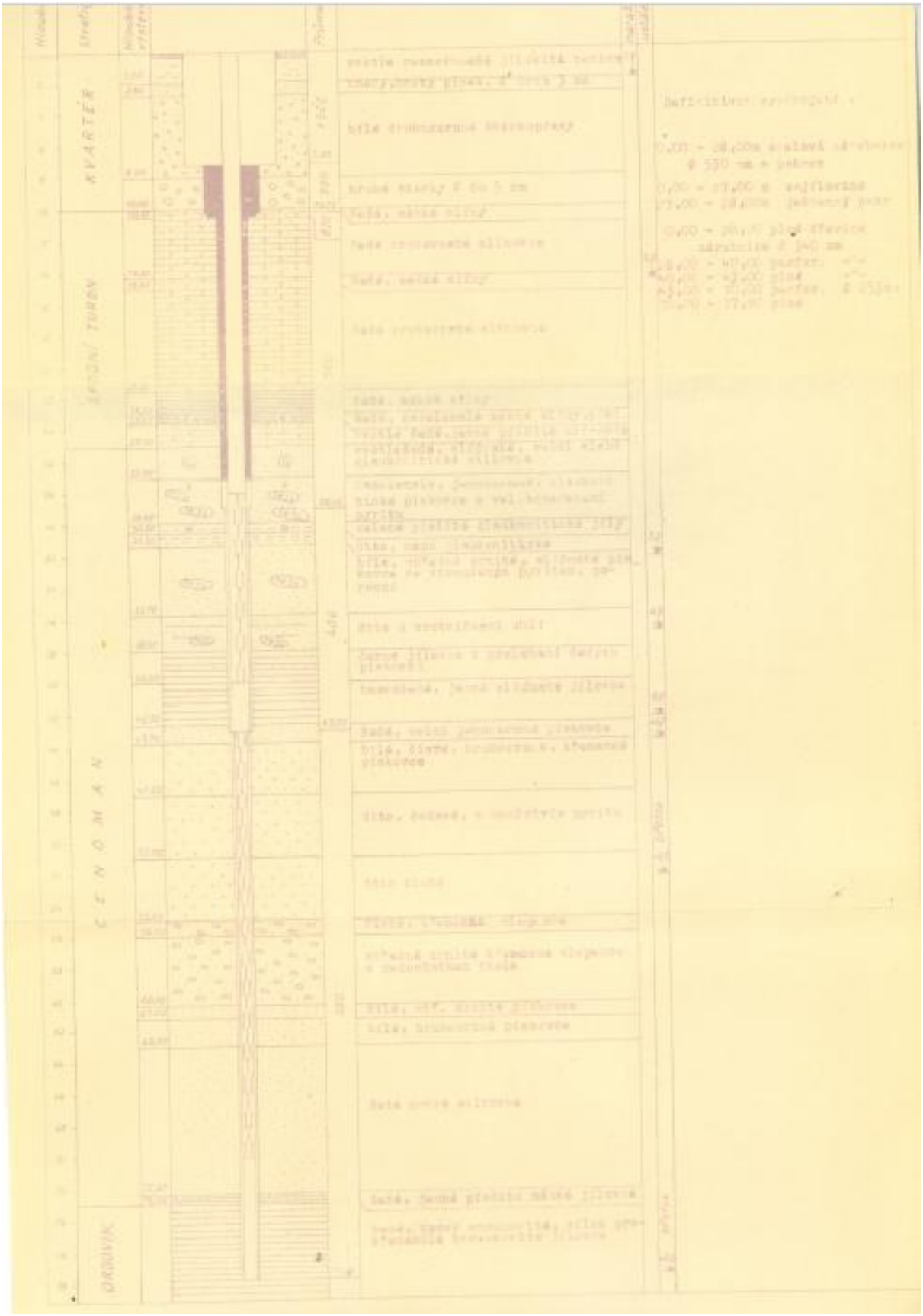
Obr. 2: Modelové vystrojení artéských vrtů v Karaném z počátku 20. století



Obr. 3: Modelové vystrojení artéských vrtů v Karaném z počátku 20. století – oddělení artéského horizontu na přechodu kvartér-turón



Obr. 4: Umístění starých a nových artéských vrtů z roku 1961
červené – rok 1914, modré – rok 1961



Obr. 5: Profil a vystrojení vrtu B z roku 1961

3. Havárie vrtu „E“ a její likvidace

Vrt E byl dle dostupných informací, podobně jako ostatní vrty z počátku 20. století, v 60 nebo 70. letech 20. století zatamponován. Na jeho místě zůstala pouze podzemní obslužná šachta s typickou kuželovitou hrobkou na povrchu. Existence šachty a zatamponovaného historického vrtu E byla provozovateli, společnosti PVK, známa a několikrát v průběhu let prováděl vizuální kontrolu obslužné šachty vrtu. Tyto kontroly nezjistily žádnou nesrovnalost, např. úniky tlakové vody. Když byla v letech 2022 až 2024 prováděna v jímacím území výměna páteřního potrubí artéské násosky, byly v rámci této činnosti likvidovány i kvartérních náplavové studny v okolí artéských vrtů. Likvidace probíhala prostým zásypem obslužných šachet, nad již zatamponovanými studnami. Podobně jako tyto studny, měla být i šachta vrtu E zasypána. Během pokusu o zasypání šachty vrtu E však došlo k havárii. Při odstraňování nadzemního betonového kónusu s litinovým poklopem došlo zřejmě k pádu skrytého betonového fundamentu na litinové potrubí DN225 vycházející ze dna šachtice. Během několika minut se před očima překvapených dělníků naplnila celá šachtice a voda začala zaplavovat okolí. Přetok byl odhadnut až na 30 l/s. Následně, po odčerpání vody z šachty bylo zjištěno, že voda uniká ještě hlouběji, v litinové šachtě o ø 1200 mm. Postupně byly dohledány veškeré archivní materiály, aby bylo možné si udělat představu o konstrukci šachty, samotného vrtu a jeho geologickém profilu. Úvodní prohlídka lokality proběhla 19. 9. 2024 (v den havárie), samotné práce byly zahájeny 3. 10. 2024 a ukončeny až 25. 10. 2024.

Během úvodních opakovaných odčerpáních šachty, TV prohlídek a pátrání v archivu PVK bylo zjištěno, že pád fundamentu na zhlaví vrtu způsobil porušení litinové výstroje v hloubce cca 8,5 m p.t. Tímto otvorem unikala tlaková voda. Rovněž jsme byli překvapení tím, že vrt nebyl zatamponován, jak se všichni zúčastnění domnívali. Následně jsme, spolu s vrtnou firmou Ekodrill, navrhli postup tamponáže vrtu, který byl však během prací silně modifikován.

Pohled na přetok na povrch

První odčerpání obslužné šachty

Obr. 6: Stav vrtu a jeho okolí po havárii

V první fázi bylo z nepřetržitého zčerpávání přetoku odříznuto a vyzdviženo zhlaví vrtu s napojením na násosku. Zhlaví bylo vyplněno betonem z tamponáže. Následně byla pomocí přípravků a vrátků vyzdvižena litinová pažnice DN 225 mm od délce 6 m, na jejím konci bylo jasně vidět porušení litiny, kterým unikala od počátku havárie tlaková voda, pažnice byla vyplněna betonem z tamponáže pouze v úvodní části, v délce cca 2 m, zbytek pažnice byl bez výplně. Z toho jsme usoudili, že historická tamponáž byla provedena úplně, ale byla v průběhu let vypláchnuta tlakovou vodou nebo byla provedena pouze částečně – do určité části vrtu byl instalován pšeničný pakr a po jeho aktivaci byla zárubnice zabetonována a vrt uzavřen, tedy pouze jeho určitá část. Při přípravě tohoto článku zjištěno, že v roce 1989 bylo navrhováno (Žitný, 1989) provést vyhledání a tamponáž starých, a v sedmdesátých letech opuštěných vrtů (B, C, D, E, F, G, H), tj. povědomí o tom, zda likvidace historických vrtů proběhla nebo neproběhla, není.

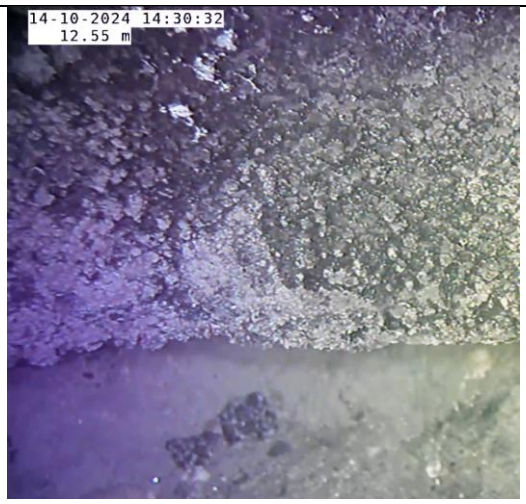
Po vytažení litinové zárubnice byla změřena hloubka vrtu. Vrt byl prostupný pouze do hloubky 24,5 m, tedy na úroveň rozhraní cenomanských a turonských vrstev.

 Odříznuté zhlaví vrtu	 Vytahování litinové pažnice DN 225 mm
 Vytahování litinové pažnice DN 225 mm	 Porušená litinová pažnice DN 225 mm

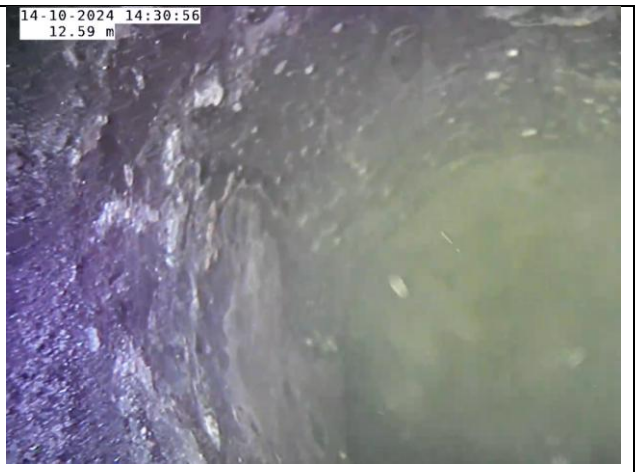
Obr. 7: Postup vytažení litinové pažnice

V první fázi byl na dno vrtu instalován betonový pakr o průměru 150 mm, který však nepřinesl očekávaný efekt ve smyslu snížení přetoku. Následně byla do vrtu zavedena manipulační ocelová pažnice o průměru 146 mm, ukončená v litinové pažnici o průměru DN 225 mm. V dalším kroku byl vrt postupně zasypáván kačírkem, a to kombinací frakcí 8/16 a 4/8. Tento zásah vedl k mírnému snížení přetoku, přibližně o jednu třetinu, přičemž do vrtu bylo celkem nasypáno zhruba 7 m³ kameniva. Po dokončení zásypu činila výsledná hloubka vrtu přibližně 19,5 m měřeno od hladiny přetoku.

Po této fázi byla provedena kontrolní TV prohlídka. Kamera nejdříve prošla manipulační pažnicí, pokračovala původní litinovou pažnici o DN 225 mm až do hloubky 12,55 m, kde tato končila. V úseku 12,55 m až cca 14 m procházela kamera nevystrojeným vrtem (dřevěná pažnice chyběla). Od přibližně 14 m byly pozorovány rozšiřující se kaverny vyvinuté ve slínovci a písčitém slínovci. V hloubce 16,70 m kamera vstoupila do zvířeného sedimentu, možná pod úroveň tlakové zvodně. Nejhlouběji identifikovaným bodem byl čerstvý zásyp kačírkem, který začínal v hloubce 20,76 m.



12,55 m – konec litinové pažnice ø 225 mm



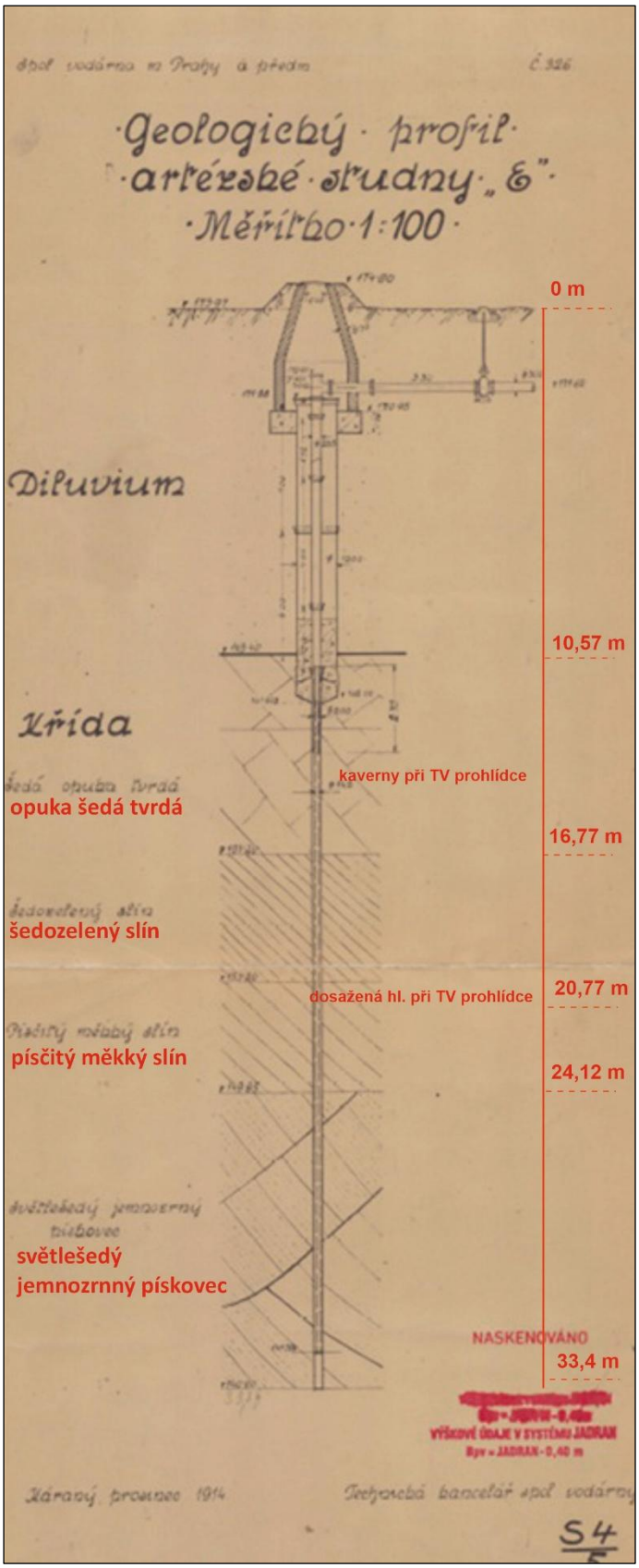
Pohled na betonový přechod na rozhraní kvartér/turon

Pohled na kaverny v betonovém přechodu

14,65 m – pohled do kaverny ve turonském slínovci

Obr. 8: Fotografie z TV prohlídky

Při porovnání poznatků z TV prohlídky a archivního geologického profilu je patrné, že kaverny byly zaznamenány na bázi vrstvy šedé opuky (dle německého popisu z roku 1902 v „jílovito-vápencové hornině s tvrdým, šedým slínovcem“). Dle hloubky vrtu usuzujeme, že vrtem byla zachycena pouze svrchní část cenomanských vrstev. Také je možné, že s ohledem na geologický profil ostatních vrtů artéské větve, byl vrt E ukončen pouze na bázi turonských vrstev a možná ani cenomanských vrstev nedosáhl. Například dle geologického popisu z vrtu H, který se nachází 360 m východně, se rozhraní cenoman – turon nachází v hloubce 35,5 m p.t. Naopak dle karotážních měření provedených na vedlejším, novém vrtu E vybudovaném v 70. letech 20. století, byl první přítok do vrtu zaznamenán v hloubce 26,7-27,4 m a podílel se 15 % na celkovém přetoku 10 l/s, ale hranice mezi cenomanem a turonem byla zjištěna už v hloubce 21,5 m.



Obrázek 9: Geologický profil vrtu E z roku 1914

V další fázi likvidace byla do vrtu v úseku 18–12,5 m pod terénem instalována cementační zátka kombinovaná s kamenivem frakce 4/8, přičemž do vrtu bylo uloženo přibližně 2,5 m³ kameniva a 8 m³ cementové směsi. Následně, v hloubce 9,34–8 m pod terénem, byla provedena cementace litinové skruže o průměru 1200 mm v celkovém objemu zhruba 5 m³ až na úroveň litinové zárubnice DN 225 mm, která vystupovala na dně do skruže. Poté následoval cementační klid.

V hloubce přibližně 11 m pod terénem byl do litinového potrubí DN 225 mm zapuštěn deskový pakr – gumový pakr s kulovou zpětnou klapkou – a následně proběhla cementace nad tento pakr v objemu asi 5 m³ a cementace pod něj v obdobném množství. Cementační tyče i samotný pakr byly po dokončení prací ponechány ve vrtu. V úseku 8–4,8 m pod terénem byla vyčerpána voda, cementační tyče byly odpojeny a zavařeny a celý prostor skruže Ø 1200 mm byl vyplněn cementovou směsí o přibližném objemu 4 m³.

Příprava cementační směsi	Deskový pakr na povrchu
Cementace v manipulační pažnici	Pohled na dno šachty s ukončením cementačních tyčí

Obr. 10: Dokumentace tamponáže vrtu

4. Závěr

Celkem bylo při prováděné likvidaci havárie vrtu E využito 14 t kačírku různých frakcí a zhruba 11,2 t cementu, což odpovídá přibližnému objemu 28 m³ cementové směsi, tedy výrazně více, než činil původní odhad - 9 m³. V průběhu cementace vrtu byl pozorován výrazný nárůst tlaku v artéském kolektoru. Během sanace vrtu E docházelo na omezeném přítoku z artéské násosky do ÚV Káraný k postupnému zvyšování tlaku na přítoku vody (ostatní vrty nebyly po opravě násosky znovu připojeny, průtok činil cca 0,5 l/s). Domníváme se, že tento jev mohl přímo souviset se sanací vrtu E a signalizoval účinné utěsnění artéského stropu, projevující se nárůstem tlaku v kolektoru. Po ukončení prací nebyly v prostoru bývalého vrtu E zaznamenány žádné povrchové vývěry vody.

Definitivní potvrzení úspěšnosti provedených prací by bylo možné pouze prostřednictvím karotážního měření, což by vyžadovalo zřízení dočasného průzkumného vrtu odpovídajícího průměru v bezprostředním okolí vrtu. K tomuto kroku nebylo přistoupeno. Přesto hodnotíme provedený zásah jako úspěšný.

Poděkování: Děkujeme za spolupráci firmě Ekodrill s.r.o., p. vrtmistrovi René Havlíkovi, společnosti PVK, a.s. a Česká voda a.s.

5. Seznam literatury

Herčík F. a kol.,1999: *Hydrogeologie České křídové pánve*, ČGU. Praha

Kněžek V., 1962: *Zhodnocení provedení jímacích prací na akci Káraný-artéská větev*, Vodní zdroje Praha

Krásný J. et al., 2011: *Podzemní vody České republiky*, Academia. Praha

Patka J.,2024: *ÚV Káraný – sanace havárie artéského vrtu E*, Photon Water, Liberec

Procházka M., 2018: *Káraný, Artéské vrty, Revizní měření ve starších jímacích vrtech s označením B, C, B, B, C, B;* Aquatest a.s. Praha

Šeda S., 2020: *Káraný – náhradní vrt F1*, Fingeo s.r.o. Ústí nad Orlicí

Žitný L., 1989: *Káraný – Zhodnocení hydrogeologického průzkumu*, Vodní zdroje Praha. Praha

VYUŽÍVÁNÍ PODZEMNÍCH VOD KONTRA ZEMĚDĚLKÉ VYUŽÍVÁNÍ KRAJINY – PROBLEMATIKA DEFINOVÁNÍ OP VZ

GROUNDWATER USE VERSUS AGRICULTURAL LANDSCAPE USE – THE PROBLEM OF DEFINING WATER RESOURCE PROTECTION ZONES

Zdeněk Sedláček[1], Jitka Novotná[2], Roman Hadacz[2]

[1]VÚV TGM, v.v.i., Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6, e-mail: zdenek.sedlacek@vuv.cz
[2]Česká geologická služba, Klárov 131/, 118 21 Praha 1, e-mail: jitka.novotna@geology.cz, roman.hadacz@geology.cz

Abstrakt: Jímací území Březová nad Svitavou v hydrogeologickém rajonu 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy exploatuje podzemní vodu nepřetržitě od roku 1914. V současnosti je velkým problémem vliv intenzivního zemědělství jako hlavní příčina výskytu dusičnanů a pesticidních látek včetně jejich metabolitů. K účinné ochraně podzemních vod je kromě omezení aplikace hnojiv nutná i změna stávajícího ochranného pásma, které sice vyhovuje současné legislativě, ale praktický vliv na zlepšení kvality podzemních vod nepřináší. Návrh za změnu ochrany vod vychází z mapy Zranitelnosti podzemních vod, která byla vytvořena ČGS konkrétně pro území rajonu 4232 a plošného rozsahu kolektorů B a C včetně jejich povrchových výchozů.

Abstract: The Březová nad Svitavou water catchment area in hydrogeological zone 4232 Ústí Syncline, located in the Svitava River basin, has been continuously abstracting groundwater since 1914. Currently, the impact of intensive agriculture poses a major problem as the primary cause of the presence of nitrates and pesticides, including their metabolites. Effective groundwater protection requires not only restricting fertilizer application, but also modifying the existing protection zone—which, although compliant with current legislation, yields no practical impact on improving groundwater quality. The proposed change to water protection is based on the Groundwater Vulnerability map developed by the Czech Geological Survey (CGS) specifically for hydrogeological zone 4232 and the spatial extent of aquifers B and C, including their surface outcrops.

Klíčová slova: jímací území, dusičnany, pesticidy, revize ochranného pásma

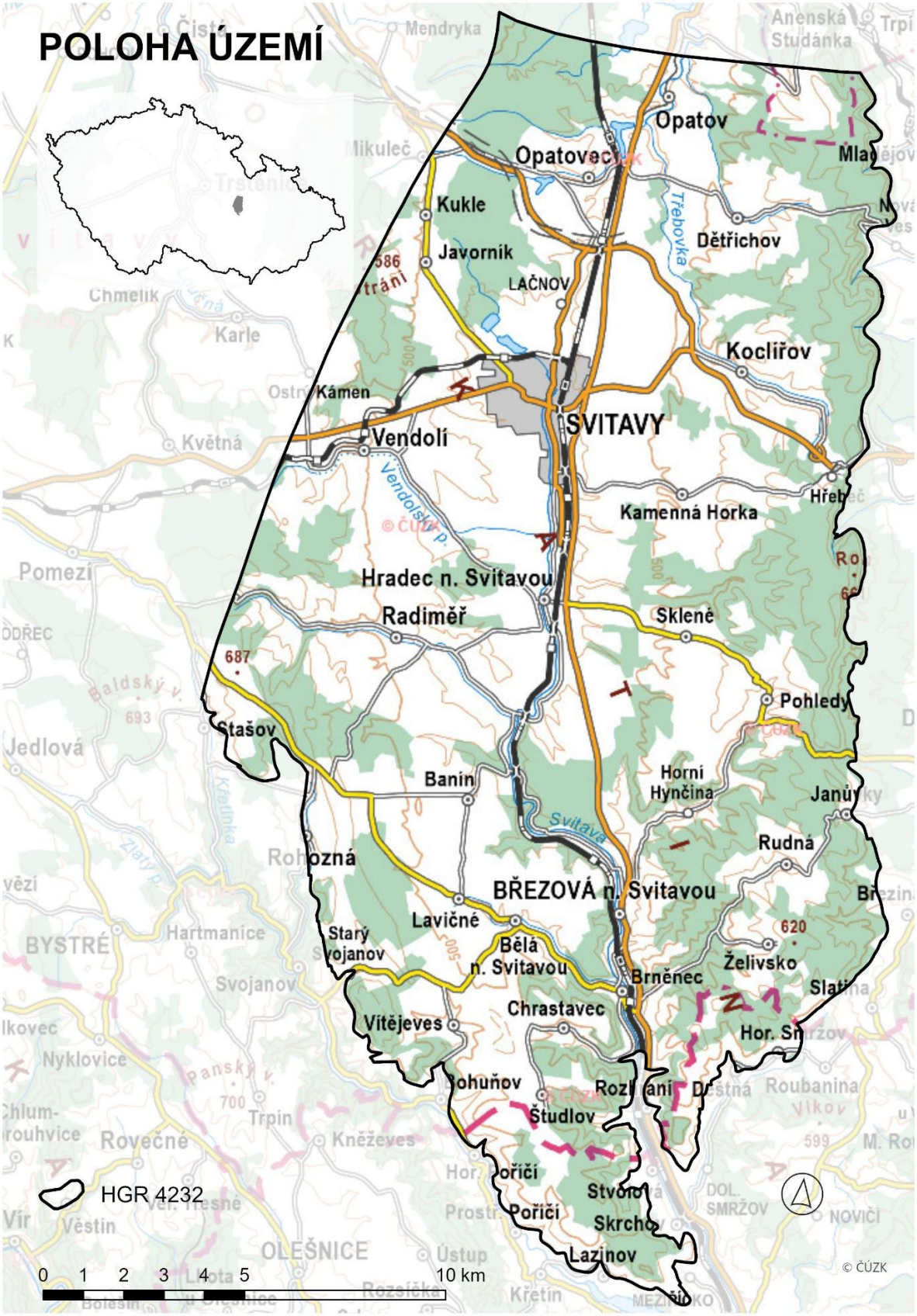
Key words: catchment area, nitrates, pesticides, review of the protection zone

1. Úvod

Zájmové území je vymezeno hydrogeologickým rajonem 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy, který se nachází na hranici Pardubického a Jihomoravského kraje, v okolí města Svitavy, v nadmořské výšce mezi 400 (jižní část) až 650 metry nad mořem (východní a západní okraje). Území rajonu zasahuje do katastrů 50 obcí s téměř 55 000 obyvateli (obr. 1). Územím prochází páteřní železniční koridor Brno-Česká Třebová a dvě komunikace 1. třídy (I/43 a I/35). Pomyslnou osu rajonu v severojižním směru tvoří řeka Svitava, která v severní části území pramení.

2. Hlavní využití území – zdroj podzemích vod

Zájmové území hydrogeologického rajonu 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy představuje významnou oblast zdrojů podzemních vod.
Severozápadní hranice hydrogeologického rajonu je navázána na sousední hydrogeologický rajon 4270, jihozápadní a východní omezení hydrogeologického rajonu je dáno morfologií terénu. Hranice rajonu na jihu a východě určuje rozsah křídových sedimentů. Severní omezení je vymezeno rozvodnicí podzemní vody mezi proudovým systémem drénovaným do Orlice a proudovým systémem drénovaným do Svitavy, která je v čase variabilní. Její poloha se v jednotlivých kolektorech mění podle aktuálního piezometrického stavu (Burda, J., Grundloch, J. a kol. 2016). Stratigrafické rozpětí hydrogeologického rajonu je cenoman a coniak a je zde vyvinuto několik kolektorů, oddělených izolátory.



Obr. 1 Lokalizace zájmového území hydrogeologického rajonu 4232.
Fig. 1 Location of the area of interest within hydrogeological district 4232.

Hydrogeologické kolektory rajonu 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy
A – bazální průlinovo-puklinový kolektor pískovců perucko-korycanského souvrství s lokálními izolátory jílovců a prachovců (bazální křídový kolektor) střední-svrchní cenoman; vodohospodářsky nevýznamný
B – puklinový kolektor spongilitických slínovců (opuk) vyšší části bělohorského souvrství; spodní-střední turon; vysoká transmisivita; vodohospodářsky velmi významný
C – průlinovo-puklinový kolektor pískovců jizerského souvrství; střední-svrchní turon; vysoká transmisivita; vodohospodářsky nejvýznamnější
D – puklinovo-průlinový kolektor pískovců březenského souvrství; coniak
K – puklinový kolektor hydrogeologického masivu převážně metamorfitů krystalinika
N – průlinový kolektor písků a štěrků reliktů neogénu na Českém masivu
Hydrogeologické izolátory rajonu 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy
A/B – izolátor jílovců, slínovců a prachovců bazální části bělohorského souvrství
B/C – izolátor jílovců, slínovců a prachovců bazální části jizerského souvrství
C/D – izolátor jílovců, slínovců a prachovců teplického a březenského souvrství
N/N – izolátor jílů reliktů neogénu na Českém masivu
Přechodný horizont P – nepravidelné střídání většího počtu průlinovo-puklinových kolektorů slepenců, brekcií a pískovců a mezilehlých izolátorů jílovců, prachovců a břidlic poorlického permu a boskovické brázdy.
Oběh podzemní vody je v kolektorech oddělený, s výjimkou tektonických poruch, které kolektory mohou lokálně propojovat. Zvodně jsou doplňovány na výchozech kolektorů především ve východním křídle synklinály a na potštejnské antiklinále. Dotace influkcí z řeky Svitavy je omezena vlivem uložení jejího toku do betonového koryta. Proudový systém podzemní vody byl v minulosti v jižním uzávěru synklinály za přírodních podmínek drénován přelivnými prameny u Březové nad Svitavou. V první fázi budování jímacího území Březová nad Svitavou byl exploatován kolektor C a ve druhé fázi i hlouběji uložený kolektor B.
V novém pojetí funkce izolátor/kolektor je nutné dále pracovat s informací, že slínovce (izolátor Ca/Cb), které oddělují spodní puklinový kolektor (kolektor Ca) a svrchní puklinový kolektor (kolektor Cb) jizerského souvrství, tvoří rozsáhlé plochy na povrchu terénu. Tyto slínovce byly klasifikovány jako přípovrchová zóna zvětralin (např. Krásný et al. 2012), která nezajišťuje nepropustné nadloží hydrogeologickým kolektorům, umožňuje infiltraci.
Podzemní voda se v hydrogeologických kolektorech tvoří infiltrací srážek a rajon 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy představuje uzavřený hydraulický systém bez vnějšího dotačního zázemí. Na základě měření aktivity tritia, freonů a SF6, které bylo v rámci rajonu 4232 provedeno v projektu Rebilance zásob podzemních vod (Bruthans, J. et al. 2022) pro prameny drénující kolektory C a B, vychází střední doby zdržení podzemní vody v rajonu 4232 v řádu prvních desítek let.
Pro ochranu kvality vodních zdrojů byla v jižní části rajonu vyhlášena ochranná pásma vodního zdroje v Březové nad Svitavou, kde jsou provozovány dva systémy čerpání podzemních vod, tzv. I. a II. březovský vodovod. Tento vodní zdroj odvádí poměrně velkou část zdejších zásob podzemních vod do Brna a dalších sídel. Byl budován ve dvou fázích (1911–1913 a 1970–1975) pro potřeby rychle rostoucího města. Území je zcela závislé na podzemní vodě, protože se zde nevyskytují žádné větší nádrže ani sem nepřitékají žádné vodní toky. Území naopak představuje pramennou oblast (např. řeka Svitava) a veškerá voda odtud odtéká. V území se nachází mnoho dalších zdrojů určených pro místní potřebu. Významným odběratelem podzemních vod je také Skupinový vodovod Svitavy, který zásobuje město Svitavy a další obce v okolí (Novotná, J. et al. 2023).

3. Hlavní využití krajiny – zemědělská činnost

Vývoj využití území je zde úzce spojen s rozvojem sídel a průmyslu (převážně textilního), který svým významem výrazně přesahoval hranice regionu. Postupný rozvoj vytvářel tlak na přírodní zdroje, a to zejména na vodu, kdy se zvyšovaly nároky na množství užitkové i pitné vody, ovlivněna však byla také jakost vod průmyslovým, ale i zemědělským znečištěním, které je dnes aktuální. Převážná část zemědělsky využívaných ploch připadá na ornou půdu (70 %), jejíž obdělávání je největším plošným zdrojem znečištění podzemních vod v tomto prostoru. Následují plochy s travními porosty (22 %) a bývají využívané pro pastvu hospodářských zvířat nebo je travní porost udržován zejména z vodohospodářských důvodů, kdy hlavním účelem tohoto zatravnění byla protierozní ochrana a ochrana kvality povrchových vod. Na lidská sídla jsou vázané ovocné sady a zahrady (6 %). Zbytek plochy (2%) je využíván na chov hospodářských zvířat, ostatní zemědělskou činnost v areálech a městské parky.
Ze zemědělských činností přechází do půdního a následně horninového prostředí množství chemických látek různého složení. V prvé řadě to jsou průmyslová hnojiva, z nich pro vodní prostředí je závažný dusík, který ve formě dusičnanů prochází půdou do podzemních vod. Velkým problémem současného zemědělství je užívání látek na ochranu rostlin, které již ze své podstaty jsou toxické pro různé typy organismů. Jejich výskyt, včetně metabolitů, je v pitných vodách zdravotním rizikem. Vždy podle aktuálních znalostí se používání některých přípravků zakazuje a na trhu se objevují nové, jejichž nežádoucí účinky nejsou zprvu vždy známy. To vede

k těžkostem v monitoringu vod, neboť každá účinná látka či metabolit se v půdním a vodním prostředí chová jinak a je vždy otázkou, jak dlouho je třeba sledovat látku, která již byla vyřazena z užívání. Svou roli v časovém zdržení hraje jak prostupnost vlastní látky v půdním prostředí, rozpad základní látky na metabolity i rychlost, jakou se podzemní voda z místa vzniku dostává do místa odběru.

4. Odraz zemědělského využívání krajiny na kvalitu surové podzemní vody

Systematický monitoring kvality podzemní vody probíhá v oblasti rajonu dlouhodobě, jednak jako monitoring surové vody jímacích území, který realizují provozovatelé, dále pak jde o monitoring v režii ČHMÚ a také sledování v indikačních vrtech ve správě Brněnských vodáren a kanalizací. Na základě vyhodnocení realizovaných monitoringů byly identifikovány dva nejvýznamnější plošné kontaminanty, které překračují legislativní limity.

Dusičnany – kontaminant kolektoru C, lokálně zjišťovány nad limit 50 mg/l v surové vodě, a to i v případě I. březovského vodovodu na přítoku do vodojemu. Pro kolektor B představují dusičnany sice nižší riziko, ale např. ve sběrné studni II. březovského vodovodu je detekována narůstající koncentrace nad 30 mg/l.

Pesticidy a jejich metabolity – vysoké riziko zvyšování obsahu, kontaminant kolektoru C, překračující limit pro jednotlivé látky, ale zatím pod nejvyšší meznou hodnotou stanovenou na 0,50 µg/l.

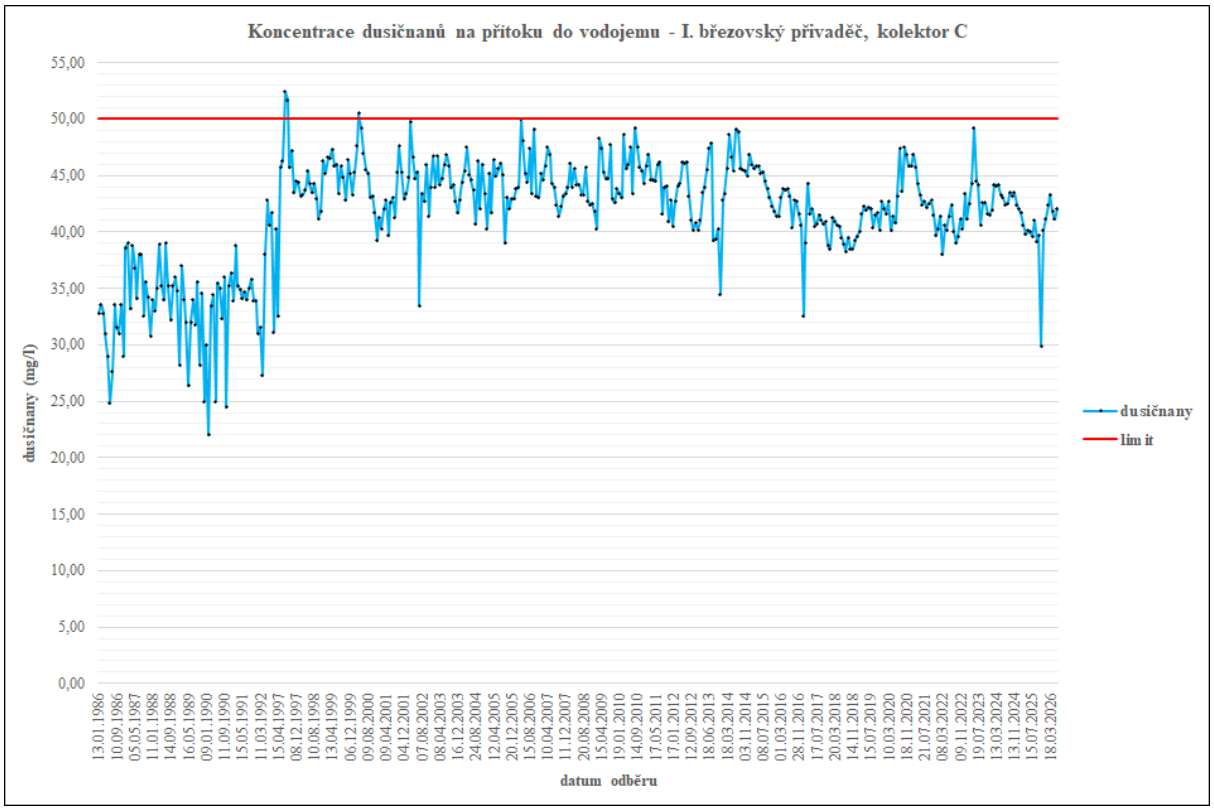
V následujících grafech, kde jsou uvedena data od Brněnských vodáren a kanalizací. Pesticidní látky jsou zde uvedeny jako sumy všech účinných látek i metabolitů, kde byla stanovena hodnota celého čísla, do grafu nebyly zařazeny hodnoty pod mezí detekce, ale nad mezí stanovitelnosti. Popis analyzovaných objektů lze stručně popsat takto:

I. březovský vodovod – přítok do vodojemu Březová: 14 studní s hloubkou 17-21 m, jímání kolektoru C, směsná voda

II. březovský vodovod – sběrná studna, jímání kolektoru B hlubokými vrty 80-100 m

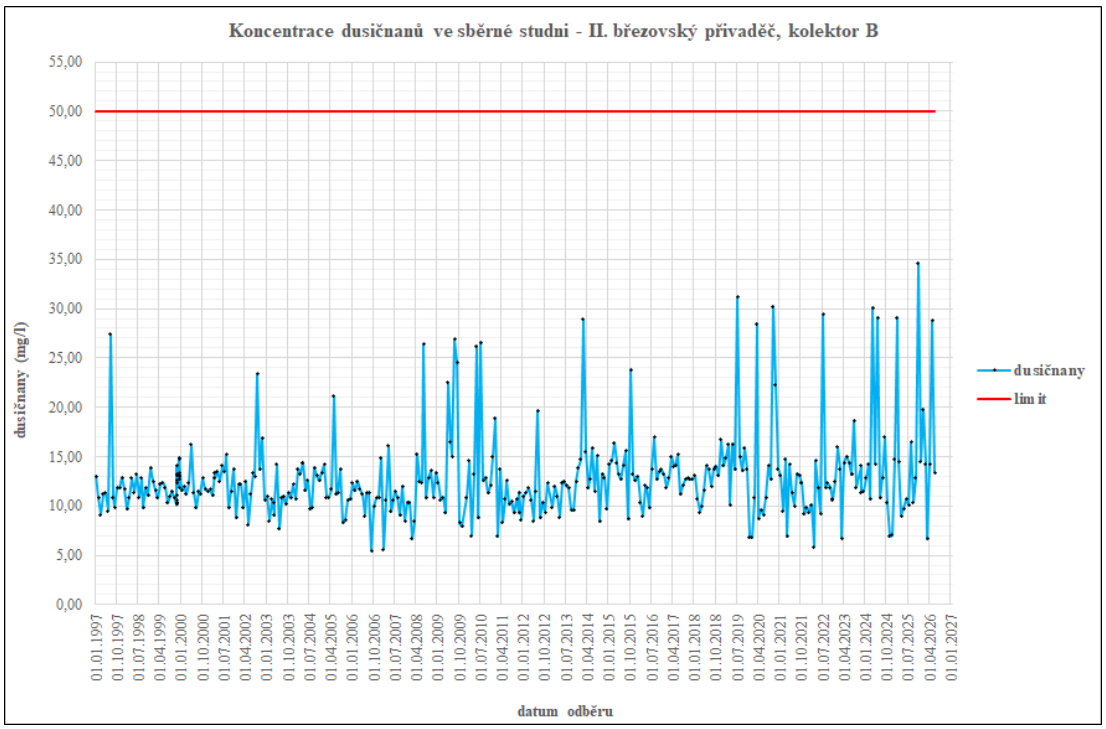
Indikační vrty „I“ monitorují kolektor C a vrty „II“ monitorují kolektor B

Pro dusičnany je k dispozici nejdelší řada od roku 1986 pro kolektor C (obr. 2). Ukazuje pokles hodnot v počátku 90. let, pravděpodobně v souvislosti se změnou vlastnictví a útlumem hnojení v zemědělství. Koncem 90. let však již nastupují dusičnany k hodnotám, které občas překračují i limit 50 mg/l. Další mírnější útlum nastává po roce 2015. Lze předpokládat, že se projevila opatření zaváděná v souvislosti s Nitrátovou směrnicí. Pravděpodobný je ovšem i vliv suchého období let 2015 – 2018, kdy půdní horizont nebyl v mimovegetační době (nulový odběr dusíku vegetací z půdy) proplachován srážkami do podzemních vod. Tomu by nasvědčoval i opětovný mírný nárůst hodnot po skončení tohoto období.



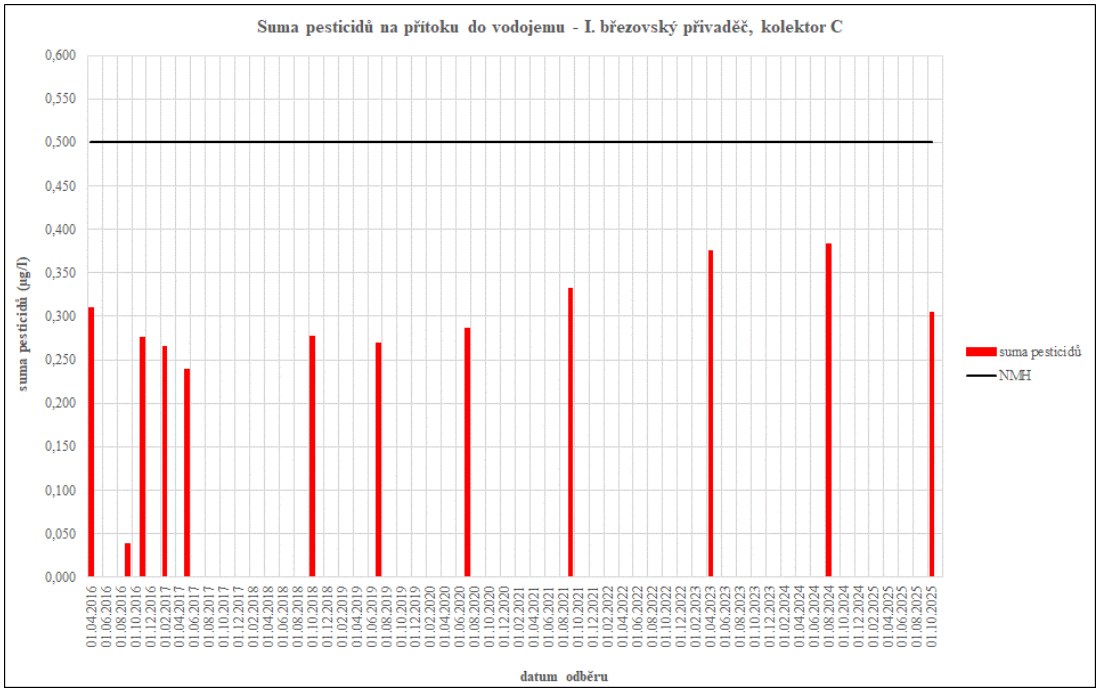
Obr. 2: Koncentrace dusičnanů na přítoku do vodojemu - I. březovský vodovod, kolektor C.
Fig. 2: Nitrate concentration at the inlet to the water reservoir – I. březovský water supply pipe, aquifer C.

Ze sběrné studny z vrtů hloubky 80-100 m kolektoru B jsou k dispozici data od roku 1997 (obr. 3). Je alarmující, že i v těchto hloubkách koncentrace dusičnanů v posledních letech značně kolísá a nejvyšší hodnoty dosahují 30 mg/l.



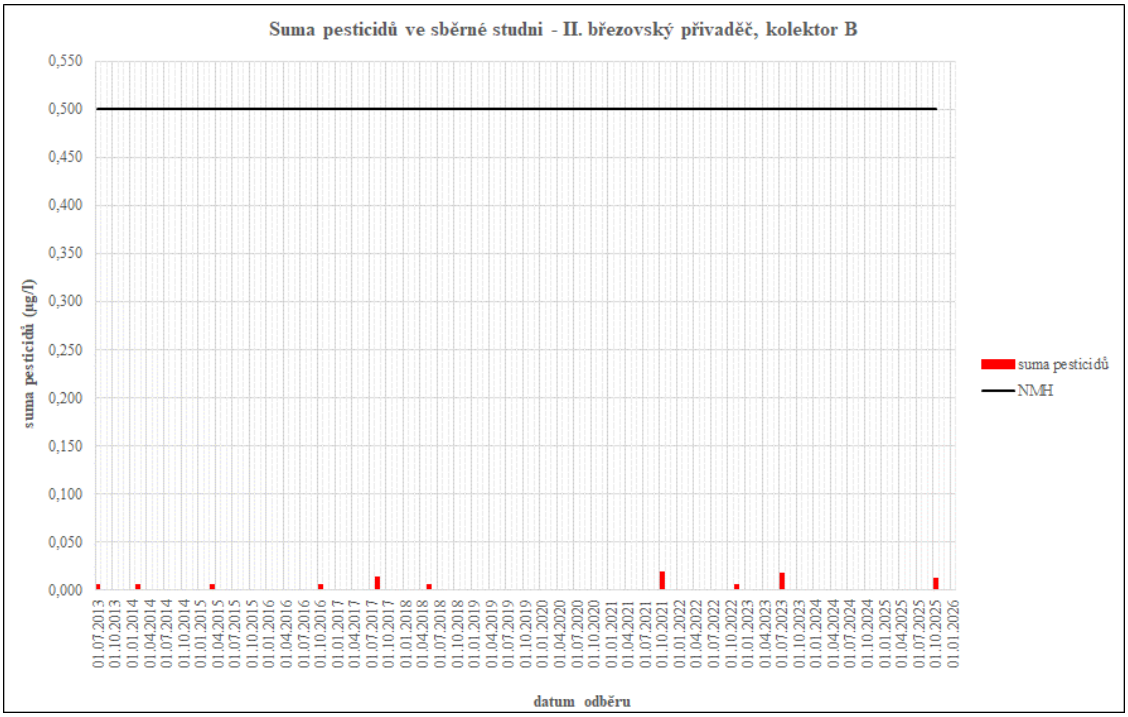
Obr. 3: Koncentrace dusičnanů ve sběrné studni - II. březovský vodovod, kolektor B.
Fig. 3: Nitrate concentration in the collection well – II. březovský water supply pipe, aquifer B.

Látky typu pesticidů se sledují v podzemních vodách od roku 2010. Vzhledem k tomu, že se seznam používaných látek a jejich metabolitů stále mění, do grafů jsou vyneseny součty koncentrací všech detekovaných látek v daném vzorku. Grafy podávají základní informaci, zda se v podzemní vodě látky tohoto typu vyskytují, případně jestli se jejich nálezy zvyšují vzhledem k nejvyšší mezné hodnotě (NMH). To se obojí v případě kolektoru C v nátoku vody do vodojemu potvrzuje (obr. 4).



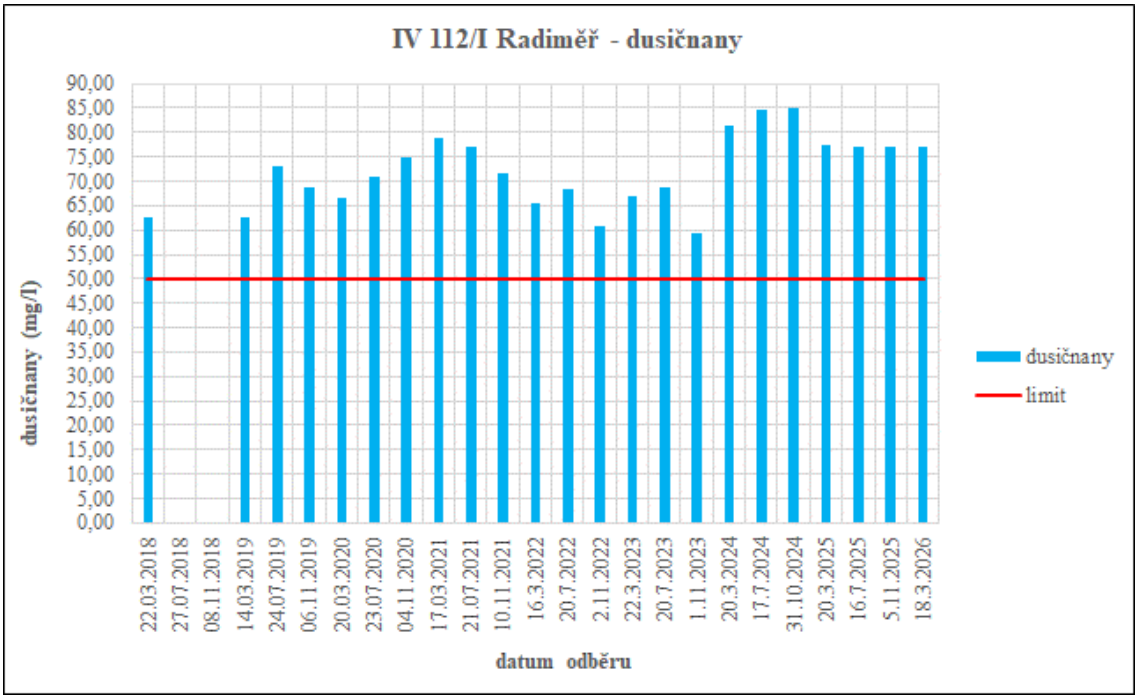
Obr. 4: Suma pesticidů na přítoku do vodojemu - I. březovský vodovod, kolektor C.
Fig. 4: Total pesticide concentration at the inlet to the water reservoir – I. březovský water supply pipe, aquifer C.

Závažné ovšem je, že se pesticidy a jejich metabolity postupně objevují i v jímané vodě z kolektoru B (obr. 5), i když zatím v minimálních koncentracích na úrovni meze stanovitelnosti. Vzhledem k době zdržení podzemní vody se bohužel dá předpokládat, že koncentrace budou ještě dlouhou dobu narůstat, i když používání některých látek bude ukončeno nebo regulováno.



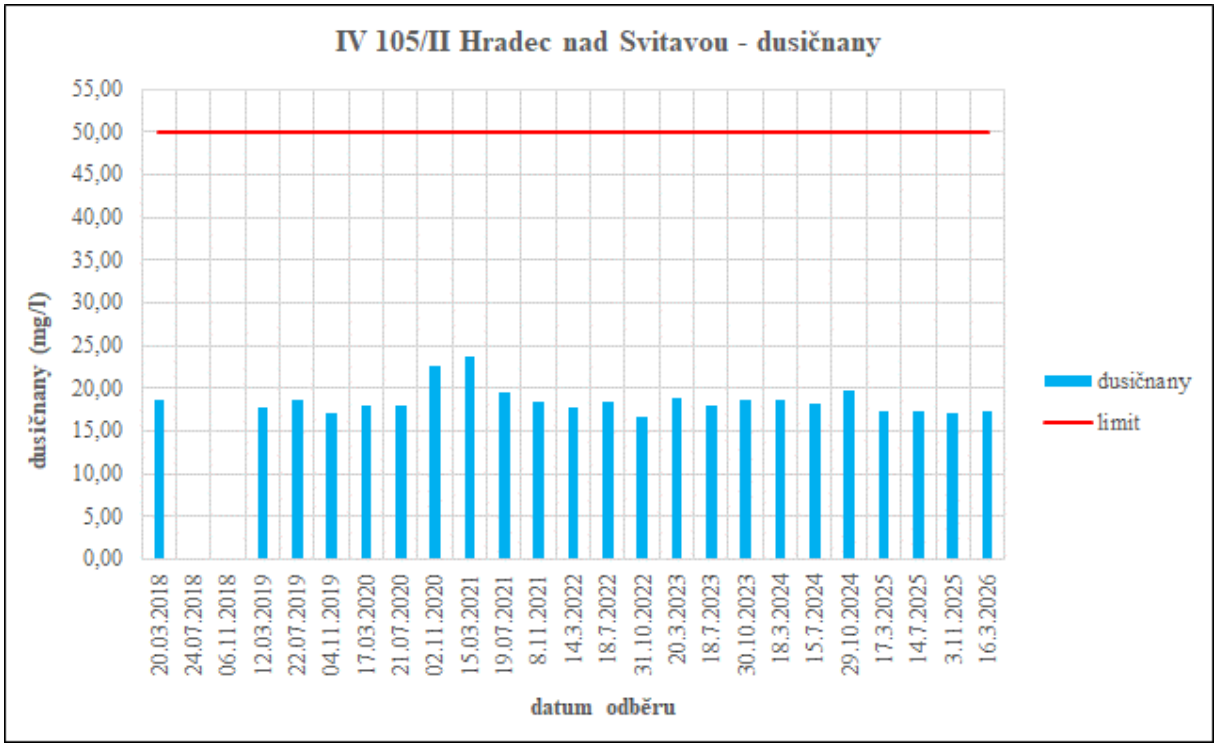
Obr. 5: Suma pesticidů ve sběrné studni - II. březovský vodovod, kolektor B.
Fig. 5: Total pesticide concentration in the collection well – II. březovský water supply pipe, aquifer B.

Podzemní voda je v předpolí JÚ monitorována ve více objektech. Pro ilustraci situace v kolektoru C ve vztahu k obsahu dusičnanů byl vybrán indikační vrt na katastrálním území Radiměře IV 112/1. Na průběhu koncentrací dusičnanů (obr. 6) je patrné výrazné sezonní kolísání v závislosti na aktivitě vegetace, voda v tomto vrtu je výrazně ovlivňována zemědělským /obhospodařováním pozemků. Dá se tak dokladovat, že infiltrační plochy jsou zbytečně přehnojovány.



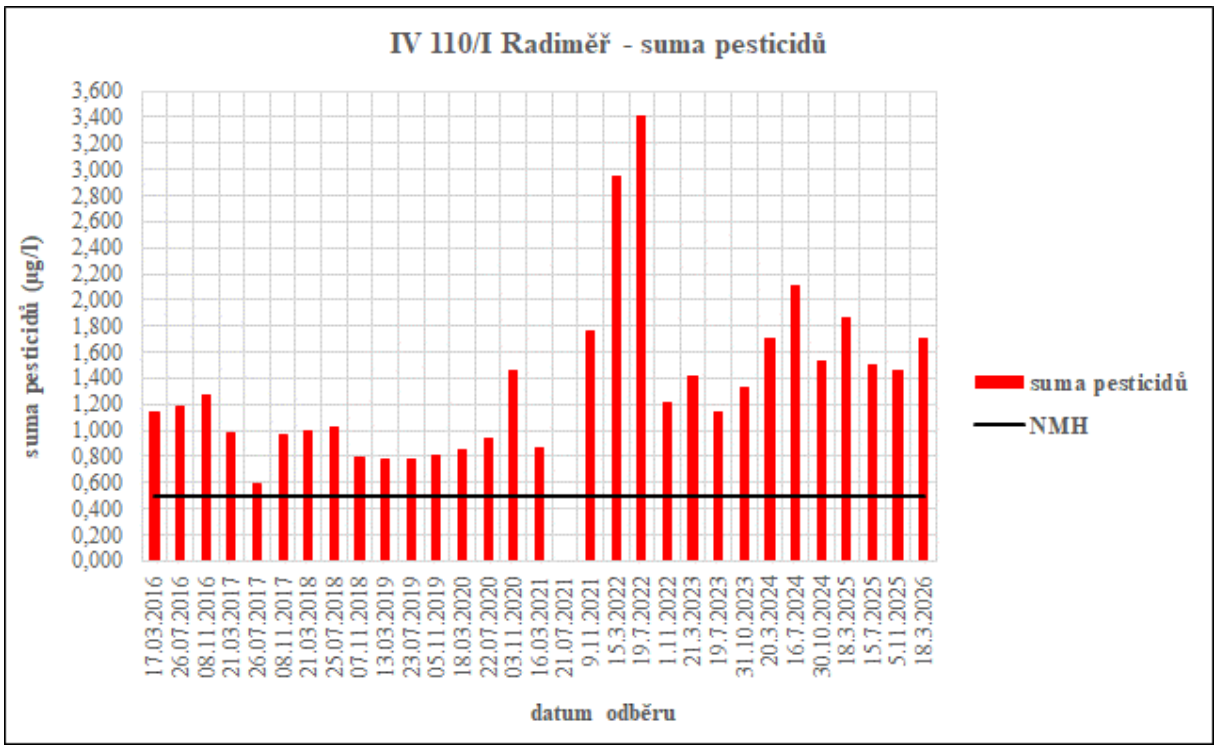
Obr. 6: Koncentrace dusičnanů v indikačním vrtu č. 14: IV 110/I Radiměř.
Fig. 6: Nitrate concentration in monitoring well No. 14: IV 110/I Radiměř.

Pro dokumentaci kolektoru B byl zvolen indikační vrt v Hradci nad Svitavou (obr. 7). Koncentrace dusičnanů je nad 15 mg/l. Což svědčí o tom, že dusičnany pronikly, či setrvale pronikají i do tohoto hlubokého horizontu.



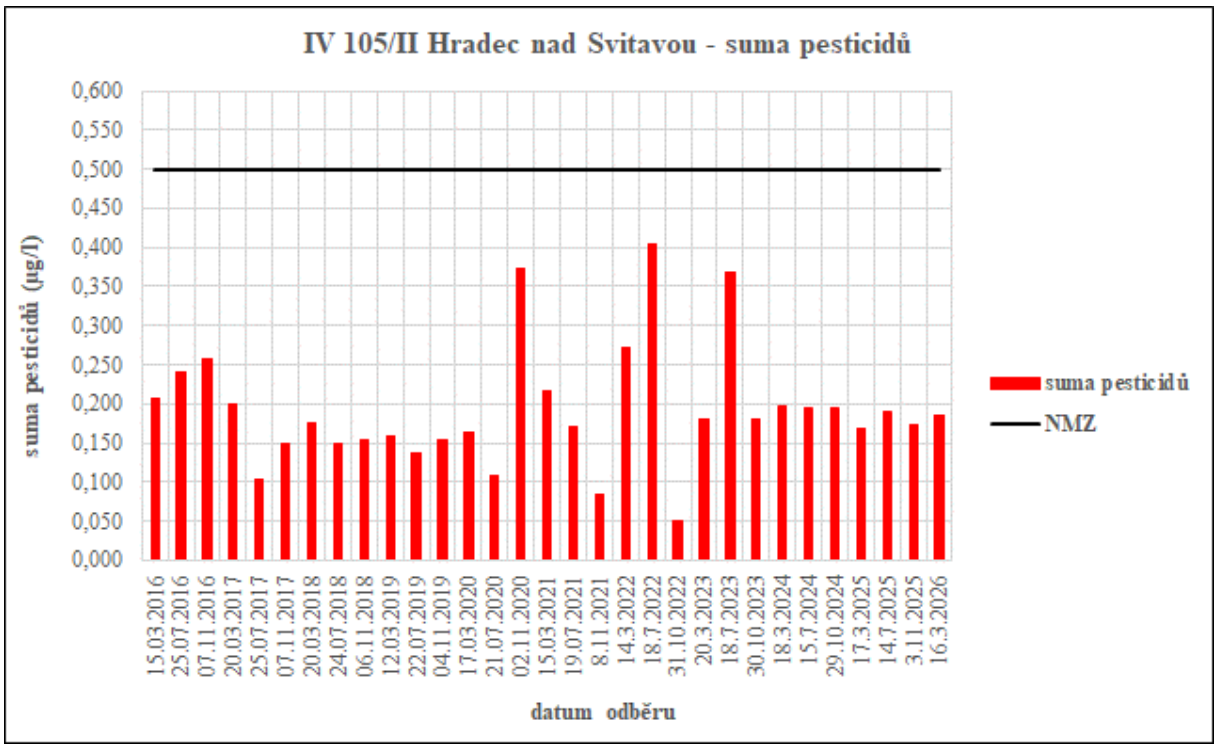
Obr. 7: Koncentrace dusičnanů v indikačním vrtu č. IV 105/II Hradec nad Svitavou.
Fig. 7: Nitrate concentration in monitoring well No. IV 105/II Hradec nad Svitavou.

V případě pesticidů (obr. 8) se ukazuje, že vrt IV 110/1 je ovlivněn infiltrací z orné půdy, protože četnost stanovení pesticidů je vysoká. I při vynechání dvou špičkových hodnot z roku 2022 je patrný vzrůstající trend.



Obr. 8: Suma pesticidů v indikačním vrtu č. IV 110/I Radiměř.
Fig. 8: Total pesticide concentration in monitoring well No. IV 110/I Radiměř.

Hodnoty stanovených pesticidů ve vrtu IV 105/II (obr. 9) jsou znepokojivé, především pro to, že je monitorován kolektor B. Také pro kolektor B platí, že vybraný indikační vrt není jednoznačným obrazem celého kolektoru, ale dává přesto nahlédnout, jaké problémy je možno v budoucnu očekávat.



Obr. 9: Suma pesticidů v indikačním vrtu č. IV 105/II Hradec nad Svitavou.
Fig. 9: Total pesticide concentration in monitoring well No. IV 105/II Hradec nad Svitavou.

5. Problematika konvenčního zemědělského hospodaření podle stávající legislativy

Možnosti regulace pesticidů v ochranných pásmech II. stupně podzemních vod nad rámec platné legislativy jsou omezené. Jejich zavedením by došlo k újmě pěstitelů zemědělský plodin a požadavku na kompenzace plynoucí z této újmy. Pro regulaci používání nejvíce rizikových pesticidů pro podzemní vody je možné navrhnout opatření, která jsou analogická s opatřeními pro regulaci pesticidů v okolí povrchových zdrojů pitné vody v Nařízení vlády č. 80/2023 Sb. Takové regulace pesticidů by měly být založené na pozitivní motivaci pěstitelů, kteří by za přesně vymezených podmínek rizikové přípravky v zájmovém území vůbec nepoužívali, nebo by je používali jen omezeně. Při konvenčním intenzivním způsobu pěstování zemědělských plodin je použití prostředků ochrany rostlin vůči škodlivým organismům nezbytné. Z používaných pesticidů jsou v současnosti pro pitnou vodu nejvíce rizikové prostředky učené k regulaci plevelů, tj. herbicidy a některé prostředky určené k omezení výskytu houbových patogenů, tj. fungicidy. Bez použití herbicidů dochází k vysokému zaplevelení porostů a významné výnosové depresi nejenom v roce pěstování, ale i v dalších letech v následných plodinách.
Z analýzy vyplývá, že účinné látky pesticidů a jejich metabolity s vysokou frekvencí nadlimitního výskytu v podzemní vodě, jsou příčinou vytváření zátěží pro budoucnost. Významná jsou i další rizika, pokud nebude problém řešen. U velkých poskytovatelů pitné vody se předpokládá významné navýšení investičních nákladů na technologie odstraňování reziduí pesticidů z pitné vody i nákladů provozních. To se v konečném důsledku může pro spotřebitele promítnout do zvýšení ceny vodného (Kodeš, Kocourek, 2025).

6. Stávající ochrana vod

Ochrana povrchových a podzemních vod, kvantitativní i kvalitativní, je v celém zájmovém území řešena již nyní i mimo vyhlášená ochranná pásma. Nařízením vlády byl v roce 1981 vyhlášen CHOPAV Východočeská křída, zaměřený na podzemní vody, který svým jižním cípem pokrývá celou zájmovou oblast rajonu. Podmínky, omezení, či zákazy vyplývající z vodního zákona pro takto chráněná území, včetně těch, směřovaných do zemědělského hospodaření v krajině, nejsou však v praxi dostatečně vymáhána. Dalším nástrojem jsou tzv. zranitelné oblasti, nástroj zaměřený na výskyt nadměrných koncentrací dusičnanů ve vodách. Ačkoliv je uplatňován již více než dvacet let a je pro zemědělce vázán na dotace a sankce, podzemní vody v zájmové oblasti vykazují setrvalý nárůst dusičnanového znečištění (Klír, 2023).

7. Návrh na změnu stávajícího ochranného pásma II. stupně

Současný postup stanovení ochranných pásem má za úkol chránit především místo odběru podzemní vody. Proti přímému ohrožení vodního zdroje slouží OPVZ I. stupně. OPVZ II. stupně by mělo chránit infiltrační plochu hydrogeologické struktury, v které je vodní zdroj vybudován. Současná legislativa umožňuje rozdělení ochranného pásma na různé zóny s různou úrovní ochrany podzemní vody (§ 30 odst. 5 vodního zákona č. 254/2001 Sb.).

Jako výchozí podklad pro návrh OPVZ II. stupně JÚ Březová nad Svitavou byla využita mapa Zranitelnosti podzemních vod (Novotná, 2023), která byla vytvořena konkrétně pro území rajonu 4232. Dále se vycházelo z rozsahu současného OPVZ II. stupně Březová nad Svitavou a rozsahu kolektorů B a C. Pomocí postupu tzv. generalizace byla vytvořena hranice nového OPVZ II. stupně, kde bylo cílem v co největší míře respektovat mapu Zranitelnosti podzemních vod (Novotná a kol., 2023), zejména kategorie zranitelnosti „střední“ a „vysoká“, a zároveň brát v potaz hranice současného OPVZ a obou kolektorů. V dalším kroku byla hranice nového OPVZ promítnuta do hranic parcel dle ČÚZK. V této fázi bylo nutné detailně projít vybrané parcely, které byly zahrnuty do OPVZ. Zejména parcely na hranici OPVZ prošly vícekrokovým hodnocením, zda je do OPVZ zahrnout či nikoliv, protože v některých případech samotné OPVZ zasahovalo do parcely pouze malou části, nebo došlo k tomu, že u složitých a dlouhých parcel muselo dojít k rozdělení, či některé parcely byly přidány kvůli zachování kompaktnosti území a logickému napojení mezi parcelami.

V následujícím kroku byly jednotlivé parcely rozděleny na zóny „A“ a „B“ na základě zařazení parcely dle mapy Zranitelnosti podzemních vod (Novotná, 2023) – zóna „A“ obsahuje převážně parcely s „vysokou mírou zranitelnosti“ a zóna „B“ zabírá parcely převáženě se „střední mírou zranitelnosti“. I v této fázi bylo nutné detailně projít a vyhodnotit rozdělení parcel do zón a případně jejich strojové rozdělení upravit s ohledem na logické zapojení parcel v rámci zón. Celkový počet dotčených parcel v rámci celého ochranného pásma je 49 931.

Dalším krokem pro návrh změny a pro správné vymezení OPVZ II. stupně bylo posouzení hydrogeologické struktury a jejich dílčích části, v rámci které dochází k tvorbě podzemní vody, jež je následně jako surová voda využita pro výrobu vody pitné. Infiltrační část hydrogeologické struktury může zasahovat do bezprostřední blízkosti vodního zdroje, ale může od něj být i velmi vzdálená. Vzhledem k intenzivnímu zatížení podzemních vod především kvarterních kolektorů nebo mělkých kolektorů hydrogeologických masívů dusičnany i rezidui pesticidů, je nutné infiltrační oblasti struktur vodních zdrojů definovat a do OPVZ II. stupně je zahrnout. Jak dusičnany, tak i rezidua pesticidů, mají v anoxických podmínkách mělkých podzemních vod charakter konzervativních kontaminantů (nijak se nerozkládají).

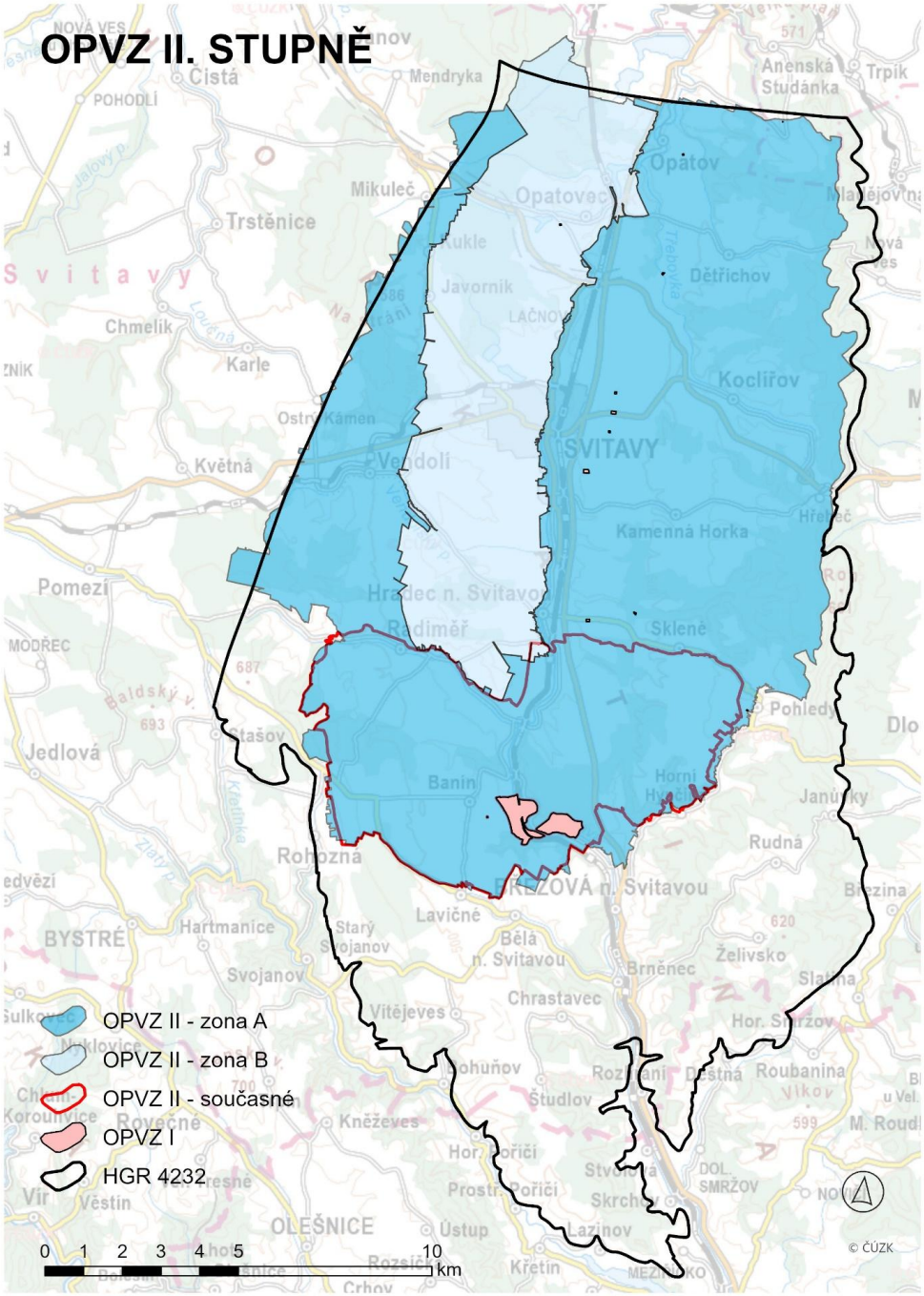
Návrh OPVZ II. stupně (ať už nového nebo jeho revize) by měl postupovat v na sebe navazujících krocích tak, aby před vymezením OP byl zjištěn jak charakter vodního zdroje, tak i podmínky tvorby přírodních zdrojů podzemní vody, která bude využívaná pro výrobu vody pitné. V rámci řešení projektu TAČR SS06010044 „Definování a hodnocení ploch rozhodných pro dotaci strategických zdrojů podzemních vod s ohledem na jejich ochranu a stabilizaci byl zpracován základ metodiky pro posuzování návrhů ochranných pásem vodních zdrojů. Metodika má strukturu odpovídající současně platné vyhlášce 137/1999 Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů.

Jako úvodní krok je nutné hodnocení vodního zdroje, tedy popisu vlastního vodního zdroje, s důrazem na zajištění rozšířené dokumentace o zdroji. U mnoha starších (ale i novějších) studen, resp. vrtů, se stavebním povolením často chybí podrobná geologická dokumentace, což způsobuje velké problémy při využívání těchto zdrojů. Jako příklad lze uvést chybějící informaci o naražené a ustálené hladině podzemní vody, na základě které se vyvozuje, zda je hladina podzemní vody napjatá nebo volná, což je důležité pro návrh režimu čerpání. Dále je nutné popsat hydrogeologické podmínky (popis vlastní hydrogeologické struktury, vývoj kvality a množství podzemní vody) a legislativní rámec zájmového území. Získané informace jsou pak zpracovány na vhodné vymezení OPVZ II. stupně pro podzemní zdroje využívané k zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Konečným krokem je návrh opatření v rámci ochranného pásma pro ochranu vodního zdroje. Metodicky je pojato jako výčet antropogenních reálných činností, které mohou probíhat v intravilánech a extravilánech. Konkrétní opatření jsou uvedena v závislosti na části hydrogeologické struktury – infiltrační, akumulační nebo drenážní – a pro akumulační část struktury je zvážen i charakter povrchu a nesaturované zóny vzhledem k možné intenzitě infiltrace v akumulační části struktury – propustný, nebo nepropustný povrch. Opatření jsou navržena ve vztahu k možnému (nebo téměř jistému) vnosu kontaminujících látek do nesaturované a posléze i saturované zóny horninového prostředí, ve kterém dochází nejprve k vertikálnímu a následně subhorizontálnímu proudění podzemní vody. Jednotlivé činnosti jsou navrženy jako zakázané nebo jsou uvedeny podmínky, za kterých je možné je vykonávat. Konkrétní opatření by měla vycházet z analýzy rizika ohrožení kvality a množství podzemní vody ve vodním zdroji.

Výsledný návrh rozsahu OPVZ II. stupně Březová nad Svitavou (obr. 10) je oproti současnému stavu výrazně větší. Současné ochranné pásmo má rozlohu 51,4 km^2 a nové ochranné pásmo má rozlohu 239 km^2 (zóna A 182,9 km^2, zóna B 56,1 km^2). Cílem nově navrženého rozsahu ochranného pásma je ochrana lokalit, kde

se předpokládá největší míra infiltrace srážkových vod. V rámci ochranného pásma je nutné nastavit opatření, které povedou jednak ke zvýšení zadržení vody v krajině a její následné infiltraci, ale také ke zlepšení jakostních ukazatelů a to pomocí různých druhů regulací používání nevhodných látek.

Návrh rozsahu ochranného pásma je v podstatě návratem směrem k rozsahu před rokem 2008, kdy rozloha ochranného pásma (v té době z roku 1986) byla 337,26 km^2 (VKNV HK, 1986). Důvod zmenšení ochranného pásma v roce 2008 (MUS, 2008) bylo předpokládané snížení používání dusíkatých hnojiv na zemědělské půdě, což se částečně dělo. Nicméně postupem času se koncentrace dusíkatých látek v podzemních vodách začala opět rychle zvyšovat. V současné době sice koncentrace dusíkatých látek stagnuje, ale stále je velmi vysoká. Největší problém však představují pesticidy a jejich metabolity, které se hojně používají v rámci postřiků na ochranu rostlin, a to nejen na zemědělské půdě. Nezanedbatelná je i aplikace chemických látek na odstraňování nežádoucích rostlin, často na komunikacích a v sídlech. Je tedy žádoucí zvýšit ochranu podzemních vod Ústecké synklinály, především omezit plošné používání nežádoucích látek, tedy změnit způsoby hospodaření na orné půdě.


OPVZ II. STUPNĚ
OPVZ II - zona A
OPVZ II - zona B
OPVZ II - současné
OPVZ I
HGR 4232
0 1 2 3 4 5 10 km
© ČÚZK
Svitavy
Opatov
Dětřichov
Kociířov
Kamenná Horka
Skleně
Banín
Březová n. Svitavou
Lavičné
Bělá n. Svitavou
Brněnec
Chrastavec
Vítějeves
Študlov
Kněževes
Svojanov
Hartmanice
Rudná
Roubanina
Mikuleč
Trstěnice
Chmelík
Karle
Květná
Pomezí
Jedlová
Rohozná
Mendryka
Anenská Studánka
Trpík
Opatovec
Javornik
Hradec n. Svitavou
Radiměř
Pohledec
Želivsko
Hor. Smržov
Hor. Pořičí
Prostřední Pořičí
Skrchov
Lazinov
Křetín
Ústup
OLEŠNICE
Věstín
BYSTRÉ
Starý Svojanov
Rozsíčí
Crhov
Dlouhá
Březina
Janůvky
Hřeben
Horní Hynčice
Pohledec
Dlouhá
Rozsíčí
Dlouhá
DOL. SMRŽOV
Slatina
Vlkov
M. Roudnice
Chrlice
Koroušnice
Rovečné
Vir
Nuklovice
Sulkovec
Nové Ves
Pohodlí
Cistá
Mendryka
Anenská Studánka
Trpík
Opatov
Dětřichov
Kociířov
Kamenná Horka
Skleně
Pohledec
Rudná
Březová n. Svitavou
Želivsko
Brněnec
Chrastavec
Vítějeves
Študlov
Kněževes
Svojanov
Hartmanice
Bělá n. Svitavou
Lavičné
Banín
Rohozná
Pomezí
Jedlová
Karle
Chmelík
Trstěnice
Mikuleč
Opatovec
Javornik
Radiměř
Hradec n. Svitavou
Hor. Smržov
Roubanina
Janůvky
Březina
Slatina
Hor. Pořičí
Prostřední Pořičí
Skrchov
Lazinov
Křetín
Ústup
OLEŠNICE
Věstín
BYSTRÉ
Starý Svojanov
Rozsíčí
Crhov
Dlouhá
DOL. SMRŽOV

8. Závěr

Zpracování dat několika systémů monitoringu v rajonu 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy ukazuje na zvyšující se zátěž podzemní vody plošnou kontaminací ze zemědělství, kde je nutné zaměřit pozornost především na tvorbu podzemní vody v hydrogeologickém kolektoru C, ve kterém se vytváří největší objemy podzemí vody. Při předpokládané době zdržení podzemní vody v kolektoru C je nutné minimalizovat aplikaci pesticidů v rozsahu celé infiltrační plochy kolektoru C, protože hrozí reálné riziko, že dojde k zvýšení obsahu těchto látek i v jímané podzemní vodě. Zjištěná doba setrvání podzemní vody v horninovém prostředí podmiňuje skutečnost, že opatření přijatá dnes se mohou pozitivně projevit minimálně v řádu let nebo desetiletí a současně zvažovat tu skutečnost, že u látek, které jsou dnes považovány za neškodné, může být toxicita zjištěna v budoucnu. Ke zvýšení ochrany podzemních vod JÚ Březová nad Svitavou je kromě omezení aplikace hnojiv a prostředků na ochranu rostlin nutná i změna stávajícího OPVZ II, které sice vyhovuje současné legislativě, ale praktický vliv na zlepšení kvality podzemních vod nepřináší. Nový návrh rozsahu OPVZ II vychází ze syntézy dostupných informací a mapy Zranitelnosti podzemních vod (Novotná, 2023), věnuje se především hodnocení vodního zdroje a popisu hydrogeologické struktury. Postup samozřejmě vychází a doplňuje vyhlášku č. 137/1999 Sb. a zákon č. 254/2001 Sb. Nově navržený rozsah OPVZ II je rozdělen na dvě zóny – A (vyšší stupeň ochrany) a B (nižší stupeň ochrany). Návrh možných ochranných opatření je uveden jako výčet antropogenních činností v závislosti na konkrétní části hydrogeologické struktury.

Poděkování: „Příspěvek vznikl v rámci dlouhodobých výzkumných aktivit VÚV TGM podpořených z prostředků institucionální podpory Ministerstva životního prostředí ČR pro dlouhodobou koncepci rozvoje výzkumné organizace."

Seznam literatury a ostatních podkladů

Bruthans, J., Burda, J., Bůžek, F., Čech, S., Čurda, J. et al., Grundloch, J. (ed.). *Ústecká synklinála v povodí Svitavy: hydrogeologický rajon 4232. Geologie a hydrogeologie: stanovení zásob podzemních vod*. Praha: Česká geologická služba, 2022. ISBN 978-80-7673-060-1.
Burda, J., Grundloch, J., eds. (2016). *Hydrogeologický rajon 4232 - Ústecká synklinála v povodí Svitavy. Závěrečná zpráva projektu Rebilance zásob podzemních vod, Příloha č. 2/24*. Česká geologická služba, 225 s.
Klír, J. (2023): *Základní analýza struktury zemědělského hospodaření v pilotním území HGR 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy*. Průběžná zpráva dle smlouvy SMLN-2023-725-000003. Praha: VÚRV, 18 s.
Kodeš, V., Kocourek, F. (2025): *Kvalita podzemních vod v České republice z pohledu výskytu pesticidních látek v období 2009-2024*. Studie Vědeckého výboru fytosanitárního a životního prostředí, 119 str.
Krásný, J., Císlerová, M., Čurda, S., Datel, J. V., Dvořák, J., Grmela, A., Hrkal, Z., Kříž, H., Marszałek, H., Šantrůček, J., Šilar, J. (2012). *Podzemní vody České republiky. Regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod.* Česká geologická služba. Praha.
Novotná, J. (2023): *Vyhodnocení a analýza účinnosti současného OPVZ II. stupně Březová nad Svitavou a analýza hydrogeologické stavby rajonu 4232 Ústecká synklinála*. Česká geologická služba, 17 s.
Novotná, J., Hadacz, R., Drahoš, K., Sedláček, J., Kryštofová, E., Baldík, V., Rez, J., Honek, D. (2023). *Hydrogeologické poměry hydrogeologického rajonu 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy z hlediska tvorby podzemní vody jako zdroje vody pitné*. Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 30, 1–2, 66–72.

Seznam legislativy

MUS (2008): Rozhodnutí „Stanovení ochranného pásma vodního zdroje Březová nad Svitavou“ – veřejná vyhláška. Městský úřad Svitavy: Svitavy, 23 s.
Nařízení vlády č. 80/2023 Sb. o stanovení podmínek provádění agroenvironmentálně-klimatických opatření
Směrnice Rady ze dne 12. prosince 1991 o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů
VKNV HK (1986): Rozhodnutí „Pásma ochrany vodního zdroje Březová nad Svitavou“. Východočeský krajský národní výbor v Hradci Králové: Hradec Králové, 10 s.
Vyhláška č. 137/1999 Sb., kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů
Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů

Ani u malých obcí nelze ochranu vodních zdrojů zanedbávat - aktualizace a revize ochranných pásem zdrojů vody pro obecní vodovody

Even in small municipalities, the protection of water resources cannot be neglected - updating and revising water resource protection zones for municipal water systems

P.g. Petr Tichý[1], RNDr. Petr Kohout[2],

[1]Petr Tichý – HYDROTREND, Přátelství 316, Trutnov; tichyht@volny.cz
[2]Forsapi s.r.o., K Horoměřicům 1113/29, Praha 6; petr.kohout@forsapi.cz

Abstrakt: Příspěvek chce na příkladech řešení tří úloh hydrogeologického průzkumu pro návrh nových či revidovaných ochranných pásem zdrojů podzemní vody ukázat možné metodické přístupy pro získání či doplnění důležitých informací. Zhodnoceny zde jsou tři realizované úlohy hydrogeologického průzkumu, zaměřené na návrh či revizi ochranných pásem již provozovaných vodních zdrojů, kdy jímacími objekty jsou vrtaná studna (lokalita Martinice), jímací zářez (Chvaleč) a konstrukčně atypická pramenní jímka (Libňatov). V komplexu použitých průzkumných prací a metod je v uvedených případech věnována užší pozornost možnostem geofyzikálního průzkumu jako pomocné metody pro návrh ochranných podmínek zdrojů vody v hydrogeologických rajonech permokarbonu (podkrkonošská pánev a západní část dolnoslezské pánve) a zhodnocen přínos aplikace geofyzikálního průzkumu pro upřesnění místních hydrogeologických poměrů i geneze zkoumaných zdrojů podzemní vody pro vodovody menších obcí v daných zájmových lokalitách.

Abstract: The paper aims to show possible methodological approaches for obtaining or supplementing important information using examples of solutions to three hydrogeological survey tasks for the design of new or revised protection zones for groundwater sources. Three implemented hydrogeological survey tasks are evaluated here, focused on the design or revision of protection zones for already operated water sources, where the collection objects are a drilled well (Martinice locality), a collection notch (Chvaleč) and a structurally atypical spring reservoir (Libňatov). In the complex of survey works and methods used, in the above cases, closer attention is paid to the possibilities of geophysical survey as an auxiliary method for the design of protection conditions for water sources in the hydrogeological regions of the Permocarbon (the Krkonoše Basin and the western part of the Lower Silesian Basin) and the benefit of applying geophysical survey for specifying local hydrogeological conditions and the genesis of the investigated groundwater sources for water supply systems of smaller municipalities in the given localities of interest is evaluated.

Klíčová slova: hydrogeologický průzkum, ochranné pásmo zdroje vody, geofyzikální průzkum, obecní vodovody.
Key words: hydrogeological survey, water source protection zone, geophysical survey, municipal water supply systems.

1. Úvod

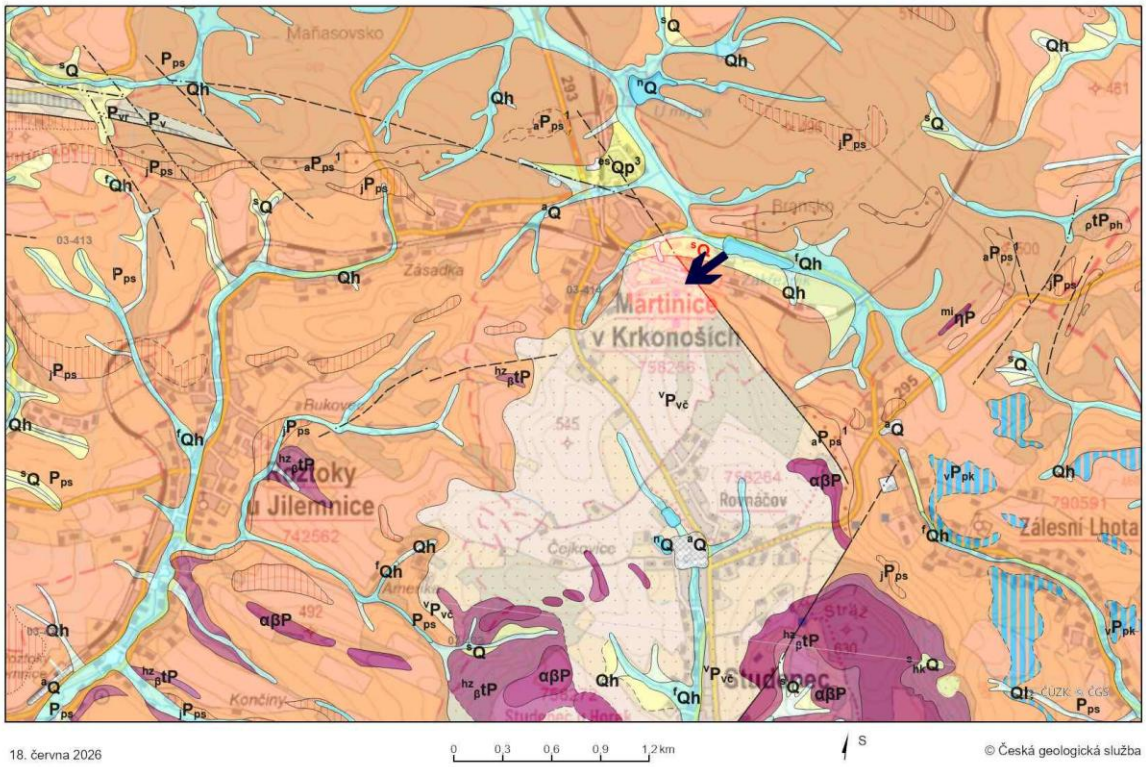
V případech průzkumů pro návrh nových ochranných pásem (dále OP) či pro revizi dosavadních OP se u menších obcí setkáváme s velmi odlišnými vstupními podmínkami a to jak z hlediska množství a kvality dostupných informací, tak i z hlediska možností zadavatele (zvláště finančních) potřebné chybějící podklady průzkumem doplnit. V naprosté většině zadání hydrogeologických prací pro návrh či revizi OP vodních zdrojů tak bývají pro řešitele úkolu podstatnými výchozími limity jednak množství a kvalita vstupních informací o předmětném zdroji vody, jednak cena, jakou chce (či může) objednatel hydrogeologických prací za doplnění potřebných informací zaplatit. Aktuální právní rámec ponechává odbornému řešiteli při přípravě odborných podkladů pro návrh ochranných pásem zdrojů podzemní vody poměrně velkou metodickou volnost, navíc je potěšujícím faktem, že ochrana vlastních vodních zdrojů se v posledních desetiletích rozhodně zařadila mezi priority vedení většiny obcí. Úkol řešitele – hydrogeologa – zde přitom zůstává v hlavních parametrech stejný jako v minulosti – návrh OP musí co možná nejobjektivněji zohledňovat hydrogeologické a geologické podmínky lokality, co možná nejkomplexněji identifikovat možná rizika, ohrožující reálně (nebo jen teoreticky) vydatnost a kvalitu předmětného zdroje vody a vhodným způsobem tato rizika navrženými ochrannými podmínkami v OP eliminovat. Nezanedbatelným hlediskem je i to, že nově navržené či aktualizované podmínky pro ochranu vodního zdroje musí mít ambici tento vodní zdroj chránit minimálně v horizontu příštích desetiletí. Mezi mnoha lety praxe prověřených zkušeností a zásad je třeba vyzdvihnout tu, že se při návrzích OP vyplatí vždy ověřit aktuální technický stav samotného zdroje vody, jenž může být v mnoha případech sám o sobě jedním z významných rizikových faktorů pro jeho další bezproblémové využívání.
V našem příspěvku chceme na příkladu řešení tří dosti odlišných případů z lokalit ve dvou permokarbonských rajonech v Podkrkonoší prezentovat zkušenosti i výsledky některých metodických postupů. Na úvod každého

příkladu uvádíme základní charakteristiky předmětného zdroje vody a stručný souhrn místních geologických a hydrogeologických poměrů.

Lokalita 1: Martinice v Krkonoších, okres Semily (zadavatel Obec Martinice v Krkonoších), vrt MA-1.
Hydrogeologický rajon: 5151 – Podkrkonošský permokarbon,
Vrtem jímaný **hydrogeologický kolektor**: pískovce a arkózové pískovce vrchlabského souvrství (spodní perm),
Hladina podzemní vody: slabě negativně napjatá (trvale bez přetoku).

- Předmětný zdroj vody: jímací vrt MA-1 z r. 1978, hloubka 55 m (Václavík, 1979),
- Primární hydrogeologická dokumentace: úplná, k dispozici kompletní diagnostika vrtu z r. 2019,
- Geologická a hydrogeologická prozkoumanost: relativně dobrá,
- Roční (povolený) odběr z vrtu MA-1 (v době průzkumu): max. 5 $l.s^{-1}$, ročně nejvýše 156 000 m^3,
- Hlavní **rizika znečištění** podzemní vody vrtu MA-1: lokální **zemědělské hospodaření** a komunální sféra, opuštěný **průmyslový areál** (bývalá Kolora Semily), **železniční stanice a trať**.

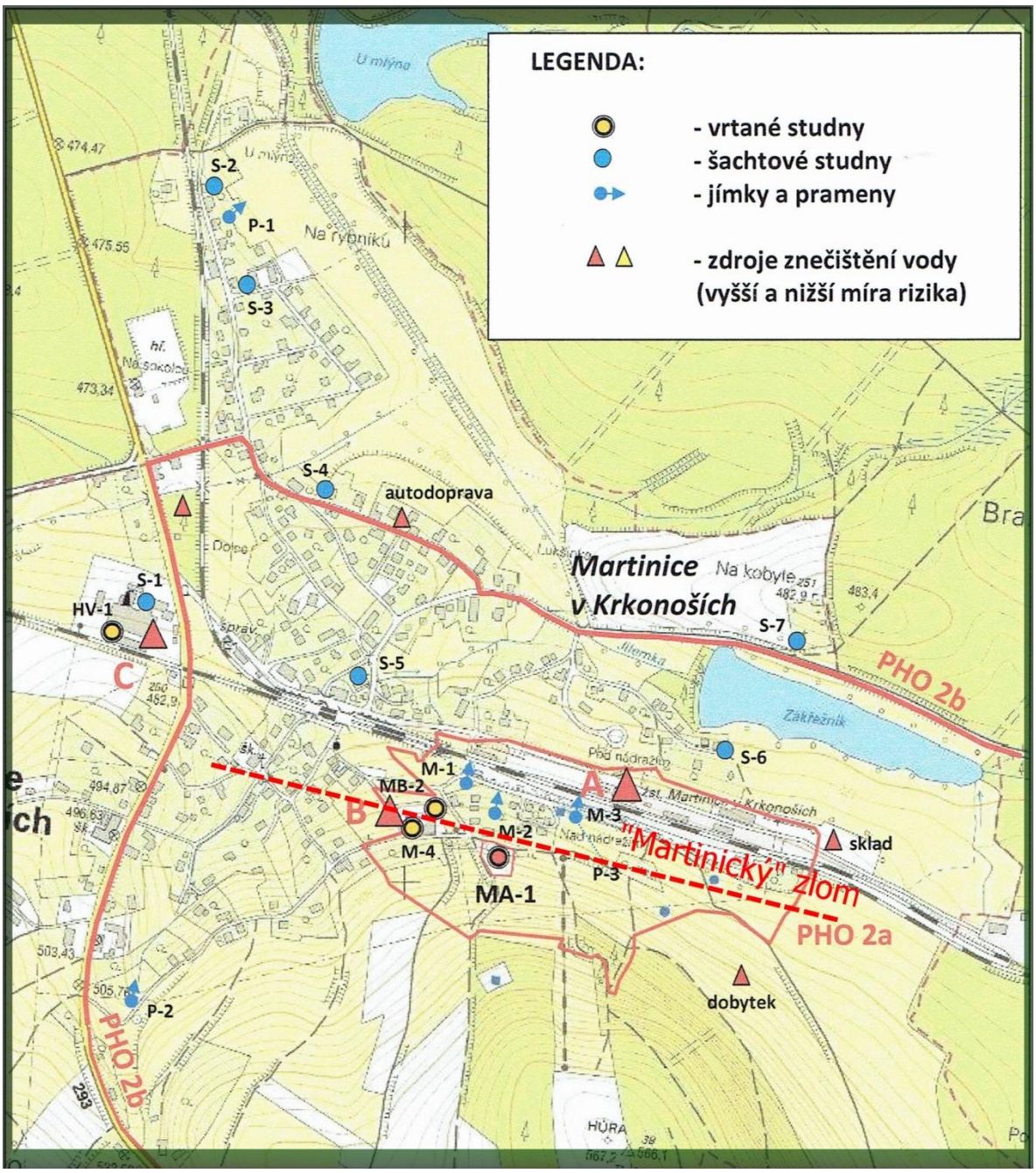
Geologicky náleží posuzovaná oblast do oblasti limnického permokarbonu, označované jako **podkrkonošská pánev**. Skalní podloží v daném území budují jednk sedimenty **prosečenského souvrství** permského stáří (hnědé až červenohnědé prachovce a jílovce s vložkami pískovců, arkóz, tufů a tufitů), jednak sedimenty svrchního členu vrchlabského souvrství (červenohnědé pískovce až arkózové pískovce, prachovce a jílovce), jež jsou zároveň i hydrogeologickým kolektorem, využívaným vrtem MA-1. V zájmové oblasti jsou vymapovány též polohy bazaltandezitů (melafyrů) a jejich tufů. Celková geologická situace území a lokality je patrná z obr. 1:



Obr. 1 Přehledná geologická mapa zájmové oblasti a lokality.
Fig. 1 Geological map of the area of interest and locality.

Melafyrové těleso neznámé mocnosti bylo zjištěno též při bázi vrtu MA-1 v úseku 40 až 55 m. Specifickou pozici vrtu MA-1 v místně významné hydrogeologické struktuře vysvětluje ve své zprávě již S. Václavík (1979), dobře patrná je i z geologické mapy na obr. 1. Zde je jižně od Martinic dobře patrný klínovitý tvar výchozové oblasti sedimentů vrchlabského souvrství, v daném území díky převážně pískovcovému vývoji příznivých pro infiltraci srážek a následnou akumulaci podzemní vody na kontaktu s tzv. martinickým zlomem směru V-Z.
K přírodnímu odvodnění lokální antiklinální struktury, směrem k vrtu MA-1 (tedy k severu) tektonicky uzavřené martinickým zlomem (směru V-Z) a k němu příčným zlomem směru SZ-JV, jenž probíhá při SV úbočí výšiny Hůra (567 m.n.m.), dochází právě v oblasti nedalekého okolí vrtu. Vrt MA-1 je tak výhodně situován v místě soustředěného přírodního odvodnění celé dílčí hydrogeologické struktury, což již před jeho vyhloubením

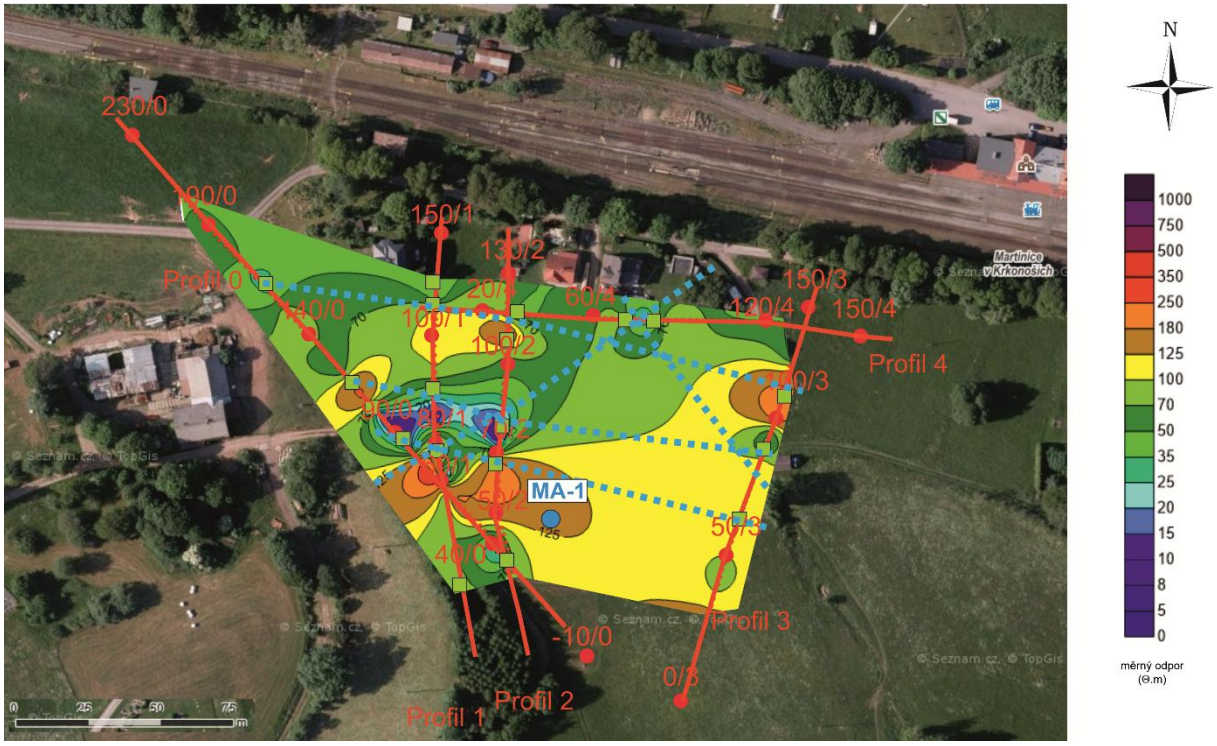
indikovaly zdejší pramenní vývěry. Některé z nich byly již před realizací vrtu MA-1 vodárensky využívány formou jímacích zářezů (zdroj M-3 na obr. 2). Hlavním dotačním zdrojem podzemních vod jsou v území infiltrované srážkové vody, přičemž hlavní část infiltrační oblasti, vztahující se k vrtu MA-1, byla zahrnuta do již dříve vyhlášeného ochranného pásma (PHO) 2.b stupně vrtu dle návrhu Prouzové (in Žitný L., 1986).



Obr. 2 Dokumentační situace zájmové lokality s vyznačením zdrojů vody a znečištění.
Fig. 2 Documentation of the location of interest with indication of water sources and pollution.

Jako **hlavní** možné **zdroje ohrožení kvality** podzemní vody vrtu MA-1 byly na základě rešeršního i terénního průzkumu identifikovány tyto (viz obr. 2): A - areál a kolejiště železniční stanice, B - hospodářský areál místního soukromého zemědělce, C - Výrobní areál a objekty bývalého podniku Kolora Semily. Aby bylo možné upřesnit hydrogeologickou pozici těchto potenciální zdrojů kontaminace podzemní vody a vyloučit jejich možný vztah k podzemní vodě vrtu MA-1, byly průzkumné terénní práce (terénní mapování, měření a dokumentace vybraných jímacích objektů, odběry a analýzy vzorků vody z některých vodních zdrojů v území) doplněny i o geofyzikální průzkum území v okolí vrtu MA-1. Cílem tohoto geofyzikálního průzkumu bylo ozřejmit detailněji hlavně tektonickou stavbu území v blízkém okolí vrtu MA-1 a na tomto základě upřesnit míru rizika, jakou pro kvalitu vody jímacího vrtu MA-1 představují zmíněné zdroje možného znečištění podzemní vody. Pro **geofyzikální**

průzkum byla zvolena kombinace geoelektrických metod – elektrická odporová tomografie (ERT) s uspořádáním elektrod dipol-dipol a se Schlunbergerovým uspořádáním elektrod. Měření se uskutečnila na 5 profilech s hloubkovým dosahem 25 – 30 m.
Z modelových elektrických odporových řezů vyplynulo, že horninové prostředí na zájmovém území je možné podle měrných odporů rozčlenit do 2 základních částí oddělených přibližně průběhem komunikace pod vodním zdrojem MA-1. Jižní část nacházející se na jižním svahu kopce Hůra (567 m.n.m.) je budována zpevněnými horninami s měrnými odpory převážně mezi 100 až 250 Ωm (pravděpodobně dominantně pískovci). Polohy pískovců jsou do hloubky 5 až 10 m více rozvětrané a částečně porušené úzkými poruchami, které zasahují do hlubších částí a vytvářejí blokovou stavbu horninového prostředí. Zvětralý pokryv společně s poruchami může představovat infiltrační zóny pro dotaci podzemní vody. Severní část území se naopak vyznačuje celkově nižšími měrnými odpory – mezi 40 až 150 Ωm, které signalizují vyšší podíl prachovitých a jílovitých složek v horninách, případně vyšší stupeň zvětrání horninového prostředí. Dominantní strukturou je tektonická porucha z. – v. směru rozdělující zájmové území na zmiňované části. Na proměřeném území byly kromě této poruchy identifikovány další 2 paralelní poruchy (jedna v jižní části a druhá v severní části území) a dále porucha ve směru JZ – SV probíhající centrální části měřeného území a porucha ve směru JV – SZ v sv. části měřeného území.



Obr. 3 Mapa izolinií měrného odporu v hloubce 15 m s vyznačením tektonických poruch.
Fig. 3 Resistivity contour map at a depth of 15 m with delineation of tectonic faults.

Hlavní výsledky provedených prací pro návrh revize OP jímacího vrtu MA-1 v Martinicích v Krkonoších lze závěrem shrnout takto:

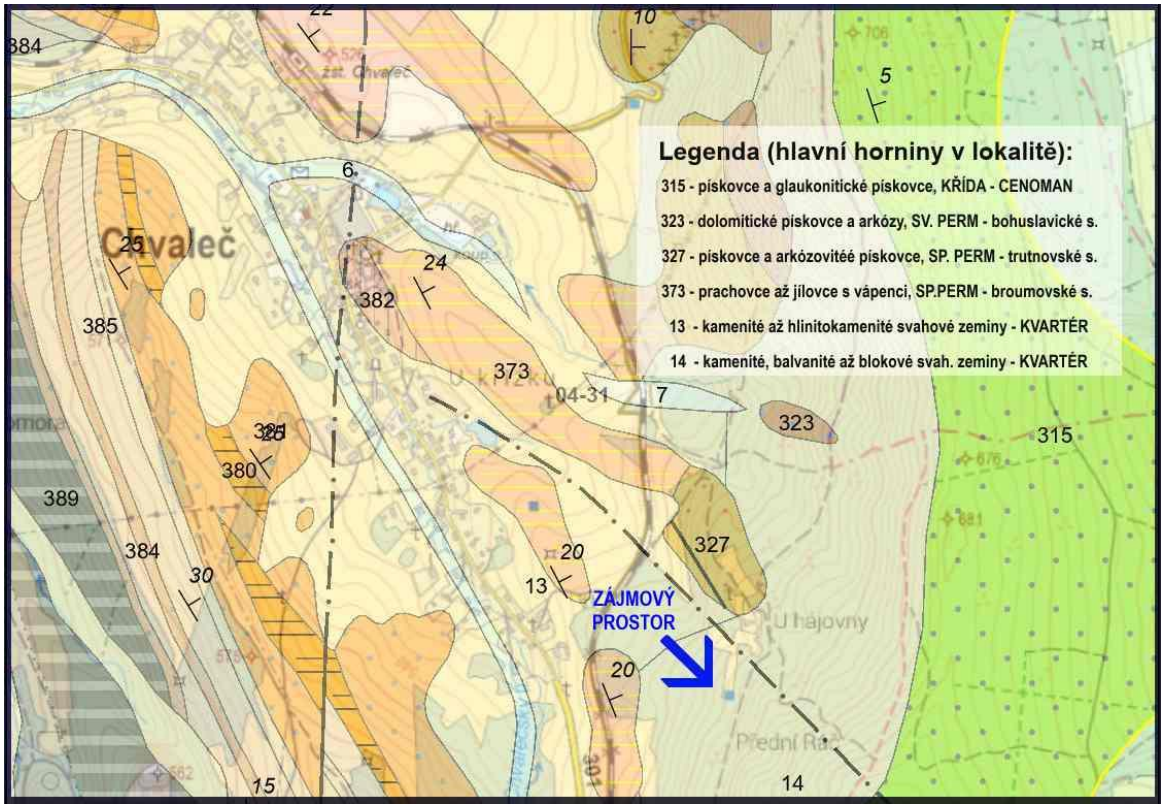
- Zdroje potenciálního znečištění A (železniční stanice a kolejiště) a C (areál bývalého podniku Kolora) se nacházejí **mimo hydrogeologickou strukturu**, exploatovanou jímacím vrtem MA-1. Ta je zde prokazatelně na severu omezena příčně nepropustnou (či jen velmi omezeně propustnou) strukturou tzv. martinického zlomu. Geofyzikální průzkum přitom prokázal, že se jedná o složitější tektonickou strukturu, jež je součástí významného poruchového pásma vyššího řádu, **kundraticko-javornické poruchy** (Prouza a kol., 2013). Tato poruchová zóna směru V-Z až VJV-ZSZ protíná podkrkonošskou pánev v délce více desítek kilometrů a projevuje se mimo jiné vztyčením sedimentárních vrstev a drcením a prohnětěním sedimentárních vrstev v širším okolí této dislokace.
- Zdroj potenciálního znečištění B (zemědělský areál místního hospodáře) je od prostoru vrtu MA-1 též zčásti oddělen 1-2 dílčími liniemi martinického zlomu a navíc zřejmě i nově geofyzikálním průzkumem lokalizovanou poruchovou linií směru SV-JZ.
- Dosavadní hranice OP vodního zdroje 1. i 2. stupně je možné zachovat, aktualizovány či nově vymezeny jsou zde ochranné a omezující podmínky k ochraně kvality a vydatnosti vrtu MA-1 a dále opatření ke kontrole účinnosti nově navržených ochranných podmínek.

- Provedené práce a zejména geofyzikální průzkum v okolí vrtu MA-1 umožnily nad rámec původního zadání zapracovat do výsledké zprávy i návrh optimální lokalizace případného náhradního či záložního vrtu k jímacímu vrtu MA-1, vrtu MA-2.

Lokalita 2: Chvaleč, okres Trutnov (zadavatel Obec Chvaleč), historický jímací zářez „Hájenka“.
Hydrogeologický rajon: 5161 – Dolnoslezská pánev – západní část,
Zářezem jímaný **hydrogeologický kolektor**: pískovce a arkózovité pískovce trutnovského a zčásti též bohuslavického souvrství (spodní až svrchní perm).

- Předmětný zdroj vody: jímací zářez ZJ-H z r. 1937, svedený do stejně starého vodojemu v téže lokalitě, Primární hydrogeologická dokumentace: z období vzniku není k dispozici
- Geologická a hydrogeologická prozkoumanost: v zájmovém prostoru minimální (lesní komplex),
- Roční (povolený) odběr ze zářezu ZJ-H (v době průzkumu): max. 2,0 $l.s^{-1}$, ročně nejvýše 10 000 m^3,
- Hlavní **rizika znečištění** podzemní vody zářezu: **lesnické hospodaření a související provoz lesní mechanizace** (blízkost svážnice), lesní zvěř.

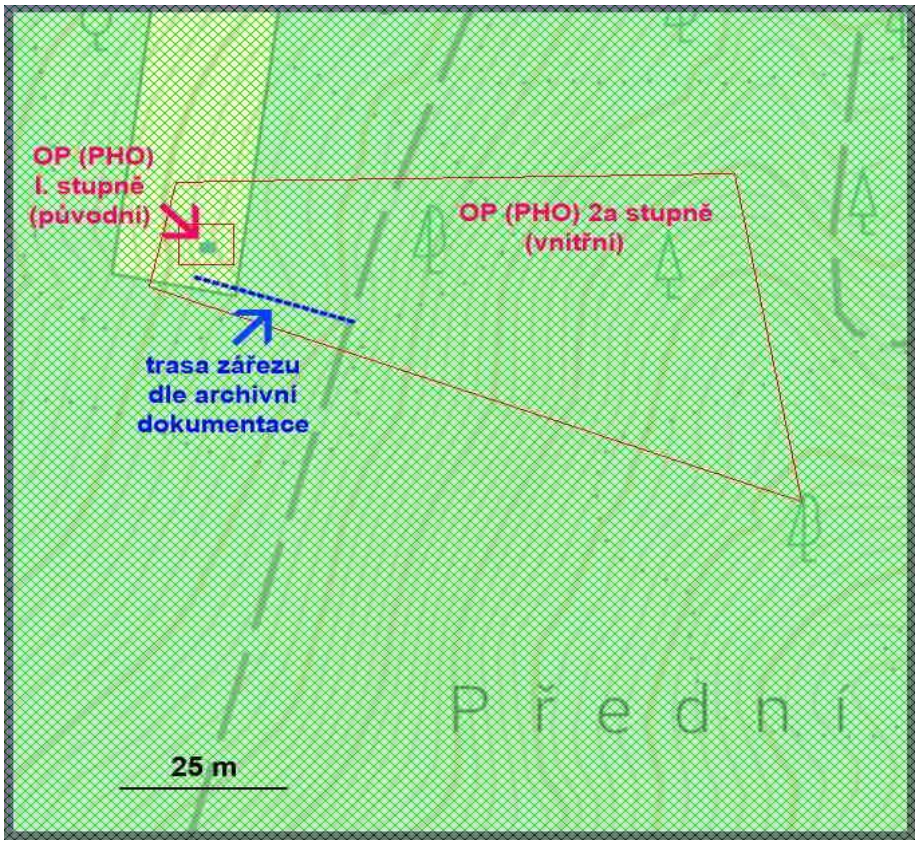
Geologicky spadá posuzovaná lokalita do dolnoslezské pánve, jež je zde vyplněna sedimenty karbonského až triasového stáří, v mladší době částečně překrytými mořskými sedimenty svrchní křídy. V zájmové oblasti vystupují konkrétně permské sedimenty trutnovského a bohuslavického souvrství (převážně pískovce), na něž východním směrem nasedají v převažujícím pískovcovém (v menší míře také slepencovém) vývoji sedimenty bohdašínského souvrství (trias) a perucko-korycanského souvrství (křída - cenoman). Popsané sedimenty jsou v zájmové oblasti překryty nezpevněnými sedimenty kvartéru s významným zastoupením písčitokamenitých a balvanitých až blokových svahových sutí (viz obr. 4). Mocnost tohoto kvartérního pokryvu dle geofyzikálního průzkumu činí v prostoru prameniště Hájenka 2 až 3 m a v místech tektonického porušení skalního podloží i přes 5 m.



Obr. 4 Přehledná geologická mapa zájmové oblasti a lokality.
Fig. 4 Geological map of the area of interest and locality .

Hydrogeologicky náleží dané území do západní části dolnoslezské pánve (hydrogeologický rajon 5161). Významnější oběh podzemních vod je zde vázán na zónu přípovrchového rozvolnění puklin, dosahující obvykle několik desítek metrů. Zrnitostně převážně pískovcové sedimentární komplexy souvrství permu (zde zvláště souvrství trutnovského a bohuslavického) v zájmovém území z hydrogeologického hlediska zastávají obvykle funkci kolektorů (zejména v přípovrchové zóně do cca 30i až 40i m), na jejichž odvodnění po tektonicky zprostředkovaných preferenčních cestách (pukliny či poruchové zóny) jsou pravděpodobně vázány i vývěry,

podchycené v 1. polovině minulého století v gravitačním prameništi zářezem „Hájenka“. Kvartérní pokryv zalesněných svahů a hřbetů západně od prameniště svým hrubě štěrkopísčitým až balvanitým charakterem vytváří dobré podmínky pro zachycení a následnou infiltraci srážek do hlouběji situovaných (převážně pískovcových) kolektorů křídy, triasu a permu. Zároveň zde může tento pokryv díky své vysoké propustnosti a porozitě místy přejímat, vést a akumulovat vodu hlouběji vyvěrajících puklinových pramenů. S ohledem na to, že sklon vrstev sedimentů křídy, triasu i permu směřuje do polické pánve (k V), podílejí se na dotaci podzemní vody prameniště Hájenka (z. od infiltrační oblasti) v území infiltrované srážkové vody pouze zčásti a část infiltrované vody dotuje podzemní vodou sedimenty polické pánve. Prameniště "Hájenka" leží při v. okraji území, jež je Českou geologickou službou v Praze evidováno jako poddolované území (historická těžba uhlí).
Při řešení revizního návrhu OP zdroje Hájenka bylo **primárním úkolem** odstranit zjevný rozpor mezi kdysi vyhlášeným PHO I. stupně, vymezeným jako **„obdélník 11 x 9 m kolem vodojemu“** (viz obr. 5) a pozicí samotného jímacího zářezu (obr. 5), kterou jsme však na počátku řešení úkolu přesně neznali. Vzhledem ke skutečnosti, že obdobně nepřesným či přímo zavádějícím způsobem je doposud vymezeno přinejmenším 30 % OP (PHO) I. stupně zářezů či jímek gravitačních pramenišť v Krkonoších a Podkrkonoší, šlo do značné míry o metodickou výzvu, přesahující rámec jednoho úkolu.

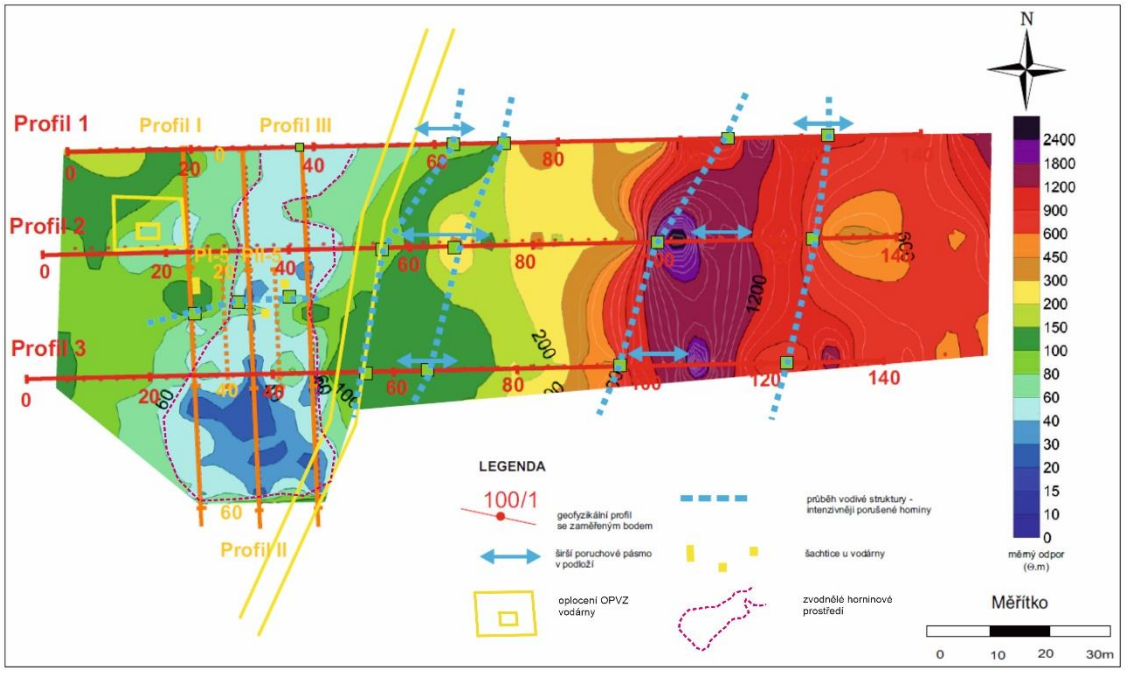


Obr. 5 Zjevný rozpor mezi vymezeným OP (PHO) I. stupně a pozicí jímacího zářezu.

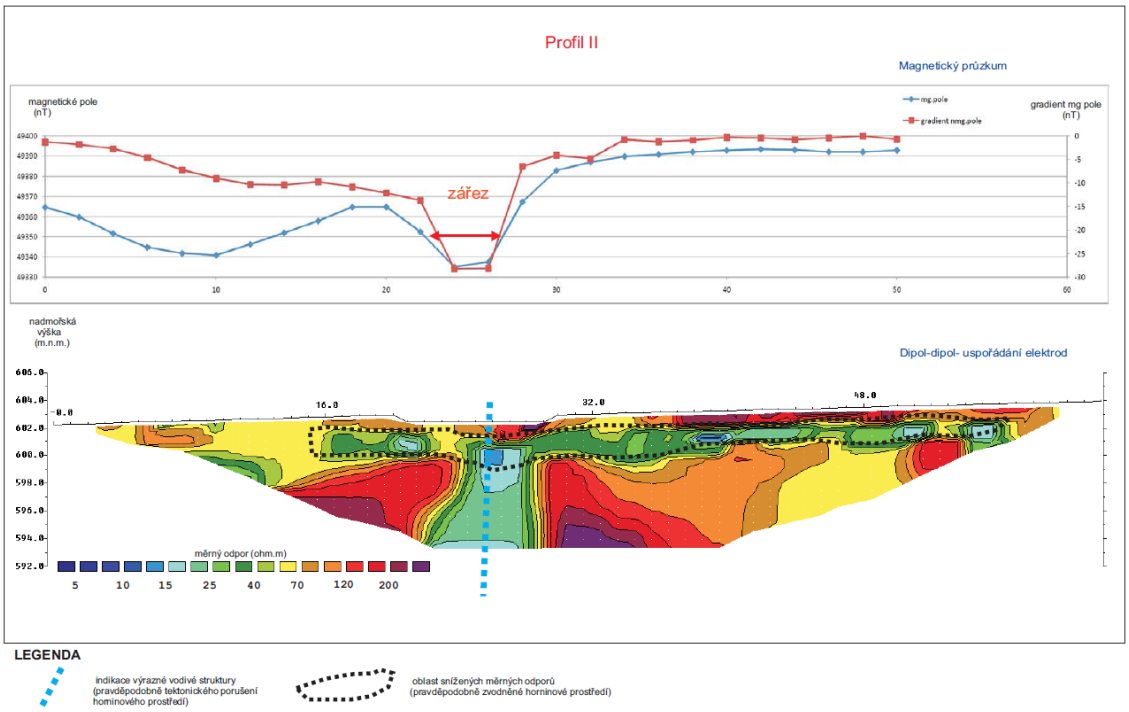
Fig. 5 Obvious discrepancy between the defined level I protection zone and the position of the interception notch.

Průběh jímacího zářezu bylo v daném případě možné přibližně odvodit (obr. 5), a to i díky našemu nálezu dochované archivní dokumentace stavby prameniště z I. poloviny minulého století. Protože se ale nepodařilo potvrdit trasu a aktuální stav jímacího zářezu prohlídkou TV kamerou (zářez byl nedaleko od ústí do vodojemu porušen a zatěsněn zeminou), bylo k vymezení jímacího zářezu i k upřesnění geneze a geologické pozice vývěrů podzemní vody v daném místě využito podrobného geofyzikálního průzkumu. V tomto případě byla použita kombinace geoelektrických metod – metoda elektrické odporové tomografie a magnetického průzkumu. V centrální části zájmového území (na ploše 35 x 160 m^2) bylo geoelektrickými metodami identifikováno výrazné poruchové pásmo severojižního směru, které se vytváří podél 2 vodivých vertikálních struktur (tektonických poruch). Další širší poruchové linie se nacházejí na východním okraji zájmového území a jsou orientovány v obdobném směru (SSV-JJZ až S-J). Na kolmých profilech s. – j. směru (profily I až III) byla identifikována strmá vodivá linie v depresi jižně od objektu vodárny. Široké poruchové pásmo v centrální části rozděluje horninové prostředí na zájmovém území do dvou odlišných bloků (obr. 6). V západní části je charakteristické nízkými měrnými odpory v povrchových vrstvách (20 až 80 Ωm), které velmi pravděpodobně odpovídají zvodněnému

horninovému prostředí východně a jihovýchodně od objektu vodárny. Mocnost zvodněných vrstev se pohybuje mezi 2 až 4 m. Nelze vyloučit, že v širokém poruchovém pásmu je vytvořeno další zvodněné prostředí, které může sytit povrchově zvodněné vrstvy v okolí vodárny. Pomocí kombinace ERT s detailním krokem (2 m) a měření gradientu a totálního magnetického pole byla interpretována poloha zářezu (obr.7).



Obr. 6 Mapa izolinií měrného odporu v hloubce 2 m s interpretací geofyzikálních měření.
Fig. 6 Resistivity contour map at a depth of 2 m with interpretation of geophysical measurements.



Obr. 7 Identifikace starého vodárenského zářezu pomocí metod ERT a magnetického průzkumu.
Fig. 7 Identification of an old waterwork notch using ERT and magnetic survey methods.

Hlavní výsledky provedených prací pro návrh **revize OP jímacího zářezu ZJ-H ve Chvalči** byly tyto:

- Provedený průzkum potvrdil v souladu s archivní dokumentací (Ing. Bruno Richter a Co., 1938, archiv SOKA Trutnov) existenci zářezu v prostoru mimo doposud vyhlášené OP (PHO) I. stupně a umožnil toto OP I. stupně nově navrhnout tak, aby respektovalo reálnou pozici jímacího objektu. Výsledky průzkumu byly později potvrzeny i během navazující rekonstrukce zářezu ZJ-H.
- Výsledky průzkumu upozornily na potenciální riziko možného ohrožení zdroje ZJ-H případným provozem vozidel či lesní techniky na místní lesní komunikaci severojižního směru (obr. 5).
- Provedené práce a zejména geofyzikální průzkum v okolí zářezu ZJ-H přinesly v jinak velmi nepřehledném a vrty prakticky neprozkoumaném terénu významnou doplňující informaci o tektonice i litologii zájmové lokality a o charakteru skalního podloží i relativně mocného kvartérního pokryvu v území, což vedle revize OP I. stupně zdroje ZJ-H přispělo i k související revizi a aktualizaci ochranných podmínek OP II. stupně historických zdrojů vody (gravitačních pramenišť) „Hájenka“ a „Svíčka“ pro obecní vodovod.

Lokalita 3: Libňatov, okr. Trutnov (zadavatel Obec Libňatov), pramenní jímka TS-1 („Tomkova studna“).
Hydrogeologický rajon: 5151 – Podkrkonošský permokarbon,
Jímkou aktivovaný **hydrogeologický kolektor**: pískovce a dolomitické pískovce bohuslavického souvrství (svrchní perm), zčásti snad i trutnovského souvrství (spodní perm).

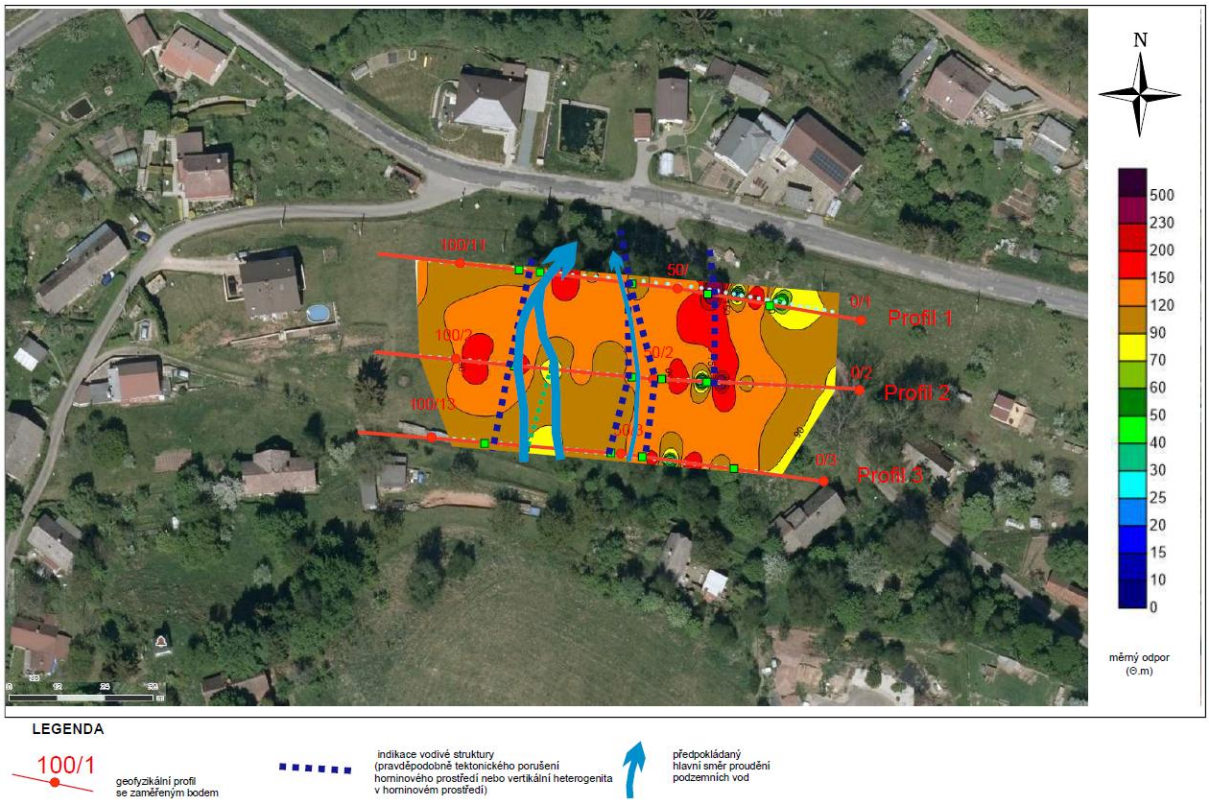
- Předmětný zdroj vody: historická pramenní jímka pro lokální vodovod (Tichý, 2010),
- Hladina podzemní vody: volná, trvalý přetok v místě pramenního vývěru (z jímky sveden do požární nádrže).
- Primární hydrogeologická dokumentace: pokud existovala, není k dispozici (nedochovala se),
- Geologická a hydrogeologická prozkoumanost: velmi nízká,
- Roční (povolený) odběr z pramenní jímky (v době průzkumu): max. 1,5 $l.s^{-1}$, ročně nejvýše 28 470 m^3,
- Hlavní **rizika znečištění** podzemní vody jímky TS-1: lokální **zemědělské hospodaření** a komunální sféra, **silniční komunikace** probíhající v bezprostředním sousedství jímky (obr. 8).

Geologicky řadíme lokalitu do podkrkonošské permokarbonské pánve, morfologická, geologická i stratigrafická pozice hodnoceného vývěru je obdobná, jako v případě lokality č. 2 - Chvaleč. Skalní podloží tvoří horniny bohuslavického, v nižších partiích (údolí potoka Maršovky) též trutnovského souvrství (perm). Uložení vrstev permu je převážně subhorizontální. Litologicky se zpravidla jedná o růžové a červenohnědé pískovce a písčité prachovce až jílovce (aleuropelity), v případě bohuslavického souvrství jsou zastoupeny i dolomitické pískovce. Charakteristický geologický profil územím lze odvodit na podkladě výsledků průzkumu v roce 1980, kdy byl jižně od zájmové lokality vyhlouben hydrogeologický vrt LB-1, pro malou vydatnost následně zlikvidovaný (Smutek D., 1980). Vrt LB-1 zastihl ve svém 80i m profilu převažující hnědočervené jemnozrnné (řidčeji až středně zrnité) pískovce bohuslavického souvrství, zpravidla karbonatické, s méně častými polohami prachovců. Nedaleko od zdroje L-S1 směrem k JZ se zachoval ostrůvkovitý výskyt terciérních štěrků a písků s bloky křemenných pískovců a vložkami jílů. Hloubkový dosah těchto sladkovodních (patrně říčních) uloženin se obvykle pohybuje od několika metrů do mocnosti prvních desítek metrů. Kvartérní pokryv tvoří v území převážně písčitohlinité až hlinitopísčité svahové uloženiny a zvětraliny obvyklé mocnosti okolo 1 m, nejvýše mezi 2,5 až 3,5 m. **Hydrogeologicky** je zájmové území řazeno do hydrogeologického rajonu 5151 - Podkrkonošský permokarbon. Významnější oběh podzemních vod je v tomto rajonu vázán na zónu přípovrchového rozvolnění puklin, dosahující řádově několik desítek metrů (obvykle kolem 40 m) od terénu. Přebytky podzemních vod se odvodňují soustředěnými prameny o vydatnostech v řádu vyšších desetin až prvních jednotek l/s, případně rozptýlenými přírony do povrchových toků (zde do Maršovky), zpravidla ve vazbě na významnější tektonické porušení sedimentů či na změnu litologie (a propustnosti) sedimentů permu ve vertikálním směru. Často – jak je tomu patrně i v případě pramene zachyceného jímkou TS-1 – může jít o kombinaci obou zmíněných faktorů. Horniny bohuslavického souvrství, jež budují skalní podloží v daném území, se vyznačují převážně dobrou puklinovou (při silnějším zvětrání i průlinovou) propustností, charakterizovanou koeficientem hydraulické vodivosti („filtrace“) $\mathbf{k_{hv}}$ zhruba v rozmezí hodnot 5.10^{-6} až 2.10^{-5} $m.s^{-1}$. Vzhledem k vyššímu podílu karbonátů v pískovcích tohoto souvrství jsou tyto sedimenty přirozeně náchylné k rozpukání, což se často projevuje jejich blokovou stavbou, kdy se na poměrně malém prostoru (řádově 100x100 m) může v profilu zpravidla pískovcových vrstev střídat několik bloků či „ker“ sedimentů s výrazně odlišnou mírou porušení a tím i propustnosti. V bezprostředním předpolí vývěru zdroje TS-1 byla taková geologická stavba v hlubším profilu do cca 15 m indikována výsledky geofyzikálního průzkumu (obr. 9). Propustnost kvartérního pokryvu je v dané oblasti obvykle zhruba o jeden až dva řády nižší, zhruba se pohybuje v řádovém rozmezí hodnot koeficientu hydraulické vodivosti $\mathbf{k_{hv}}$ $X.10^{-8}$ až $X.10^{-7}$ $m.s^{-1}$. Zeminy kvartérního pokryvu v zájmovém území s výjimkou bezprostředního okolí potoční nivy či lokálních pramenních vývěrů nevykazují stálé zvodnění. Prostor vývěru zdroje TS-1 spadá svou geologickou i morfologickou polohou v blízkosti úrovně erozní a drenážní báze území (potok Maršovka) do oblasti přírodní drenáže podzemních vod permského kolektoru, kterou zde zprostředkovávají zpravidla zóny zvýšené průtočnosti sedimentů bohuslavických vrstev (obvykle puklinové či poruchové linie). Jižním až jihozápadním směrem od zdroje TS-1 se nalézá oblast

proudění („stoku“) podzemní vody infiltrované ve vyšších polohách převážně zalesněné výchozové hrany (kuesty) triasových a křídových sedimentů s. až sz. od Hořiček a Křižanova (již okres Náchod). Při řešení návrhu OP I. a II. stupně pramenní jímky TS-1 bylo jedním z hlavních úkolů upřesnit genezi jímaného pramene a to zejména z důvodu potenciálního konfliktu OP I. stupně a blízké komunikace (obr. 8).

Obr.8 Situace pramenní jímky TS-1 v sousedství místní silnice a vnitřní prostor jímky.
Fig. 8 Situation of the TS-1 spring reservoir in the vicinity of the local road and the interior of the reservoir.

Návrhu OP předcházelo vyhodnocení déledobého sledování vydatnosti i kvality pramene TS-1 (Tichý, 2022), kdy byla potvrzena v daných podmínkách relativně vysoká vydatnost vodního zdroje (1,3 až 1,5 $l.s^{-1}$) i dlouhodobě stabilní a vyhovující kvalita vody. Charakteristiky půdního pokryvu v okolí zdroje TS-1 (složení a koeficient hydraulické vodivosti) byly uvěřeny mělkou ruční sondáží a terénními zkouškami. Pro detailnější informaci o možné genezi pramene TS-1 v daném místě a o podmínkách jeho nezbytné ochrany byl realizován **podrobný geofyzikální průzkum**. Jeho cílem bylo upřesnit lokální geologickou stavbu a identifikovat případné tektonické linie v území, jež mohou představovat linie preferenčního proudění podzemní vody (zlomy, pukliny apod.), případně těsnící linie s bariérovým účinkem, na nichž může docházet k přírodnímu vzdouvání hladiny podzemní vody za vzniku bariérových (přelivných) pramenů. Pro splnění těchto cílů byla použita geoelektrická metoda odporové tomografie (ERT) s uspořádáním elektrod dipol-dipol a se Schlumbergerovým uspořádáním elektrod. Horninové prostředí dle získaných výsledků (**obr. 9**) tvoří bloky s vyššími měrnými odpory nad 100 Ωm vzájemně oddělené vertikálními a horizontálními zónami s nízkými odpory (pod 60 Ωm). Bloky s vyššími měrnými odpory velmi pravděpodobně představují bloky méně porušených pískovců, zóny s nízkými odpory pak porušené pískovce, které mohou být zvodnělé. Povrchová vrstva je v západní a centrální části území budována prostředím o vysokých odporech (nad 200 Ωm) - pravděpodobně písky s nízkým obsahem jílovité složky (reálně potvrzeno ruční sondáží), východní část (od asfaltové silnice dál na východ) tvoří písčité hlíny, které mají nižší měrný odpor (pod 150 Ωm). Horninové prostředí je v zájmovém území porušené, geofyzikálním měřením byly identifikovány poruchy ve směru S-J (poruchy v kolmém směru nemohly být daným uspořádáním profilů identifikovány).



Obr. 9 Mapa izolinií měrného odporu v hloubce 5 m s vyznačením tektonických poruch a proudění podzemní vody k vodnímu zdroji.
Fig. 9 Resistivity contour map at a depth of 5 m with delineation of tectonic faults and groundwater flow to the water source.

Hlavní výsledky provedených prací pro **návrh OP pramenní jímky TS-1 v obci Libňatov** byly tyto:

- Provedený průzkum potvrdil předpokládaný preferenční směr přítoku podzemní vody do pramenní jímky od jihu k severu a to v přímé vazbě na puklinové (tektonické) porušení permských sedimentů ve stejném směru, identifikované geofyzikálním průzkumem.
- Hydrogeologický průzkum umožnil prostorovou optimalizaci návrhu OP I. stupně ve vztahu k možným stávajícím zdrojům znečištění (silniční komunikace) i k možným zdrojům budoucím (uvažovaná výstavba RD v jv. předpolí zdroje vody TS-1.
- Vzhledem k rekonstrukci místní silnice v době realizace průzkumu a vstřícnosti projektanta i dodavatele souvisejících prací bylo možné včas definovat požadavky na nezbytné technické úpravy silniční komunikace v bezprostředním okolí pramenní jímky TS-1 a ke zhodnocení práce hydrogeologa zde tak zčásti došlo ještě před samotným vyhlášením navržených ochranných pásem.

4. Závěr. Prezentované příklady řešení návrhu OP pro zdroje vodovodů malých obcí mimo jiné ukazují, že přes značnou rozdílnost přírodních i technických podmínek se i v podmínkách malých obcí vždy velmi vyplatí důsledná diagnostika technického stavu daného konkrétního zdroje podzemní vody (prohlídka TV kamerou, karotáž aj.), doplněná „diagnostikou“ vlastní geneze tohoto vodního zdroje a definicí pozice jímacího objektu v dané hydrogeologické struktuře, kde lze často vhodně uplatnit geofyzikální průzkum.

Seznam literatury

Tichý P., Kohout P., 2021: *Martinice – vrtaná studna MA-1. Revize OP zdroje vody pro vodovod obce Martinice.* – MS Archiv autora. Trutnov.
Tichý P., 2024: *Libňatov - OP zdroje vody T-S1 na p.p.č 1053/2.* – MS Archiv autora. Trutnov.
Tichý P., 2025: *Chvaleč - prameniště Hájenka a revizní návrh OP vodních zdrojů Svíčka a Hájenka.* – MS Archiv autora. Trutnov.
Václavík S., 1979: *Zhodnocení hydrogeologického průzkumu na lokalitě Martinice, okres Semily* . – MS Čes. geol. služba - Geofond. Praha.
Žitný L., 1986: *Hydrogeologická studie okresu Semily* . – MS Čes. geol. služba - Geofond. Praha.

MODELOVÁNÍ PROUDĚNÍ PODZEMNÍ VODY V KVARTÉRNÍCH SEDIMENTECH DOLNOMORAVSKÉHO ÚVALU, PODKLADY PRO RENOVACI PRAMENIŠTĚ MILOKOŠŤ

Ing. Jan Uhlík, Ph.D.

E-mail: uhlik@1progeo.cz
PROGEO, s.r.o., Tiché údolí 113, Roztoky 25263

Další autoři: Ing. Jakub Jankovec, Ph.D.

Abstrakt:
V oblasti Dolnomoravského úvalu je situováno několik velkých vodních zdrojů (Kněžpole, Ostrožská Nová Ves, Bzenec – komplex, Moravská Nová Ves). Vodní zdroje jsou vázány na kvartérní sedimenty toku Moravy, v dané oblasti v mocnostech maximálně do 50 metrů.

Odběry podzemní vody z těchto vodních zdrojů dosahují v posledních letech přibližně 350 l/s. Uvedené množství odběrů zásobuje více jak 200 tis. obyvatel Jihomoravského a Zlínského kraje.

Roční maximální množství povolené k jímání v součtu dosahuje téměř 800 l/s. Plocha kvartérních sedimentů v nivě Moravy, v níž se uvedené vodní zdroje nachází, nepřesahuje 200 km2. Realizovaný, respektive povolený maximální roční odběr vyžadují tvorbu zásob podzemní vody v intenzitě minimálně 1,75, respektive 4,0 l/s/km2.

Oblast Jižní Moravy patří mezi nejsušší oblasti ČR. Potenciální výpar významně převyšuje roční úhrn srážek. Uvedené dostupné množství podzemní vody v jednotlivých vodních zdrojích je dáno interakcí podzemních a povrchových vod. Všechny uvedené velké vodní zdroje využívají jak přírodní zdroje podzemní vody, dané srážkovou infiltrací, tak indukované zdroje, vzniklé vcezováním povrchové vody z říční sítě (především z toku Moravy) do horninového prostředí. S využíváním uvedených vodních zdrojů v nivě Moravy jsou tak spjaty požadavky jak na ochranu podzemních vod, tak na ochranu povrchových vod – potenciálně v celém povodí Moravy.

Plánování rozvoje uvedených vodních zdrojů vyžaduje propojit informace o geologických, hydrologických, klimatických a hydrogeologických poměrech kvartérních sedimentů v oblasti Dolnomoravského úvalu. Komplexním nástrojem pro řízení, optimalizaci a prognózování vlivu odběrů podzemní vody jsou matematické modely proudění podzemní vody. Pro větší část území Dolnomoravského úvalu byl vytvořen regionální model proudění podzemní vody.

Tento model byl využit i při shromažďování podkladů pro plánovanou obnovu prameniště Milokošť. Prameniště bude součástí vodního zdroje Bzenec – komplex. Aplikace modelu usnadnila posouzení vzájemného ovlivnění jednotlivých pramenišť, umožnila popsat směry a rychlosti proudění, identifikovat místa vzniku jímané podzemní vody, a umožnila prognózovat velikost přítoků podzemní vody do rýhy pro výtlačný řad. Na modelový popis proudění podzemní vody v rámci příprav renovace prameniště Milokošť navázala vzorkovací kampaň pro posouzení jakosti pozemní vody z potenciálně problematických směrů.

DOPADY KLIMATICKÉ ZMĚNY A TĚŽBY ŠTĚRKOPÍSKU NA UDRŽITELNÉ JÍMÁNÍ VODNÍHO ZDROJE ČEPERKA-HROBICE

Mgr. Petr Vaníček, Ph.D.

E-mail: vanicek@sci.muni.cz
Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova Univerzita, Kotlářská 2, 61137 Brno

Další autoři: Mgr. Adam Říčka Ph.D., Mgr. Tomáš Kuchovský Ph.D., Mgr. Bibiána Pasternáková Ph.D., Mgr. Kateřina Chroustová Ph.D.

Abstrakt:
Soustava studní u obcí Čeperka a Hrobice představuje významný vodní zdroj pro zásobování Pardubicko-Hradecké aglomerace. Mělké podzemní vody jsou zde odebírány z kolektoru tvořeného fluviálními štěrky a písky kvartérního stáří, které jsou zároveň již několik desítek let intenzivně těženy. Při těžbě dochází k odkrývání hladiny podzemních vod a vzniku těžebních jezer, která se rozšiřují rychlostí přibližně 1 km²/20 let. V kombinaci s rostoucím výparem z volné vodní hladiny to může představovat vážné riziko pro dlouhodobou udržitelnost vodního zdroje. Z tohoto důvodu bylo provedeno posouzení změny vodní bilance volné hladiny na základě klimatických prognóz, jehož výstupy byly využity pro sestavení numerického modelu proudění podzemních vod hodnotícího budoucí vývoj udržitelného jímání vodního zdroje v průběhu 21. století.

Specifická ztráta vod z volné hladiny expandujících těžebních jezer se podle střední varianty klimatického vývoje zvýší ze současných 5,9 l/s/km² na 7,2 l/s/km² v období 2061–2090. Vyšší ztráta vod vlivem výparu z volné hladiny by sama o sobě snížila udržitelné jímání o 6 % ze stávajících 150 l/s. Probíhající klimatická změna však způsobuje i pokles efektivní infiltrace, a tedy i hladiny podzemních vod. Při zohlednění těchto faktorů dojde ve stejném období ke snížení udržitelného jímání o 18 %. To by znamenalo, že vodní zdroj nebude schopen pokrýt stávající dlouhodobý průměrný odběr vod (132 l/s) přibližně za 40 let. Pokud by nyní ustalo rozšiřování plochy těžeben, bylo by možné udržet tento dlouhodobý odběr o 15 let déle.

Výsledky této studie ukazují, že udržení stávajícího odběru je ohroženo nejenom expanzí těžebních jezer, ale i změnou hydrogeologických podmínek. Přesto by mělo být další rozšiřování těžby v oblastech s negativní vodní bilancí volné hladiny pečlivě zváženo, pokud má být dosaženo zmírnění poklesu udržitelného jímání. Na druhou stranu v oblastech, kde převažují srážky nad výparem, může mít rozvoj těžby a rozšiřování těžebních jezer i pozitivní vliv na udržitelné jímání. Z tohoto důvodu by na všech lokalitách, kde je plánována povrchová těžba spojená se vznikem těžebních jezer, měla být provedena prognóza bilance vod s ohledem na budoucí vývoj klimatu a plochy těžebních jezer.

Sekce 4

Hydrochemie, jakost podzemních vod, monitoring vod

VLIV TVRDOSTI VODY NA ZDRAVÍ OBYVATEL A MOŽNOSTI REKARBONIZACE

THE IMPACT OF WATER HARDNESS ON HUMAN HEALTH AND RECARBONIZATION OPTIONS

Jan Bartoň[1], Nina Beňová[2], Veronika Cvečková[2], Patrik Čermák[2], Stanislav Rapant[2]

[1]RNDr. Jan Bartoň, Podstránská 16, 627 00 Brno, Czech republic; honzabarton@seznam.cz
[2]Department of Geochemistry, Faculty of Natural Sciences, Comenius University Bratislava

Abstrakt: V rámci projektů LIFE, které byly podporovány finančním nástrojem EU LIFE a MŽP SR, byl sledován zdravotní stav obyvatel v souvislostí s tzv. tvrdostí vody. Různými metodami (hlavně měřením pružnosti cév – tedy arteriálního věku) byla zjištěna významná statistická závislost mezi zdravotním stavem obyvatelstva a deficitem tvrdosti pitné vody. Ve tvrdostně deficitních oblastech byla potvrzena zvýšená úmrtnost na kardiovaskulární a onkologické onemocnění a diabetes. Dále byly v oblastech s měkkou vodou zjištěny neobvykle vysoké počty onemocnění Downovým syndromem, dětskou mozkovou obrnou a epilepsií (Beňová, 2024).
Na základě těchto zjištění bylo přistoupeno k pokusům se ztvrzováním vody ve tvrdostně deficitních oblastech Slovenska – tedy tzv. proces rekarbonizace vod. Následně pokračovalo sledování zdravotního stavu obyvatel po rekarbonizaci po němž bylo zjištěno, že dochází k významnému navyšování arteriálního věku, jakožto jednoho z indikátorů kvality života, resp. délky dožití a výskytu závažných onemocnění.

Abstract: Within the framework of the LIFE projects, supported by the EU LIFE financial instrument and the Ministry of the Environment of the Slovak Republic, the health status of the population was monitored in relation to water hardness. Using various methods, primarily measurements of arterial stiffness (i.e., arterial age), a statistically significant relationship was identified between the health status of the population and deficiencies in the hardness of drinking water. In areas with insufficient water hardness, increased mortality associated with cardiovascular diseases, cancer, and diabetes was confirmed. Furthermore, unusually high incidences of Down syndrome, cerebral palsy, and epilepsy were observed in regions supplied with soft water (Beňová, 2024).
Based on these findings, experiments involving the hardening of water in hardness-deficient regions of Slovakia were initiated through the process known as water recarbonization. Monitoring of the population's health status continued after the recarbonization process, and the results indicated significant improvements in arterial age, one of the indicators of quality of life, life expectancy, and the occurrence of serious diseases.

Klíčová slova: tvrdost vody, arteriální věk, zdravotní stav obyvatel, rekarbonizace

Key words: water hardness, arterial age, population health status, recarbonization

1. Tvrdost vody v legislativních předpisech

Tvrdost vody se odvíjí od geologické skladby horniny, kterou voda prosakuje. Z tohoto důvodu se obsah minerálů ve vodě v jednotlivých oblastech může výrazně lišit. Tvrdost vody je primárně dána koncentracemi iontů vápníku a hořčíku. Jedná se o jediné ukazatele, kde Vyhláška 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, uvádí jejich minimální koncentrace (v případě ostatních ukazatelů se jedná o maximální koncentrace).
Tvrdost vody může být trvalá a přechodná. Trvalá tvrdost zahrnuje rozpuštěné chlority, sulfidy, nitráty, a silikáty. Přechodná obsahuje rozpuštěný $Ca(HCO_3)_2$ (hydrogenuhličitan vápenatý). Po jeho vysrážení vzniká $CaCO_3$ (uhličitan vápenatý), známý také jako vodní kámen. Přechodnou tvrdost vody lze, narozdíl od tvrdosti trvalé, odstranit varem. Hodnoty tvrdosti vody se obvykle udávají v mmol/l, přičemž pro celkovou tvrdost se ze zdravotního hlediska doporučuje molární koncentrace 2 – 3,5 mmol/l.
Vápník i hořčík jsou běžnou přirozenou součástí všech vod a jsou hlavní součástí tzv. tvrdosti vody čili čím je jejich obsah vyšší, tím je voda tvrdší. Obsah vápníku se obvykle pohybuje od desítek do stovek mg/l, obsah hořčíku je nižší, zpravidla jednotky až desítky mg/l. V § 3, odst. 1 Vyhl. 252/2004 Sb. je uvedeno, že „Pitná voda musí mít takové fyzikálně-chemické vlastnosti, které nepředstavují ohrožení veřejného zdraví.“ A zároveň že „U surových nebo pitných vod, u kterých je při úpravě uměle snižován obsah vápníku nebo hořčíku, nesmí být po úpravě obsah hořčíku nižší než 10 mg/l a obsah vápníku nižší než 30 mg/l.“ Doporučené hodnoty podle § 3 odst. 1 zákona č.

258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů jsou v případě hořčíku 20–30 mg/l a v případě vápníku 40–80 mg/l.

2. Vliv tvrdosti vody na zdraví obyvatel

Zdravotní přínos určitého obsahu Ca a Mg v pitné vodě byl znám hygienikům i vodohospodářům již od konce 60. let, a to především díky populárnímu sloganu jednoho z prvních průkopníků výzkumu v této oblasti H. A. Schroedera: „Čím tvrdší voda, tím měkčí arterie“. Aktuálnost tohoto zjištění stoupá úměrně s rozmachem technologických metod úpravy vody, které obsah vápníku a hořčíku buď významně snižují nebo se snaží jejich účinek eliminovat. Na řadě studií v USA (kde koncem 80. let používalo domácí změkčovače vody 20 až 40 % domácností) bylo prokázáno, že u lidí používajících změkčovače vody pracující v sodíkovém cyklu je vyšší výskyt hypertenze, a to i u dětí, což je spolu se souvisejícím nižším příjmem hořčíku vážný rizikový faktor kardiovaskulárních onemocnění [5; upraveno dle 11].
Právě H. A. Schroeder prokázal vztah mezi úmrtností na kardiovaskulární onemocnění u mužů ve věku 45–64 let a tvrdostí vody v 163 největších městech USA [27]. Tvrdé cévy jsou totiž málo elastické, neschopné odolávat doprovodným stresovým faktorům kardiovaskulárních onemocnění. Měkká voda tedy způsobuje kornatění cév, což má za následek zvýšenou pravděpodobnost kardiovaskulárních onemocnění, negativní účinky na ledviny, endokrinní (poruchy funkce štítné žlázy) a muskuloskeletární systém (osteoporóza, křeče), neurologické a vývojové účinky (nízká váha novorozenců) či rakovina prsu.
Epidemiologické studie, provedené v 70. a především v 80. letech 20. století, potvrzovaly hypotézu, že hlavní protektivní účinek má obsah hořčíku ve vodě, zatímco vápník působí proti vzniku kardiovaskulárních onemocnění jen podpůrně [11].
Jak je uvedeno v Hygienickém minimu pro pracovníky ve vodárenství [13], určitý obsah vápníku a hořčíku ve vodě snižuje riziko úmrtnosti na srdečně-cévní choroby jako je infarkt myokardu, ischemická choroba srdeční apod. Jak ukazují epidemiologické studie provedené v posledních 15 letech, tvrdá voda je ochranným faktorem, resp. měkká voda rizikovým faktorem nejen vůči kardiovaskulárním nemocem, ale i některým jiným chorobám. Nízký obsah vápníku ve vodě byl spojen s vyšším výskytem některých neurologických poruch ve stáří, vysokého krevního tlaku a zlomenin kostí u dětí. Nízký obsah hořčíku v pitné vodě znamenal zvýšené riziko těhotenských komplikací (tzv. preeklampsií), poruch motorických nervů a rovněž vysokého krevního tlaku. Řada studií z Taiwanu naznačuje, že voda o optimální tvrdosti může být důležitým ochranným faktorem proti vzniku některých druhů nádorů.
Vztah mezi tvrdostí vody a četností výskytu cévních onemocnění poprvé v literatuře popsal japonský chemik J. Kobayashi v roce 1957 [10], když na základě epidemiologického rozboru ukázal, že úmrtnost na mozkově cévní choroby (mozkové krvácení – apoplexie) je vyšší v okolí japonských řek, které mají kyselejší (měkčí) vodu, v porovnání s řekami zásaditějšími (tvrdšími), odkud byla voda využívána pro pitné účely [11].
Crawford [3] sledoval změny vývoje úmrtnosti na kardiovaskulární onemocnění v závislosti na tvrdosti vody v 11 britských městech v období 1950–1960. Tvrdost se zvýšila v pěti, naopak snížila v šesti městech. V tomto období se úmrtnost na kardiovaskulární onemocnění v Británii zvýšila průměrně o 10 %, avšak ve městech, kde došlo k poklesu tvrdosti vody, vzrostla o 20 %, zatímco ve městech, ve kterých došlo v uvedeném období k nárůstu tvrdosti vody (změnou zdroje), vzrostla jen o 8,5 %. Nízký příjem Ca a Mg pitnou vodu se zdá být jedním z rizikových faktorů vzniku amyotrofické laterální sklerózy [31], vyšší obsah těchto prvků ve vodě může protektivně působit proti vzniku zubního kazu a onemocnění parodontu i tam, kde je obsah fluoridů nízký [28].
F. Kožíšek [11] dále uvádí: Studie ze španělské Mallorcy zjistila, že u dětí žijících v oblastech s pitnou vodou s vyšším obsahem vápníku byl statisticky nižší výskyt zlomenin než u dětí žijících v oblasti zásobované vodou chudší na vápník, při zohlednění obsahu fluoridů ve vodě a socioekonomických podmínek [29]. Zatímco u mužů žádná studie neprokázala, že by obsah vápníku ve vodě ovlivňoval riziko úmrtí na infarkt myokardu, u žen se nízký obsah vápníku ve vodě ukázal být v tomto ohledu jedním z rizikových faktorů [24]. Reálnost tohoto vztahu podporuje existence důkazů o tom, že nedostatek vápníku může způsobit vysoký arteriální tlak (hypertenzi). V druhé polovině 90. let byla publikována četná řada epidemiologických studií z Taiwanu, které sledovaly vztah mezi tvrdostí pitné vody a úmrtností na různé choroby, které vykazují významné geografické rozdíly [30]. Studie zjistily protektivní účinek hořčíku vůči mozkově-cévním chorobám a hypertenzi, tvrdosti vody vůči kardiovaskulárním onemocněním, rakovině jícnu, slinivky, rekta, prsu, tlustého střeva a žaludku.
Bylo též dokázáno, že vařením v měkké vodě dochází ke značným ztrátám prvků (včetně Mg a Ca) z potravin, především ze zeleniny, ale i z masa a obilovin [6; 9; 17]. U hořčíku i vápníku až o 60 %. Naopak vařením ve tvrdé vodě se ztráty minimalizují, u vápníku může dojít dokonce i k obohacení vařené potraviny. Kožíšek [11; 12] tímto

zjištěním vysvětluje skutečnost, jak relativně malý příspěvek vody na celkovém denním příjmu hořčíku (obvykle méně než 10 %) může být příčinou až 30% snížení úmrtnosti na kardiovaskulární onemocnění [15; 16].
Zdravotný stav lidí závisí na více faktorech, mezi které patří:

- životní styl (cca 50 %)
- úroveň/dostupnost zdravotnictví (10–20 %)
- genetické faktory (10–20 %)
- životní prostředí (cca 20 %)

Za předpokladu, že jsou první tři faktory přibližně stejné, má životní prostředí, hlavně charakter geologického prostředí – chemické složení půd, a zejména chemické složení podzemních/pitných vod, větší než 20% podíl na zdravotním stavu obyvatelstva [19].
Nejpříznivějším geologickým prostředím z hlediska lidského zdraví jsou karbonáty, nejméně příznivé silikáty (deficit Ca+Mg – granitoidy, krystalické břidlice, vulkanické horniny). Geologické prostředí lze na základě vlivu na zdraví řadit následovně (řazeno od nejpříznivějšího prostředí pro život k nejnepříznivějšímu):

- Flyšový paleogén – starší třetihory – 23–66 mil. let (např. Chřiby)
- Druhohorní horniny – 66–252 mil. let (např. Pálava, Česká křídová pánev)
- Neogenní horniny – 3–23 mil. let (např. Vídeňská pánev)
- Kvartérní sedimenty – 0–3 mil. let
- Paleozoikum (prvohory) – 252–541 mil. let
- Krystalinikum (hlavně žula – např. Vysočina)
- Neovulkanity (sopky, např. čediče, trachyty)

3. Informace o projektech LIFE

Vztah mezi koncentrací Ca a Mg v pitné vodě a jejich vlivem na lidské zdraví byl v SR za posledních 12 let sledován ve třech evropských projektech financovaných v rámci programu LIFE:

- LIFE 10 ENV/CS/000086 (GEOHEALTH)
- LIFE 12 ENV/CS/000094 (LIFE FOR KRUPINA)
- LIFE 17 ENV/CS/000036 (LIFE – WATER and HEALTH)

Projekt GEOHEALTH potvrdil, že koncentrace Ca a Mg v pitné vodě představují nejdůležitější prvky pro lidské zdraví a jejich vliv je více než stokrát vyšší než koncentrace potenciálně toxických prvků nebo dusičnanů [18].
V projektu LIFE FOR KRUPINA bylo potvrzeno, že nízká koncentrace Ca a Mg v pitné vodě má negativní vliv na kardiovaskulární systém obyvatel. Tento vliv byl potvrzen měřením pružnosti cév a následným stanovením arteriálního věku, který byl výrazně vyšší (nepříznivější) u obyvatel zásobovaných „měkkou“ pitnou vodou, tedy vodou s nízkým obsahem Ca a Mg [20].
Sledování zdravotního stavu obyvatel bylo prováděno v 79 okresech a 2 833 obcích. Součástí bylo sledování zdravotního stavu za pomoci dotazníků a měření pružnosti cév (arteriálního věku). Měření pružnosti cév prokázalo výrazně horší stav cév u těch lidí, kteří žijí v obcích zásobovaných měkkou pitnou vodou s nízkými obsahy Ca a Mg. Arteriální věk byl v průměru vyšší než skutečný věk testovaných respondentů téměř o 5 let v porovnání s kontrolní skupinou lidí zásobovaných tvrdší pitnou vodou s vyšším obsahem Ca a Mg.
V rámci projektu byly vytvořeny dvě skupiny obcí, zásobované vodou s různou tvrdostí. První skupina obcí s měkkou vodou (MV) zahrnovala 52 676 obyvatel a druhá skupina obcí s tvrdou vodou (TV) zahrnovala 53 118 obyvatel. Pro srovnání byla použita celá SR, ze které byly odstraněny obce s méně než 100 obyvateli. Celoslovenské průměrné hodnoty představují průměr z 2 762 obcí a tedy 5,39 milionu obyvatel.
Arteriální věk respondentů zásobovaných „tvrdou“ pitnou vodou byl o 2,23 roku horší než skutečný věk. Arteriální věk respondentů zásobovaných „měkkou“ pitnou vodou byl o 16,49 roku horší než skutečný věk.
Největší rozdíly v počtu úmrtí byly pozorovány v případě oběhové soustavy. Skupina obcí MV 6 564 úmrtí a skupina obcí TV 3 235 úmrtí. Překvapující jsou zejména zjištěné údaje o infekčních chorobách, chorobách trávicí a dýchací soustavy. Autoři si to vysvětlují tak, že zejména Mg je důležitý pro imunitní systém. Dále se jedná zejména o ischemické choroby srdeční (1 390 – 2 525) a akutní infarkt myokardu (317–880). Největší rozdíl v relativní úmrtnosti (přepočet na 100 000 obyvatel) byly pozorovány v případě nemoci aortální chlopně (20,2× vyšší v případě MV), dále dětské mozkové obrny (17× vyšší v případě MV) a akutní selhání ledvin (12,5× vyšší v případě MV ve srovnání s TV).
Střední délka života v obcích, které jsou zásobovány „měkkou“ pitnou vodou je o 4–5 let kratší než v obcích, které jsou zásobovány „tvrdou“ pitnou vodou [22].

Výsledky biomonitoringu potvrdily nepříznivý vliv deficitních obsahů Ca (< 25 mg/l) a Mg (< 10 mg/l) v geologickém prostředí, zejména v podzemních pitných vodách, na zdravotní stav obyvatelstva. Na zhoršení zdravotního stavu se podílí zejména zvýšený výskyt kardiovaskulárních a onkologických onemocnění a onemocnění žláz s vnitřním vylučováním (zejména cukrovka). Výsledky rovněž naznačují, že deficitní obsah Ca a Mg v pitné vodě se výrazně podílí na zvýšené úmrtnosti i na trávicí a dýchací soustavu.

Tab. 1 Statistické parametry naměřených respondentů ve skupině obcí „měkká“ a „tvrdá“ voda
Tab. 1 Statistical parameters of the respondents measured in the “soft water” and “hard water” municipality groups

Statistické parametry	**„Tvrdá“ voda**				**„Měkká“ voda**			
	Nenince, Dolné Vestenice, Trenčianska Turná [n = 100][3]				Devičie, Kokava nad Rimavou [n = 102][3]			
	Aktuální věk	Arteriální věk	Rozdíl	PWVao[2]	Aktuální věk	Arteriální věk	Rozdíl	PWVao[2]
	[roky]				[roky]			
Průměr	39,77	42	+2,23	7,96	47,40	+63,82	16,49	9,69
Medián	28	41,5	+2	7,8	49	+68	16	9,75
PWVao[4] > 10 m/s	7				35			

[1]rozdíl se vypočítá jako arteriální věk minus skutečný věk, přičemž kladné hodnoty znamenají, že arteriální věk je vyšší než skutečný věk (tj. horší stav tepen) a naopak
[2]rychlost pulzní aortální vlny
[3]počet respondentů
[4]počet respondentů s patologickým výsledkem

4. Možnosti řešení

V rámci projektu LIFE – WATER and HEALTH bylo potvrzeno, že pružnost cév a arteriální věk lidí zásobovaných „měkkou“ pitnou vodou se výrazně zlepšuje, pokud je pitná voda obohacována o Ca a Mg. Arteriální věk lidí, kteří začali pít remineralizovanou pitnou vodu se zlepšil v průměru o 10 let. Také bylo potvrzeno v rámci řešení tohoto projektu, že zdravotní stav lidí zásobován pitnou vodou s vyšším obsahem Ca a Mg je výrazně lepší než u obyvatel, kteří jsou zásobováni pitnou vodou s nízkým obsahem Ca a Mg. Nebyla zjištěna ani jedna z diagnóz uvedená v Mezinárodní klasifikaci nemocí, při které je úmrtnost obyvatel zásobovaných „tvrdou“ pitnou vodou vyšší než u obyvatel zásobovaných „měkkou“ pitnou vodou. Naopak v případě „tvrdé“ pitné vody byla úmrtnost vždy nižší než v případě „měkké“ vody [4].
Na základě výsledků bylo zjištěno, že jelikož hodnoty obsahu Ca a Mg v pitné vodě velmi výrazně ovlivňují zdravotní stav lidí, měly by být limitovány ve WHO standardech pro pitnou vodu.
Návrh mezních hodnot prvků ovlivňujících lidské zdraví v pitné vodě byl zpracován na základě matematicko-statistické analýzy vztahu mezi kvalitou/chemickým složením pitných vod a zdravotním stavem obyvatelstva. Doporučené hodnoty Ca a Mg v pitných vodách pro hromadné zásobování byly stanoveny jako optimální (příznivé) pro lidské zdraví:

Tab. 2 Návrh koncentrací Ca a Mg (limitní hodnoty) v pitné vodě
Tab. 2 Proposed concentrations of Ca and Mg (limit values) in drinking water

Parametr	**Minimální koncentrace**	**Optimální (doporučené) hodnoty**
Ca [mg/l]	> 30	50–100
Mg [mg/l]	> 10	25–50
Tvrdost vody /Σ Ca + Mg/ [mmol /l)	> 1,2	2,0 – 4,5

Je důležité, aby obsah Ca a Mg ve vodě byl hlavně ve formě hydrogenuhličitanů, a ne ve formě chloridů, síranů nebo dusičnanů. S těmito navrhovanými optimálními hodnotami Ca, Mg a tvrdosti vody se lidé na Slovensku a v jiných evropských zemích dožívají nejdéle a mají nejnižší incidenci/mortalitu na kardiovaskulární, onkologická a jiná onemocnění. V případě balené pitné vody (kde neexistují žádná technologická omezení, jako je tvorba vodního kamene v potrubí, ohřívačích vody, pračkách, myčkách nádobí atd.), lze doporučit, aby koncentrace Ca byla > 50 mg/l a Mg > 30 mg/l.

Technologická opatření ke zvýšení obsahů Ca a Mg v pitných vodách – přidávání karbonatické horniny (dolomit, vápenec, polovypálený dolomit) do individuálních vodních zdrojů (studní) v množství cca 100 kg. Případně je možno dávkovat vápenné mléko. V rámci projektu se ukázalo jako nejvhodnější řešení použití polovypáleného dolomitu (PVD).
Ve 2 obcích byla obohacována pitná voda o Ca a Mg. Nárůst Mg byl o 10–14 mg/l a nárůst Ca o 8–12 mg/l. Měření pružnosti cév byly realizovány přibližně v šestiměsíčních intervalech. V obou obcích došlo k výraznému zlepšení kardiovaskulárního systému lidí. Zlepšení je pozorováno i v případě rychlosti pulzní vlny a také v poklesu arteriálního věku lidí. Na základě dosažených výsledků bylo potvrzeno, že obsah Ca a Mg v pitné vodě má signifikantní vliv na pružnost cév, tedy na kardiovaskulární systém lidí. Čím je obsah těchto prvků v pitné vodě vyšší, tím je lepší i jejich kardiovaskulární systém.

Tab. 3: Výsledky měření pružnosti cév respondentů v obcích Devičie a Kokava nad Rimavicou
Tab. 3: Results of vascular elasticity measurements in respondents from the municipalities of Devičie and Kokava nad Rimavicou

Etapa měření	Bez náhradních respondentů				S náhradními respondenty			
	n	PWV_{ao}	AV	Rozdíl	n	PWV_{ao}	AV	Rozdíl
I. etapa (5/2021)	107	9,78	65,17	16,68	107	9,78	65,17	16,68
II. etapa (12/2021)	93	9,44	61,69	14,24	100	9,50	62,47	14,60
III. etapa (6/2022)	88	9,19	58,91	10,48	98	9,23	59,15	11,35
IV. etapa (12/2022)	100	8,85	54,75	4,89	114	8,94	55,70	5,13

n – počet respondentů
PWV_{ao} – rychlost pulzní vlny
AV – arteriální věk
Rozdíl – rozdíl arteriálního a skutečného věku

Z tabulky je velmi dobře patrné velmi rychlé snižování rozdílu arteriálního a skutečného věku po ztvrzování pitné vody polovypáleným dolomitem v obci Devičie, kde můžeme pozorovat snížení rozdílu o cca 12 let během roku a půl ztvrzování vody. Poprvé ve světové literatuře tak bylo potvrzeno, že pružnost cév obyvatel, kteří začali konzumovat pitnou vodu obohacenou o Ca a Mg, se zlepšuje.

5. Závěry

Závěry projektu jsou ve shodě s tvrzením F. Kožíška [11]: Zatímco u většiny chemických látek, které se běžně vyskytují v pitné vodě, je zapotřebí dlouhé expozice k projevení příslušného zdravotního účinku, u vápníku, a zvláště hořčíku se předpokládá, že jejich účinek odráží současnou expozici, čili že stačí několik málo měsíců k případné „adaptaci“ na nový zdroj s nízkým obsahem hořčíku, popř. vápníku. Adaptací se zde však nemyslí přizpůsobení se organismu vodě nevhodného složení, ale doba, během které se nevhodné složení vody může projevit zdravotní poruchou organismu spotřebitele [25].
Zde je také vhodné upozornit na případy lidí z ČR a Slovenska z let 2000–2002, kteří začali používat k doúpravě své pitné vody přístroj na bázi reverzní osmózy a pití takto upravené (demineralizované) vody se u některých z nich projevilo již po několika týdnech expozice různými zdravotními potížemi, které nesly znaky akutní deficience hořčíku.
Významným faktorem příjmu vápníku a hořčíku je jejich biodostupnost. Ve vodě jsou prvky přítomny převážně ve volném iontovém stavu, a proto se ve většině případů vstřebávají z vody mnohem lépe než z potravy, kde jsou většinou vázány na různé jiné látky [12]. Vstřebání hořčíku z potravy ve střevu je okolo 30 %, zatímco z vody, kde je hořčík ve volné iontové formě, je využitelnost vyšší – údaje se liší a udává se od 40 do 60 % [6; 16; 26]. Pitná voda je také relativně výhodnějším zdrojem Mg a Ca než potrava, protože se stoupající dávkou klesá obecně vstřebaný podíl těchto prvků [2; 26]. Meta-analýza provedených studií, publikovaných v letech 1966–1998, dokonce ukázala, že vstřebávání vápníku z minerální vody je statisticky významně vyšší než z mléčných produktů [2].
Důležitý je rovněž poměr vápníku a hořčíku v pitné vodě. Obecně je uváděn jako vhodný poměr Mg a Ca 1:2 [7; 8], což je důležité pro optimální vstřebávání hořčíku, jelikož se vzrůstajícím podílem vápníku klesá vstřebávání hořčíku.
Jak uvádí F. Kožíšek [11], neexistuje žádný určitý důkaz, že by zvýšená tvrdost pitné vody byla příčinou nepříznivých zdravotních účinků na člověka. Ze zdravotního hlediska lze odůvodnit změkčení pouze takové vody, která svým obsahem vápníku a hořčíku výrazně přesahuje doporučenou horní hranici tvrdosti (5 mmol/l), a není-

li k dispozici jiný vhodný zdroj vody. Specifickým problémem se však stává tvrdost u teplé vody. Když voda obsahuje hydrogenuhličitany, dojde při zahřívání k odstranění CO_2 a změně hydrogenuhličitanu na uhličitan vápenatý, který se vysráží ve formě tuhého vodního kamene na stěnách varných nádob, trubek a bojlerů. Z těchto důvodů se vápník a hořčík z napájecí a teplé užitkové vody odstraňuje. Jiná situace však nastává, má-li být změkčena i pitná voda. V případě změkčování vody pro technologické účely v domovech (z důvodu eliminace zanášení potrubí, bojlerů či varných nádob vodním kamenem) je vhodné vést do kuchyně (nebo tam, kde se voda odebírá na pití a vaření) odbočku potrubí s vodou nezměkčenou, resp. tvrdou.
V rámci projektu LIFE – WATER and HEALTH bylo prokázáno, že zdravotní stav obyvatel, kteří začali konzumovat pitnou vodu se zvýšeným obsahem Ca a Mg, se postupně zlepšuje. Došlo k signifikantnímu zlepšení jejich kardiovaskulárního systému. Statistická analýza také potvrdila nejvyšší vliv obsahu Ca a Mg v pitné vodě na pružnost cév, který byl větší než vliv BMI, konzumace alkoholu a kouření.
Na základě pilotního testování bylo prokázáno, že je možné vyrobit poměrně jednoduché rekarbonizační zařízení pro obohacování pitné vody o Ca a Mg. Takové zařízení lze umístit i na dalších vodních zdrojích s nízkým obsahem Ca a Mg. Provozní náklady na obohacování nízkomineralizované vody se pohybují na úrovni 0,1 € na m^3 vyrobené vody.

Seznam literatury

[1] Beňová, N. (2024): *Detailná charakteristika zdravotného stavu obyvateľov SR v závislosti od obsahov Ca a Mg v pitnej vode, Diplomová práce, Univerzita Komenského v Bratislave – Prírodovedecká fakulta.* Bratislava.
[2] Böhmer, H., Müller, H., Resch K.L. (2000). *Calcium supplementation with calcium rich-mineral waters: a systematic review and meta-analysis of its bioavailability. Osteoporos.* Int. 11: 938-943.
[3] Crawford, M.D., Garner, M.S., Morris, J.N. (1971). *Changes in water hardness and local death rates.* Lancet 2: 327-329.
[4] Cvečková, V., Rapant, S. (2022): *Improvement of health status of population of the Slovak Republic throught drinking water re-carbonization. Monograph. Comenius University in Bratislave, 80 p*., ISBN 978-80-223-5488-2. In Slovak.
[5] Das, G. (1988). *You and your drinking water: health implications for the use of cation exchange water softeners.* J. Clin. Pharmacol. 28: 683-690.
[6] Durlach, J. (1988). *The importance of magnesium in water. In: Durlach J. (ed). Magnesium in Clinical Practice. London*, John Libbey & Co Ltd; 221-222.
[7] Durlach, J. (1989). *Recommended dietary amounts of magnesium: Mg RDA. Magnes*. Res. 2: 195-203.
[8] Durlach, J., Bara, M., Guiet-Bara, A. (1989). *Magnesium level in drinking water: its importance in cardiovascular risk.* In: Itokawa Y., Durlach J. (eds). *Magnesium in Health and Disease. London,* J.Libbey & Co Ltd; 173-182.
[9] Haring, B.S.A., Van Delft, W. (1981). *Changes in the mineral composition of food as a result of cooking in „hard" and „soft" waters.* Arch. Environ. Health 36: 33-35.
[10] Kobayashi, J. (1957). *On geographical relationship between the chemical nature of river water and death rate from apoplexy.* Berichte des Ohara Instituts für landwirtschaftliche Biologie Okyama University 11: 12-21.
[11] Kožíšek, F. (2000a): *Zdravotní význam „tvrdosti" pitné vody*. Státní zdravotní ústav, Praha.
[12] Kožíšek, F. (2000b). *Zdravotní rizika pití demineralizované vody. Výzkumná zpráva*. SZÚ, Praha.
[13] Kožíšek, F., Kos J., Pumann P. (2007): *Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství. Učební pomůcka pro získání znalostí nutných k ochraně veřejného zdraví z hlediska prevence nemocí způsobených vodou*. Státní zdravotní ústav, Praha.
[14] Kožíšek, F. (2020): *Regulations for calcium, magnesium or hardness in drinking water in the European Union member states. Regulatory Toxicology and Pharmacology,* 112, 104589.
[15] Marx, A., Neutra, R.R. (1997). *Magnesium in drinking water and ischemic heart disease*. Epidemiol. Rev. 19: 258-272.
[16] Neutra, R.R. (1999). *Epidemiology vs Physiology? Drinking water magnesium and cardiac mortality.* Epidemiology 10: 4-6.
[17] Oh, C.K., Lücker, P.W., Wetzelsberger, N., Kuhlmann, F. (1986*). The determination of magnesium, calcium, sodium and potassium in assorted foods with special attention t o the loss of electrolytes after various forms of food preparations*. Magnes. Bull. 8:297-302.
[18] Rapant, S., Cvečková, V., Fajčíková, K., Sedláková, D. a Stehlíková, B. (2017): *Impact of Calcium and Magnesium in Groundwater and Drinking Water on the Health of Inhabitants of the Slovak Republic.* Inter. J. of Environmental Research and Public Health,14, 278.

[19] Rapant, S. (2018): *Eliminácia negatívneho vplyvu geologickej zložky životného prostredia na zdravotný stav obyvateľstva okresu Krupina. Laická správa.* Štátny geologický ústav Dionýza Štúra. Bratislava.
[20] Rapant, S., Cvečková, V., Fajčíková, K., Hajdúk, I., Hiller, E., Stehlíková, B. (2019): Hard Water, More Elastic Arteries: *A Case Study from Krupina District, Slovakia*. Int. J. Environ. Res. Public Health, 16, 1521; doi:10.3390/ijerph16091521.
[21] Rapant, S., Cvečková, V., Hiller, E., Jurkovičová, D., Kožišek, F., Stehlíková, B. (2020): *Proposal of New Health Risk Assessment Method for Deficient Essential Elements in Drinking Water—Case Study of the Slovak Republic*. Int. J. Environ. Res. Public Health 2020, 17, 5915; doi:10.3390/ijerph17165915
[22] Rapant, S., Letkovičová, A., Jurkovičová, D., Kosmovský, V., Kožíšek, F., Jurkovič, Ľ. (2021): *Differences in health status of Slovak municipalities supplied with drinking water of different hardness values*. Environ Geochem Health, 43, 2665–2677 (https://doi.org/10.1007/s 10653-020-00664-6).
[23] Rapant, S., Cvečková, V., Čermák, P. (2022): *Enrichment of drinking water with Ca and Mg by a fluidized bed recarbonization reactor: a case study of Devičie, Slovak Republic*. Journal of Water and Health Vol 20 No 4, 630 doi: 10.2166/wh.2022.252.
[24] Rubenowitz, E., Axelsson, G., Rylander, R. (1999). *Magnesium and calcium in drinking water and death from acute myocardial infarction in women.* Epidemiology 10: 31-36.
[25] Rubenowitz, E., Molin, I., Axelsson, Rylander, R. (2000). *Magnesium in drinking water in relation to morbidity and mortality from acute myocardial infarction*. Epidemiology 11: 416-421.
[26] Sabatier, M., Arnaud, M.J., Kastenmayer, P., Rytz, A., Barclay, D.V. (2002). *Meal effect on magnesium bioavailability from mineral water in healthy women*. Am. J. Clin. Nutr. 75: 65-71.
[27] Schroeder, H.A. (1960). *Relation between mortality from cardiovascular disease and treated water supplies*. JAMA 172: 1902-1908.
[28] Skljar, V.E., Kosenko, K.H., Klimenko, V.G. (1987). *Vliv různých koncentrací fluoru, vápníku a hořčíku v pitné vodě na výskyt onemocnění zubů a tkání parodontu*. Gig. Sanit. No.8/1987: 21-23.
[29] Verd Vallespir, S., Domingues Sanches, J., Gonzales Quintial, M., Vidal Mas, M., Mariano Soler, A.C., de Roque Company, C., Sevilla Marcos, J.M. (1992). *Association between calcium content of drinking water and fractures in children*. An. Esp. Pediatr. 37: 461-465.
[30] Yang, Ch.Y., Chiu, J.F., Chiu, H.F., Wang, T.N., Lee, Ch.H., Ko, Y.Ch. (1996). *Relationship between water hardness and coronary mortality in Taiwan.* J. Toxicol. Environ. Health 49: 1-9.
[31] Yasui, M., Ota, K., Yoshida, M. (1997*). Effects of low calcium and magnesium dietary intake on the central nervous system tissues of rats and calcium-magnesium related disorders in the amyotrophic lateral sclerosis focus in the Kii Peninsula of Japan.* Magnes. Res. 10: 39–50.

VYMEDZENIE ZRANITEĽNÝCH OBLASTÍ NA SLOVENSKU: PREPOJENIE MONITORINGU PODZEMNÝCH A POVRCHOVÝCH VÔD V KONTEXTE DUSIČNANOVEJ SMERNICE

DELIMITATION OF VULNERABLE ZONES IN SLOVAKIA: INTEGRATING GROUNDWATER AND SURFACE WATER MONITORING IN THE CONTEXT OF THE NITRATES DIRECTIVE

Barbora Gavuliaková[1], Katarína Chalupková[1], Beata Zsideková[1], Martina Dubská[1], Roman Cibulka[1]

[1]*Výskumný ústav vodného hospodárska, Nábrežie armádneho generála L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava, e-mail: barbora.gavuliakova@vuvh.sk*

Abstrakt: Jednou zo základných požiadaviek smernice Rady 91/676/EHS o ochrane vôd pred znečistením spôsobeným dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov je určovanie a pravidelné prehodnocovanie zraniteľných oblastí. V roku 2026 vykonal Výskumný ústav vodného hospodárstva v spolupráci so Slovenským hydrometeorologickým ústavom ďalšiu revíziu zraniteľných oblastí na území Slovenskej republiky. Revízia vychádzala najmä z výsledkov monitorovania koncentrácií dusičnanov v podzemných a povrchových vodách, hodnotenia eutrofizácie povrchových vôd a analýzy trendov koncentrácií dusičnanov v podzemných vodách. Zohľadnené boli aj údaje o využití krajiny a ďalšie podklady umožňujúce identifikovať potenciálne zdroje znečistenia. Keďže hodnotenie podzemných a povrchových vôd bolo realizované samostatnými metodikami, kľúčovým krokom bolo vzájomné prepojenie a zosúladenie výsledkov. Z pôvodných 1 395 zraniteľných oblastí bolo na základe revízie navrhnuté vyradiť 374 oblastí, najmä v dôsledku nízkych koncentrácií dusičnanov a priaznivého alebo stabilného vývoja kvality vôd. Novo bolo navrhnutých 33 oblastí. Celkový počet zraniteľných oblastí v Slovenskej republike tak predstavuje 1 054. Výsledky poukazujú na význam integrovaného hodnotenia podzemných a povrchových vôd pri pravidelnej revízii zraniteľných oblastí.

Abstract: One of the key requirements of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources is the designation and regular review of nitrate vulnerable zones. In 2026, the Water Research Institute, in cooperation with the Slovak Hydrometeorological Institute, carried out the latest review of vulnerable zones in the Slovak Republic. The review was based primarily on the results of monitoring nitrate concentrations in groundwater and surface water, the assessment of eutrophication of surface waters, and the analysis of nitrate concentration trends in groundwater. Land-use data and other information enabling the identification of potential sources of pollution were also taken into account. As the assessment of groundwater and surface water was carried out using separate methodologies, a key step was to integrate and harmonise the results of both assessments. Based on the review, 374 of the original 1,395 vulnerable zones were proposed for removal, mainly due to low nitrate concentrations and favourable or stable trends in water quality. A further 33 areas were newly proposed for designation. The total number of vulnerable zones in the Slovak Republic therefore amounts to 1,054. The results demonstrate the importance of an integrated assessment of groundwater and surface water quality for the regular review of vulnerable zones.

Kľúčové slová: dusičnanová smernica, zraniteľné oblasti, podzemné vody, povrchové vody, monitoring, dusičnany, eutrofizácia, poľnohospodárske znečistenie

Key words: Nitrates Directive, vulnerable zones, groundwater, surface water, monitoring, nitrates, eutrophication, agricultural pollution

1. Úvod

Slovenská republika sa v súvislosti so vstupom do Európskej únie v roku 2004 zaviazala plniť povinnosti vyplývajúce zo smernice Rady 91/676/EHS z 12. decembra 1991 o ochrane vôd pred znečistením spôsobeným dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov (ďalej len „dusičnanová smernica“) (Rada Európskych spoločenstiev, 1991). Jej cieľom je ochrana vôd pred znečistením dusičnanmi pochádzajúcimi z poľnohospodárskych zdrojov a predchádzanie ďalšiemu znečisťovaniu. Požiadavky dusičnanovej smernice sú do právneho poriadku Slovenskej republiky transponované najmä prostredníctvom vodného zákona.

Jednou zo základných požiadaviek dusičnanovej smernice je vymedzenie zraniteľných oblastí (ZO), t. j. oblastí, v ktorých sa nachádzajú vody znečistené dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov alebo vody ohrozené takýmto znečistením. Zraniteľné oblasti je potrebné pravidelne preskúmavať a podľa potreby revidovať alebo rozširovať najmenej každé štyri roky (Rada Európskych spoločenstiev, 1991). Dôležitým podkladom pre tento proces je monitoring kvality podzemných a povrchových vôd, ktorý umožňuje hodnotiť koncentrácie dusičnanov, ich časový vývoj a v prípade povrchových vôd aj prejavy eutrofizácie.

V Slovenskej republike bola v roku 2026 vykonaná ďalšia revízia zraniteľných oblastí Výskumným ústavom vodného hospodárstva (VÚVH) v spolupráci so Slovenským hydrometeorologickým ústavom (SHMÚ). Revízia vychádzala z výsledkov monitorovania podzemných a povrchových vôd, hodnotenia trendov koncentrácií dusičnanov a eutrofizácie povrchových vôd, ako aj z ďalších podkladov charakterizujúcich využitie krajiny a potenciálne zdroje znečistenia. Keďže hodnotenie podzemných a povrchových vôd bolo realizované samostatne, významnou súčasťou revízie bolo vzájomné prepojenie a zosúladenie výsledkov oboch hodnotení.
Na základe revízie bol pripravený návrh aktualizácie vymedzenia zraniteľných oblastí, ktorý je v súčasnosti v legislatívnom konaní.
Cieľom príspevku je predstaviť postup a výsledky revízie zraniteľných oblastí v roku 2026 so zameraním na prepojenie výsledkov monitorovania podzemných a povrchových vôd a ich využitie pri návrhu zmien vo vymedzení zraniteľných oblastí.

2. Revízia zraniteľných oblastí podzemných vôd

Pre revíziu zraniteľných oblastí z hľadiska znečistenia podzemných vôd dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov bol vypracovaný samostatný metodický postup (Cibulka a kol., 2016), ktorý bol následne aktualizovaný s cieľom zohľadniť aktuálne požiadavky a dostupné údaje (Cibulka a kol., 2020, Gavuliaková a kol., 2026). Metodický postup je v súlade s dusičnanovou smernicou (článok 6) a zahŕňa dva samostatné moduly hodnotenia podľa odsekov 1 a 2 článku 6 (Rada Európskych spoločenstiev, 1991):

1. Zhodnotenie zraniteľných oblastí z hľadiska rizika znečistenia podzemných vôd dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov.
2. Zhodnotenie územia SR mimo zraniteľných oblastí z hľadiska rizika znečistenia podzemných vôd dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov.

2.1. Revízia územia v zraniteľných oblastiach

Hodnotenie zraniteľných oblastí z hľadiska podzemných vôd vychádzalo z výsledkov monitorovania kvality podzemných vôd za obdobie 2020 – 2023. Do analýzy bolo zahrnutých 1 477 monitorovacích objektov s predpokladaným vplyvom poľnohospodárskej činnosti. Pre jednotlivé objekty sa hodnotila hodnota 95. percentilu koncentrácií dusičnanov (c95P) za roky 2020 – 2023 a ich trend za obdobie 2009 – 2023.
Za reprezentatívne boli považované objekty s dostatočne dlhým časovým radom, t. j. minimálne 8 rokov a 8 meraní alebo 5 rokov a 10 meraní. Tieto podmienky splnilo 818 objektov. Pri ostatných objektoch nebolo možné trend spoľahlivo vyhodnotiť najmä z dôvodu kratšieho časového radu alebo prerušovaného monitorovania.
Ako základné kritérium pre ďalšie posudzovanie bola použitá hodnota 25 mg/l NO_3^-. Hodnota c95P bola nižšia ako 25 mg/l v 813 objektoch. Klesajúci alebo stabilný trend bol zaznamenaný v 357 objektoch, rastúci trend v 36 objektoch a pri 420 objektoch nebolo možné trend určiť.
Vyraďovanie obcí zo zraniteľných oblastí bolo založené najmä na nízkych koncentráciách dusičnanov a ich klesajúcom alebo stabilnom trende. V prípadoch, keď trend nebolo možné jednoznačne vyhodnotiť, bola rozhodujúca analýza rizika. Tá predstavovala expertné zhodnotenie dostupných údajov o stave a zraniteľnosti podzemných vôd, využití územia a riziku poľnohospodárskeho znečistenia a bola vykonaná v obciach s monitorovacím objektom a minimálne štvorročnou históriou monitorovania.
Na základe hodnotenia bolo v zraniteľných oblastiach ponechaných 869 obcí, najmä vzhľadom na nepriaznivý alebo rastúci trend koncentrácií dusičnanov, výsledky analýzy rizika a potrebu zvýšenej ochrany významných zdrojov podzemných vôd, najmä CHVO Žitný ostrov. Naopak, na vyradenie bolo navrhnutých 322 obcí, z toho 168 na základe nízkych koncentrácií a priaznivého trendu, 143 na základe analýzy rizika a 11 na základe priestorovej analýzy v územiach bez monitorovacieho objektu.

2.2. Revízia územia mimo zraniteľných oblastí

Hodnotenie územia mimo existujúcich zraniteľných oblastí vychádzalo z výsledkov monitorovania podzemných vôd za obdobie 2020 – 2023. Do analýzy bolo zahrnutých 761 monitorovacích objektov nachádzajúcich sa na poľnohospodársky využívanom území alebo území ovplyvnenom poľnohospodárskymi zdrojmi znečistenia. Pre jednotlivé objekty bola stanovená hodnota 95. percentilu koncentrácie dusičnanov (c95P) a hodnotený ich časový trend.
Z celkového počtu objektov bola v 43 objektoch zistená hodnota c95P vyššia ako 25 mg/l, pričom v 10 objektoch presiahla 50 mg/l. Tieto objekty boli podrobené podrobnejšiemu hodnoteniu vrátane analýzy trendu, rizika poľnohospodárskeho znečistenia a v prípade potreby aj terénnej obhliadky. Pri posudzovaní sa zohľadňovali najmä využitie pôdy, spotreba a bilancia dusíka, zraniteľnosť a hydrogeologické pomery územia, smer prúdenia podzemných vôd, ďalšie zdroje znečistenia a situácia v okolí.

Na základe podrobnej analýzy bolo 6 obcí navrhnutých na zaradenie do zraniteľných oblastí pre podzemné vody, a to obce Krnča, Neverice, Podhorany, Záhorce, Plešivec a Liptovský Mikuláš. V obciach bez monitorovacieho objektu nebola identifikovaná potreba ďalšieho rozšírenia zraniteľných oblastí, čo podporili aj výsledky priestorovej analýzy koncentrácií dusičnanov a údaje o spotrebe hnojív.

3. Revízia zraniteľných oblastí povrchových vôd

Poľnohospodárska činnosť predstavuje jeden z významných zdrojov živín vstupujúcich do povrchových vôd. Nadmerný prísun zlúčenín dusíka a fosforu môže viesť k zhoršovaniu kvality vody, narušeniu ekologického stavu vodných útvarov a rozvoju eutrofizácie. Cieľom revízie zraniteľných oblastí je preto identifikovať územia, v ktorých poľnohospodárske využívanie pôdy predstavuje pre kvalitu povrchových vôd významné alebo potenciálne riziko, a vytvoriť podklad na prijatie účinných opatrení na obmedzenie vnosu živín.
Zraniteľné oblasti boli na Slovensku pôvodne vymedzené najmä vo vzťahu k podzemným vodám. Hodnotenie povrchových vôd síce tvorilo súčasť predchádzajúcich revízií, spočiatku však nebolo rozhodujúcim kritériom. Význam povrchových vôd pri vymedzovaní zraniteľných oblastí sa zvýšil v súvislosti s pretrvávajúcimi problémami s nutrientmi a eutrofizáciou. Pozornosť sa preto rozšírila aj na difúzne zdroje znečistenia, predovšetkým na odtok živín a eróziu poľnohospodárskej pôdy. Od revízie uskutočnenej v roku 2016 sa tak zraniteľné oblasti vyhodnocujú aj z hľadiska povrchových vôd.
Aktuálna revízia vychádza predovšetkým z výsledkov monitorovania za obdobie rokov 2020 – 2023. Hodnotenie zahŕňalo tečúce vody vrátane prirodzených, výrazne zmenených a umelých vodných tokov, ako aj vodné nádrže. Monitorovacia sieť bola v porovnaní s predchádzajúcimi obdobiami rozšírená na 921 miest monitorovania kvality povrchovej vody. V prípade riek bolo vyhodnotených 866 monitorovacích miest, čo umožnilo podrobnejšie priestorové posúdenie kvality povrchových vôd na celom území Slovenska.
Pri monitorovacích miestach, ktoré nespĺňali stanovené kritériá z hľadiska koncentrácie dusičnanov alebo eutrofizácie, sa vyhodnocovalo, či dominantný zdroj znečistenia predstavujú komunálne odpadové vody alebo poľnohospodárska činnosť. Pre jednotlivé povodia monitorovacích miest sa preto kvantifikoval vnos dusíka a fosforu z poľnohospodárskej pôdy a porovnával sa s množstvom živín pochádzajúcich z komunálnych odpadových vôd.
Koncentrácie dusičnanov v riekach boli v období 2020 – 2023 prevažne nízke až stredné. Približne 75,9 % monitorovacích miest dosiahlo priemernú koncentráciu v rozmedzí 2 až 10 mg/l. Priemerná koncentrácia najmenej 40 mg/l bola zaznamenaná iba v šiestich monitorovacích miestach, teda približne v 0,6 % hodnotených lokalít. Výsledky preto ukazujú, že vysoké koncentrácie dusičnanov nie sú v povrchových vodách Slovenska plošným problémom, môžu však byť významné na lokálnej úrovni a v kombinácii s ďalšími faktormi.
Významnejším problémom zostáva eutrofizácia. Z celkového počtu 857 hodnotených monitorovacích miest v tečúcich vodách bolo 67,8 % klasifikovaných bez prejavu alebo rizika eutrofizácie, 21,7 % bolo vyhodnotených ako rizikových a v 10,5 % miest sa prejavila eutrofizácia. Väčšina problémových miest sa nachádzala v už vymedzených zraniteľných oblastiach. Z celkového počtu miest s prejavom eutrofizácie bolo 77,8 % situovaných v zraniteľných oblastiach a pri miestach s rizikom eutrofizácie tento podiel dosiahol 88,7 %. Prejavy eutrofizácie boli zaznamenané najmä v čiastkovom povodí Váhu, osobitne v povodí Nitry, a tiež v povodí Moravy.
V prípade vodných nádrží bolo hodnotených 22 lokalít. Trinásť nádrží, teda 59,1 %, bolo bez prejavu alebo rizika eutrofizácie, zatiaľ čo v deviatich nádržiach sa eutrofizácia prejavila. V rámci zraniteľných oblastí bolo eutrofizáciou ovplyvnených šesť z ôsmich hodnotených nádrží. V porovnaní s predchádzajúcim obdobím však v zraniteľných oblastiach nebola zaznamenaná nádrž so zhoršením stavu eutrofizácie.
Výsledky monitorovania a analýzy zdrojov znečistenia boli spracované v prostredí geografických informačných systémov. Pre každú hodnotenú lokalitu a príslušné povodie sa posudzovala kvalita vody, charakter využívania pôdy, intenzita eróznych procesov, bilancia živín a úroveň odvádzania a čistenia komunálnych odpadových vôd. Výsledkom bolo určenie obcí, ktoré majú zostať v zraniteľných oblastiach, majú byť z nich vyradené alebo majú byť novo zaradené.
V revízii z roku 2026 bolo z hľadiska povrchových vôd navrhnutých 241 obcí na zaradenie, 238 obcí na ponechanie a 294 obcí na vyradenie zo zraniteľných oblastí. V porovnaní s revíziou z roku 2020 poklesol počet obcí z 532 na 479, k tomuto poklesu prispelo spresnenie metodiky hodnotenia eutrofizácie, výsledky monitorovania dusičnanov za obdobie rokov 2020 – 2023 a podrobnejšie rozlíšenie dominantných zdrojov znečistenia. Obce navrhnuté na vyradenie boli identifikované najmä tam, kde sa preukázal dominantný vplyv iných zdrojov než poľnohospodárskej činnosti.
Revízia potvrdila význam integrovaného hodnotenia, ktoré kombinuje výsledky monitorovania povrchových vôd s analýzou využívania krajiny a kvantifikáciou jednotlivých zdrojov živín. Takýto prístup umožňuje cielenejšie vymedziť zraniteľné oblasti a sústrediť opatrenia predovšetkým na lokality, kde je možné preukázať významný vplyv poľnohospodárstva. Zároveň poukazuje na potrebu pokračovať v pravidelnom monitorovaní, obmedzovaní erózie poľnohospodárskej pôdy, efektívnom hospodárení s dusíkom a fosforom a v zlepšovaní odvádzania a čistenia komunálnych odpadových vôd.

4. Prepojenie hodnotenia podzemných a povrchových vôd

Nakoľko boli súčasťou revízie zraniteľných oblastí v roku 2026 dve samostatné metodiky a hodnotenia pre podzemné aj povrchové vody, bolo potrebné prepojiť výsledky revízie zraniteľných oblastí podzemných a povrchových vôd. Výsledkom je návrh aktualizovaného zoznamu zraniteľných oblastí SR, ktoré budú záväzné vzhľadom k aplikácii programu poľnohospodárskych činností vo vyhlásených zraniteľných oblastiach.
Jednou z požiadaviek podávania správ o stave implementácie smernice Rady 91/676/EHS je prezentácia zraniteľných oblastí za krajinu na mapách v mierke aspoň 1 : 1 000 000, pričom je potrebné farebne rozlíšiť rozsah a zmenu zraniteľných oblastí oproti predchádzajúcemu stavu.
Z toho dôvodu je potrebné prepojiť výsledky revízie zraniteľných oblastí pre podzemné a povrchové vody a prezentovať zmeny zraniteľných oblastí oproti predchádzajúcemu stavu za Slovenskú republiku. Prepojenie výsledkov revízie zraniteľných oblastí pre podzemné a povrchové vody je vykonané na základe schémy (obr. 1).

výsledok hodnotenia		**podzemné vody**			
		B	**Z**	**V**	**N**
povrchové vody	**B**	B	B	B	B
	Z	B	Z	B	Z
	V	B	B	V	V
	N	B	Z	V	N

kód	**vysvetlenie**
B	*zraniteľné oblasti zostanú bez zmeny*
Z	*zraniteľné oblasti zaradené*
V	*zraniteľné oblasti vyradené*
N	*zraniteľné oblasti nevymedzené*

Obr. 1 Schéma prepojenia výsledkov revízie zraniteľných oblastí SR podzemných a povrchových vôd na základe zmeny revidovaných zraniteľných oblastí SR oproti pôvodnému stavu

Schéma popisuje 16 možností výsledkov vyhodnotenia pre každú zraniteľnú oblasť, ktoré sú kombináciou 4 možností za podzemné vody a 4 za vody povrchové.
Výsledkom môže byť jedna z nasledujúcich možností:
▪ Zraniteľné oblasti SR zostanú bez zmeny (B)
obec zaradená do zraniteľných oblastí v roku 2022 alebo v predchádzajúcich rokoch a bola ponechaná aj po revízii v roku 2025
▪ Zraniteľné oblasti SR vyradené (V)
obec zaradená do zraniteľných oblastí v roku 2022 alebo v predchádzajúcich rokoch a bola vyradená po revízii v roku 2025
▪ Zraniteľné oblasti SR zaradené (Z)
obec bola zaradená do zraniteľných oblastí po revízii v roku 2025
▪ Zraniteľné oblasti SR nevymedzené (N)
obec zostáva mimo zraniteľných oblastí SR

Prepojenie výsledkov hodnotenia podzemných a povrchových vôd je založené na pravidle, že Akčný program hospodárenia je potrebné aplikovať, nech už je zraniteľná oblasť vymedzená z dôvodu ohrozenia kvality podzemných, povrchových alebo kombináciou oboch typov vôd.
Pre lepšiu aplikáciu Akčného programu hospodárenia je súčasťou revízie i metodický postup rozlíšenia zraniteľných oblastí podľa typu vôd. V praxi to znamená, že zraniteľné oblasti pre Slovenskú republiku sú vymedzené aj na základe existencie vymedzení zraniteľných oblastí buď za podzemné vody, povrchové vody alebo ich kombináciou (obr. 2).

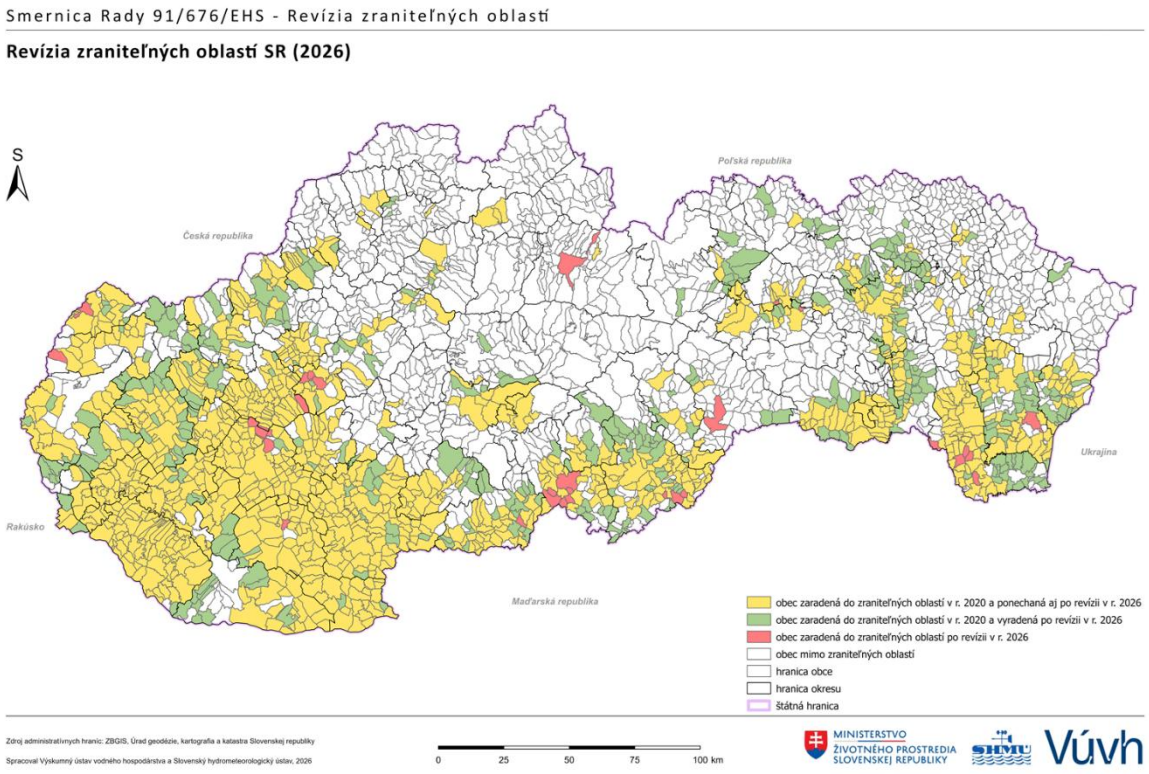
zraniteľné oblasti		**Podzemné vody**	
		ÁNO	**NIE**
povrchové vody	**ÁNO**	zraniteľná oblasť pre podzemné i povrchové vody	zraniteľná oblasť pre povrchové vody
	NIE	zraniteľná oblasť pre podzemné vody	Obec mimo zraniteľných oblastí SR

Obr. 2 Schéma prepojenia výsledkov revízie zraniteľných oblastí SR podzemných a povrchových vôd – revidované zraniteľné oblasti SR na základe typu vôd

Schéma popisuje 4 možnosti výsledkov hodnotenia pre každú zraniteľnú oblasť, ktoré sú kombináciou 2 možností za podzemné vody a 2 za vody povrchové. Výsledkom môže byť jedna z nasledujúcich možností:
▪ Zraniteľná oblasť pre podzemné i povrchové vody
▪ Zraniteľná oblasť pre podzemné vody
▪ Zraniteľná oblasť pre povrchové vody
▪ Obec mimo zraniteľných oblastí SR

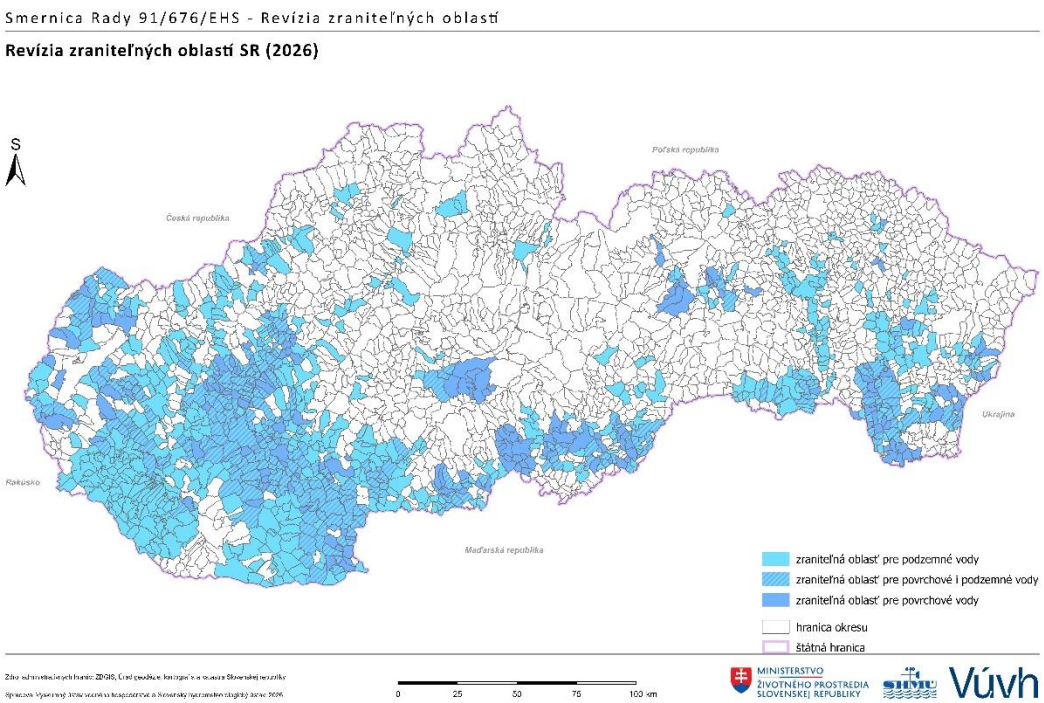
5. Zhrnutie výsledkov revízie

Revízia zraniteľných oblastí SR bola založená na vyhodnotení dostupných údajov o kvalite podzemných a povrchových vôd, vývoji koncentrácií dusičnanov, eutrofizácii a riziku znečistenia z poľnohospodárskych činností. Z pôvodných 1 395 obcí zaradených do zraniteľných oblastí bolo 374 navrhnutých na vyradenie, najmä z dôvodu nízkych koncentrácií dusičnanov a nutrientov, stabilného alebo klesajúceho trendu kvality vôd a absencie eutrofizácie. Naopak, na základe výsledkov hodnotenia bolo mimo zraniteľných oblastí identifikovaných 33 obcí ohrozených poľnohospodárskym znečistením, ktoré boli navrhnuté na nové zaradenie (obr. 3).



Obr. 3 Výsledky revízie zraniteľných oblastí v roku 2026 za podzemné a povrchové vody

Po zohľadnení výsledkov hodnotenia podzemných a povrchových vôd sa celkový počet zraniteľných oblastí znížil z 1 395 na 1 054 obcí. Z nich bolo 300 obcí zaradených spoločne pre podzemnú aj povrchovú vodu, len z pohľadu podzemných vôd 575 obcí a len z pohľadu povrchových vôd 179 obcí (obr. 4). Revízia zároveň viedla k ďalšiemu zníženiu podielu poľnohospodársky využívanej pôdy v zraniteľných oblastiach, ktorý je o 12,9 % nižší ako po revízii v roku 2020 a o 19,6 % nižší ako pred revíziou v roku 2016 (Tab. 1). Výsledky potvrdzujú význam pravidelného prehodnocovania zraniteľných oblastí na základe aktuálnych monitorovacích údajov a umožňujú presnejšie priestorové zacielenie opatrení na územia s preukázaným alebo potenciálnym vplyvom poľnohospodárstva, vrátane lokalít s tzv. „hotspotmi“ znečistenia.



Obr. 4 Výsledky revízie zraniteľných oblastí v roku 2026 – podzemné vody , povrchové vody, spoločné územia

	Pred revíziou ZO v roku 2016	**Po revízii ZO v roku 2016**	**Po revízii ZO v roku 2020**	**Po revízii ZO v roku 2026**
Počet katastrálnych území obcí spadajúcich do zraniteľných oblastí	1 524 (resp. 1 561)	1 344	1 395	1 054
Výmera katastrálnych území obcí spadajúcich do zraniteľných oblastí	22 328,10 km^2	20 938,24 km^2	21 565,84 km^2	16 769, 02 km^2
Výmera využívanej poľnohospodárskej pôdy v zraniteľných oblastiach	13 684,65 km^2	12 986,62 km^2	12 336,18 km^2	9 746,68 km^2
Podiel využívanej poľnohospodárskej pôdy v zraniteľných oblastiach z celkovej poľnohospodársky využívanej pôdy v SR	70,6 %	65,8 %	63,9 %	58,1 %

Tab. 1 Zmena vo výmere zraniteľných oblastí od roku 2016 do roku 2026 (Gavuliaková a kol., 2026)

6. Záver

Revízia zraniteľných oblastí SR v roku 2026 vychádzala z rozsiahleho súboru údajov o kvalite a stave podzemných a povrchových vôd, využití poľnohospodárskej pôdy a potenciálnych zdrojoch znečistenia. Hodnotenie bolo založené na údajoch z 2 237 monitorovacích objektov podzemných vôd a 920 miest monitorovania povrchových vôd a zohľadňovalo výsledky hodnotenia trendov, eutrofizácie, zraniteľnosti podzemných vôd a analýzy rizika poľnohospodárskeho znečistenia.

Na základe výsledkov revízie bolo z pôvodných 1 395 obcí 374 navrhnutých na vyradenie a 33 na nové zaradenie. Celkový počet zraniteľných oblastí sa tak znížil na 1 054 obcí, z ktorých 300 je zraniteľných z pohľadu podzemných aj povrchových vôd, 575 iba z pohľadu podzemných vôd a 179 iba z pohľadu povrchových vôd.

Z pohľadu podzemných vôd sa počet zraniteľných obcí znížil z 1 191 na 875 a z pohľadu povrchových vôd z 532 na 479.
Výsledky potvrdzujú význam prepojenia údajov o podzemných a povrchových vodách a pravidelného prehodnocovania zraniteľných oblastí na základe aktuálnych monitorovacích údajov. Aktualizované vymedzenie umožňuje presnejšie identifikovať územia ohrozené poľnohospodárskym znečistením a efektívnejšie zacieliť opatrenia na tzv. „hotspoty“ znečistenia. Na základe revízie bol pripravený návrh aktualizácie právnej úpravy zraniteľných oblastí vrátane nového zoznamu a mapy zraniteľných oblastí. Návrh nového nariadenia vlády SR je v súčasnosti v legislatívnom konaní.

Zoznam literatúry:

Smernica Rady 91/676/EHS z 12. decembra 1991 o ochrane vôd pred znečistením dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov, Ú. v. ES L 375/1, 31.12.1991, s. 68-77.
Zákon z 13. mája 2004 o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon), Z. z. č. 364/2004, 24.6.2004, s. 1-109.
CIBULKA, R., MÁJOVSKÁ, A., RAJCZYKOVÁ, E. a kolektív, 2016. *Revízia zraniteľných oblastí pre smernicu Rady 91/676/EHS*. Bratislava : VÚVH, 2016.
CIBULKA, R., MÁJOVSKÁ, A., RAJCZYKOVÁ, E. a kolektív, 2020. *Revízia zraniteľných oblastí pre smernicu Rady 91/676/EHS*. Bratislava : VÚVH, 2020.
GAVULIAKOVÁ, B., DUBSKÁ, M., MÁJOVSKÁ, A. a kolektív, 2026. *Revízia zraniteľných oblastí pre smernicu Rady 91/676/EHS*. Bratislava : VÚVH, 2026.

VPLYV DUSIČNANOVEJ SMERNICE (91/676/EHS) NA KVALITU PODZEMNÝCH VÔD NA SLOVENSKU: VÝSLEDKY MONITORINGU 2020 – 2023

IMPACT OF THE NITRATES DIRECTIVE (91/676/EEC) ON GROUNDWATER QUALITY IN SLOVAKIA: MONITORING RESULTS 2020–2023

Barbora Gavuliaková[1], Katarína Chalupková[1], Beata Zsideková[1], Martina Dubská[1], Roman Cibulka[1]

[1]*Výskumný ústav vodného hospodárska, Nábrežie armádneho generála L. Svobodu 5, 812 49 Bratislava, e-mail: barbora.gavuliakova@vuvh.sk*

Abstrakt: Dusičnanová smernica 91/676/EHS predstavuje významný nástroj ochrany vôd pred znečistením dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov. Príspevok hodnotí výsledky monitorovania podzemných vôd v Slovenskej republike za obdobie 2020 – 2023 a ich využitie pri implementácii smernice. Hodnotenie vychádzalo z údajov z 2 237 monitorovacích objektov, z ktorých 1 628 bolo situovaných v zraniteľných oblastiach. Priemerná koncentrácia dusičnanov bola v zraniteľných oblastiach nižšia ako 25 mg/l v 65,1 % objektov, pričom koncentrácia nad 50 mg/l bola zaznamenaná v 16,3 % objektov. Vývoj koncentrácií bol hodnotený na 1 666 rovnakých objektoch za obdobia 2016 – 2019 a 2020 – 2023. Nárast priemernej koncentrácie bol zaznamenaný v 31,8 % objektov, stabilný trend v 38,1 % a pokles v 30,2 %. Zvýšená pozornosť bola venovaná objektom s koncentráciami 37,5 – 49,99 mg/l a ≥ 50 mg/l, ako aj lokalitám s extrémnymi hodnotami nad 250 mg/l. Výsledky poukazujú na celkovo stabilizovaný stav kvality podzemných vôd, zároveň však identifikujú lokality s pretrvávajúcimi alebo rastúcimi koncentráciami, ktoré si vyžadujú cielené opatrenia a dlhodobé monitorovanie.

Abstract: The Nitrates Directive 91/676/EEC is an important instrument for protecting water resources against nitrate pollution from agricultural sources. This paper evaluates groundwater monitoring results in the Slovak Republic for the period 2020–2023 and their use in the implementation of the Directive. The assessment was based on data from 2,237 monitoring sites, of which 1,628 were located within nitrate vulnerable zones. In these zones, the average nitrate concentration was below 25 mg/L at 65.1% of monitoring sites, while concentrations above 50 mg/L were recorded at 16.3% of sites. Changes in nitrate concentrations were assessed at 1,666 monitoring sites common to the periods 2016–2019 and 2020–2023. An increase in average nitrate concentrations was observed at 31.8% of sites, while stable and decreasing trends were identified at 38.1% and 30.2% of sites, respectively. Particular attention was paid to sites with concentrations of 37.5–49.99 mg/L and ≥50 mg/L, as well as to locations with exceptionally high concentrations exceeding 250 mg/L. The results indicate an overall stabilization of groundwater quality, while identifying locations with persistent or increasing nitrate concentrations requiring targeted measures and long-term monitoring.

Kľúčové slová: dusičnany, podzemná voda, monitorovanie, zraniteľné oblasti, dusičnanová smernica

Key words: nitrates, groundwater, monitoring, nitrate vulnerable zones, Nitrates Directive

1. Úvod

Plnenie záväzkov súvisiacich s implementáciou požiadaviek smernice Rady 91/676/EHS o ochrane vôd pred znečistením spôsobeným dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov v Slovenskej republike (dusičnanová smernica) je viazané na dátum vstupu Slovenskej republiky do Európskej únie (1. máj 2004). Hlavným cieľom tejto smernice je znížiť znečistenie podzemných a povrchových vôd dusičnanmi pochádzajúcimi z poľnohospodárskej činnosti a zároveň predchádzať ďalšiemu znečisťovaniu tohto typu. Za znečistenú podzemnú vodu sa na účely implementácie dusičnanovej smernice považuje voda, v ktorej koncentrácia dusičnanov dosahuje alebo presahuje limitnú hodnotu 50 mg/l stanovenú pre pitnú vodu vo vyhláške č. 91/2023 Z. z.
Každé štyri roky sa hodnotí pokrok v implementácii dusičnanovej smernice prostredníctvom „Správy o stave implementácie smernice Rady 91/676/EHS o ochrane vôd pred znečistením spôsobeným dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov v Slovenskej republike“. V roku 2024 bola vypracovaná správa za reportovacie

obdobie rokov 2020 – 2023. Príspevok sa zameriava na výsledky monitorovania kvality podzemných vôd v tomto období, so zreteľom na vývoj koncentrácií dusičnanov a hodnotenie ich trendov. Zároveň poukazuje na význam monitorovacej siete a získaných údajov ako podkladu pre hodnotenie a revíziu zraniteľných oblastí na Slovensku.

2. Implementácia dusičnanovej smernice v podmienkach Slovenskej republiky

Slovenská republika sa v súvislosti so vstupom do EÚ v roku 2004 zaviazala plniť požiadavky smernice Rady 91/676/EHS o ochrane vôd pred znečistením dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov (dusičnanová smernica) (Rada Európskych spoločenstiev, 1991). Už v roku 2001 bol vypracovaný Implementačný plán, ktorý stanovil harmonogram legislatívnych, monitorovacích, plánovacích a komunikačných aktivít a zodpovedné organizácie. V nadväznosti naň bol prijatý aj Kódex správnej poľnohospodárskej praxe – Ochrana vodných zdrojov (MP SR, 2001).

Po vstupe do EÚ boli požiadavky dusičnanovej smernice postupne transponované do národnej legislatívy, najmä do zákona č. 364/2004 Z. z. o vodách, zákona č. 136/2000 Z. z. o hnojivách a nariadenia vlády SR č. 174/2017 Z. z. o citlivých a zraniteľných oblastiach v znení neskorších predpisov. Implementácia smernice je v pôsobnosti Ministerstva životného prostredia SR a Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR a od roku 2019 ju koordinuje najmä Medzirezortná pracovná skupina MŽP SR pre implementáciu smernice 91/676/EHS.

Znečistenie povrchových a podzemných vôd dusíkatými látkami z poľnohospodárstva patrí medzi významné antropogénne vplyvy identifikované v rámci vodného plánovania. Opatrenia vyplývajúce z dusičnanovej smernice a Programu hospodárenia vo vyhlásených zraniteľných oblastiach sú preto súčasťou opatrení na znižovanie znečistenia vôd v rámci Vodného plánu Slovenska (MŽP SR, 2022a). Význam znižovania negatívnych vplyvov poľnohospodárstva na kvalitu vôd je zároveň zdôraznený v Koncepcii vodnej politiky SR do roku 2030 s výhľadom do roku 2050 (MŽP SR, 2022b).

Jednou z kľúčových povinností vyplývajúcich z dusičnanovej smernice je pravidelné štvorročné reportovanie o stave jej implementácie Európskej komisii (Rada Európskych spoločenstiev, 1991). Slovenská republika doteraz predložila päť správ, pričom aktuálna správa za obdobie 2020 – 2023 predstavuje šiestu správu (MŽP SR, 2024).

3. Monitorovanie kvality podzemných vôd

Kvalita podzemnej vody z hľadiska koncentrácie dusičnanov bola za obdobie 2020 – 2023 hodnotená na základe údajov zo štátnej hydrologickej siete monitorovania kvality podzemných vôd SHMÚ, účelovej monitorovacej siete VÚVH, vybraných objektov siete monitorovania kvantity podzemných vôd SHMÚ a údajov o kvalite využívaných zdrojov pitnej vody, zhromažďovaných v systéme ZBERVAK. Pri výbere objektov sa zohľadňoval najmä ich potenciálny vzťah k poľnohospodárskemu znečisteniu.

Celkovo bolo na hodnotenie koncentrácie dusičnanov v podzemných vodách vybraných 2 237 monitorovacích objektov, z ktorých 1 628 (72,8 %) sa nachádzalo vo vyhlásených zraniteľných oblastiach. Z celkového počtu bolo do hodnotenia zahrnutých 1 135 objektov účelovej monitorovacej siete VÚVH, 568 objektov štátnej hydrologickej siete kvality podzemných vôd SHMÚ, 95 objektov siete monitorovania kvantity podzemných vôd SHMÚ a 439 vodárenských zdrojov.

Významným krokom v posilnení monitorovacej infraštruktúry bola realizácia projektov zameraných na skvalitnenie a rozšírenie monitorovacích sietí VÚVH a SHMÚ. Projekt VÚVH „Skvalitnenie účelovej monitorovacej siete VÚVH na sledovanie znečistenia v podzemných vodách“, ukončený v roku 2023, zabezpečil náhradu 155 nevyhovujúcich monitorovacích objektov a vybudovanie 451 nových objektov, predovšetkým v zraniteľných oblastiach. Súčasne bola v rámci projektu SHMÚ „Skvalitnenie monitorovacích sietí podzemnej a povrchovej vody SHMÚ“ v rokoch 2023 – 2024 realizovaná obnova 385 sond a 120 prameňov. Tieto aktivity prispeli k zvýšeniu hustoty a kvality monitorovacej siete a k zlepšeniu dostupnosti údajov o stave podzemných vôd.

Rozšírenie monitorovacej siete zároveň vytvorilo kvalitnejší podklad pre hodnotenie a revíziu zraniteľných oblastí, sledovanie trendov koncentrácií dusičnanov a posudzovanie účinnosti opatrení vyplývajúcich zo smernice o dusičnanoch. Novovybudované a rekonštruované vrty sú priebežne monitorované a s pribúdajúcimi údajmi budú postupne vstupovať aj do hodnotenia vývoja a trendov koncentrácií dusičnanov. Na spoľahlivé vyhodnotenie trendu je podľa použitej metodiky potrebných minimálne 8 sledovaní, preto nie je možné nové objekty

plnohodnotne zahrnúť do trendového hodnotenia bezprostredne po ich zaradení do monitorovacej siete. Prínos rozšírenia monitorovacej siete z hľadiska hodnotenia trendov sa preto bude prejavovať postupne s predlžovaním časových radov. Do budúcnosti tak bude možné údaje z rozšírenej monitorovacej siete vo väčšom rozsahu využívať na spoľahlivejšie hodnotenie vývoja koncentrácií dusičnanov a na cielenejšie nastavovanie opatrení.
Pre porovnanie trendov medzi reportovacími obdobiami bolo možné využiť 1 666 rovnakých monitorovacích objektov z období 2016 – 2019 a 2020 – 2023, čo predstavovalo 74,5 % všetkých objektov hodnotených v období 2020 – 2023 (tab. 1, tab. 2).

Tab. 1 Prehľad počtu monitorovacích objektov kvality podzemnej vody

Obdobie rokov	**2012 – 2014**	**2016 – 2019**	**2020 – 2023**	**Spoločné monitorov. miesta od r. 2012**
Počet miest	1 717	1 788	2 237	1 207

Tab. 2 Prehľad počtu monitorovacích objektov kvality podzemnej vody v zraniteľných oblastiach

Obdobie rokov	**2012 – 2014**	**2016 – 2019**	**2020 – 2023**	**Spoločné monitorov. miesta od r. 2012**
Počet miest	1 435	1 185	1 628	771

4. Metodika hodnotenia kvality a trendov

Koncentrácia dusičnanov v podzemnej vode v celej SR a špeciálne v zraniteľných oblastiach sa hodnotila v zmysle odporúčaní príručky na vypracovanie správ (EK, 2024). V jednotlivých monitorovacích objektoch bol zistený počet odberov vzoriek podzemnej vody a boli vypočítané nasledovné základné štatistické parametre:

- maximálne hodnoty koncentrácie dusičnanov,
- priemerné hodnoty koncentrácie dusičnanov,

ktoré boli následne rozdelené do 4 preddefinovaných tried kvality koncentrácie dusičnanov v podzemných vodách (tab. 3). Priemerné hodnoty koncentrácie dusičnanov boli vypočítané ako priemerná hodnota z priemerných ročných hodnôt v období rokov 2020 – 2023, ako je uvedené v príručke (EK, 2024).

Tab. 3 Triedy kvality koncentrácie dusičnanov v podzemnej vode

Trieda (mg/l NO_3^-)	**Farba**
0 – 24,99	Zelená
25 – 39,99	Žltá
40 – 49,99	Oranžová
≥ 50	Červená

Vývoj koncentrácie dusičnanov v podzemných vodách bol hodnotený porovnaním období 2020 – 2023 a 2016 – 2019. V rámci hodnotenia bolo v celej SR posudzovaných 2 237 monitorovacích objektov podzemnej vody, z toho 1 628 objektov vo vyhlásených zraniteľných oblastiach. V súlade s metodikou (EK, 2024) boli porovnávané len monitorovacie objekty s rovnakou polohou a hĺbkou odberu. Celkovo bolo možné vývoj vyhodnotiť v 1 628 objektoch.
Hodnotená bola zmena maximálnej a priemernej koncentrácie dusičnanov. Výsledné hodnoty zmien koncentrácií boli zaradené do preddefinovaných koncentračných tried (tab. 4), čo umožnilo identifikovať oblasti so stúpajúcim, klesajúcim alebo stabilným vývojom koncentrácií dusičnanov.

Tab. 4 Triedy rozdielu priemernej koncentrácie dusičnanov v podzemnej vode medzi súčasným a predchádzajúcim obdobím

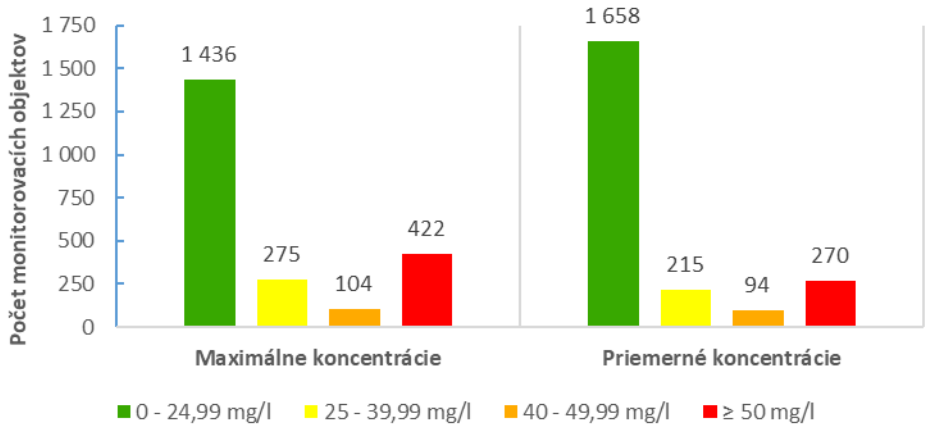
Rozdiel NO_3^-		**Zmeny hodnoty**	**Symbol**	**Farba**
Nárast	výrazný	> +5 mg/l	△	Červená
	mierny	> +1 do ≤ +5 mg/l	△	Oranžová
Stabilita		≥ - 1 do ≤ + 1 mg/l	▷	Žltá
Pokles	mierny	< -1 do ≥ -5 mg/l	▽	Zelená
	výrazný	< -5 mg/l	▽	Modrá

5. Výsledky hodnotenia dusičnanov v podzemných vodách

Hodnotenie koncentrácií dusičnanov v podzemných vodách za obdobie rokov 2020 – 2023 vychádzalo z údajov z 2 237 monitorovacích objektov na celom území Slovenskej republiky (tab. 5). Pozornosť bola venovaná maximálnym a priemerným koncentráciám dusičnanov, ich rozdeleniu do jednotlivých koncentračných tried a priestorovej distribúcii (obr. 1). Výsledky boli zároveň porovnané s predchádzajúcim hodnotiacim obdobím 2016 – 2019.

Tab. 5 Hodnotenie koncentrácie dusičnanov v podzemnej vode v SR za obdobie rokov 2020 – 2023

Trieda koncentrácie NO_3^- (mg/l)	Maximálna koncentrácia		Priemerná koncentrácia	
	Počet objektov	Podiel	Počet objektov	Podiel
0 – 24,99	1 436	64,2 %	1 658	74,1 %
25 – 39,99	275	12,3 %	215	9,6 %
40 – 49,99	104	4,6 %	94	4,2 %
≥ 50	422	18,9 %	270	12,1 %



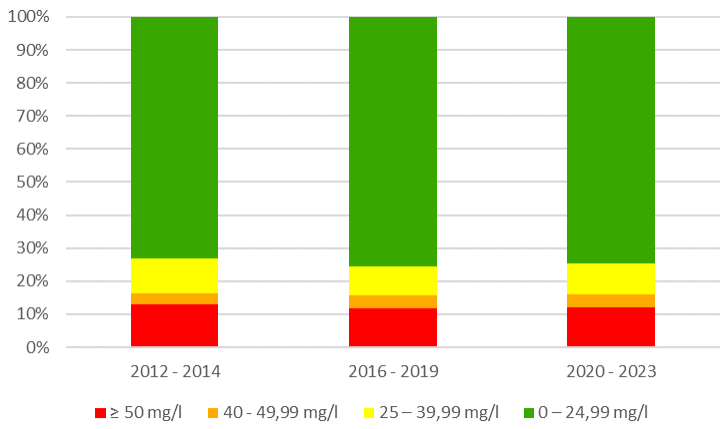
Obr. 1 Počet monitorovacích objektov v podzemnej vode v SR zaradených do tried koncentrácie dusičnanov za obdobie rokov 2020 – 2023

5.1. Hodnotenie koncentrácií dusičnanov v podzemných vodách na území SR

Výsledky hodnotenia ukázali, že väčšina monitorovacích objektov vykazovala koncentrácie dusičnanov pod limitnou hodnotou 50 mg/l. Pri hodnotení maximálnych koncentrácií bola v 81,1 % monitorovacích objektov zaznamenaná hodnota nižšia ako 50 mg/l. Najväčší počet objektov, 1 436 (64,2 %), patril do koncentračnej triedy 0 – 24,99 mg/l. V triede 25 – 39,99 mg/l bolo zaradených 275 objektov (12,3 %) a v triede 40 – 49,99 mg/l ďalších 104 objektov (4,6 %). Maximálna koncentrácia dusičnanov ≥ 50 mg/l bola zaznamenaná v 422 objektoch, čo predstavuje 18,9 % z celkového počtu hodnotených objektov.

Pri hodnotení priemerných koncentrácií bol podiel objektov s nízkymi hodnotami ešte vyšší. Do triedy 0 – 24,99 mg/l patrilo 1 658 objektov (74,1 %), zatiaľ čo v triede 25 – 39,99 mg/l bolo 215 objektov (9,6 %) a v triede 40 – 49,99 mg/l 94 objektov (4,2 %). Priemerná koncentrácia dusičnanov ≥ 50 mg/l bola zaznamenaná v 270 objektoch (12,1 %). Rozdiel medzi maximálnymi a priemernými hodnotami zároveň poukazuje na výskyt lokalít, kde sa síce vyskytujú krátkodobo zvýšené koncentrácie, ale priemerná úroveň za celé hodnotené obdobie zostáva nižšia.

V porovnaní s predchádzajúcim obdobím 2016 – 2019 zostalo zastúpenie jednotlivých koncentračných tried relatívne stabilné (obr. 2).

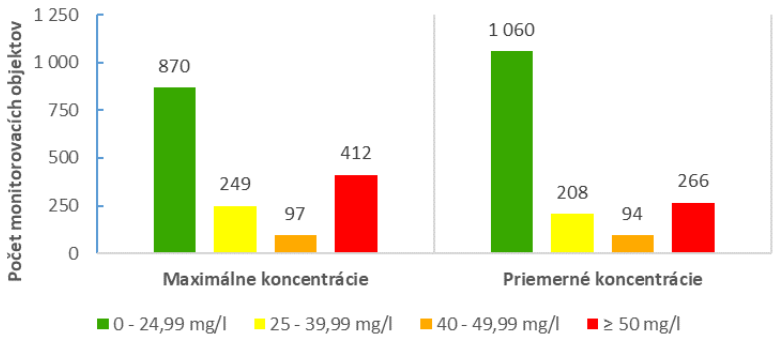


Obr. 2 Podiel monitorovacích objektov v podzemnej vode v SR zaradených do tried koncentrácie dusičnanov – rovnaké objekty za obdobie rokov 2016 – 2019 a 2020 – 2023

Z priestorového hľadiska sa zvýšené koncentrácie dusičnanov sústreďovali najmä v poľnohospodársky intenzívne využívaných oblastiach juhozápadného Slovenska, predovšetkým v oblasti Podunajskej pahorkatiny. Výraznejšie hodnoty boli zaznamenané najmä v častiach Nitrianskeho, Trnavského a Bratislavského kraja. Monitorovacie objekty s maximálnymi koncentráciami v triedach 40 – 49,99 mg/l a ≥ 50 mg/l sa pritom nachádzali prevažne v zraniteľných oblastiach. Táto priestorová súvislosť potvrdzuje význam poľnohospodárskeho využívania územia ako jedného z faktorov ovplyvňujúcich kvalitu podzemných vôd.
Významnú úlohu pri identifikácii lokalít so zvýšenými koncentráciami dusičnanov zohráva účelová monitorovacia sieť VÚVH, ktorá bola vybudovaná na podporu implementácie dusičnanovej smernice a v rokoch 2017 – 2023 významne rozšírená. Jej monitorovacie objekty tvorili približne polovicu všetkých objektov zahrnutých do hodnotenia. Rozšírenie siete umožnilo podrobnejšie zachytiť priestorové rozdiely v kvalite podzemných vôd a identifikovať aj lokality so zvýšenými koncentráciami mimo pôvodne vymedzených zraniteľných oblastí. Výsledky monitoringu tak zároveň predstavujú významný podklad pre hodnotenie účinnosti opatrení podľa dusičnanovej smernice a pre ďalšie prehodnocovanie zraniteľných oblastí.

5.2. Výsledky hodnotenia koncentrácií dusičnanov v zraniteľných oblastiach SR

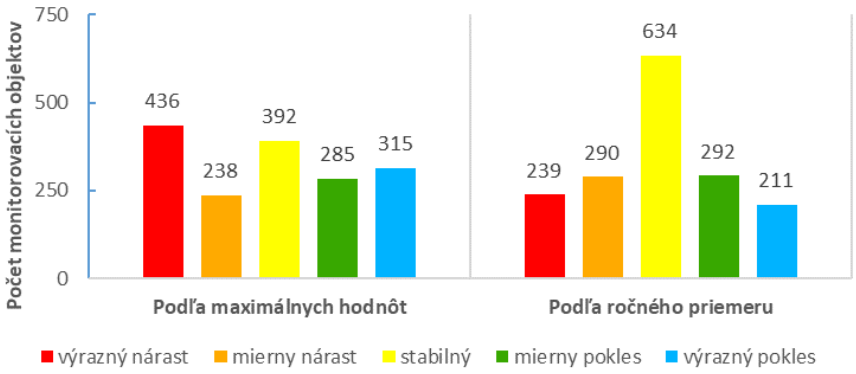
Z celkového počtu 2 237 hodnotených monitorovacích objektov podzemnej vody bolo v období rokov 2020 – 2023 1 628 objektov (72,8 %) situovaných v zraniteľných oblastiach, v ktorých je sústredená významná časť poľnohospodárskej činnosti. Maximálna koncentrácia dusičnanov ≥ 50 mg/l bola zaznamenaná v 412 objektoch (25,3 %), zatiaľ čo priemerná koncentrácia dosiahla alebo prekročila túto hodnotu v 266 objektoch (16,3 %). Napriek tomu väčšina monitorovacích objektov patrila do najnižšej koncentračnej triedy 0 – 24,99 mg/l (obr. 3).
Pri porovnaní jednotlivých reportovacích období sa v zraniteľných oblastiach prejavovali zmeny v zastúpení jednotlivých koncentračných tried, pričom ich interpretáciu ovplyvňovali aj zmeny vo výmere zraniteľných oblastí a zmeny monitorovacej siete. Rozšírenie monitorovacej siete v rokoch 2019 – 2023 bolo pritom zamerané najmä na lokality s intenzívnym poľnohospodárskym využívaním, čo umožnilo lepšie zachytiť oblasti potenciálne ovplyvnené poľnohospodárskou činnosťou.
Pre objektívnejšie posúdenie vývoja kvality podzemnej vody bolo preto vykonané porovnanie rovnakých monitorovacích objektov v obdobiach 2016 – 2019 a 2020 – 2023. Do porovnania bolo zahrnutých 1 117 objektov, pričom zmena ich zastúpenia v jednotlivých koncentračných triedach bola minimálna. Výsledky tak poukazujú na relatívne stabilný stav kvality podzemnej vody v zraniteľných oblastiach a nepotvrdzujú jej plošné zhoršovanie napriek rozšíreniu monitorovacej siete a zmenám vo vymedzení zraniteľných oblastí.
Zároveň viac ako 60 % porovnávaných monitorovacích objektov vykazovalo koncentrácie dusičnanov pod 25 mg/l, čo spolu so stabilným vývojom kvality predstavuje významný podklad pre ďalšie prehodnocovanie rozsahu zraniteľných oblastí (obr. 4).



Obr. 3 Počet monitorovacích objektov v zraniteľných oblastiach zaradených do tried kvality koncentrácie dusičnanov za obdobie rokov 2020 – 2023

6. Hodnotenie vývoja koncentrácie dusičnanov v podzemných vodách na území SR

Vývoj koncentrácií dusičnanov bol hodnotený na základe porovnania 1 666 rovnakých monitorovacích objektov v obdobiach 2016 – 2019 a 2020 – 2023. Pri hodnotení maximálnych koncentrácií bol nárast zaznamenaný v 40,4 % objektov, stabilný trend v 23,5 % a pokles v 36,0 % objektov.
Pri priemerných koncentráciách bol nárast zaznamenaný v 529 objektoch (31,8 %), pokles v 30,2 % a stabilný trend v 38,1 % objektov. Výsledky tak poukazujú na relatívne stabilný vývoj priemerných koncentrácií dusičnanov, zatiaľ čo pri maximálnych hodnotách mierne prevažuje počet objektov s rastúcim trendom (obr. 4).



Obr. 4 Rozdiel zmeny maximálnej a priemernej koncentrácie dusičnanov medzi súčasným a predchádzajúcim obdobím

6.1. Hodnotenie vývoja dusičnanov v SR – monitorovacie objekty s hodnotami koncentrácie medzi 37,5 a 49,99 mg/l

Osobitná pozornosť bola venovaná monitorovacím objektom s priemernou koncentráciou dusičnanov 37,5 – 49,99 mg/l, pri ktorých môže v prípade pokračujúceho rastúceho trendu dôjsť k prekročeniu limitnej hodnoty 50 mg/l. Hodnotenie ich vývoja je preto významné z hľadiska včasnej identifikácie lokalít s potenciálnym rizikom zhoršovania kvality podzemnej vody.
V tejto koncentračnej triede bolo v období 2020 – 2023 hodnotených 46 monitorovacích objektov. V 43,9 % objektov bol zaznamenaný stabilný alebo klesajúci trend priemerných koncentrácií dusičnanov, zatiaľ čo v 56,1 % objektov bol zistený mierny alebo výrazne rastúci trend. Výsledky preto poukazujú na potrebu zvýšenej pozornosti venovanej lokalitám s rastúcimi koncentráciami a ich ďalšiemu monitorovaniu.
Z celkového počtu 46 objektov sa 45 nachádza v súčasnosti v zraniteľných oblastiach. Osobitnú pozornosť si preto vyžaduje najmä monitorovací objekt SKS005039 Horné Zahorany, ktorý sa nachádza mimo zraniteľných oblastí. Identifikácia a sledovanie takýchto lokalít predstavuje významný podklad pre hodnotenie rizika, cielenie kontrol a prípadné prehodnotenie vymedzenia zraniteľných oblastí.

6.2. Hodnotenie vývoja dusičnanov v SR – monitorovacie objekty s hodnotami koncentrácie ≥ 50 mg/l

Osobitná pozornosť bola venovaná monitorovacím objektom s koncentráciami dusičnanov ≥ 50 mg/l, ktoré predstavujú lokality s už existujúcim znečistením podzemnej vody. Hodnotenie trendov je preto významné z hľadiska posúdenia, či dochádza k postupnému znižovaniu koncentrácií a zlepšovaniu kvality podzemnej vody.
V sledovanej skupine bol pri porovnaní období 2016 – 2019 a 2020 – 2023 zaznamenaný prevažujúci rastúci trend. Rastúci alebo stabilný trend priemerných koncentrácií bol zistený v 133 monitorovacích objektoch (66 %), pričom medián koncentrácie dusičnanov v tejto skupine dosahoval 83,4 mg/l. V približne 34 % objektov bol naopak zaznamenaný klesajúci trend, vo väčšine prípadov výrazný.
Keďže všetky hodnotené objekty s koncentráciami ≥ 50 mg/l sa nachádzajú v zraniteľných oblastiach, výsledky poukazujú na lokality, kde je potrebné naďalej venovať zvýšenú pozornosť účinnosti prijatých opatrení a znižovaniu zaťaženia podzemných vôd dusičnanmi.

7. Hodnotenie vývoja dusičnanov v zraniteľných oblastiach SR

V zraniteľných oblastiach bolo pri porovnaní období 2016 – 2019 a 2020 – 2023 hodnotených 1 118 rovnakých monitorovacích objektov. Pri maximálnych koncentráciách bol rastúci trend zaznamenaný v 43,1 % objektov, klesajúci v 39,4 % a stabilný v 17,4 % objektov.
Pri priemerných koncentráciách bol rastúci trend zistený v 35,3 % objektov, klesajúci v 35,0 % a stabilný v 29,7 % objektov. Výsledky tak poukazujú na vyrovnanejší vývoj priemerných koncentrácií, zatiaľ čo pri maximálnych koncentráciách mierne prevažuje rastúci trend.

7.1. Hodnotenie vývoja dusičnanov v zraniteľných oblastiach SR – monitorovacie objekty s hodnotou koncentrácie medzi 37,5 a 49,99 mg/l

V zraniteľných oblastiach bol osobitne hodnotený vývoj priemerných koncentrácií dusičnanov v monitorovacích objektoch s hodnotami 37,5 – 49,99 mg/l, pri ktorých môže pokračujúci rast koncentrácií viesť k prekročeniu limitnej hodnoty 50 mg/l.
Pri porovnaní období 2016 – 2019 a 2020 – 2023 sa v 44,4 % objektov zaznamenal stabilný alebo klesajúci trend, zatiaľ čo v 55,6 % objektov bol zistený mierny alebo výrazne rastúci trend. Výrazne rastúci trend bol zaznamenaný v 34,6 % objektov. Výsledky poukazujú na potrebu zvýšenej pozornosti voči lokalitám s rastúcimi koncentráciami a ich zohľadnenia pri aktualizácii akčného programu a prijímaní opatrení na zabránenie ďalšiemu zhoršovaniu kvality podzemných vôd.

7.2. Hodnotenie vývoja dusičnanov v zraniteľných oblastiach SR – monitorovacie objekty s hodnotou koncentrácie ≥ 50 mg/l

Osobitne bol hodnotený vývoj koncentrácií dusičnanov v monitorovacích objektoch zraniteľných oblastí s hodnotami ≥ 50 mg/l, ktoré predstavujú lokality s prekročenou limitnou hodnotou. Cieľom bolo posúdiť, či dochádza k znižovaniu znečistenia podzemných vôd a k postupnému zlepšovaniu ich kvality.
Pri porovnaní období 2016 – 2019 a 2020 – 2023 bol zaznamenaný prevažujúci rastúci trend. Rastúci alebo stabilný trend priemerných koncentrácií bol zistený v takmer 66 % objektov (133 objektov), zatiaľ čo približne 34 % objektov vykazovalo zlepšenie. Pri porovnaní súčasného obdobia s východiskovým obdobím bol výrazný nárast koncentrácií zaznamenaný v 58,7 % objektov, čo poukazuje na pretrvávajúce zhoršenie kvality podzemnej vody v časti lokalít.
Výsledky poukazujú na potrebu zvýšenej kontroly lokalít s pretrvávajúcimi alebo rastúcimi nadlimitnými koncentráciami a na prijímanie cielených opatrení na znižovanie zaťaženia podzemných vôd dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov. VÚVH preto v hodnotenom období priebežne upozorňoval na lokality s koncentráciami ≥ 50 mg/l s cieľom ich zohľadnenia pri rizikovej analýze a prípadnom prijatí dodatočných opatrení.

8. Výsledky hodnotenia lokalít s hodnotami koncentrácie dusičnanov nad 250 mg/l

Osobitná pozornosť bola od roku 2020 venovaná monitorovacím objektom s koncentráciami dusičnanov nad 250 mg/l, ktoré predstavujú lokality s mimoriadne vysokou úrovňou znečistenia. VÚVH v tejto súvislosti realizoval súbor opatrení zameraných na identifikáciu príčin znečistenia a efektívnejšie nastavenie kontrol a opatrení.
V roku 2021 bol vytvorený systém včasného upozorňovania relevantných organizácií na zvýšené koncentrácie dusičnanov. Na vybraných lokalitách bola zároveň zvýšená frekvencia monitorovania a rozšírený rozsah sledovaných ukazovateľov o pesticídy, fosforečnany, chloridy a sírany. VÚVH spracoval 37 podrobných hodnotení lokalít, na ktorých bola v období 2020 – 2023 zaznamenaná koncentrácia dusičnanov nad 250 mg/l alebo priemer za obdobie 2016 – 2019 nad touto hodnotou. Súčasťou hodnotenia boli aj terénne obhliadky monitorovacích objektov s nadlimitnými koncentráciami.
Výsledky ukázali, že najvýznamnejším problémom z hľadiska chemického znečistenia sú dusičnany, pričom na vybraných lokalitách boli významné prekročenia zaznamenané aj pri pesticídoch. Vývoj koncentrácií dusičnanov na 32 podrobne sledovaných objektoch nebol jednotný – 13 objektov vykazovalo stabilný, 10 rastúci a 9 klesajúci trend. Napriek poklesu na niektorých lokalitách však zostávajú koncentrácie výrazne nad limitnou hodnotou 50 mg/l, čo poukazuje na potrebu ich ďalšieho monitorovania a cielených opatrení.
Výsledky hodnotenia boli poskytnuté príslušným kontrolným orgánom ÚKSÚP a Slovenskej inšpekcii životného prostredia na účely ďalšieho preverovania a prijatia opatrení.

9. Záver

Výsledky monitorovania podzemných vôd za obdobie 2020 – 2023 predstavujú významný podklad pre hodnotenie stavu vôd a implementácie dusičnanovej smernice. Celkovo bolo vyhodnotených 2 237 monitorovacích objektov podzemných vôd, z toho 1 628 objektov sa nachádzalo vo vyhlásených zraniteľných oblastiach, čo predstavuje 72,8 % všetkých hodnotených objektov.
Výsledky poukazujú na celkovo stabilný stav kvality podzemných vôd. V zraniteľných oblastiach bola priemerná koncentrácia dusičnanov v 65,1 % objektov nižšia ako 25 mg/l. Nad 50 mg/l bola priemerná koncentrácia zaznamenaná v 16,3 % objektov a maximálna koncentrácia v 25,3 % objektov.
Na hodnotenie vývoja koncentrácií dusičnanov boli použité iba monitorovacie objekty, pri ktorých bolo možné porovnať výsledky za obe hodnotené obdobia, t. j. 2016 – 2019 a 2020 – 2023. Takto bolo možné vyhodnotiť trendy v 1 666 monitorovacích objektoch. Z pohľadu dusičnanovej smernice bol v týchto objektoch zaznamenaný nárast priemernej koncentrácie dusičnanov v 529 objektoch, čo predstavuje 31,8 %. Tento údaj však sám o sebe neznamená zhoršenie kvality vody ani prekročenie limitnej hodnoty 50 mg/l.
Zvýšenú pozornosť si vyžadujú najmä objekty v rizikovejších koncentračných triedach. V triede 37,5 – 49,99 mg/l bol rastúci trend zaznamenaný v 46 objektoch, zatiaľ čo v triede nad 50 mg/l v 120 objektoch. Celkovo teda 165 objektov, t. j. 9,9 % zo všetkých 1 666 objektov, vykazovalo mierny alebo výrazný rastúci trend v týchto rizikovejších koncentračných triedach. Tieto lokality predstavujú dôležitý podklad pre cielenie ďalších opatrení.
Výsledky monitorovania zároveň slúžia ako jeden z podkladov na hodnotenie účinnosti opatrení prijatých na znižovanie znečistenia dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov. VÚVH poskytuje výsledky monitorovania na identifikáciu rizikových lokalít a sledovanie vývoja koncentrácií dusičnanov, pričom vyhodnocovanie účinnosti opatrení v rámci akčných programov a posudzovanie potreby ich úpravy je v gescii MPRV SR. Získané údaje sa zároveň využívajú pri revízii zraniteľných oblastí, optimalizácii monitorovacej siete a pri posudzovaní potreby ďalších opatrení.
Osobitná pozornosť bola venovaná aj lokalitám s veľmi vysokými koncentráciami dusičnanov nad 250 mg/l. Ich podrobnejšie hodnotenie, zvýšená frekvencia monitorovania, terénne obhliadky a sledovanie ďalších ukazovateľov umožnili lepšie identifikovať možné príčiny znečistenia a vytvoriť podklad pre cielenejšie kontroly a opatrenia.
Celkovo výsledky potvrdzujú stabilný stav kvality podzemných vôd na území SR, zároveň však poukazujú na lokality s vysokými alebo rastúcimi koncentráciami dusičnanov, vrátane lokalít s extrémne vysokými hodnotami nad 250 mg/l, ktoré si vyžadujú zvýšenú pozornosť, dlhodobé sledovanie a cielené opatrenia

Zoznam literatúry:

Smernica Rady 91/676/EHS z 12. decembra 1991 o ochrane vôd pred znečistením dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov, Ú. v. ES L 375/1, 31.12.1991, s. 68-77.

MP SR. 2001. *Kódex správnej poľnohospodárskej praxe – Ochrana vodných zdrojov*. [Online]. Bratislava : MP SR, september 2001.

Zákon z 13. mája 2004 o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon), Z. z. č. 364/2004, 24.6.2004, s. 1-109.

Zákon č. 136/2000 Z. z. o hnojivách v znení neskorších predpisov.

Nariadenie vlády SR č. 174/2017 Z. z., ktorým sa ustanovujú citlivé oblasti a zraniteľné oblasti v znení neskorších predpisov.

MŽP SR. 2022a. *Vodný plán Slovenska (Plán manažmentu správneho územia povodia Dunaja, Plán manažmentu správneho územia povodia Visly – aktualizácia 2021.)*

MŽP SR. 2022b: *Koncepcia vodnej politiky Slovenskej republiky do roku 2030 s výhľadom do roku 2050.*

MŽP SR. 2024. *Správa o stave implementácie smernice Rady 91/676/EHS týkajúcej sa ochrany vôd pred znečistením spôsobeným dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov v Slovenskej republike 2024*. Bratislava : MŽP SR, október 2024.

EK. 2024. *Nitrates Directive (91/676/CEE). Status and trends of aquatic environemnt and agricultural practice. Development guide for Members States reports. 2024*.

ORGANICKÉ MIKROPOLUTANTY V PODZEMNÍCH VODÁCH ČR – STAV POZNÁNÍ V ROCE 2026

ORGANIC MICROPOLLUTANTS IN GROUNDWATER IN THE CZECH REPUBLIC – STATE OF KNOWLEDGE IN 2026

Vít Kodeš[1], Miroslava Svátková[1], Jindřich Freisleben[1], Radka Kodešová[2], Roman Grabic[3], Daniela Tomešová[4]

[1]Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4, e-mail: vit.kodes@chmi.cz,
[2]Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, Kamýcká 129, 165 00 Praha 6
[3]Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Zátiší 728/II 389 01 Vodňany
[4]ALS Česká republika, Na Harfě 336/9, 190 00 Praha 9

Abstrakt: ČHMÚ se dlouhodobě věnuje screeningu mikropolutantů v podzemních vodách na celém území ČR. Od roku 1991 bylo v podzemních vodách ČR nalezeno celkem 311 látek z celkově 518 sledovaných v průběhu tohoto období. Za posledních 13 let, tj. od roku 2013 bylo nalezeno 140 nových, dosud nesledovaných látek. Aktuální výsledky monitoringu ČHMÚ z let 2024-2025 potvrdily přítomnost celkem 184 mikropolutantů z 311 sledovaných v podzemních vodách z 12 skupin látek (TOL, PAU, pesticidy a jejich transformační produkty, léčiva a jejich transformační produkty, alkylfenoly, bisfenoly, benzotriazoly, chelatační činidla, ftaláty, PFAS, látky osobní péče, umělá sladidla).

Abstract: The CHMI has long been engaged in the screening of micropollutants in groundwater across the Czech Republic. Since 1991, a total of 311 substances have been detected in the country's groundwater out of the 518 monitored during this period. Over the last 13 years—specifically since 2013—140 new, previously unmonitored substances have been identified. Current CHMI monitoring results from 2024–2025 confirmed the presence of 184 micropollutants (out of 311 monitored) in groundwater, spanning 12 substance groups: volatile organic compounds (VOCs), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), pesticides and their transformation products, pharmaceuticals and their transformation products, alkylphenols, bisphenols, benzotriazoles, chelating agents, phthalates, PFAS, personal care products, and artificial sweeteners.

Klíčová slova: podzemní voda, organické mikropolutanty, výskyt, emergentní látky

Key words: groundwater, organic micropollutants, occurrence, emerging substances

1. Úvod

ČHMÚ se dlouhodobě věnuje screeningu mikropolutantů v podzemních vodách na celém území ČR. S rozvojem analytické techniky se spektrum sledovaných látek v posledních letech významně rozšířilo (k rozšiřování spektra látek dochází pravidelně ve dvouletých intervalech) a lze říci, že v tomto směru Česká republika drží krok se nejvyspělejšími zeměmi. Monitoring ČHMÚ tak přispívá k identifikaci nových látek v podzemních vodách na území ČR a jeho data poskytují cenné informace a doporučení pro provozovatele vodárenské infrastruktury, orgány hygienické služby a státní správu v oblasti ochrany vod a rostlinolékařské péče např. formou pravidelně zveřejňovaného seznamu nejproblematičtějších látek z pohledu jejich výskytu a dosahovaných koncentrací v povrchových a podzemních vodách (Kodeš et al., 2026).

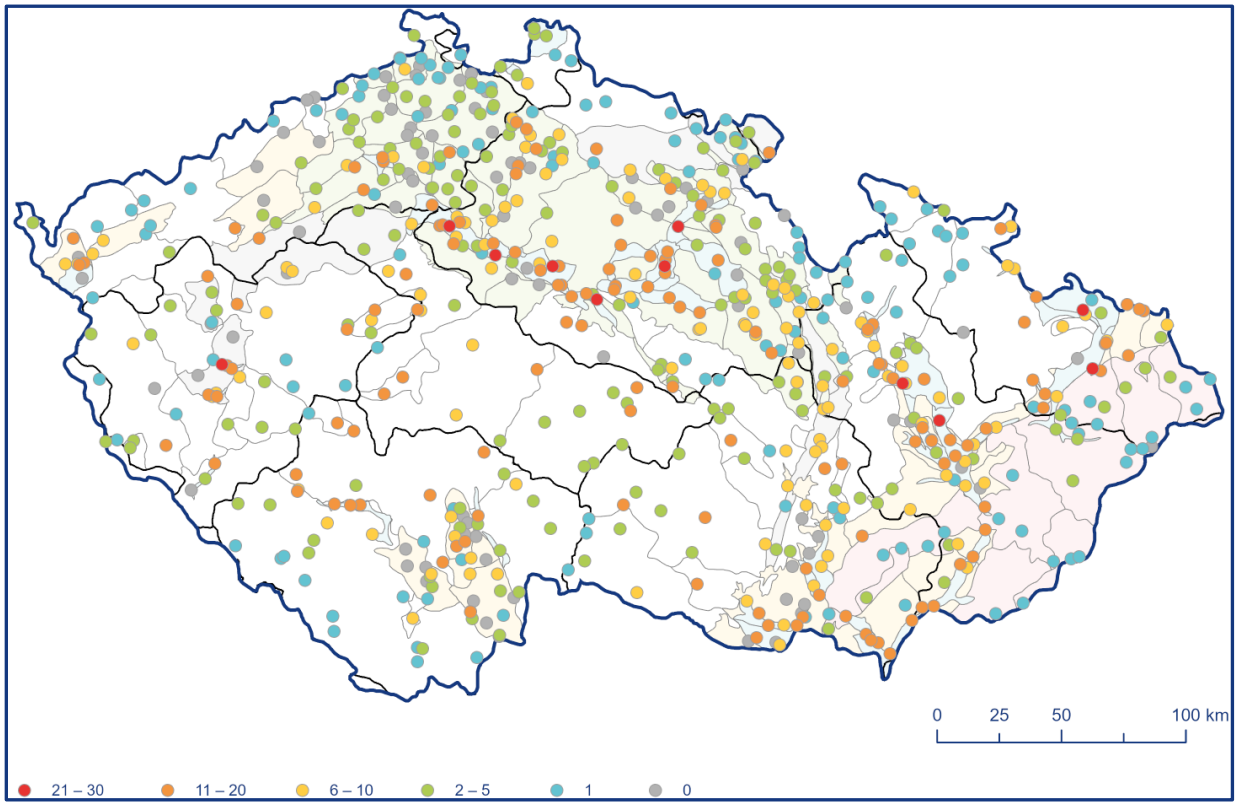
2. Výsledky

Od roku 1991 bylo v podzemních vodách ČR nalezeno celkem 311 látek z celkově 518 sledovaných v průběhu tohoto období. Za posledních 13 let, tj. od roku 2013 bylo nalezeno 140 nových, dosud nesledovaných látek. Aktuální výsledky monitoringu ČHMÚ z let 2024-2025 potvrdily přítomnost celkem 184 mikropolutantů z 311 sledovaných v podzemních vodách z 12 skupin látek (TOL, PAU, pesticidy a jejich transformační produkty, léčiva a jejich transformační produkty, alkylfenoly, bisfenoly, benzotriazoly, chelatační činidla, ftaláty, PFAS, látky osobní péče, umělá sladidla).

2.1 Pesticidy a jejich transformační produkty

Transformační produkty (metabolity) účinných látek jsou jednoznačně nejčastěji se vyskytujícími organickými mikropolutanty v podzemních vodách ČR. Dlouhodobě se jedná o metabolity chloridazonu (desfenyl, methyl-

desfenyl), dále ESA a OA metabolity metazachloru, alachloru, metolachloru, acetochloru a dimethachloru. Mezi nově nalezenými cizorodými látkami často se vyskytujícími v podzemních vodách lze jmenovat zejména tyto transformační produkty pesticidů: TFA, chlorothalonil R471811, dimethachlor CGA 369873, metolachlor NOA 413173 a 1,2,4-triazol. Pesticidní látky a jejich metabolity byly v roce 2025 nalezeny v 60 % ze 740 sledovaných objektů (obr. 1).



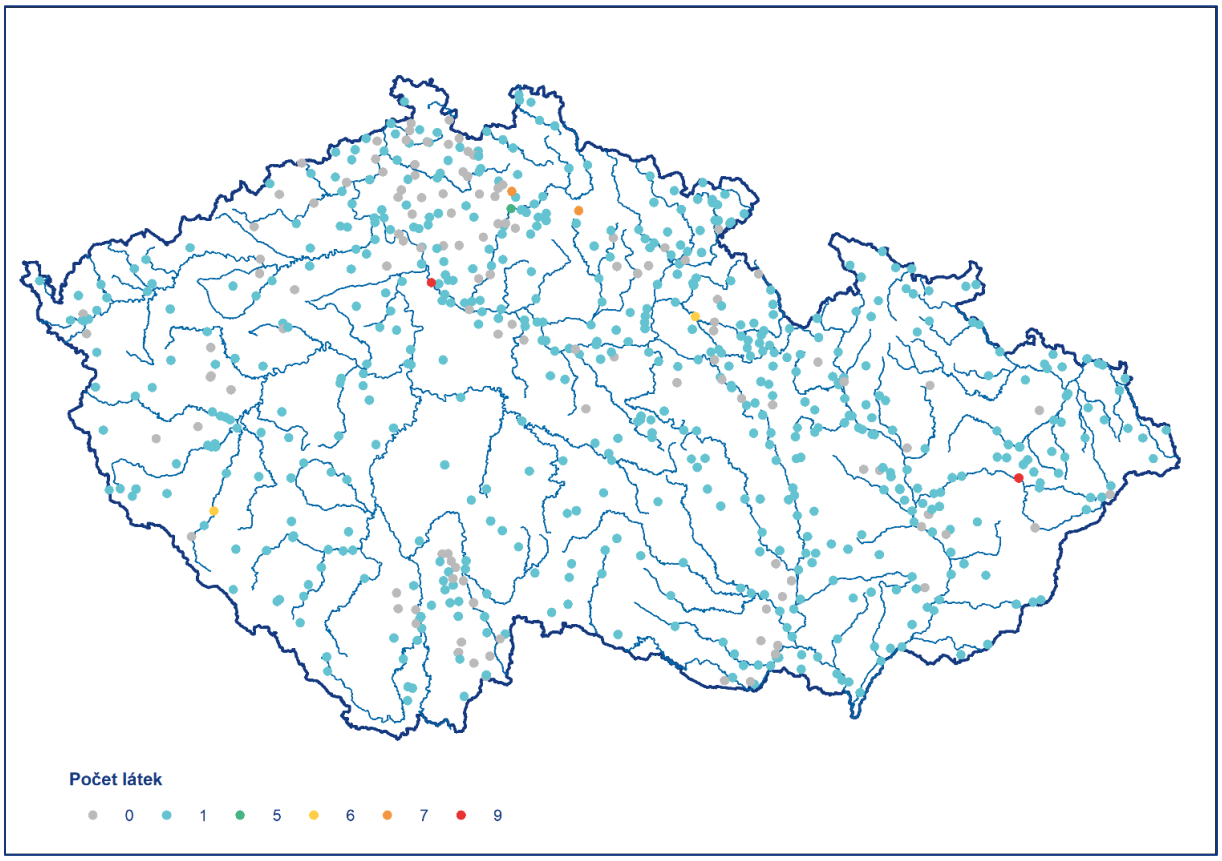
Obr. 1 Počet nalezených pesticidních látek v jednotlivých objektech sítě v roce 2025.

Fig. 1 Number of pesticide substances detected at individual network sites in 2025.

2.2 PFAS a TFA

V roce 2025 v rámci program situačního monitoringu podzemních vod byl poprvé na území ČR stanoven ukazatel TFA (trifluoroctová kyselina). Je to látka patřící do supiny per- a polyfluorovaných látek (PFAS) dnes populárně nazývaných jako "věčné chemikálie", kterých dnes ČHMÚ monitoruje celkem 23. Je důležité si uvědomit, že člověk vyrobil, používal nebo dodnes používá více jak 3000 PFAS látek (Wang et al., 2017) a tak lidstvo má pouze mlhavou povědomost o chování a výskytu těchto látek v životním prostředí a takovéto informace má pouze o zlomku těchto látek. Poprvé byly dvě látky ze skupiny PFAS (PFOS, PFOA) v rámci monitoringu ČHMÚ sledovány v roce 2017, v roce 2024 byl monitoring PFAS rozšířen na 20 látek a v roce 2025 na 23 látek. Celkem byla alespoň jedna PFAS látka v tomto období sledována v 756 objektech (některé objekty byly během období z monitoringu vyřazeny, některé naopak zařazeny). Tyto látky, které jsou typické nejpevnější chemickou vazbou uhlík – fluor, mají unikátní vlastnosti jako jsou extrémní stabilita vůči vysokým teplotám, UV záření, chemické oxidaci i biologickému rozkladu a schopnost měnit povrchové napětí. Molekuly PFAS látek mají většinou dvě části s opačnými vlastnostmi. Jedna část odpuzuje vodu i mastnotu (využití v teflonových pánvích nebo nepromokavém textilu) a druhá část je naopak hydrofilní. Z pohledu rizik pro životní prostředí a zdraví člověka jsou znepokojující: jejich vysoká perzistence, mobilita (zejména PFAS s krátkým řetězcem tj. 7 a méně atomů uhlíku, včetně TFA se velmi snadno šíří vodním prostředím) a bioakumulace (mají tendenci se hromadit v organismech). Na rozdíl od jiných cizorodých látek, které se ukládají v tucích, se PFAS vážou spíše na bílkoviny v krvi a hromadí se v játrech a ledvinách. Dále je to jejich toxicita, kdy i v nízkých koncentracích mohou ovlivňovat imunitní systém, hladinu hormonů, působit karcinogenně apod. TFA je v porovnání s PFAS s dlouhými řetězci mnohem mobilnější (překonává sorpční bariéry) a extrémně perzistentní (v přírodě se prakticky nerozkládá, a tudíž

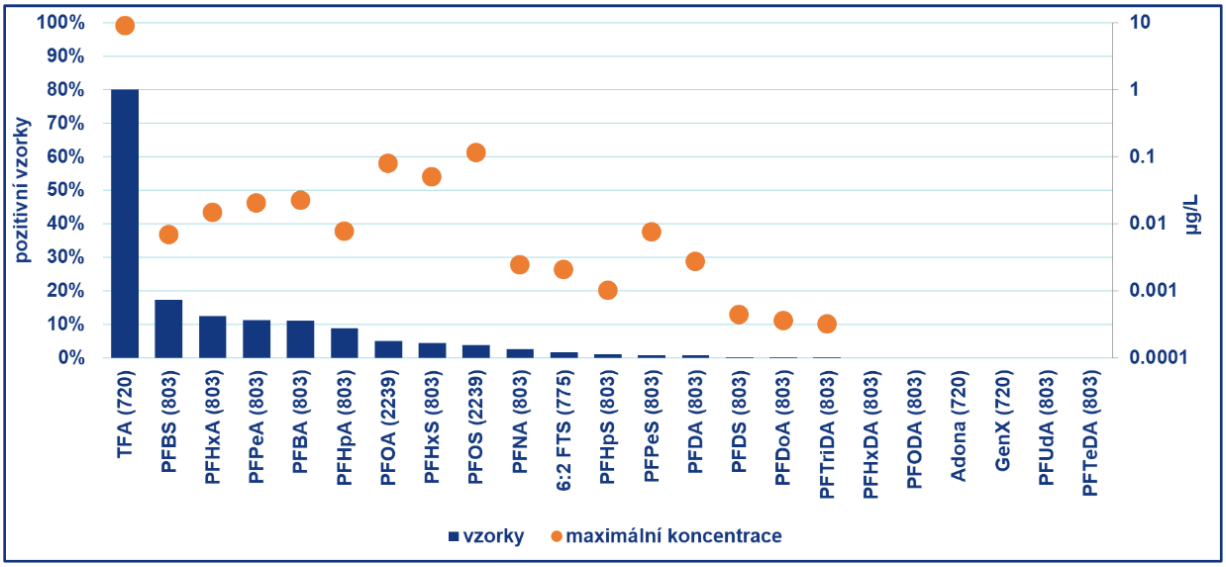
její koncentrace v globálním koloběhu vody neustále roste). TFA je zároveň významným degradačním produktem ostatních PFAS a organických látek obsahujících fluor (typicky pesticidy nebo nová generace chladiv do klimatizací apod.). Významným zdrojem TFA je tudíž zemědělství (Freeling and Björnsdotter, 2023; Joerss et al., 2024; Diehle et al., 2025), atmosférická depozice po fotochemické degradaci v atmosféře (Freeling and Björnsdotter, 2023; Arp et al., 2024; Albers and Sültenfuss, 2024) nebo čistírenské procesy (Scheurer et al., 2017; Freeling and Björnsdotter, 2023). V naprosté většině objektů sítě monitoringu ČHMÚ byla nalezena pouze 1 látka PFAS (TFA), pouze ojediněle bylo nalezeno více PFAS v jednom objektu, ve 2 objektech bylo nalezeno až 9 PFAS látek viz obr. 2. TFA byla v roce 2025 nalezena ve 576 (80 %) ze 720 odebraných vzorků, což je v porovnání s frekvencí nálezů ostatních PFAS (0–17 % vzorků) významný rozdíl (obr. 3).



Obr. 2 Počet nalezených PFAS látek v jednotlivých objektech sítě v roce 2025.

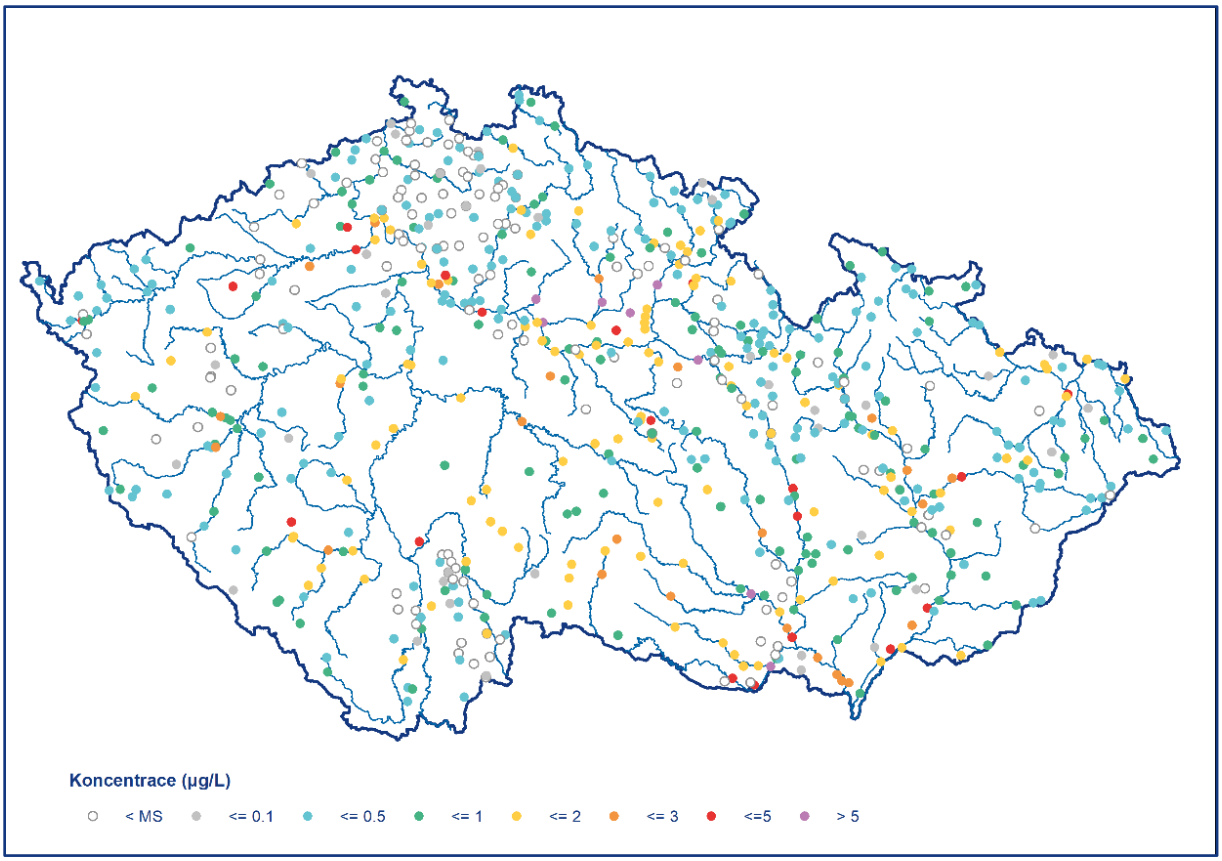
Fig. 2 Number of PFAS substances detected at individual network sites in 2025.

Alespoň jedna PFAS látka byla nalezena v 577 ze 756 objektů (76.3 %). Koncentrace TFA dosáhly hodnoty až 9.03 µg/L oproti koncentracím ostatních PFAS dosahujících maximálně hodnoty 0.114 µg/L (PFOS) viz obr.3. Maximální sumární koncentrace PFAS v jednotlivých objektech dosáhly ve většině objektů 2 µg/L, pouze u 54 objektů (7.1 % objektů) byly zjištěny koncentrace nad 2 µg/L. Sumy koncentrací PFAS v jednotlivých objektech jsou uvedeny na obr.4. Tyto sumy koncentrací jsou u 424 objektů tvořeny samotnou TFA, u zbývajících 153 objektů se na sumě podílejí i ostatní PFAS látky. Porovnáním obrázků 4 a 5 je jasné, že TFA určuje stav kontaminace podzemních vod PFAS látkami v ČR. Vzhledem k tomu, že tato vysoce polární látka s malou molekulou je vysoce mobilní, rozpustná ve vodě a negativně nabitá (TFA ve vodě rychle disociuje na TFA aniont – trifluoracetát), je dnes běžně využívaná technologie granulovaného aktivního uhlí na odstraňování organických mikropolutantů méně efektivní metodou pro její odstranění. To činí z této látky vzhledem k výše uvedenému významnou výzvu pro provozovatele vodárenských zdrojů do budoucnosti.



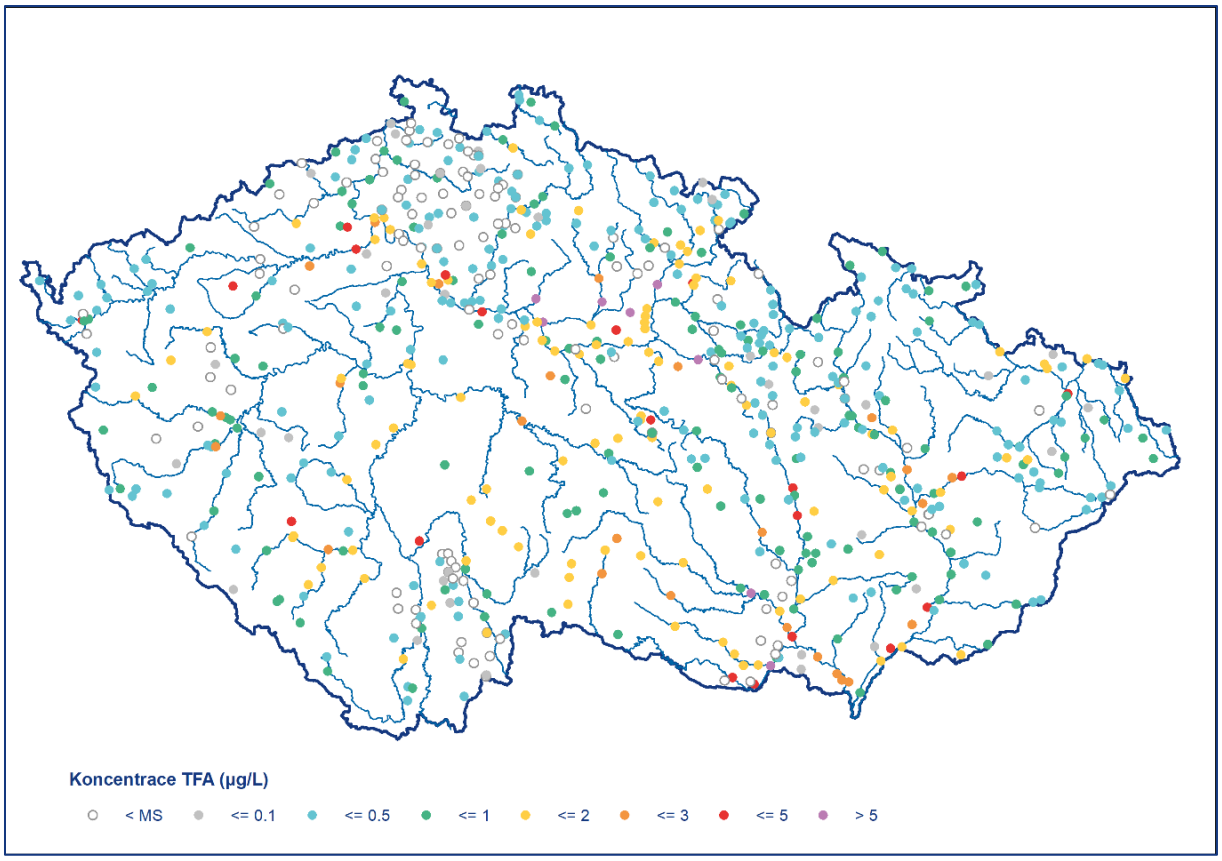
Obr. 3 Frekvence detekce PFAS a maximální koncentrace v období 2020-2025 (v závorkách na ose X je pro každou látku uveden počet odebraných vzorků)

Fig. 3 PFAS detection frequency and maximum concentrations during the 2020–2025 period (the number of samples collected for each substance is indicated in parentheses on the x-axis)



Obr. 4 Suma koncentrací PFAS v jednotlivých objektech v roce 2025

Fig. 4 Sum of PFAS concentrations in individual sites in 2025

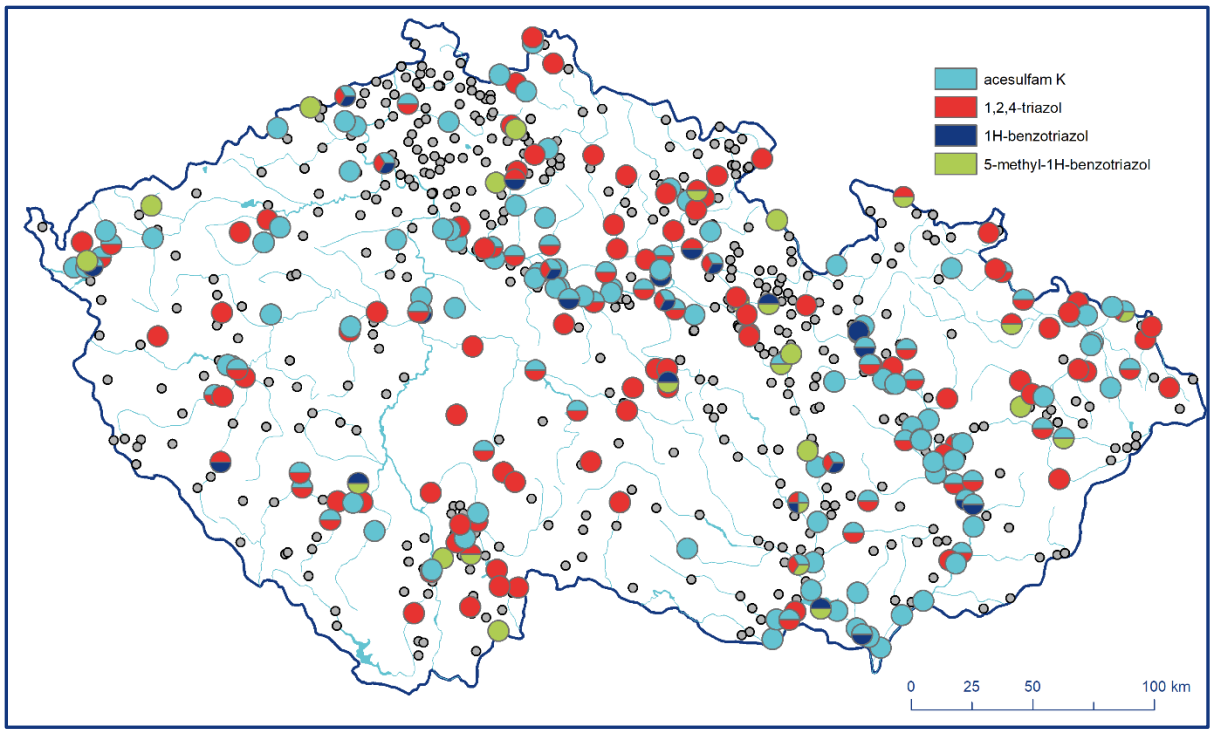


Obr. 5 Koncentrace TFA v jednotlivých objektech v roce 2025

Fig. 5 TFA concentrations in individual sites in 2025

2.3 Emergentní kontaminanty

Do rutinního monitoringu byla zařazena řada nových dosud nesledovaných látek, jejichž výskyt byl ověřen v zahraničí. Jako příklad můžeme uvést umělá sladidla (acesulfam K), benzotriazoly používané jako antikorozní látky a 1,2,4-triazol (metabolit konazolových fungicidů a léčiv). Společným rysem těchto látek je, že jsou v perzistentní a mobilní mají tudíž potenciál kontaminovat podzemní vodu. Acesulfam K byl v letech 2024–2025 nalezen ve 20 % objektů, benzotriazoly v 8 % objektů a 1,2,4-triazol v 19 % objektů. Alespoň jedna z těchto látek byla nalezena ve 46 % ze 740 sledovaných objektů (obr. 6). V rámci výzkumných projektů byl navíc v roce 2021 ověřen výskyt dalších 9 mikropolutantů ze skupiny perzistentních mobilních organických látek vytipovaných dle Schulze et al. (2019) tj. kyselina p-toluensulfonová, kyselina 3,5-di-terc-butylsalicylová, metylsulfát sodný, kyselina 2,4-xylensulfonová, 1-ethyl-3-methylimidazol, kyselina 1-naftalensulfonová, 1-adamantylamin, 4,4'-diaminodifenylmetan, benzyltrimetylamonium chlorid. V roce 2024 byl ve vybraných zavlažovaných oblastech v Polabí a Podyjí (Kodeš et al., 2025) ověřen výskyt dalších 5 emergentních mikropolutantů jako je 1,3-diphenylguanidin, triethylcitrát, kyselina naftalen-2-sulfonová, kyselina benzo(d)thiazol-2-sulfonová a 4-acetamidoantipyrin, které se běžně v podzemních vodách nesledují ani v jiných státech.



Obr. 6 Nálezy acesulfamu K, benzotriazolů a 1,2,4-triazolu v letech 2024–2025

Fig. 6 Acesulfame K, benzotriazoles and 1,2,4-triazole findings in 2024–2025

3. Závěr

Podzemní vody v ČR jsou obdobně jako v ostatních evropských státech kontaminovány celou řadou organických mikropolutantů. V závislosti na stupni vývoje monitoringu podzemních vod jsou výsledky tohoto monitoringu buď více uspokojivé (tam kde se spektrum sledovaných látek, příliš nerozšiřuje anebo tam kde nejsou sledovány látky s potenciálem kontaminovat podzemní vody) či méně uspokojivé (tam kde se monitoring mikropolutantů zaměřuje především na látky s potenciálem kontaminovat podzemní vody a kde dochází k rozšiřované spektra sledovaných látek). Česká republika patří do druhé skupiny zemí společně se zeměmi s rozvinutými systémy monitoringu. Je otázkou, zda lze říci, že je to dobře (z pohledu držení kroku s nejvíce rozvinutými zeměmi) anebo špatně (z pohledu stavu kontaminace podzemních vod).

Poděkování: Příspěvek byl připraven v rámci projektů NAZV „Střednědobý trend v chování mikropolutantů pocházejících z odpadní vody nebo kalů z čistíren odpadních vod v půdním prostředí“, QL24010384, TAČR „Centrum kompetence VODA“, SS02030027 a NAZV „Rizikové oblastí z hlediska výskytu pesticidů a reziduí pesticidů ve vodách“, QL25020081.

Seznam literatury

Albers, C. N. and Sültenfuss, J. ,2024: *A 60-Year Increase in the Ultrashort-Chain PFAS Trifluoroacetate and Its Suitability as a Tracer for Groundwater Age.* Environ. Sci. Technol. Lett., 11, 1090−1095.

Arp, H. P. H., Gredelj, A., Glüge, J., Scheringer, M. and Cousins, I.T., 2024: *The Global Threat from the Irreversible Accumulation of Trifluoroacetic Acid (TFA)*. Environmental Science & Technology,58 (45), 19925-19935.

Wang, Z., DeWitt, J. C., Higgins, C. P. and Cousins I. T., 2017: *A Never-Ending Story of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs)?*. Environmental Science & Technology, 51 (5), 2508-2518.

Diehle, M., Schneider, F., Banning, H. and Heinrich, C., 2025: *Trifluoroacetate leaching potential from fluorinated pesticides: an emission estimation and FOCUS modelling approach*. Environmental Sciences Europe, 37, 161.

Freeling, F. and Björnsdotter, M.K., 2023: *Assessing the environmental occurrence of the anthropogenic contaminant trifluoroacetic acid (TFA).* Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 41, 100807.

Joerss, H., Freeling, F., van Leeuwen, S., Hollender, J., Liu, X., Nödler, N., Wang, Z., Yu. B., Zahn, D. and Sigmund, G., 2024, *Pesticides can be a substantial source of trifluoroacetate (TFA) to water resources,* Environment International,193, 109061.

Kodeš, V., Kodešová, R., Sadchenko, A., Fér, M., Kočárek, M., Nikodem, A., Švecová, H., Klement, A., Zelinka, J., Grabic, R. a Ackermanová, M., 2025*: Mapy mobility látek v půdním prostředí a specifické zranitelnosti podzemních vod pro emergentní organické mikropolutanty: 1,3-diphenylguanidin, triethylcitrát, kyselina naftalen-2-sulfonová, kyselina benzo(d)thiazol-2-sulfonová, 4-acetamidoantipyrin, 6:2 fluorotelomersulfonová kyselina.*, ČHMÚ, Praha.

Kodeš, V., Hušková, R., Salaba P., 2026: *Pesticidní látky a léčiva s pravděpodobným výskytem ve zdrojích vody – aktualizace z dat pro období 2022-2025*. Časopis Sovak, 6/2026, Praha.

Scheurer, M., Nödler, K., Freeling, F., Janda, J., Happel, O., Riegel, M., Müller, U., Storck, F. R., Fleig, M., Lange, F. T., Brunsch, A., and Brauch H. J., 2017, *Small, mobile, persistent: Trifluoroacetate in the water cycle – Overlooked sources, pathways, and consequences for drinking water supply.* Water Research, 126, 7, 460-471.

Schulze, S., Zahn, D., Montes, R.,Rodil, R., Quintana, J. B., Knepper, T. P., Reemtsma, T. and Berger, U., 2019: *Occurrence of Emerging Persistent and Mobile Organic Contaminants in European Water Samples*, Water Research, 153, 80-90.

SEZÓNNÍ VARIABILITA VOD V JESKYNNÍM SYSTÉMU RUDICKÉ PROPADÁNÍ – BÝČÍ SKÁLA

Mgr. Veronika Krškova

E-mail: veronika.krskova@geology.cz
ČGS, Jircháře 4a, 602 00 Brno

Další autoři: Mgr. Vít Baldík, Bc. Roman Hadacz, Mgr. Eva Kryštofová, doc. Ing. Jiří Faimon Dr., Mgr. Pavel Pracný Ph.D., Mgr. Roman Novotný, Ing. Mgr. Jiří Nečas, Mgr. Stanislav Lejska

Abstrakt:
Moravský kras je největším a nejlépe vyvinutá krasová oblast na území České republiky. Vzhledem k vysoké zranitelnosti krasových kolektorů je detailní poznání režimu proudění, zdrojů znečištění a hydrochemických procesů zásadní pro ochranu podzemních vod. Jeskynní systém Rudické propadání–Býčí skála (RS–BS) představuje druhý největší jeskynní systém v České republice. Studie se zaměřuje na sezónní a hydrologické vlivy na chemické složení vod Jedovnického potoka a celého krasového systému, zejména ve vztahu k antropogennímu zatížení.

Příspěvek hodnotí hydrochemické poměry a antropogenní ovlivnění systému RP–BS na základě dvouletého monitoringu.

Byla vytvořena síť 13 vzorkovacích míst pokrývající celý systém od Rudického propadání přes podzemní přítoky a vzdálenější části systému až po vývěr pod Býčí skálou. Součástí monitoringu byl rovněž odtok z čistírny odpadních vod Jedovnice. Odběry probíhaly v měsíčním režimu a ve vybraných obdobích byly rozšířeny o podrobnější sezónní kampaně. Vzorky byly analyzovány na hlavní ionty, nutrienty, vybrané stopové prvky a mikrobiologické ukazatele.

Výsledky ukazují výrazné rozdíly mezi vegetačním a nevegetačním obdobím. V zimním období byly zaznamenány zvýšené koncentrace dusičnanů, zejména při nízkých průtocích, což souvisí s vyšším podílem podzemní vody a omezeným odběrem dusíku vegetací. Naopak během vegetačního období byly koncentrace dusičnanů obecně nižší. Nejvyšší hodnoty byly zjištěny na některých přítocích, zejména na toku Stará řeka, zatímco nejnižší koncentrace byly zaznamenány v skapové vodě Pršavého komínu, nad kterým se nachází lesní porost.

Koncentrace fosforečnanů byly nejvyšší v blízkosti výtoku z ČOV, což potvrzuje významný antropogenní vliv. Zvýšené hodnoty byly zaznamenány zejména během vegetačního období a při nízkých průtocích. Povrchové vody vykazovaly výrazně vyšší variabilitu chemického složení v důsledku vlivu zemědělství, hydrologických podmínek a vypouštění rybníků, zatímco vody v krasovém systému byly chemicky stabilnější.

Výsledky zdůrazňují význam jednotlivých přítoků pro celkovou chemii systému a potvrzují nutnost komplexního přístupu k ochraně krasových vodních zdrojů, zahrnujícího jak krasové území, tak jeho širší infiltrační oblast.

GEOCHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA PROCESŮ A MINERALOGICKÝCH ZMĚN MIOCENNÍCH PÍSKOVCŮ VÍDEŇSKÉ PÁNVE PŘI SIMULOVANÉM UKLÁDÁNÍ CO_2: PŘÍPADOVÉ STUDIE LOKALIT BRODSKÉ A DOLNÍ BOJANOVICE

GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF PROCESSES AND MINERALOGICAL CHANGES IN MIOCENE SANDSTONES OF THE VIENNA BASIN DURING SIMULATED CO_2 STORAGE: CASE STUDIES OF THE BRODSKÉ AND DOLNÍ BOJANOVICE SITES

Martina Molková[1], Monika Ličbinská[1]

[1] *Katedra geologického inženýrství, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15, Ostrava, 708 00, e-mail: martina.molkova@vsb.cz (M. Molková), monika.licbinska@vsb.cz (M. Ličbinská)*

Abstrakt: Předložený příspěvek srovnává dvě studie zaměřené na laboratorní experimenty injektáže CO_2 do miocenních pískovců Labského horizontu ve Vídeňské pánvi na lokalitách Brodské a Dolní Bojanovice. Obě studie využívají vzorky hornin z vytěžených ložisek uhlovodíků a simulují podmínky hlubinného úložiště. Zatímco u lokality Dolní Bojanovice jsou výsledky založeny na laboratorních experimentech, u lokality Brodské je aplikován integrovaný přístup laboratorních experimentů a geochemického modelování. Termodynamické podmínky v reakční komoře byly pro každou lokalitu nastaveny individuálně tak, aby odpovídaly specifickým podmínkám daného rezervoáru a zároveň zajistily nadkritický stav CO_2. Zásadní rozdíl spočívá v použitém reakčním roztoku, který definuje odlišné geochemické scénáře interakce hornina–voda–plyn. Zatímco studie lokality Brodské pracuje s ložiskovou vodou (solankou), která je v chemické rovnováze s původním prostředním, demineralizovaná voda použita u studie v Dolních Bojanovicích vytváří prostředí s vysokým reakčním potenciálem, které vede k mnohem rychlejším a výraznějším mineralogickým přeměnám. Hlavní shoda obou studií spočívá v pozorovaném rozpouštění draselných živců a plagioklasů, stejně jako v probíhající rekrystalizaci dolomitu. Klíčové rozdíly se naopak projevují v dynamice jílových minerálů a kalcitového tmelu. Zatímco u lokality Dolní Bojanovice dochází k jejich rozpouštění, pro lokalitu Brodské geochemický model predikuje srážení sekundárních jílových minerálů. Tento modelový předpoklad však nebyl v případě kaolinitu experimentálně potvrzen rentgenovou difrakční analýzou. V obou případech tyto procesy vedou k počátečnímu zvýšení pórovitosti a následnému strukturnímu rozvolnění horniny, což je u demineralizované vody doprovázeno výraznou korozí a zaoblováním zrn. Srovnání potvrzuje, že volba reakčního roztoku zásadně mění kinetiku geochemických procesů, především mineralogických změn a typů výsledných sekundárních fází, což je rozhodující pro hodnocení dlouhodobé stability a sekvestrační kapacity úložišť v rámci Vídeňské pánve.

Abstract: The presented paper compares two studies focusing on laboratory experiments involving the injection of CO_2 into Miocene sandstones of the Elbe Horizon in the Vienna Basin at the Brodské and Dolní Bojanovice sites. Both studies use rock samples from depleted hydrocarbon reservoirs and simulate deep geological storage. While the results for the Dolní Bojanovice site are based on laboratory experiments, an integrated approach of laboratory experiments and geochemical modeling is applied to the Brodské site. Thermodynamic conditions in the reaction chamber were set individually for each locality to correspond to the specific conditions of the given reservoir while ensuring a supercritical state of CO_2. A key difference lies in the reaction solution used, which defines different geochemical scenarios of rock-water-gas interaction.
While the study of the Brodské site uses reservoir water (brine), which is in chemical equilibrium with the original environment, the demineralized water used in the Dolní Bojanovice study creates an environment with high reaction potential, leading to much faster and more pronounced mineralogical changes. The main similarity between the two studies lies in the observed dissolution of potassium feldspars and plagioclases, as well as the ongoing recrystallization of dolomite. Conversely, key differences manifest in the dynamics of clay minerals and calcite cement. While dissolution of these phases occurs at the Dolní Bojanovice site, the geochemical model for the Brodské site predicts the precipitation of secondary clay minerals. However, in the case of kaolinite, this model prediction was not experimentally confirmed by X-ray diffraction analysis. In both cases, these processes lead to an initial increase in porosity and subsequent structural loosening of the rock, which, in the case of demineralized water, is accompanied by significant corrosion and grain rounding. The comparison confirms that the choice of reaction solution significantly alters the kinetics of geochemical processes, particularly mineralogical changes and the types of resulting secondary phases, which is crucial for assessing the long-term stability and sequestration capacity of storage sites within the Vienna Basin.

Klíčová slova: reakční komora, interakce hornina–voda–CO_2, pískovcový rezervoár, Labský horizont, vstřikování CO_2.

Key words: reaction chamber, rock-water-CO_2 interactions, sandstone reservoir, Elbe horizon, CO_2 injection.

1. Úvod

Geologické ukládání oxidu uhličitého (CCS – Carbon Capture and Storage) představuje v současnosti jednu z klíčových technologických strategií pro globální i národní zmírňování dopadů klimatických změn a efektivní snižování emisí skleníkových plynů z průmyslových zdrojů (Gaus, 2010; Izeg et al., 2008). V České republice je tomuto tématu věnována dlouhodobá a systematická pozornost. Domácí výzkum se zaměřuje především na identifikaci a charakteristiku vhodných hlubinných geologických struktur, které vykazují vysoký potenciál pro bezpečné uložení CO_2. Mezi nejperspektivnější oblasti v rámci ČR patří vytěžená ložiska uhlovodíků v jihovýchodní části republiky. Klíčovou roli zde hraje sedimentární výplň české části vídeňské pánve, která disponuje jak vhodnými porézními rezervoáry, tak spolehlivými nepropustnými nadložními formacemi.
Zásadním okamžikem v hodnocení geologického ukládání v tuzemských podmínkách byl česko-norský výzkumný projekt REPP-CO2. V rámci něho byly zformovány první komplexní metodické postupy a vytvořeny predikční geochemické modely, které položily teoretický základ pro studium interakcí v systému hornina-voda-CO_2. Na tyto úspěšné aktivity následně přímo navázal projekt CO2-SPICER, jehož ambicí bylo posunout výzkum blíže k realizaci reálného pilotního vtláčení oxidu uhličitého do vytěženého ropného ložiska (Bujok et al, 2015).
Při injektáži CO_2 do hlubinných struktur se spouští řada komplexních, vzájemně propojených fyzikálně-chemických procesů. Z hlediska dlouhodobé bezpečnosti je nejžádanějším mechanismem tzv. minerální zachycování (mineral trapping). Tento proces spočívá v tom, že oxid uhličitý rozpuštěný v ložiskové vodě reaguje s primárními horninotvornými minerály, stimuluje jejich rozpouštění a následně vede k vysrážení nových sekundárních karbonátových fází, čímž se plyn permanentně fixuje v pevném stavu (Saeedi et al. 2011; Sayegh et al. 1990). Přesná predikce těchto dějů se však neobejde bez neustálého porovnávání teoretických modelů s reálnými daty. Tato studie proto geochemicky charakterizuje miocenní pískovce vídeňské pánve a porovnává dosavadní modelové výstupy a krátkodobé laboratorní experimenty z lokality Brodské s novými, navazujícími výsledky laboratorních experimentů z lokality Dolní Bojanovice, které trvaly od 14 do 180 dnů.

2. Geologická charakteristika lokalit a termodynamické podmínky

Zájmovou oblastí prezentovaného výzkumu je sedimentární struktura Vídeňské pánve, která z geologického i ložiskového hlediska představuje jednu z nejperspektivnějších oblastí pro podzemní uskladňování oxidu uhličitého. Cílovou stratigrafickou jednotkou pro obě případové studie – Brodské i Dolní Bojanovice – je miocenní Labský horizont. Stratigraficky spadá tato formace do období neogénu a vyznačuje se specifickým střídáním propustných pískovcových kolektorů a nepropustných pelitických izolátorů v nadloží, jež fungují jako přirozená strukturní past (Nehyba, 2015).
Z litologického hlediska se jedná o středně až jemně zrnité pískovce s variabilním podílem prachové a jílové příměsi, které vykazují dostatečnou primární pórovitost i propustnost. Vzorky zkoumaných hornin pocházejí v obou případech z hlubinných rezervoárů ležících v hloubkách přesahujících 1 000 metrů. Vzorky hornin z lokality Brodské byly odebrány z vrtu Br-52 (z hloubky přibližně 1 150 m), zatímco vzorky pro případovou studii z lokality Dolní Bojanovice pocházejí z vrtu P-106 (z hloubky kolem 1 660 m) (Mendoza et al., 2015; Ličbinská et al, 2023; Molková et al., 2025). Takto hluboké uložení je pro účely ukládání CO_2 naprosto klíčové. Zajišťuje totiž specifické termodynamické podmínky překračují kritický bod oxidu uhličitého, což zaručuje, že injektovaný plyn bude v pórovém prostředí pískovců přítomen výhradně v superkritickém stavu. Superkritický CO_2 se vyznačuje vyšší hustotou a nižší viskozitou, což umožňuje efektivnější využití pórového prostoru a výrazně minimalizuje riziko jeho zpětné migrace k povrchu.
I přes litologickou a stratigrafickou příbuznost pískovců Labského horizontu byly simulace pro jednotlivé lokality nastaveny tak, aby reflektovaly odlišné hloubkové uložení obou vrtů a s ním spojené specifické termodynamické podmínky:

- Lokalita Brodské (vrt Br-52) - termodynamické podmínky odpovídající hloubce 1 150 m byly v rámci laboratorních experimentů nastaveny na teplotu 43 °C a tlak 116 bar.
- Lokalita Dolní Bojanovice (vrt P-106) – laboratorní experimenty v reakční komoře probíhaly při teplotě 53 °C a tlaku 160 bar. Tyto vyšší hodnoty odpovídají reálným podmínkám hlubšího uložení rezervoáru na této lokalitě a umožňují sledovat kinetiku geochemických a mineralogických reakcí za zvýšené energetické bilance systému (Mendoza et al., 2015; Ličbinská et al, 2023; Molková et al., 2025).

Ačkoliv jsou obě zkoumané lokality geograficky oddělené, vykazují díky příslušnosti ke stejnému geologickému horizontu značnou strukturní, mineralogickou i sedimentární příbuznost. Tato skutečnost poskytuje ideální základ pro bezprostřední srovnání vlivu různých injektážních podmínek na obdobný typ horniny.

3. Metodika

Metodické přístupy u obou hodnocených lokalit vykazují zásadní odlišnosti, které primárně vyplývají z odlišného zaměření obou studií. Výzkum lokality Brodské představuje integrovaný přístup, který kombinuje laboratorní experimenty v trvání 60 dnů s geochemickým modelováním. Výzkum lokality Dolní Bojanovice je zaměřen na detailní laboratorní experimenty v reakční komoře s délkou trvání v rozmezí 14 až 180 dnů.

3.1 Lokalita Brodské

Pro účely laboratorních experimentů a následně i geochemického modelování interakcí plyn-roztok-hornina na lokalitě Brodské byla jako výchozí roztok zvolena syntetická solanka, jejíž chemické složení přesně odpovídalo původní formační vodě v rezervoáru odebrané z vrtu Br-45. Laboratorní experimenty probíhaly v aparatuře pro statické měření v ÚJV Řež, a.s.. Experimentální sestava sestávala ze dvou vertikálně orientovaných autoklávů, v nichž byly vzorky horniny umístěny ve dvou úrovních v ampulích nasycených syntetickou solankou. Dno tlakové nádoby bylo vybaveno fritou zalitou roztokem solanky, připravené dle chemického složení vod z vrtu Br-45. Systém byl vybaven kontinuálním měřením tlaku a regulací teploty. Po vstříknutí CO_2 byly v aparatuře udržovány podmínky 116 bar a 43 °C, čímž bylo zajištěno dosažení nadkritického stavu CO_2. Experiment probíhal ve statickém režimu po dobu 60 dnů s minimální potřebou dotlakování systému (Mendoza et al., 2015).
Pro simulaci chemických interakcí v systému CO_2-hornina-solanka bylo využito rovnovážné geochemické modelování v programu PHREEQC, které bylo zaměřeno na predikci stavu termodynamické rovnováhy. Modelování bylo nastaveno pro termodynamické podmínky odpovídající reálné hloubce rezervoárového obzoru (teplota 43 °C, tlak 116 bar), obdobně jako u laboratorních experimentů. (Ličbinská et al, 2023).
Vstupní data pro sestavení těchto predikčních modelů byla získána ze vzorků hornin, které byly součástí vrtného jádra a pocházely z hloubek 1 150-1 155 m. Tato data byla zpracována výzkumnými pracovišti ÚJV Řež a Centrem výzkumu Řež přímo pro účely projektu REPP-CO2. Mineralogické složení vzorků bylo stanoveno rentgenovou difrakcí (XRD). Mineralogické složení horniny bylo měřeno při pokojové teplotě na práškovém difraktometru Bruker AXS D8 θ-θ (Karlsruhe, Německo) v geometrii Bragg-Brentano s použitím vlnové délky CoKα (λ = 1,7903 Å, U = 34 kV, I = 30 mA). Pórovitost rezervoárových vzorků byla stanovena pomocí rtuťové Hg-porozimetrie a specifický povrch byl zjištěn metodou N_2-BET pomocí adsorpčně-desorpčních izoterm (Mendoza et al., 2015).

3.2 Lokalita Dolní Bojanovice

Případová studie z Dolních Bojanovic vychází z vlastních laboratorních experimentů ve speciálně navržené vysokotlaké reakční komoře, přičemž veškeré analytické práce probíhaly na pracovištích VŠB – Technické univerzity Ostrava. RTG difrakční analýza, SEM analýza a experimenty v reakční komoře byly provedeny na Katedře geologického inženýrství, zatímco chemické analýzy reakčních roztoků zajistila Katedra environmentálního inženýrství. Zásadním metodickým rozdílem bylo záměrné využití demineralizované vody, která cíleně vytváří prostředí s vysokým reakčním potenciálem, což vede k mnohem rychlejším a výraznějším mineralogickým přeměnám.
Experimentální část výzkumu probíhala ve dvou nezávislých nerezových komorách (vnitřní průměr 141 mm, délka 368 mm), které byly umístěny v tlakové válcové komoře. Systém byl uzavřen uzávěry zevnitř potaženými inertní bariérovou vrstvou pro potlačení chemických reakcí. Ohřev reaktoru zajišťovala vnější cívka a dvakrát denně probíhal řízený oscilační pohyb simulující dynamické geohydrodynamické procesy. Vzorky pískovců zde byly vystaveny superkritickým podmínkám o teplotě 53 °C a tlaku 160 bar po dobu 14, 60, 120 a 180 dnů.
Kvantitativní mineralogické složení bylo stanoveno XRD analýzou na práškovém difraktometru Bruker AXS D8 θ-θ v parafokální geometrii Bragg-Brentano (vlnová délka CoKα, U = 34 kV, I = 30 mA). Pro studium morfologických změn na povrchu zrn byla využita skenovací elektronová mikroskopie na univerzálním mikroskopu FEI Quanta 650 FEG, vybaveném analyzátory WDX, EDX a EBSD. Měření celkové pórovitosti se provádělo metodou plynové porozimetrie za použití automatického permeametru Coreval 700 (Vinci Technologies, Francie). Hlavní kationty a anionty ve vodných roztocích byly stanoveny iontovou chromatografií a atomovou absorpční spektrometrií, zatímco stopové prvky byly detekovány pomocí ICP-OES.

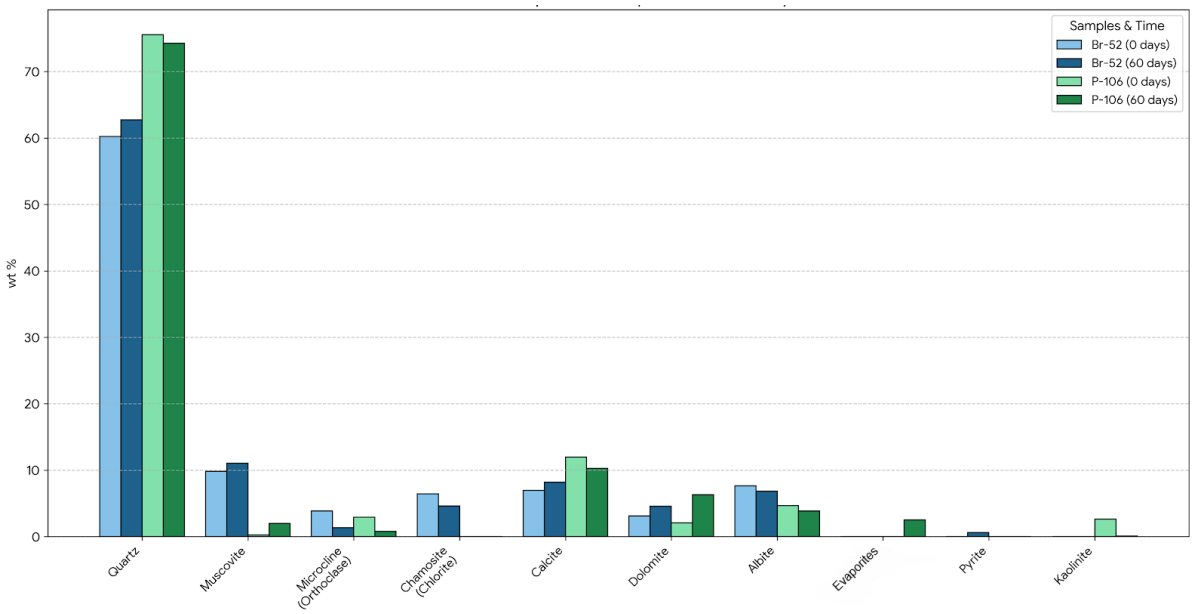
4. Výsledky a diskuse

V této kapitole jsou prezentovány a vzájemně porovnávány výsledky analýz z lokalit Brodské (vzorek Br-52) a Dolní Bojanovice (vzorek P-106). Zhodnocení interakcí v systému hornina-voda-CO_2 po 60 dnech simulované injektáže CO_2 je pro naprostou přehlednost rozděleno do dvou hlavních podkapitol.

První podkapitola (4.1 Vývoj minerálního složení během laboratorních experimentů) se zaměřuje výhradně na reálná experimentální data. Porovnává výsledky rentgenové difrakční analýzy (XRD – X-ray diffraction) původních vzorků hornin Br-52 a P-106 se stavem po 60 dnech trvání experimentu v reakční komoře. Změny v chemismu vod v této části záměrně porovnávány nejsou. Důvodem je skutečnost, že u lokality Brodské byla laboratorně analyzována pouze vstupní syntetická solanka, avšak po ukončení experimentu již acidifikovaný roztok na rozbor odeslán nebyl. Neexistuje tedy odpovídající experimentální protějšek pro porovnání s reálnými výsledky chemismu vody po 60 dnech z lokality Dolní Bojanovice.
Druhá podkapitola (4.2 Porovnání experimentálních dat s výsledky geochemického modelování) následně propojuje výsledky z laboratorních experimentů s predikčními geochemickými modely. Experimentální výsledky RTG difrakce z obou vzorků jsou zde porovnávány s výstupy geochemického modelování, a to formou kvalitativního zhodnocení převládajících trendů (srážení vs. rozpouštění minerálních fází). V této části je rovněž začleněno porovnání vývoje chemismu vod. Zatímco u lokality Dolní Bojanovice jsou k dispozici reálná analytická data vstupní demineralizované vody i roztoku po 60 dnech trvání experimentu v reakční komoře, u lokality Brodské je vstupní chemismus syntetické solanky porovnáván s modelovým výstupem, který predikuje složení roztoku po 60 dnech injektáže CO_2.
Během výzkumu byla získána i další data, která však do přímého porovnání lokalit nebyla zahrnuta, neboť nejsou k dispozici pro obě lokality, případně zachycují pouze počáteční stav bez možnosti zhodnocení změn po okyselení prostředí. Počáteční porozita byla u vzorku Br-52 stanovena na 24,51 % a u vzorku P-106 na 19,8 %. U vzorku Br-52 byl rovněž určen specifický povrch 0,88 m^2/g. Data po ukončení experimentu však chybí. Skenovací elektronová mikroskopie byla provedena pouze u vzorku P-106. V původním vzorku potvrdila přítomnost halitu, zatímco po 60 dnech injektáže CO_2 prokázala rekrystalizaci dolomitu a akumulaci hydroxidů železa. Pro vzorek Br-52 tento typ analýzy chybí.

4.1 Vývoj minerálního složení během laboratorních experimentů

Zhodnocení původního mineralogického složení ukazuje zřetelné rozdíly mezi oběma uvažovanými lokalitami (obr. 1). Křemen tvoří dominantní fázi u obou vzorků, přičemž jeho podíl je mírně vyšší u pískovce z lokality Dolní Bojanovice (P-106). Výrazné odlišnosti jsou patrné v zastoupení fylosilikátů. Vzorek Br-52 z lokality Brodské obsahuje výrazně vyšší podíl muskovitu a jako jediný obsahuje chlorit.
Draselné živce a plagioklasy jsou v původní hornině mírně hojnější u vzorku Br-52. Z hlediska karbonátů obsahuje vzorek P-106 primárně více kalcitu, zatímco dolomit je nepatrně více zastoupen u Br-52. Přítomnost jílových minerálů, specificky kaolinitu, byla rentgenovou difrakcí prokázána pouze u vzorku P-106. U tohoto vzorku navíc doplňková SEM analýza původní horniny odhalila stopovou přítomnost evaporitů, která ve vzorku Br-52 chybí.
Injektáž oxidu uhličitého a následná acidifikace pórových roztoků vyvolaly v obou vzorcích sérii geochemických reakcí, projevujících se rozpouštěním primárních fází a srážením fází sekundárních (obr. 1). Křemen zůstává vůči těmto změnám z termodynamického hlediska relativně inertní a nadále v systému dominuje.
Nejdynamičtěji na pokles pH reagovaly karbonátové minerály. U vzorku P-106 došlo k intenzivnímu rozpouštění původního kalcitového tmelu. Uvolnění vápníku a hořčíku do roztoku následně vedlo k sekundárnímu vysrážení dolomitu, což je proces zaznamenaný u obou lokalit, avšak u vzorku P-106 probíhá ve větším měřítku. Proces rekrystalizace dolomitu byl zachycen aj SEM analýzou u vzorku horniny P-106. Oproti tomu u vzorku Br-52 se kalcit naopak mírně srážel, což naznačuje rychlé dosažení lokálního přesycení roztoku vzhledem k této fázi.
Změny se nevyhnuly ani alumosilikátům. U obou vzorků je patrné mírné rozpouštění draselných živců a plagioklasů, které do roztoku uvolňují kationty, převážně draslík, hliník a křemík. Tyto ionty jsou následně vázány do novotvořených fází, což vysvětluje experimenty potvrzené srážení sekundárního muskovitu ve vzorcích z obou lokalit. Dynamika ostatních fylosilikátů a jílových minerálů vykazuje určitá specifika. Zatímco v Br-52 podléhá rozpouštění chlorit, v P-106 došlo k téměř úplnému rozpuštění původního kaolinitu.
Experiment rovněž poukázal na formování minoritních sekundárních fází. V pískovci z Brodského (Br-52) se v okyseleném prostředí začal srážet pyrit. Vzorek z Dolních Bojanovic (P-106) naproti tomu zaznamenal vysrážení malého množství evaporitů v podobě halitu. Tento jev s největší pravděpodobností souvisí s původní ložiskovou vodou, která byla přítomná v horninovém prostředí, ze kterého byl odebrán vzorek horniny. Následně, při počátečním vysoušení vzorku vykrystalizoval halit, který se po zaplavení vzorku okyselenou vodou začal opětovně rozpouštět, a interakcí uvolněných iontů s horninovým prostředím došlo k následné rekrystalizaci nových evaporitových fází.



Obr. 1 Porovnání původního mineralogického složení vzorků hornin odebratých z vrtů Br-52 (Brodské) a P-106 (Dolní Bojanovice) a mineralogického složení vzorků hornin z těchto lokalit po 60 dnech injektáže CO_2.
Fig. 1 A comparison of the original mineralogical composition of rock samples collected from the Br-52 (Brodské) and P-106 (Dolní Bojanovice) boreholes and the mineralogical composition of rock samples from these sites after 60 days of CO_2 injection.

4.2 Porovnání experimentálních dat s výsledky geochemického modelování

Chemické interakce v systému CO_2-hornina-solanka na lokalitě Brodské byly modelovány prostřednictvím rovnovážného geochemického modelování v programu PHREEQC. Modelování bylo nastaveno pro termodynamické podmínky odpovídající hloubce 1150–1155 m. Byla aplikována teplota 43 °C a parciální tlak CO_2 byl během simulací udržován na konstantní hodnotě 116 bar.

Do modelu byly definovány vstupní vlastnosti a složení vodné fáze (solanka Br-45), plynná fáze ve formě superkritického CO_2 a přesné látkové množství souboru primárních minerálů, které bylo vypočítáno z hmotnostních zlomků horninových vzorků. Dalším nezbytným parametrem byl definovaný poměr pevné ke kapalné fázi, který se vztahoval na 1 litr solanky. Pro výpočty posloužila termodynamická databáze LLNL_UJV.DAT. Vzhledem k tomu, že tato databáze neobsahovala všechna potřebná data pro sekundární karbonáty, byla doplněna o chybějící údaje z dostupné odborné literatury.

Některé primární fázové složky byly navíc pro potřeby modelu nahrazeny svými termodynamickými ekvivalenty z databáze, například mikroklin byl modelován jako draselný živec a chlorit jako chamosit. Na základě literární rešerše byl do modelu následně vložen seznam potenciálních sekundárních minerálů, jako je dawsonit, ankerit či kaolinit. U těchto fází se předpokládalo, že by se za daných podmínek mohly v systému srážet a stabilně koexistovat.

Tab. 1 Srovnání výsledků rovnovážného modelování a laboratorních experimentů: mineralogické změny. Symbol + značí srážení a – rozpouštění.
Tab. 1 Comparison of results from equilibrium modeling and laboratory experiments: mineralogical changes. The symbol + indicates precipitation and – indicates dissolution

Minerál	**Br-52**		**P-106**
	60 dnů	**60 dnů**	**60 dnů**
	Model	**Experiment**	**Experiment**
Křemen	+	+	–
Muskovit	+	+	+
Mikroklin	–	–	–
Chamosit (Chlorit)	–	–	
Kalcit	–	+	–
Dolomit	–	+	+

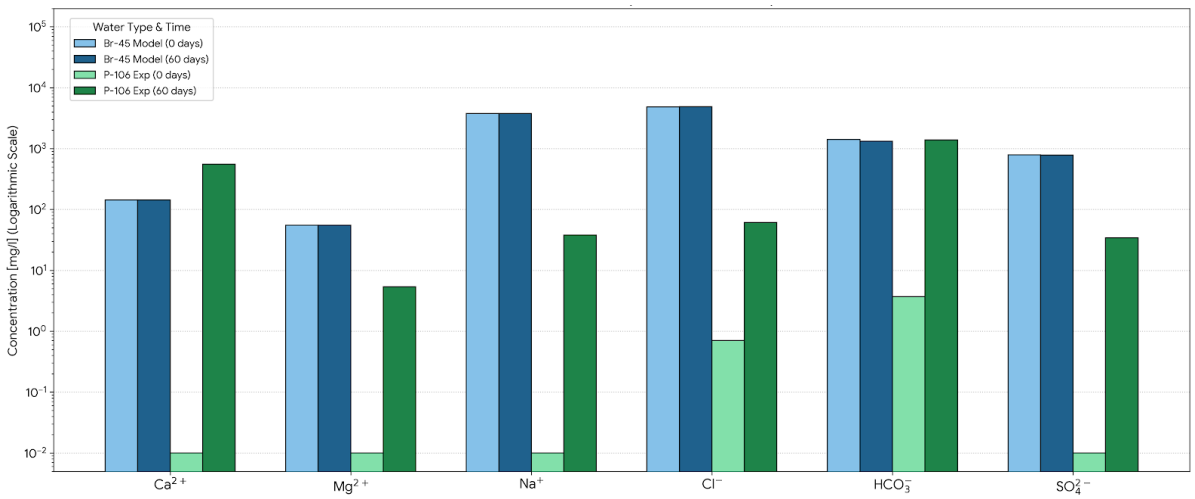
Albit	–	–	–
Evaporitové fáze	–		+
Ankerit	+		
Dawsonit	+		
Kaolinit	+		–
Pyrit		+	

Vzhledem k tomu, že kvantitativní minerální změny po dlouhodobých statických experimentech nebývají obvykle masivní a pohybují se často v oboru hodnot nejistot zvolené analytické metody (1–2 %), je obtížné provádět přímé kvantitativní srovnání s modely. Hodnocení je proto zaměřeno na kvalitativní změny – tedy na shodu v trendech srážení (+) a rozpouštění (–) jednotlivých fází (tab. 1).

Vysoká míra shody mezi rovnovážným modelem a laboratorními experimenty (a to i napříč lokalitami) panuje v dynamice primárních alumosilikátů. Geochemický model pro systém Br-52 správně predikoval rozpouštění draselných živců i plagioklasů, což bylo rentgenovou difrakcí plně potvrzeno jak u vzorku Br-52, tak u P-106. Shoda panuje rovněž v rozpouštění chloritu (chamositu) u lokality Brodské. Toto rozpouštění primárních fází v kyselém prostředí uvolňuje do roztoku ionty, které jsou následně vázány do sekundárních minerálů. Tento provázaný geochemický proces model úspěšně zachytil u muskovitu – jeho srážení bylo modelem předpovězeno a experimenty na obou lokalitách potvrzeno.

Výrazné rozdíly mezi rovnovážným modelem a experimentálními výsledky se projevují v chování karbonátů. Zatímco model pro Br-52 v důsledku okyselení prostředí předpokládá čisté rozpouštění primárního kalcitu a dolomitu, v případě sekundárních fází naopak model predikuje srážení dawsonitu a ankeritu – tedy jiných zástupců karbonátové skupiny. Teoreticky predikovaný dawsonit a ankerit se však v experimentálních datech neobjevily. Zde hraje klíčovou roli fakt, že geochemické modelování disponuje širokou databází minerálních fází, kdežto reálná XRD analýza pracuje s omezenou detekční citlivostí. Absence dawsonitu a ankeritu je přitom prokazatelně způsobena kinetickými limity. Rychlost jeho tvorby je značně omezena a doba trvání experimentu (60 dní) zjevně nedostačuje k vytvoření detekovatelného množství jeho krystalů. Zatímco se tedy v modelu sráží dawsonit a ankerit, v experimentech se tato rekrystalizace projevila srážením kalcitu a dolomitu. Tento rozdíl poukazuje na limity rovnovážného modelování. Model počítá s ideálním termodynamickým stavem, avšak v reálném horninovém vzorku hrají klíčovou roli lokální mikrokrystalizační procesy, lokální přesycení roztoku a kinetické faktory, které vedou ke složitější rekrystalizaci.

Další rozdíly se týkají jílových minerálů. Model predikoval srážení kaolinitu ve vzorku horniny z lokality Brodské, zatímco výsledky rentgenové difrakce vzorku P-106 poukazují na jeho rozpouštění. Na druhé straně experiment odhalil reálné srážení pyritu. Tvorba této sulfidické fáze nebyla v rámci rovnovážných simulací vůbec předpovězena, což může souviset s přítomností lokálních redukčních mikroprostředí ve vzorku, která zjednodušený model nezohledňuje.



Obr. 2 Srovnání výsledků rovnovážného modelování a laboratorních experimentů: změny v koncentracích iontů.
Fig. 2 Comparison of the results of equilibrium modeling and laboratory experiments: changes in ion concentrations.

Výsledky geochemického modelování a laboratorních experimentů poukazují na zásadní rozdíly v reakčním potenciálu použitých roztoků (obr. 2). V případě lokality Brodské predikuje model pouze minimální změny v chemismu solanky po 60 dnech injektáže CO_2, což odráží vysokou mineralizaci a relativní chemickou stabilitu

systému v daných podmínkách. Naopak, u lokality Dolní Bojanovice vyvolalo použití demineralizované vody jako vstupního média výrazné změny v chemickém složení roztoku. Vysoký koncentrační gradient mezi demineralizovanou vodou a horninovým prostředím vytvořil značný reakční potenciál, který vedl k intenzivnímu vyluhování iontů z horniny do kapalné fáze.

Změny v koncentracích iontů v roztocích přímo korespondují s mineralogickými procesy identifikovanými v podkapitole 4.1. Nárůst koncentrace vápníku (Ca^{2+}) a hořčíku (Mg^{2+}) v experimentálním roztoku P-106 (po 60 dnech injektáže CO_2 potvrzuje intenzivní rozpouštění kalcitového tmelu. Tento proces je úzce spjat s výrazným nárůstem koncentrace hydrogenuhličitanových iontů, které vznikají jako přímý produkt karbonátových reakcí při acidifikaci prostředí vlivem rozpuštěného CO_2. Uvolněné ionty následně v roztoku lokálně dosahují stavu přesycení, což vede k rekrystalizaci dolomitu, což bylo potvrzeno XRD i SEM analýzou.

Rozpouštění draselných živců a plagioklasů se v chemismu vod projevuje nárůstem koncentrací sodíku (Na^+) a draslíku (K^+). Uvolněný hliník a křemík z těchto reakcí následně vstupují do tvorby sekundárních fází, zejména muskovitu.

Pozorovaný nárůst koncentrace chloridových iontů (Cl^-) a následné srážení evaporitových fází u vzorku P-106 přímo souvisí s reaktivitou halitu. Ten byl v původním vzorku identifikován SEM analýzou. Po okyselení prostředí vlivem injektáže CO_2 se halit postupně rozpouštěl, přičemž v konečné fázi experimentu (po 60 dnech) došlo k jeho rekrystalizaci v důsledku změny podmínek v systému.

5. Závěr

Případové studie lokalit Brodské a Dolní Bojanovice se zabývaly geochemickou charakteristikou procesů a mineralogických změn miocenních pískovců Vídeňské pánve při simulovaném ukládání CO_2. Na základě srovnání výsledků laboratorních experimentů s výstupy geochemického modelování na lokalitách Brodské (vzorek Br-52) a Dolní Bojanovice (vzorek P-106) lze vyvodit následující závěry:

1. Experimenty prokázaly, že pískovcové rezervoáry reagují na injektáž CO_2 dynamickými změnami v mineralogickém složení i chemismu pórových vod. Klíčovým faktorem ovlivňujícím intenzitu těchto reakcí je vstupní chemismus použitého roztoku. Zatímco solanka na lokalitě Brodské vykazuje vysokou stabilitu, demineralizovaná voda použitá u lokality Dolní Bojanovice iniciovala díky vysokému koncentračnímu gradientu intenzivní vyluhování iontů a následnou rekrystalizaci minerálních fází.
2. V obou systémech dochází k rozpouštění primárních karbonátů a alumosilikátů (zejména draselných živců a plagioklasů). Rozpuštěné kationty vstupují do procesů tvorby sekundárních fází, přičemž nejvýraznějším procesem je rekrystalizace dolomitu a srážení muskovitu. Specifickým rysem lokality Dolní Bojanovice je rozpouštění kaolinitu, zatímco v pískovcích z Brodského bylo zaznamenáno srážení pyritu, indikující přítomnost specifických lokálních mikropodmínek.
3. Srovnání s geochemickým modelováním (PHREEQC) ukázalo dobrou shodu v predikci rozpouštění primárních alumosilikátů. Rozdíly mezi modelem a experimentem v chování karbonátů a absenci predikovaných fází (např. dawsonitu) však poukazují na dominantní roli kinetických limitů a lokálních mikrokrystalizačních procesů v reálných horninových vzorcích. Rovnovážné modely tak v rámci krátkodobých experimentů (60 dní) nedokáží plně postihnout kineticky zpomalené procesy.
4. Výzkum potvrdil, že interakce mezi superkritickým CO_2 a horninovým prostředím jsou vysoce komplexní a lokálně specifické. Pro přesnější predikci dlouhodobého chování rezervoárů při ukládání CO_2 je nezbytné kombinovat rovnovážné geochemické modelování s kinetickými údaji a detailním strukturním výzkumem, neboť právě kinetika srážení či rozpouštění minerálů zásadně ovlivňuje celkovou integritu a propustnost rezervoáru.

Tato práce poskytuje cenný vhled do reaktivního chování miocenních pískovců a zdůrazňuje nezbytnost individuálního přístupu při hodnocení potenciálních lokalit pro geologické ukládání CO_2 ve Vídeňské pánvi.

Poděkování: Příspěvek byl připraven v rámci projektu SGS No. SP2025/074. Děkujeme panu doc. Ing. Martinu Klempovi, Ph.D. a panu Miloši Weiperovi za spolupráci při laboratorních experimentech v reakční komoře.

Seznam literatury

Bujok, P., Klempa, M., Porzer, M. 2015: *Výsledky nových petrofyzikálních měření – dílčí část. Příprava výzkumného pi lotního projektu geologického ukládání CO2 v České repub lice (REPP-CO2) č. NF-CZ08-OV-1-006-2015, výstup V1.17. Ostrava*. – MS VŠB-Technická univerzita. Ostrava.

Gaus, I., 2010: *Role and impact of CO2-rock interactions during CO_2 storage in sedimentary rocks.* – Int. J. Greenh. Gas Control 4, 73–89.

Izeg, O., Demiral, B., Bertin, H., Akin, S. 2008: *CO_2 injection into saline carbonate aquifer formations I: Laboratory investigation*. – Transp. Porous Media 72, 1–24.

Ličbinská, M., Mertová, L., Rapantová, N., Stejskalová, K., 2023: *Geochemical Modeling of Changes in Storage Rock Environments at CO_2 Injection Sites.* – Minerals 13(2), 298. https://doi.org/10.3390/min13020298

Mendoza, A. M., Vrbová, V., Havlová, V., Mališ, J., Klempa, M., Bujok, P., 2015: *Výsledky stanovení geochemických parametrů v laboratoři. Příprava výzkumného pi lotního projektu geologického ukládání CO2 v České repub lice (REPP-CO2) č. NF-CZ08-OV-1-006-2015, výstup V1.24 Ostrava*. – MS VŠB-Technická univerzita. Ostrava.

Molkova, M., Ličbinská, M., Klempa, M., 2025: *Laboratory Experiments on CO_2–Water–Dolomite Interactions for a Pilot CO_2 Storage Scheme in a Carbonate Reservoir in the Czech Republic*. – Engineering Proceedings 116(1), 1. https://doi.org/10.3390/engproc2025116001

Molková, M., Ličbinská, M., Klempa, M., 2025: *Results of Laboratory Experiments Simulating CO_2 Injection into Miocene Sandstones of the Elbe Horizon in the Vienna Basin (Czech Republic).* – Geosciences Research Reports 58, 2, 118–123. (in Czech)

Nehyba, S., 2015: *Litofaciální analýza a sekvenční stratigrafie rezervoáru a jeho nadloží – zpráva a datový soubor uložený v geodatabázi, připravený k využití ve 3D modelu. Příprava výzkumného pilotního projektu geologického ukládání CO_2 v České republice (REPP-CO2) č. NF-CZ08-OV-1-006-2015, výstup V1.9.* – MS Masarykova univerzita. Brno.

Saeedi, A., Rezaee, R., Evans, B., Clennell, B. 2011: *Multiphase flow behaviour during CO_2 geo-sequestration: Emphasis on the effect of cyclic CO_2-brine flooding.* – J. Pet. Sci. Eng. 79, 65–85.

Sayegh, S. G., Krause, F. F., Girard, M. 1990: *Rock/fluid interactions of carbonated brines in a sandstone reserv oir Pembina Cardium, Alberta, Canada*. – SPE Form. Eval. 5, 399–405.

MĚŘENÍ POVRCHOVÝCH TOKŮ PŘÍSTROJEM FLOWTRACKER: VLIV METOD MĚŘENÍ NA HODNOTY PRŮTOKU

STREAMFLOW MEASUREMENTS WITH FLOWTRACKER: INFLUENCE OF MEASUREMENT METHODS ON DISCHARGE VALUES

Martin Slavík[1], Kamila Tučanová[1], Miroslav Šobr[1]

[1]*Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 00 Praha 2, e-mail: martin.slavik@natur.cuni.cz*

Abstrakt: Průtok povrchových toků je klíčový parametr pro vodohospodářskou praxi i hodnocení sucha a povodní. Mezi nejpřesnější jednorázové metody měření patří rychlostní metody (např. s využitím přístroje FlowTracker), které stanovují průtok měřením rychlosti proudění v několika svislicích a hloubkách. Metodiku upravuje norma ISO 748, jejíž aktuální verze velmi zpřísnila požadavky na minimální počet svislic, ale nespecifikuje počet měřicích bodů na těchto svislicích. Studie na malých tocích (s hloubkou pod 0,5 m a průtokem do 0,550 m³/s) ukázala, že počet bodů na svislici měl na výsledný průtok zanedbatelný vliv a že stačí jeden měřicí bod (v 0,4 hloubky ode dna). Naopak počet svislic má na výsledný průtok zásadní vliv. Starší verze normy průtok systematicky nadhodnocovala a aktuální verze vykazuje nejnižší nejistoty měření. Zpřísnění normy tak bylo adekvátní.

Abstract: Stream discharge is a key parameter for water management practice as well as drought and flood assessment. Among the most accurate single-measurement methods are velocity-area methods (e.g., using the FlowTracker device), which determine discharge from flow velocity across several verticals and at different depths. Its application is governed by ISO 748, whose recent version increased the recommended number of verticals but does not specify the number of measurement points per vertical. This study on lower-order streams (with depths below 0.5 m and discharges up to 0.550 m³/s) showed that the number of points per vertical had an insignificant effect on the resulting discharge and that a single measurement point (at 0.4 of the depth from the riverbed) is sufficient. On the contrary, the number of verticals has a significant impact on the resulting discharge; the older version of the standard consistently yielded higher discharges. The recent version exhibited the lowest measurement uncertainties, suggesting that its tightening was appropriate.

Klíčová slova: FlowTracker, měření průtoku, hydrometrie, norma ISO 748, metodika.

Key words: FlowTracker, discharge measurement, hydrometry, ISO 748 standard, methodology.

1. Úvod

Průtok povrchových toků patří mezi základní hydrologické parametry pro hodnocení vodní bilance na povodích v průběhu roku a je klíčový pro vodohospodářskou praxi. Představuje také důležité kritérium pro hodnocení extrémních jevů, jako jsou sucho či povodně. Podélné profilování průtoků navíc umožňuje identifikovat skryté přítoky podzemní vody či naopak ztráty z povrchového toku.

Existuje řada metod měření průtoku, které se liší principem měření, vhodností pro různé typy proudění, časovou a odbornou náročností a spolehlivostí měření. Mezi nejčastěji používané jednorázové metody, a zároveň také jedny z nejpřesnějších, patří rychlostní metody. Typickým představitelem této skupiny je hydrometrická vrtule či přístroj FlowTracker využívající Dopplerův jev. Tento přístup vyžaduje měření rychlosti proudění na několika svislicích napříč průtočným profilem a v různých hloubkách na těchto svislicích, následně se průtok stanoví na základě průtočné plochy.

Metodiku měření upravuje technická norma ISO 748: „Měření průtoku kapalin v otevřených korytech – Metody rychlostního pole s využitím bodových měření“, jejíž aktuálně platná verze (2022) zpřísnila požadavky na minimální počet svislic, ale nespecifikuje počet měřících bodů na těchto svislicích (běžně se využívá 1 až 3 bodů na svislici). Zpřísněné požadavky na počet svislic mají dopad především na měření na malých tocích s šířkou pod 5 metrů. Například pro hypotetický tok s šířkou 0,9 metru požaduje verze normy z roku 2022 4–5× více vertikál v porovnání se starší normou z roku 2001. To sice vede k lepšímu popisu hydrauliky proudového pole, ale vyžaduje to výrazně zvýšené úsilí a více času potřebného pro zjištění průtoku.

Provedená studie hodnotila vliv počtu svislic a měřících bodů na stanovení průtoku rychlostní metodou na malých tocích. Výzkum probíhal formou přímých měření přístrojem FlowTracker na několika otevřených korytech menších vodních toků s využitím různého počtu svislic a různého počtu měřících bodů na těchto svislicích.

2. Metodika

Měření bylo provedeno pomocí přístroje FlowTracker2 Handheld-ADV s 2D/3D sondou (SonTek, USA) s měřitelným rozsahem rychlostí proudění 0,001–4 m/s. Měření proběhlo na 7 různých profilech (obr. 1) celkem na 5 malých tocích v České republice (Botič, Loděnice, Litovický potok, Žehrovka, Mohelka) s hloubkou do 0,5 m, šířkou pod 8,5 metru a průtokem do 0,550 m³/s.

Obr. 1 Fotografie měřících profilů: a) Botič, b) Loděnice, c) Litovický potok – úzký profil, d) Litovický potok – široký profil, e) Žehrovka, f) Mohelka – úzký profil, g) Mohelka – široký profil.
Fig. 1. Photographs of the measuring profiles: a) Botič; b) Loděnice; c) Litovický potok – narrow; d) Litovický potok – wide; e) Žehrovka; f) Mohelka - narrow; g) potok – narrow.

Celkově bylo provedeno 19 individuálních měření. Počet svislic byl pro každý profil stanoven dle posledních 3 verzí normy ISO (z let 2001, 2007 a 2022) – počet svislic byl vždy volen tak, aby splňoval minimální kritéria dané normy, viz tab. 1. Počet měřících bodů na každé svislici byl buď 1 (pro toky s hloubkou do 0,25 m; dále 1bodová metoda), nebo 3 (pro toky s hloubkou nad 0,25 m; dále 3bodová metoda), a to dle doporučení Boitena (2005).

Tab. 1 Doporučený minimální počet svislic dle různých verzí normy ISO 748.
Tab. 1 Recommended minimum number of verticals according to different versions of ISO 747 standard.

verze 2001		**verze 2007**		**verze 2022**	
šířka toku (m)	počet svislic	šířka toku (m)	počet svislic	šířka toku (m)	počet svislic
0-0,5	3-4	0-0,5	5-6	0-0,5	≥15
0,5-1	4-5	0,5-1	6-7	0,5-5	≥20
1-3	5-8	1-3	7-12	>5	≥22
3-5	8-10	3-5	13-16		
5-10	10-20	>5	≥22		
>10	≥20				

Pro určení průměrné rychlosti proudění v na svislici lze použít následující rovnice: rovnice 1 pro 1bodovou metodu, rovnice 2 pro 2bodovou metodu a rovnice 3 pro 3bodovou metodu. V těchto rovnicích spodní index značí relativní hloubku ode dna.

$$v = v_{0,4} \quad (1)$$

$$v = \frac{1}{2}(v_{0,8} + v_{0,2}) \quad (2)$$

$$v = \frac{1}{4}(v_{0,8} + 2v_{0,4} + v_{0,2}) \quad (3)$$

Z rovnic je patrné, že 3bodovou metodu lze přepočítat na 2bodovou a 1bodovou metodu. Tohoto jsme využili za účelem stanovení, zda se výsledná průměrná rychlost na svislici (resp. výsledný průtok pro daný profil) liší v závislosti na zvolené metodě. Konkrétně pro toky s hloubkou nad 0,25 m jsme měřili 3bodovou metodou a následně jsme pro tento tok vypočítali ekvivalentní výsledky pro 2bodovou a 1bodovou metodu. Pro toky s hloubkou pod 0,25 m byla použita vždy pouze 1bodová metoda. Průtok (m^3/s) byl vypočítán podle tzv. středové metody, což je nejčastější způsob vyhodnocení těchto dat. Výpočet se provádí tak, že se průměrná rychlost na svislici násobí takovou průtočnou plochou, aby se zvolená svislice nacházela ve středu průtočné plochy, a tudíž jsou okraje každé průtočné plochy v polovinách vzdáleností mezi jednotlivými svislicemi.
Průtoky změřené a vypočítané různými způsoby jsme srovnali mezi sebou a také s hodnotami uváděnými z vodoměrných stanic ČHMÚ, přičemž měrné profily byly zvoleny právě tak, aby byly v bezprostřední blízkosti těchto stanic.

3. Výsledky a diskuse

3.1 Počet měřících bodů na svislici

Pro určení, zda různé bodové metody (odlišné počtem měřících bodů na svislici) vedou k statisticky významně různým výsledkům průměrných rychlostí proudění na svislicích (dle rovnic 1–3), byl použit Studentův t-test s hladinou významnosti 0,05. Pro jednotlivé profily z celkových 18 testů hned 15 neprokázalo významný rozdíl mezi jednotlivými bodovými metodami, přičemž zbývající tři se statisticky významným rozdílem byly všechny provedeny na jednom profilu, Mohelka – úzký profil. Při hodnocení všech profilů najednou vyšel mezi bodovými metodami statisticky významný rozdíl. Při vynechání zmíněných měření na profilu Mohelka – úzký profil ovšem rozdíly již nejsou statisticky významné. Specifikum tohoto profilu připisujeme abnormálnímu vertikálnímu rozložení rychlostí (v hloubce 0,8 ode dna byly relativně výrazně nižší rychlosti proudění v porovnání s ostatními sledovanými profily), což je pravděpodobně dáno spíše turbulentním než laminárním prouděním, protože tento profil je umístěn v meandru (obr. 1f).
Obdobné statistické testy byly provedeny i pro hodnoty průtoku, vypočítané z těchto rychlostních profilů a příslušných průtočných ploch. Výsledné průtoky mezi jednotlivými metodami (3bodová vs. 2bodová; 3bodová vs. 1bodová; 2bodová vs. 1bodová) se typicky lišily jen o jednotky l/s, či vůbec. Statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými metodami byl patrný pouze při využití profilu Mohelka – úzký profil. Protože tento profil považujeme za méně věrohodný a pro měření FlowTrackerem nevhodný, a protože na ostatních profilech nebyl patrný statisticky významný rozdíl, docházíme k závěru, že měření pomocí 1bodové metody se zdá pro malé toky dostatečné.

3.2 Počet svislic

Měření ukázala, že nejstarší studovaná norma (z roku 2001, s nejnižším počtem svislic) oproti současné verzi normy (z roku 2022, s největším počtem svislic) vykazovala v průměru o 3 % až 17 % vyšší průtoky. Srovnání

současné verze s verzí z roku 2007 nebylo takto jednoznačné, protože pro některé profily vykazovala vyšší průtoky (až o 5 %), zatímco pro jiné vykazovala nižší průtoky (až o 7 %).
Pro zjištění, zda rozdíly v průtoku mezi jednotlivými přístupy jsou statisticky významné, byl opět použit Studentův t-test. Byly srovnávány průtoky jednak změřené pomocí 3bodové metody, jednak přepočítané pomocí 1bodové a 2bodové metody. Výsledky uvádí tab. 2. Statisticky významný rozdíl v průtoku byl nalezen pouze mezi nejnovější a nejstarší verzí normy, a to pro všechny bodové metody. Oproti tomu mezi nejnovější normou a tou z roku 2007 statisticky významný rozdíl nalezen nebyl.

Tab. 2 Hodnoty průtoku pro jednotlivé profily, nejistoty měření a hodnoty průtoku dle blízké ČHMÚ vodoměrné stanice. A – ANO, N – NE.
Tab. 2 Discharge values for individual profiles, measurement uncertainties, and discharge values according to a nearby CHMI gauging station. A – YES, N – NO.

Profil	ISO 748 verze	Průtok dle 3bodové metody [m³/s]	Průtok dle 2bodové metody [m³/s]	Průtok dle 1bodové metody [m³/s]	IVE/ISO nejistota [%]	Průtok na ČHMÚ profilu [m³/s]
Botič	2007, 2022	0,546	0,547	0,545	1,9/2,5	0,535
	2001	0,564	0,565	0,564	3,0/4,6	
Loděnice	2007, 2022	0,395	0,394	0,397	2,2/2,5	0,418
	2001	0,407	0,407	0,408	3,5/4,5	
Litovický potok - úzký p.	2022	0,078	0,077	0,077	2,8/2,8	0,0703
	2007	0,082	0,081	0,083	5,7/6,2	
	2001	0,089	0,089	0,089	6,5/8,3	
Litovický potok - široký p.	2022	0,071	0,072	0,071	3,7/2,9	0,0703
	2007	0,070	0,070	0,070	8,7/3,9	
	2001	0,071	0,071	0,071	14,2/5,7	
Žehrovka	2022	-	-	0,096	3,7/3,1	0,0954
	2007	-	-	0,100	4,4/4,1	
	2001	-	-	0,103	6,7/5,9	
Mohelka - úzký p.	2022	0,095	0,090	0,101	2,9/2,7	-
	2007	0,098	0,096	0,099	4,7/5,5	
	2001	0,091	0,089	0,093	5,7/7,0	
Mohelka - široký p.	2022	0,085	0,083	0,088	4,2/2,7	-
	2007	0,079	0,078	0,081	23,6/5,7	
	2001	0,099	0,097	0,102	24,5/8,3	

Je rozdíl ve výsledném průtoku statisticky významný?			
	3bodová vs. 2bodová m.	**3bodová vs. 1bodová m.**	**2bodová vs. 1bodová m.**
Všechny profily dohromady	A	A	A
Všechny profily dohromady kromě Mohelky – úzký p.	N	N	N

3.3 Nejistoty měření

Existuje celá řada přístupů pro kvantifikaci nejistot měření rychlostními metodami. Přístroj FlowTracker automaticky počítá nejistoty dvěma způsoby: pomocí tzv. IVE a ISO přístupů. Využíváme tedy tyto přístupy jako relativní ukazatele spolehlivosti našich měření, které nám umožňují další srovnání výsledků napříč různými meto-

dami měření. Hodnotíme 19 individuálních měření, získaných s využitím 3bodové metody a různého počtu svislic. Obecně je měření s nejistotou do 5 % považováno za dobré a nad 10 % za nevyhovující.
Dle IVE přístupu 11 z 19 měření spadalo do hodnocení dobrého měření s nejistotou do 5 %, pět do rozsahu 5–10 % a tři měření překročila hranici 10 % naznačující nevyhovující měření. ISO přístup vykazoval podobné závěry – 11 měření s nejistotou do 5 % a zbylá měření v rozsahu nejistoty 5–10 %.
Při bližším pohledu na jednotlivé verze studované normy jsou patrné rozdíly. Měření dle nejnovější verze z roku 2022 prokázala ve všech případech nejistotu pod 5 % (shodně pro IVE i ISO přístupy). Oproti tomu pro měření dle verze z roku 2007 toto platilo pouze v polovině případů. V případě měření dle nejstarší verze (2001) byla nejistota do 5 % zajištěna pouze ve dvou případech. Obecně platilo, že s rostoucím počtem svislic klesala nejistota měření: např. průměrná nejistota dle IVE přístupu byla 3,1 % pro verzi 2022, 9,2 % pro verzi 2007 a 9,4 % pro verzi z roku 2002. Nejnovější verze normy tak jasně ukázala výrazně nižší nejistotu měření v porovnání se staršími verzemi. Dále bylo zjištěno, že nejistota měření obecně klesala s rostoucím průtokem, vyšší rychlostí proudění a vyšší hloubkou a šířkou měřeného profilu v korytě toku.

3.4 Využití v hydrometrii

Naše výsledky nelze přímo zobecnit na jiné typy přístrojů používaných v rychlostních metodách. Přístroje se totiž liší přesností, citlivostí i měřicím rozsahem a vztahují se na ně odlišná doporučení. Závěry této studie proto považujeme za specifické pouze pro přístroj FlowTracker.
Ačkoliv se řada prací věnuje metodice určování nejistoty měření a existují rozsáhlá doporučení pro počet svislic a měřicích bodů, překvapivě málo studií se zabývá reálnou spolehlivostí těchto měření na malých tocích. Chyběly tak přímé důkazy z terénu, zda je čas navíc věnovaný hustšímu měření skutečně opodstatněný. Naše výsledky z menších toků ukazují, že jednobodová metoda je díky vertikálnímu rychlostnímu profilu dostatečně reprezentativní. To je v souladu s normou ISO, která v žádné své verzi nepředepisuje povinný počet bodů na svislici. Naopak se jasně potvrdilo, že nejistota měření i relativní chyba klesají s rostoucím počtem svislic, což má na přesnost zásadnější vliv než samotný počet měřicích bodů.

4. Závěr

Na základě více než 500 bodových měření se ukázalo, že počet bodů na svislici měl zanedbatelný vliv na průtok u pěti ze šesti profilů – rozdíl mezi průtoky byl statisticky nevýznamný. Výjimkou byl profil s nevyhovujícími hydraulickými podmínkami a nízkými rychlostmi u hladiny, kde je spolehlivost měření nízká. Naopak počet svislic měl na výsledný průtok zásadní vliv. Postup dle zastaralé ISO 748 z roku 2001 (s menším počtem svislic) systematicky nadhodnocoval průtok oproti aktuální verzi 2022, která vykazovala nejnižší nejistoty a odchylky.
Ukázalo se, že pro malé toky (hloubka <0,5 m, průtok <0,550 m³/s) jsou měření s jedním měřicím bodem (v místě 0,4 hloubky ode dna) dostatečně reprezentativní, zejména při ustáleném proudění. Klíčová je však dostatečná hustota svislic, v tomto ohledu se zdá zpřísnění normy z roku 2022 adekvátní. Tato studie tak přináší poznatky o efektivním využití rychlostní metody a má praktické uplatnění v různých oblastech vodního hospodářství.
Konferenční příspěvek vznikl na základě článku Slavíka et al. (2026), ve kterém je k dispozici detailnější metodický přístup a rozbor získaných výsledků vč. jejich diskuse.

Poděkování: Příspěvek vznikl díky podpoře Technologické agentury České republiky v rámci projektu PERUN, SS02030040.

Seznam literatury

Boiten W., 2005. *Hydrometry: The Delft Lecture Note Series*. – A.A. Balkema. Rotterdam. ISBN 0-203-97109-4.
ČSN EN ISO 748, 2001. *Měření průtoku kapalin v otevřených korytech – Metody rychlostního pole*. – Český normalizační institut. Praha. Třetí vydání.
ISO 748, 2007. *Hydrometry – Measurement of liquid flow in open channels using current meters or floats*. – International Organization for Standardization. Geneva. Fourth edition.
ČSN EN ISO 748, 2022. *Hydrometrie – Měření průtoku kapalin v otevřených korytech – Metody rychlostního pole s použitím bodových měření*. – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha. Páté vydání.
Slavík M., Tučanová K., Šobr M., 2026. *Discharge measurement in small streams using current meters: An example using FlowTracker to assess the influence of vertical count and number of points per vertical*. – Flow Measurement and Instrumentation 107, 103112. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2025.103112

www.hgig.cz

Sekce 5

Kontaminace vod a horninového prostředí, analýza rizik, sanační zásahy

SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY O MONITOROVÁNÍ A ODOLNOSTI PŮDY

Mgr. Lukáš Čermák, Mgr. et Mgr. Jan Berka

lukas.cermak@mzp.gov.cz, jan.berka@mzp.gov.cz, MŽP OEREŠ, Vršovická 1442/65; Praha 10 – Vršovice, 100 10 Praha

Cílem tohoto příspěvku je informovat o konečném znění schválené Směrnice o monitorování a odolnosti půdy (dále jen Směrnice), a dále o procesu transpozice Směrnice do českého právního prostředí. Směrnice byla definitivně schválena 24.11.2025. Tematický záběr Směrnice je široký, přičemž cílem předkladatelů bylo komplexní zpracování problematiky půdy v návaznosti na předešlé pokusy o prosazení takto uceleného rámce. Hlavními třemi pilíři Směrnice jsou témata odolnost půdy, monitoring půdy a kontaminace. Mimo jiné Směrnice pokrývá témata zdraví půdy, CCS, zakrývání půdy, eroze či zábory půdy. Příspěvek se bude zabývat výhradně tématem kontaminace a kontaminovaných míst.

Co se historie návrhů Směrnice týče, jedná se o druhý pokus o schválení komplexní Směrnice, pokrývající téma půdy. Směrnice staví na několika dokumentech a projektech, z nichž nejdůležitější jsou projekty HERACLES (vývoj analýz rizik kontaminovaných míst z hlediska rizik pro životní prostředí) a LUCAS (monitoring půdy zaměřující se na využití půdy, mimo jiné na kontaminaci svrchních vrstev).

Směrnice stanovuje termín 3 let, během kterých musí být implementována do právních systémů jednotlivých členských států. V případě České republiky zatím převládá názor, že bude nezbytné vytvoření dvou nových zákonů, Zákonu o monitoringu půdy a Zákonu o kontaminovaných místech. Kromě těchto právních předpisů bude nutné vytvořit ještě prováděcí předpisy ve formě vyhlášek a nařízení vlády. Dále budou nutné změny v již existujících zákonech, např. ve Vodním zákoně, Stavebním zákoně a dalších. Z hlediska možností jednotlivých členských států o vlastní nastavení transpozice je finální znění Směrnice poměrně pružné, přičemž velké množství kompetencí, kterými původně měla disponovat Evropská komise a její resortní organizace, byly nakonec předány do kompetencí členských států.

Samotný text Směrnice se tématu kontaminace věnuje zejména v kapitole IV, která obsahuje články č. 13-17. Dále se kontaminovaných míst týkají kapitoly č. 1, 4, 5 a 6. V těchto částech jsou pokryta témata Postupný přístup založený na posouzení rizik, Identifikace potenciálně kontaminovaných míst, Průzkum potenciálně kontaminovaných míst, Posuzování rizik, Opatření ke snížení rizik, Registr kontaminovaných míst, Seznam opatření ke snížení rizik a další. Pro členské státy vyplývá ze Směrnice několik povinností. Mezi nejzásadnější povinnosti patří stanovení seznamu potenciálně kontaminujících činností, a dále povinnost zaznamenat v registru všechny kontaminované a potenciálně kontaminované lokality existující k datu 16.12.2025. Tato povinnost se váže k termínu 17.12.2035, tedy do 10 let od nabytí účinnosti Směrnice.

K řešení transpozice Směrnice byly vytvořeny pracovní skupiny, jejichž úkolem bude řešení nesouladu či nedostatečnosti současných právních předpisů s textem Směrnice. Jedná se o pracovní skupiny Monitoring půdy, Odolnost půdy a Kontaminované lokality. Pracovní skupina Kontaminované lokality je nyní tvořena více než dvěma desítkami členů, přičemž MŽP OEREŠ je předsedajícím členem. Příspěvek se zaměří zejména na rozbor Směrnice, jejích přesahů pro legislativní i odbornou praxi v ČR, a dále na výsledky Pracovní skupiny Kontaminované lokality.

Literatura

[1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2025/2360 ze dne 12. listopadu 2025 o monitorování a odolnosti půdy (právní rámec pro monitorování půdy), PE/47/2025/INIT, 2025

ŠÍŘENÍ LÁTEK PFAS VE VYBRANÝCH SLOŽKÁCH ŽIVOTNÉHO PROSTŘEDÍ V PODMÍNKÁCH KONKRÉTNÍCH LOKALIT

DISTRIBUTION OF PFAS COMPOUNDS IN SELECTED ENVIRONMENTAL COMPARTMENTS UNDER SITE-SPECIFIC CONDITIONS

Jan Hocke[1)], Petr Kvapil[1)]

[1)] *Photon Water Technology s. r. o., Generála Svobody 25/108, 460 01 Liberec XII-Staré Pavlovice, email: info@photonwater.com*

Abstrakt: Článek se zaměřuje na popis šíření látek PFAS, ověřený v podmínkách konkrétních (avšak nespecifikovaných) lokalit. Názvy obcí, hydrogeologických objektů, vodních toků nebo zdrojových zón byly nahrazeny obecnými označeními.

Chování PFAS v horninovém prostředí je závislé na délce fluorkarbonového řetězce. Látky PFAS s dlouhým řetězcem (perfluoralkyl karboxylové kyseliny PFCA ≥ 8 atomů uhlíku, perfluoralkyl sulfonové kyseliny PFSA ≥ 6 atomů uhlíku) snáze podléhají sorpčním procesům v půdě a sedimentech, což ovlivňuje jejich migraci. Šíří se relativně pomalu a dlouhodobě přetrvávají v ohniscích kontaminace. Sloučeniny PFAS s krátkými řetězci (4–6 atomů uhlíku) se váží slaběji, jsou vysoce mobilní a spolu s podzemní vodou migrují na značné vzdálenosti.

Šíření látek PFAS v podzemních vodách je řízeno zejména advekcí, disperzí, sorpcí a ředěním. Transport PFAS v podzemní vodě může urychlovat zvýšený obsah rozpuštěné organické hmoty (DOC) nebo solí. Organický uhlík „soutěží" s PFAS o vazebná místa na pevných částicích, což vede k uvolňování kontaminantu do vodního prostředí. Rovněž byla pozorována tvorba komplexů mezi DOC a některými látkami PFAS s dlouhými řetězci. Komplexy jsou následně lépe rozpustné ve vodě a méně náchylné k sorpci na pevné částice.

Abstract: This article focuses on describing the distribution of PFAS substances, as verified under conditions at specific (though unspecified) sites. The names of municipalities, hydrogeological features, watercourses, and source zones have been replaced with general terms.

The behavior of PFAS in the rock environment depends on the length of the fluorocarbon chain. Long-chain PFAS (perfluoroalkyl carboxylic acids, PFCA, ≥ 8 carbon atoms; perfluoroalkyl sulfonic acids, PFSA, ≥ 6 carbon atoms) are more readily subject to sorption processes in soil and sediments, which affects their migration. They spread relatively slowly and persist for long periods at contamination sites. Short-chain PFAS compounds (4–6 carbon atoms) bind less strongly, are highly mobile, and migrate over considerable distances along with groundwater.

The spread of PFAS in groundwater is primarily governed by advection, dispersion, sorption, and dilution. The transport of PFAS in groundwater can be accelerated by elevated levels of dissolved organic carbon (DOC) or salts. Organic carbon "competes" with PFAS for binding sites on solid particles, leading to the release of the contaminant into the aquatic environment. The formation of complexes between DOC and certain long-chain PFAS compounds has also been observed. These complexes are subsequently more soluble in water and less prone to sorption onto solid particles.

Klíčová slova: per- a polyfluorované alkylované látky (PFAS); podzemní voda; nesaturovaná zóna; transport kontaminace.

Key words: per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS); groundwater; unsaturated zone; contaminant transport.

1. Úvod

Per- a polyfluorované alkylované látky (PFAS) představují skupinu perzistentních organických kontaminantů, které se v horninovém prostředí vyznačují kombinací vysoké chemické stability, rozdílné sorpce, dlouhodobé dotace ze zdrojových zón a schopnosti vytvářet rozsáhlé kontaminační mraky v podzemních vodách. Článek shrnuje výsledky průzkumů na anonymizovaných lokalitách střední Evropy. Zaměřen je zejména na migraci látek PFAS v nesaturované zóně a podzemních vodách.

PFAS patří mezi kontaminanty, jejichž význam pro hydrogeologickou praxi v posledních letech rychle roste. Zatímco u tradičních organických polutantů bývá dominantní otázkou jejich degradace, u PFAS je klíčovým problémem především perzistence, rozdílné sorpční chování jednotlivých kongenerů, transport v rozpuštěné fázi a dlouhodobé uvolňování z nesaturované zóny. Biodegradace látek PFAS nebyla doposud uspokojivě dokumentována. National Ground Water Association shrnuje, že osud a transport PFAS v podzemních vodách jsou řízeny advekcí, disperzí, sorpcí a ředěním, avšak

významně se uplatňuje také vazba na rozhraní vzduch–voda, interakce s organickým uhlíkem a minerálním povrchem, případně transformace prekurzorů.

Limity pro tyto látky jsou v České republice uvedeny ve vyhlášce č. 371/2023 Sb., kterou se mění vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody (s účinností od 12.1.2026) a v nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod.

V pitných vodách byla stanovena limitní hodnota pro sumu 20 látek PFAS ve výši 0,1 ug/l (100 ng/l) – typ limitu NMH (nejvyšší mezná hodnota). Dále byl definován ukazatel se stanovenou směrnou hodnotou 0,010 ug/l pro sumu PFOA, PFNA, PFHxS a PFOS. Směrná hodnota představuje indikační limit, při jehož překročení se zpracovává dokument hodnocení a řízení rizik dle § 3a vyhlášky č. 252/2004 Sb.

Pro útvary povrchových vod bylo stanoveno sledování pouze sloučeniny PFOS (perfluoroktansulfonová kyselina a její deriváty) s typy limitů NEK-RP a NEK-NPK, tedy norma environmentální kvality – roční průměr a norma environmentální kvality – nejvyšší přípustná koncentrace. Zároveň byl definován limit NEK-RP pro biotu ve výši 9,1 ug/kg PFOS.

Hodnocením vlivu potravin kontaminovaných PFAS na lidské zdraví se zabývá Evropský úřad pro bezpečnost potravin – European Food Safety Authority (EFSA). Na základě výzkumu publikovaného v roce 2020 stanovil tolerovatelný týdenní příjem (TWI) kontaminantu na 4,4 ng PFAS na kg tělesné váhy za týden.

2. Nesaturovaná zóna: vertikální profil a složení PFAS

Posuzováno bylo ohnisko zatížené historickým používáním přípravků s obsahem PFAS. V ohnisku byla vyhloubena řada mělkých jádrových vrtů do hloubky 3 m pod terén (dále p. t.). Zkoumaná připovrchová část ohniska byla tvořena sprašovými hlínami. Z každého vrtu byly odebrány směsné zonální vzorky zemin po intervalech 0–0,5 m, 0,5–1 m, 1–2 m a 2–3 m. Celkem bylo odebráno 60 vzorků. V laboratorních rozborech zemin bylo sledováno více než 25 vybraných sloučenin PFAS.

Zjištěné sumární koncentrace PFAS se pohybovaly v rozmezí od hodnot pod mezí citlivosti použité analytické metody až po několik desítek tisíc µg/kg sušiny, přičemž maximum bylo zjištěno v intervalu 0,5–1,0 m p. t. V zeminách dominantně převažoval PFOS; u 47 vzorků přesáhl jeho podíl 60 % sumy PFAS.

Pro jednotlivé hloubkové intervaly byly dokumentovány následující koncentrační rozsahy:

- interval 0–0,5 m ... X0 – X 000 µg/kg sušiny, průměr 804 µg/kg sušiny
- interval 0,5–1 m ... X–X0 000 µg/kg sušiny, průměr 2 765 µg/kg sušiny
- interval 1–2 m ... <0,5–X 000 µg/kg sušiny, průměr 442 µg/kg sušiny
- interval 2–3 m ... X0–X00 µg/kg sušiny, průměr 474 µg/kg sušiny.

Nejvyšší koncentrace byly soustředěny ve svrchním horizontu horninového prostředí, zejména v intervalu 0,5–1,0 m p. t., zatímco se zvyšující se hloubkou docházelo k významnému poklesu koncentrací.

Z hlediska složení PFAS v zeminách dominovaly látky PFOS. V případě 47 vzorků byl podíl PFOS vyšší než 60 % sumy PFAS (viz tab. 1), zatímco pouze tři vzorky spadaly do kategorie nulových hodnot, jeden vzorek do intervalu 1–30 % a dva vzorky do intervalu 30–60 % zastoupení PFOS. Tento obraz odpovídá starším zdrojům kontaminace spojených používáním přípravků s obsahem PFAS, kde má sloučenina PFOS majoritní zastoupení, zatímco více mobilní karboxyláty se výrazněji prosazují až v migrační dráze. U vzorků s minoritním zastoupením PFOS byly zvýšené podíly PFOA, PFHpA a PFHxA.

Oproti celkovému poklesu koncentraci látek PFAS ve vertikálním směru bylo zjištěno snižování poměrového zastoupení sloučeniny PFOS s hloubkou jen v některých vrtech (viz tab. 1). Slouřenina PFOS charakteristická delším uhlíkovým řetězcem podléhala ve větší míře sorpci na horninovou matrici pouze lokálně. Podobné chování bylo sledováno při vrtikální distribuci látky PFOA. Je tedy pravděpodobné, že vertikální migraci PFAS v připovrchové zóně horninového prostředí neovlivňoval pouze záchyt látek s delším uhlíkovým řetězcem, ale také nerovnoměrný výskyt organického uhlíku.

Počet uhlíků v řetězci některých sloučenin PFAS je uveden v závorce za zkrácenými názvy vybraných látek: PFOS (8), PFBA (3), PFPeA (5), PFHxA (6), PFOA (8), PFHxS (6). Látky PFOS a PFOA mají delší řetězce oproti dalším látkám s významným zastoupením.

Tab. 1 Přehled poměru zastoupení PFOS u 47 vzorků (>60 %)
Tab. 1 Overview of the relative proportion of PFOS in 47 samples (>60%)

Číslo vzorku	1 (0-0,5 m)	1 (0,5-1 m)	1 (1-2 m)	2 (0-0,5 m)	2 (0,5-1 m)	3 (0-0,5 m)	3 (0,5-1 m)	3 (1-2 m)	4 (0-0,5 m)
%PFOS ze sumy PFAS	100%	100%	100%	91,36%	80,05%	100%	95,55%	65,78%	97,99%

Číslo vzorku	4 (0,5-1 m)	4 (1-2 m)	5 (0-0,5 m)	5 (0,5-1 m)	5 (1-2 m)	6 (0-0,5 m)	6 (0,5-1 m)	6 (1-2 m)	6 (2-3 m)
%PFOS ze sumy PFAS	94,37%	75,55%	95,61%	93,92%	93,42%	96,87%	99,27%	95,69%	94,84%

Číslo vzorku	7 (0-0,5 m)	7 (0,5-1 m)	7 (1-2 m)	7 (2-3 m)	8 (0-0,5 m)	8 (0,5-1 m)	9 (0-0,5 m)	9 (0,5-1 m)	10 (0-0,5 m)
%PFOS ze sumy PFAS	93,59%	94,20%	97,34%	94,55%	95,77%	93,76%	95,16%	72,78%	87,73%

Číslo vzorku	10 (1-2 m)	11 (0-0,5 m)	11 (0,5-1 m)	11 (1-2 m)	11 (2-3 m)	12 (0-0,5 m)	12 (0,5-1 m)	12 (1-2 m)	12 (2-3 m)
%PFOS ze sumy PFAS	100,00%	98,64%	99,30%	99,22%	99,39%	99,56%	99,58%	92,33%	72,25%

Číslo vzorku	13 (0-0,5 m)	13 (0,5-1 m)	13 (1-2 m)	13 (2-3 m)	14 (0-0,5 m)	14 (0,5-1 m)	14 (1-2 m)	15 (0-0,5 m)	15 (0,5-1 m)
%PFOS ze sumy PFAS	99,41%	99,80%	100%	97,95%	88,11%	79,05%	69,93%	79,51%	93,80%

Číslo vzorku	15 (1-2 m)	15 (2-3 m)
%PFOS ze sumy PFAS	96,95%	93,84%

Tab. 2 Přehled běžně analyzovaných látek PFAS
Tab. 2 Overview of Commonly Analyzed PFAS Compounds

Perfluorované sloučeniny (PFAS) - název	**zkratka**
11-chloreikosafluor-3-oxaundekan-1-sulfonová kyselina	11Cl-PF3OUdS
2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)kyselina propionová	HFPO-DA
2H,2H,3H,3H-perfluorodekanová kyselina	7:3 FTCA
4,8-dioxa-3H-perfluornonanoát sodný	NaDONA
6:2 fluorotelomerní sulfonát	6:2 FTS
8:2 fluorotelomerní sulfonát	8:2 FTS
9-chlorhexadekafluor-3-oxanonan-1-sulfonová kyselina	9Cl-PF3ONS
kyselina perfluorobutanová	PFBA
kyselina perfluorodekanová	PFDA
kyselina perfluoroheptanová	PFHpA
kyselina perfluorohexanová	PFHxA
kyselina perfluoroktanová	PFOA
kyselina perfluorononanová	PFNA
kyselina perfluoropentanová	PFPeA
kyselina perfluoroundekanová	PFUnDA
kyselina perflurododekanová	PFDoDA
kyselina perflurotetradekanová	PFTeDA
kyselina perflurotridekanová	PFTrDA
N-metyl perfluorooktansulfonamid	MeFOSA
perfluorobutansulfonová kyselina	PFBS
perfluorodekansulfonová kyselina	PFDS
perfluorododekansulfonová kyselina	PFDoDS
perfluoroheptansulfonová kyselina	PFHpS
perfluorohexansulfonová kyselina	PFHxS
perfluoroktansulfonová kyselina	PFOS
perfluorononansulfonová kyselina	PFNS
perfluorooktansulfonamid	FOSA
perfluoropentansulfonová kyselina	PFPeS

perfluorpropan sulfonová kyselina	PFPrS
perfluortridekansulfonová kyselina	PFTrDS
perfluorundekansulfonová kyselina	PFUnDS

3. Podzemní voda

3.1 Rozsah znečištění

Posuzovaná lokalita byla charakteristická výskytem dvou kolektorů ve vertikálním směru (pracovní označení – svrchní a spodní), vyvinutých v křídových sedimentech. Kolektory byly místy propojeny.

Plošným monitoringem podzemní vody byly zjištěny sumární koncentrace PFAS v rozmezí <0,2 až X 000 ng/l. V souladu s běžnou praxí pro tento typ kontaminantu byly linie výskytu nejvyšších koncentrací definovány jako hlavní migrační cesty z prostoru zdrojových oblastí. Určeny byly hlavní drenážní zóny s přihlédnutím ke koncentracím v pramenních vývěrech a domovních studních ve směru šíření znečištění.

Na lokalitě bylo posuzováno více ohnisek ztnečištění, přičemž ve většině byla majoritně zastoupena sloučenina PFOS. Analýzou dat monitoringu bylo možné bez větších nejistot identifikovat zejména jednu hlavní migrační linii ve svrchním kolektoru (ohnisko – kontaminační mrak – pramenní vývěr – povrchový tok). Přesné určení dalších migračních linií bylo ovlivněno nedostatečnými údaji o preferenčních cestách proudění podzemní vody v kolektorech (výraznější poruchové linie) a o prostorovém rozložení oblastí s propojením obou kolektorů

Po vyloučení nejistot spojených se sekundární kontaminací bylo zaznamenáno rozšíření hlavního kontaminačního mraku v kolektoru podzemní vody na vzdálenost několika kilometrů.

3.2 Etapy monitoringu

Látky PFAS v podzemní vodě byly vzorkovány ve více etapách. Porovnání jednotlivých etap monitoringu ukázalo relativně stabilní koncentrace v čase. Sumární koncentrace PFAS v posuzovaných etapách byly blízké a pohybovaly se v rámci jednoho řádu, přičemž odchylka většinou nepřesahovala 50 %. Vyšší odchylky byly sledovány hlavně u nízkých koncentrací v řádu jednotek a desítek ng/l. Uvedená analýza dat podpořila interpretaci dlouhodobě působícího zdroje znečištění látkami PFAS, nikoli vliv krátkodobé epizodické kontaminace.

3.3 Migrační linie vzdálené více něž 1 km od ohniska – změny v poměrovém zastoupení látek PFAS

Dominantní zastoupení PFOS (>51 %) v hlavním kontaminačním mraku ve větší vzdálenosti od ohniska (> 1 km) bylo zjištěno u necelé poloviny odebraných vzorků podzemní vody. U vzorků s minoritním zastoupením PFOS byly dokumentovány zvýšené podíly PFBA, PFPeA, PFHxA, PFOA, PFHxS a ojediněle 6:2 FTS. Charakter hlavního kontaminačního mraku se mírně tedy měnil se vzdáleností od zdrojové oblasti. Pro saturovanou zónu bylo odvozeno, že látky PFOS, PFOA a podobné sloučeniny s delším uhlíkovým řetězcem snadněji podléhají sorpčním procesům a při transportu těchto látek na delší vzdálenosti se jejich relativní zastoupení v mraku snižuje.

Podobný vývoj (s přihlédnutím k nejistotám) byl zaznamenán i v některých dalších kontaminačních mracích. V oblasti blíže k ohnisku dosahoval podíl PFOS ve vybraných objektech 62,77–69,55 % a ve vzdálenějších objektech klesal až na 40,14–45,53 %, současně s růstem podílu PFHxA a PFPeA. V jiné dílčí oblasti, v objektech vzdálenějších od ohniska, činil podíl PFOS 54,13–64,85 %, zatím co v blízkosti zdrojových oblastí byly pozorovány i vyšší hodnoty (přes 79 %).

4. Povrchová voda

V recipientech byly překročeny limity stanovené nařízením vlády č. 401/2015 Sb. pro povrchovou vodu.

5. Závěry

Výsledky průzkumu ukázaly, že nesaturovaná zóna v ohnisku znečištění je stále aktivním sekundárním zdrojem, který dlouhodobě dotuje podzemní vodu látkami PFAS. Nejvyšší koncentrace PFAS byly soustředěny ve svrchní vrstvě horninového prostředí, do hloubky cca 1 m pod terénem. Jedná se o historickou zátěž s významnou akumulací látek PFAS schopných dlouhodobého uvolňování do saturované zóny.

Dále bylo posuzováno šíření znečištění ve dvou nad sebou vyvinutých hydrogeologických kolektorech. Kolektory byly hydraulicky i transportně propojeny s drenážními bázemi a lokálně i s poruchovými zónami charakteristickými zvýšenou hydraulickou vodivostí. Přednostní šíření látek PFAS prostřednictvím poruchových liniích vytvářelo v částech některých lokalit užší kontaminační mraky protáhlé ve směru proudění podzemní vody. Relativně prostorově omezené otevřené poruchové zóny v heterogenním prostředí tak mohou ovlivňovat směr, rychlost i chemické složení migrující kontaminace.

Analýza zastoupení hlavních analytů PFAS v hydrogeologických objektech umožnila interpretaci migračních linií. V blízkosti některých zdrojových oblastí a v části blízkých drenážních bází převládala látka PFOS, zatímco ve vzdálenějších objektech rostl podíl PFHxA, PFPeA, PFBA nebo PFOA. Pozorování odpovídalo obecným poznatkům, kdy kratší řetězce karboxylových kyselin vykazují vyšší mobilitu, zatímco delší lineární řetězce sulfonových kyselin více podléhají sorpci. V části posuzovaného prostoru bylo rovněž zjištěno, že došlo ke spojení jednotlivých kontaminačních mraků do jednotného proudu znečištěné podzemní vody. Změny chemického složení migrující kontaminace nemusí být tedy určeny pouze diferenciací v rámci sorpčních procesů, ale i mísením toků polutantu z více zdrojových oblastí.
Interpretace výsledků byla zatížena několika typy nejistot: heterogenitou horninového prostředí, omezenou znalostí přesné polohy poruchových zón a jejich hydraulických parametrů, omezenou hustotou monitorovacích objektů v některých částech posuzovaných území a neznalostí časové proměnlivosti vyluhování PFAS z nesaturované zóny vlivem infiltrace srážek. Mezi nejistoty byla zařazena také absence dat zohledňující dlouhodobý vývoj kontaminace ve vztahu k režimnímu kolísání hladin podzemní vody. Bylo nutné zohlednit i procesní nejistoty, které vyplývají z obecného chování PFAS v horninovém prostředí: vliv organického uhlíku, pH, iontové síly, Ca2+ a konkurence dalších látek o sorpční místa, případně existenci dalších látek PFAS nezařazených na seznamu sledovaných sloučenin (viz tab. 2).

Seznam literatury

[1] National Ground Water Association (2021): PFAS Fate and Transport. NGWA Press, Westerville, Ohio.
[2] European Commission (2024): Technical guidelines regarding methods of analysis for monitoring of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in water intended for human consumption. Official Journal of the European Union, C/2024/4910.
[3] Varga, I. et al. (2026): Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Fish: Global Occurrence, Bioaccumulation, Analytical Approaches, and Human Exposure Risks—A Review. Toxics 14(4), 336.

Poznámka: zdroje dat o kontaminaci popisovaných lokalit byly anonymizovány.

MONITORING KONTAMINACE ROPNÝMI LÁTKAMI POMOCÍ MĚŘENÍ RADONU V PŮDNÍM VZDUCHU

MONITORING OIL CONTAMINATION USING RADON MEASUREMENTS IN SOIL-GAS

Jan Kukačka[1,2], Radek Červinka[1], Václav Ficaj[2], Daniel Kahuda[2], Pavel Pech[2]

[1]DEKONTA, a.s., Volutová 2523, 158 00 Praha 5, kukacka@dekonta.cz
[2]Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6

Abstrakt: V rámci projektu RADOIL byla vyvinuta a ověřena metodika rychlého screeningu lokalit kontaminovaných ropnými látkami s využitím měření objemové aktivity radonu (OAR) v půdním vzduchu. Metoda vychází z preferenčního rozpouštění radonu v organických kapalných fázích (NAPL), které se v terénu projevuje snížením OAR nad oblastmi výskytu volné ropné fáze. Terénní ověření na lokalitách v jižních Čechách, v Jaroměři a Vamberku ukázalo, že nejlépe interpretovatelné výsledky vznikají ve středně až vysoce plynopropustných a geologicky homogenních zeminách při jednotné odběrové hloubce. Součástí řešení je program, který vyhodnocuje měřená data pomocí percentilových a prostorově kontextových statistických metod a generuje mapové i tabulkové výstupy. Metoda nenahrazuje přímý průzkum, ale umožňuje rychle vytipovat prioritní zóny pro následné ověření.

Abstract: As part of the RADOIL project, a methodology is being developed and verified for rapid screening of sites contaminated by petroleum hydrocarbons using soil-gas radon activity measurements. The approach is based on preferential partitioning of radon into non-aqueous phase liquids (NAPL), which can be observed in the field as a decrease in soil-gas radon activity above areas with free oil phase. Pilot testing at three Czech sites showed that the most reliable interpretation is obtained in moderately to highly gas-permeable and geologically homogeneous soils with a consistent sampling depth. The project also includes a statistical tool that processes field data using percentile-based and spatial statistical methods and generates tabular and map outputs. The method is intended as a screening tool for selecting priority areas for direct verification.

Klíčová slova: radon; OAR; půdní vzduch; NAPL; ropné látky; screening kontaminace; RADOIL

Key words: radon; soil-gas radon activity; soil-gas; NAPL; petroleum hydrocarbons; contamination screening; RADOIL

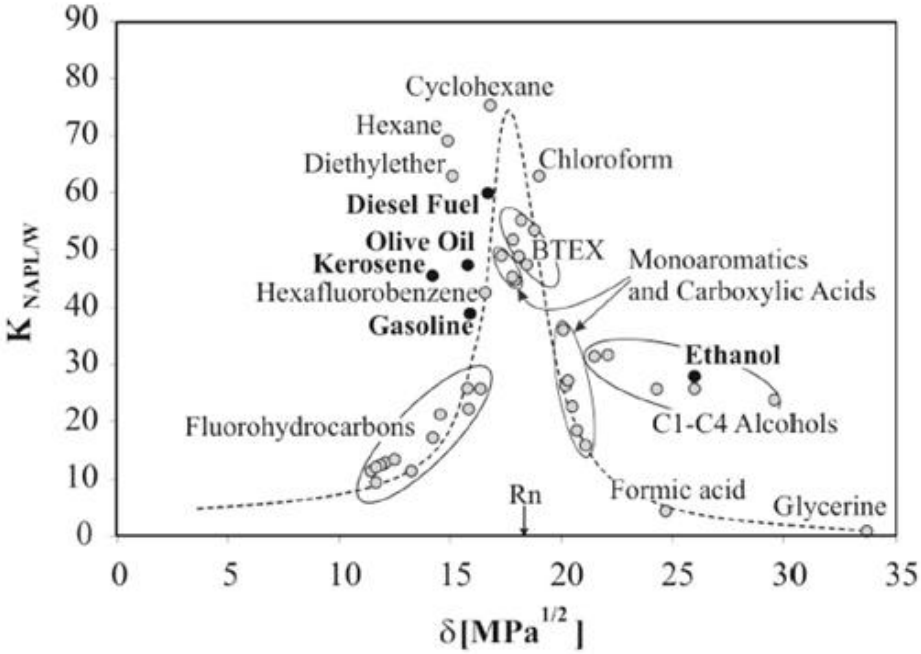
1. Úvod

Ropné látky ve formě volné fáze představují na kontaminovaných lokalitách dlouhodobý zdroj znečištění podzemních vod a horninového prostředí. Jejich vymezení je obvykle založeno na vrtném průzkumu, vzorkování zemin a podzemních vod a měření mocnosti fáze ve vrtech. Tyto postupy poskytují přímý důkaz kontaminace, jsou však časově i finančně náročnější a jejich prostorové rozlišení je omezeno počtem měřených bodů.
Projekt RADOIL (TAČR, SS07010398) se zaměřil na vývoj metodiky, která využívá radon jako přirozený stopovač pro rychlé nepřímé vymezení míst s pravděpodobným výskytem ropných látek. Cílem není nahradit detailní průzkum, ale doplnit jej o plošný screening, který umožní racionálně naplánovat navazující vrtné a analytické práce. Na řešení projektu se podílela společnost DEKONTA, a.s. jako hlavní řešitel a Česká zemědělská univerzita v Praze jako spoluřešitel.
Základní výhodou navrhovaného postupu je rychlé terénní nasazení, relativně nízké náklady a možnost vyhodnotit plošné rozložení nízkých hodnot OAR v pravidelné síti měřicích bodů. V případě vhodných geologických podmínek a dostatečné plynopropustnosti zemin lze výsledky využít k vytipování hotspotů, optimalizaci polohy ověřovacích sond a k opakovanému monitoringu změn v čase.

2. Princip metody

Radon je radioaktivní vzácný plyn vznikající v přirozených rozpadových řadách uranu a thoria. Do půdního vzduchu se uvolňuje emanací z minerálních zrn a jeho transport probíhá difuzí a konvekcí. Koncentrace radonu v půdním vzduchu, vyjadřovaná jako objemová aktivita radonu (OAR), závisí na geologickém podloží, plynopropustnosti, vlhkosti, meteorologických podmínkách a homogenitě prostředí, ve kterém je měřen.
Využití radonu pro indikaci ropných látek vychází z rozdílného rozdělovacího koeficientu radonu mezi vodou, půdním vzduchem a organickou kapalnou fází. Radon se ve srovnání s vodou a vzduchem výrazně preferenčně

rozpouští v ropných látkách. V pórovém prostředí s přítomností ropných látek se proto část radonu zachytává v kontaminantu a nad kontaminačním mrakem se může projevit pokles OAR. Prostorový obraz kontaminace se tak v mapě OAR projevuje inverzně: potenciální výskyt volné fáze odpovídá zónám relativně nízkých hodnot vzhledem k lokálnímu pozadí.



Obr. 1 Rozdělovací koeficient pro radon mezi organickou kapalnou fází (NAPL) a vodou (Schubert et al., 2007).
Fig. 1 Partition coefficient of radon between non-aqueous phase liquid (NAPL) and water (Schubert et al., 2007).

3. Terénní postup a podmínky použitelnosti

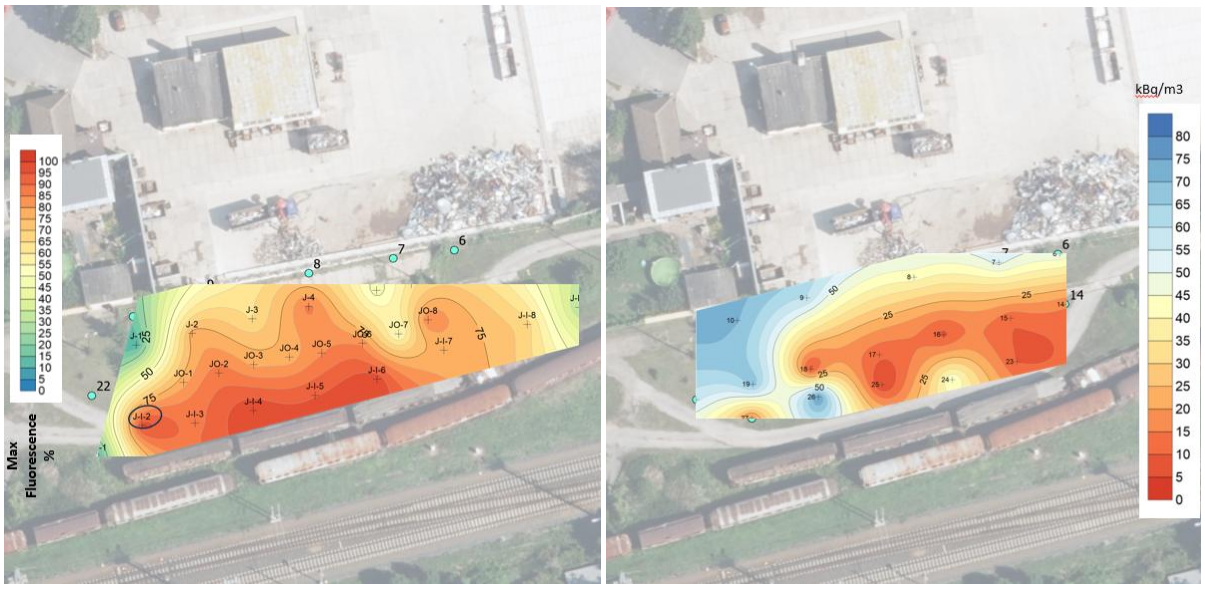
Terénní měření OAR vychází z postupů používaných při stanovení radonového indexu pozemku dle metodiky SÚJB (SÚJB, 2004). Půdní vzduch se odebírá z maloprůměrových zarážených odběrových tyčí do velkoobjemové stříkačky a následně se převádí do měřicí komory nebo do přístroje pro stanovení OAR. V rámci projektu RADOIL byl používán měřicí systém RM-2 a doplňkově byla posuzována plynopropustnost zemin, mimo jiné pomocí přístroje RADON-JOK. Pro referenční ověření skutečného rozsahu NAPL byly využívány přímé metody, zejména měření fáze v monitorovacích vrtech a vertikální profilování pomocí OIP (Optical Image Profiling - profilování pomocí optické fluorescence).

Obr. 2 Přístrojové vybavení v rámci projektu RADOIL (vlevo měřicí systém OAR RM-2, vpravo přístroj RADON-JOK pro měření plynopropustnosti).
Fig. 2 Measurement equipment used within the RADOIL project (left radon monitor RM-2, right RADON-JOK for soil-gas permeability measurement).

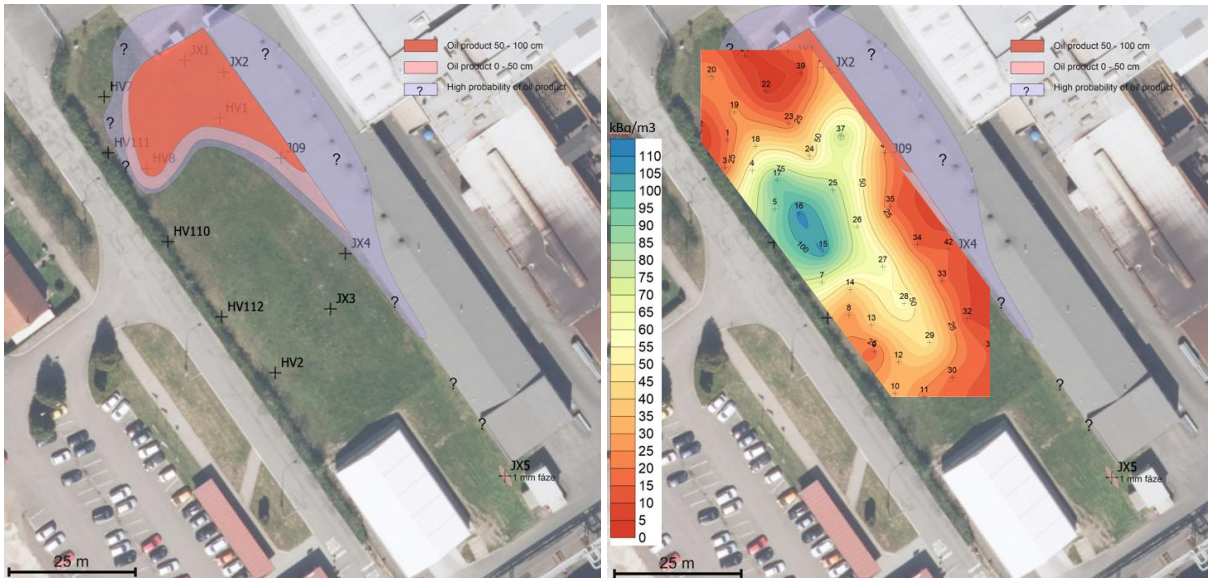
Doporučené terénní uspořádání tvoří pravidelná síť měřicích bodů, typicky 10 × 10 m nebo podrobnější. Z výsledků pilotních měření vyplývá, že pro reprezentativní statistické vyhodnocení je vhodné pracovat alespoň se 40 body a s plochou přibližně 2700 až 2800 m². Síť lze podle potřeby zahušťovat, zejména v blízkosti předpokládaných zdrojových oblastí nebo na okrajích zjištěných anomálií.
Za standardní odběrovou hloubku se považuje 0,8 m pod terénem. Tato hloubka omezuje vliv přisávání atmosférického vzduchu a lépe odpovídá postupům pro měření radonu v půdním vzduchu. Důležité je dodržet stejné podmínky měření ve všech bodech měřicí sítě.
Použitelnost metody je zásadně ovlivněna plynopropustností zemin a geologickou homogenitou lokality. Vhodné jsou zejména středně až vysoce plynopropustné zeminy bez výrazných litologických změn v rámci měřené plochy. Nízká plynopropustnost může znemožnit odběr půdního vzduchu, zvýšit rozptyl naměřených hodnot a vést k nespolehlivé interpretaci. Z hlediska kontaminace jsou vhodnější lokality se souvislým a plošně významným výskytem NAPL než lokality s izolovanými a nesouvislými ohnisky.

4. Pilotní ověření metody

Metoda byla ověřována na třech pilotních lokalitách s rozdílnými geologickými a kontaminačními podmínkami. Lokalita v jižních Čechách v blízkosti Milevska byla vybrána kvůli historickému úniku ropných látek na produktovodu. Průzkumné práce zde zahrnovaly 108 vytyčených bodů v síti přibližně 10 × 10 m, opakovaná měření OAR, atmogeochemické měření, OIP profilování a odběr vzorků zemin na ropné látky C_{10}-C_{40}. OIP a laboratorní analýzy potvrdily lokální výskyt kontaminace převážně naftového charakteru, místy v řádu tisíců mg/kg. Interpretaci OAR však komplikovaly nízká plynopropustnost a vysoká variabilita měření.
Na lokalitě Jaroměř (obr. 3) byla metoda testována v prostoru staré ekologické zátěže související s bývalým skladem pohonných hmot a železničním stáčištěm. Geologické prostředí tvoří zejména fluviální štěrkopísky a navážky nad křídovými slínovci, plynopropustnost byla většinově vysoká. Výsledky měření OAR ukázaly zóny poklesu, které dobře odpovídaly oblastem s vysokou fluorescencí z profilování OIP. Přestože zjištěná mocnost ropné fáze byla nízká, přibližně v řádu milimetrů, prostorová shoda nízkých hodnot OAR s referenčními daty potvrdila využitelnost metody i při nízkém radonovém indexu.
Třetí pilotní lokalitou byl areál společnosti Řetězy Vamberk spol. s r.o. (obr. 4), kde se vyskytuje plošně souvislá kontaminace minerálním olejem na hladině podzemní vody. V roce 2025 proběhly dvě kampaně měření OAR v březnu (měření v hloubce 0,8 m p.t.) a květnu (měření v hloubce 0,5 m p.t.), vždy na 40 bodech. Kampaň provedená v hloubce 0,8 m poskytla přesnější shodu mezi poklesem OAR a zónami výskytu ropné fáze (obr. 4) než pozdější měření v hloubce 0,5 m. Lokalita Vamberk ukázala, že i při vyšší variabilitě hodnot (koeficient variace 78 % při měření v hloubce 0,8 m p.t.) může standardní odběrová hloubka přinášet robustnější interpretační výsledek než mělký odběr s rizikem přisávání vzduchu (koeficient variace 53 % v hloubce 0,5 m p.t.).



Obr. 3 Zóny poklesu OAR na lokalitě Jaroměř (vpravo, červeně) a zóny výskytu volné ropné fáze (vlevo, červeně).
Fig. 3 Zones of decreased soil-gas radon activity at the Jaroměř site (right, red colour) and zones of oil phase occurrence (left, red colour).



Obr. 4 Zóny poklesu OAR na lokalitě Vamberk (vpravo, červeně) a zóny výskytu volné ropné fáze (vlevo, červeně).
Fig. 4 Zones of decreased soil-gas radon activity at the Vamberk site (right, red colour) and zones of oil phase occurrence (left, red colour).

5. Statistické vyhodnocení naměřených hodnot OAR

Statistické vyhodnocení naměřených dat má hlavní cíl – identifikovat body nebo souvislé oblasti s nízkými hodnotami OAR („pokles OAR“), které mohou indikovat přítomnost NAPL. Na základě výsledků testování v rámci výzkumného projektu RADOIL byly identifikovány následující statistické metody vyhodnocení naměřených dat:

1) Prahování pomocí percentilů (bodový přístup)

Nejjednodušší postup vychází z percentilů naměřeného souboru hodnot OAR. Zvolený percentil slouží jako limitní práh pro označení „nízkých“ hodnot. Body s OAR ≤ práh jsou označeny jako anomální a indikují přítomnost NAPL na zkoumané lokalitě. Tento přístup je vhodný pro rychlou orientaci, ale nezohledňuje prostorové souvislosti a může být citlivý na lokální chyby nebo na heterogenitu.

2) Prostorově kontextové metody (nejbližší sousedé)

Pro zvýšení robustnosti a zachycení souvislých zón poklesu OAR se využívají metody založené na prostorovém kontextu – kombinují hodnotu v bodě s hodnotami nejbližších sousedů. V projektu RADOIL byly testovány zejména:

- percentily z průměrů „čtverců“ čtyř nejbližších bodů (4 body): pro každý bod se vyberou 4 nejbližší body podle eukleidovské vzdálenosti v rovině (X, Y):

  $$d = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}$$

  Z vybraných bodů se vypočte průměr; průměr se porovná s percentilovým prahem,
- analogické výpočty jako výše popsaná metoda, ale pro 3 nebo 2 nejbližší body (vyšší citlivost na lokální pokles, ale vyšší náchylnost na šum),
- 3 body menší než percentil: v okolí čtyř nejbližších bodů se ověřuje, zda alespoň tři body mají OAR pod stanoveným prahem; pokud ano, celá skupina je označena jako anomální s indikací NAPL.

V rámci snahy nalézt optimální metodu pro vyhodnocování naměřených hodnot OAR byly v řešení projektu RADOIL testovány všechny popsané metody. Byla testována robustnost detekce oblastí výskytu volné ropné fáze pro jednotlivé metody, aby se zvýšila spolehlivost interpretace výsledků a snížilo riziko chyb způsobených náhodnými výkyvy v datech. Pro vyhodnocení nejvýhodnějších statistických přístupů byly použity pilotní lokality se známým rozsahem ropné fáze na hladině podzemní vody, aby bylo možné ověřit správnost statistického vyhodnocení. Pro nalezení optimální vyhodnocovací metody byl vždy hodnocen:

- počet správně určených bodů uvnitř skutečné oblasti výskytu volné fáze (správná detekce),

- počet bodů určených příslušnou metodou jako přítomnost volné fáze, avšak mimo skutečnou oblast výskytu volné ropné fáze (falešné detekce),
- počet bodů, které jsou ve skutečné oblasti volné ropné fáze, ale metoda je neidentifikovala (falešně negativní detekce).

Jako nejvíce robustní metody pro správnou identifikaci výskytu NAPL na kontaminované lokalitě pomocí měření OAR jsou na základě výsledků projektu RADOIL doporučeny následující statistické metody:

I. **Percentily z bodů – 50 percentil -** velmi vysoký počet identifikovaných bodů uvnitř skutečné oblasti NAPL; vhodné pro agresivnější detekci, pokud je akceptovatelná vyšší míra tzv. falešné detekce mimo oblast NAPL (~30–40 %).

II. **Percentily z bodů – 20 percentil -** bezpečnější volba s nízkou mírou tzv. falešné detekce; vhodné jako výchozí nastavení při přísnějším prahu.

III. **3 body menší než percentil – 50 percentil -** vysoký rozdíl mezi správně určenými a falešně detekovanými body, tzv. nejlepší kompromis, falešné detekce do 40 %.

Výše popsané 3 nejlépe vypovídající statistické metody jsou součástí metodiky RADOIL jako hlavní nástroje pro vyhodnocení naměřených OAR při detekci NAPL na kontaminované lokalitě.

6. Interpretační poznatky a možnosti uplatnění metody

Pilotní ověření ukázalo, že samotná úroveň přírodního radonového pozadí nemusí být rozhodujícím faktorem pro použitelnost metody. Lokality Jaroměř a Vamberk měly nízký radonový index, přesto byly výsledky dobře interpretovatelné. Důležitější se ukázaly dostatečná plynopropustnost, souvislost výskytu NAPL, jednotná odběrová hloubka a geologická homogenita měřené plochy.

Lokalita v jižních Čechách potvrdila limitaci metody v prostředí s nízkou plynopropustností a prostorově omezeným výskytem kontaminace. Naproti tomu Jaroměř a Vamberk ukázaly, že v propustnějších sedimentech lze zóny poklesu OAR vztáhnout k ověřenému výskytu ropných látek. Nejlépe interpretovatelný byl scénář s plošně souvislejší volnou fází, protože zóna poklesu OAR je v takovém případě stabilnější než u izolovaných ohnisek.

Při použití této metody je nutné počítat s tím, že nízké hodnoty OAR mohou být způsobeny i jinými faktory než přítomností NAPL. Může jít o litologickou změnu, lokálně nižší zdroj radonu, změnu vlhkosti, nízkou plynopropustnost, chybu odběru nebo přisávání atmosférického vzduchu. Z tohoto důvodu musí být metoda RADOIL chápána jako screeningová a prioritizační. Potvrzení kontaminace musí probíhat přímou metodou, například vrtným průzkumem nebo měřením volné fáze fázoměrem.

Metoda RADOIL by mohla být využitelná především v počátečních fázích průzkumu lokalit s již známou nebo pravděpodobnou kontaminací ropnými látkami. Umožňuje rychle zmapovat větší plochu a vytipovat místa, kde je účelné soustředit detailní průzkum. Může také být vhodným podkladem pro optimalizaci sítě ověřovacích vrtů a sond, protože pomáhá omezit počet náhodně umístěných bodů.

Další možností je opakovaný monitoring lokalit se známým výskytem NAPL. Za předpokladu stejné sítě bodů, stejné odběrové hloubky, obdobných klimatických podmínek a shodného statistického vyhodnocení by bylo možné sledovat změny rozsahu zón poklesu OAR. Zmenšování anomální oblasti může indikovat úbytek volné fáze, zatímco její rozšiřování nebo posun může upozornit na migraci kontaminačního mraku.

Praktickým výstupem projektu RADOIL je metodika nepřímého měření kontaminace ropnými látkami pomocí přirozeného stopovače Rn.

Poděkování: Projekt RADOIL – Měření radonu v půdním vzduchu jako indikátor výskytu kontaminace ropnými látkami, č. SS07010398, byl spolufinancován s podporou Technologické agentury České republiky v rámci programu Prostředí pro život.

Seznam literatury

Schubert, M., Lehmann, K., Paschke, A., 2007: The partition coefficient of radon between water and fuel oil model mixtures and its use for the assessment of subsurface NAPL contamination. Science of the Total Environment, 376, 306316.

SÚJB, 2004: Doporučení SÚJB - Stanovení radonového indexu pozemku, DR-RO-5.0 (Rev. 2.2). Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha.

UDRŽITELNÁ SANACE KONTAMINACÍ PFAS: TECHNOLOGIE, ROZHODOVACÍ PROCESY A PROVEDITELNOST

Petr Kvapil[1], Jan Hocke[1], Jaroslav Nosek[2], Václav Šrédl[1]

1: Photon Water technology s. r. o.

2: Technická Univerzita Liberec

PFAS představují rozsáhlou skupinu extrémně stabilních a obtížně odbouratelných látek, jejichž fyzikálně-chemické vlastnosti zásadně určují jejich transportní chování v horninovém prostředí. Na letištích, kde byly po desetiletí používány v hasicích pěnách a souvisejících technologiích, vytvářejí složité kontaminační scény propojující antropogenní zdroje s pestrými hydrogeologickými podmínkami. Výsledkem jsou rozsáhlé kontaminační mraky, jejichž migrace je citlivá na jemné rozdíly v litologii, propustnosti i režimu podzemních vod. Současně jde o látky, které se ocitají v centru environmentálního výzkumu a regulačních úvah, a to nejen kvůli své perzistenci, ale i kvůli rostoucím požadavkům na monitorování, hodnocení rizik a volbu udržitelných sanačních přístupů. V přednášce proto spojíme teoretický pohled na PFAS s aplikacemi na letištích – od charakterizace zdrojových oblastí přes interpretaci hydrogeologických dat až po kritické kroky rozhodovacího procesu, studie proveditelnosti a udržitelnosti, které určují, zda bude sanace reálně proveditelná, ekonomicky únosná a environmentálně obhajitelná.

VYUŽITIE REŽIMOVÝCH MERANÍ PRI HODNOTENÍ VPLYVOV BANSKEJ ČINNOSTI NA KVALITU VÔD V PODMIENKACH DYNAMICKÉHO HORSKÉHO PROSTREDIA

APPLICATION OF TIME-SERIES MONITORING FOR ASSESSING THE IMPACT OF MINING ACTIVITIES ON WATER QUALITY IN A DYNAMIC MOUNTAIN ENVIRONMENT

Slavomír Mikita

HYGEKO, s.r.o., Švarca 10095/6A, 97613 Slovenská Ľupča, Slovensko, e-mail: mikita@hygeko.sk

Abstrakt: Režimové merania predstavujú významný nástroj na identifikáciu a interpretáciu časovo premenlivých zmien kvality vôd v územiach ovplyvnených banskou činnosťou. Predovšetkým v podmienkach dynamického horského prostredia umožňujú zachytiť krátkodobé kontaminačné impulzy viazané na zrážkovo-odtokové udalosti a zmeny režimu prúdenia podzemnej vody, ktoré pri konvenčnom diskontinuálnom monitoringu často zostávajú nezaznamenané. Príspevok prezentuje možnosti využitia analýzy časových radov hladiny podzemnej vody, prietokov a mernej elektrickej vodivosti pri hodnotení vzťahov medzi hydrologickými udalosťami a odozvou kvality vôd. Prístup je demonštrovaný na lokalite po bývalej banskej činnosti Rákoš, kde priesakové vody z haldového telesa predstavujú hlavný zdroj kontaminácie povrchového toku a potenciálne ovplyvňujú aj podzemné vody jeho inundačného územia. Výsledky režimového monitorovania preukázali výraznú časovú variabilitu sledovaných parametrov závislú od klimatických podmienok a epizodických zrážkových udalostí. Identifikácia týchto procesov umožňuje objektívnejšie hodnotenie vplyvov banskej činnosti na vodnú zložku životného prostredia a poskytuje spoľahlivejší podklad na posúdenie environmentálnych rizík.

Abstract: Time-series monitoring represents an important tool for identifying and interpreting temporal variations in water quality in areas affected by mining activities. Particularly in dynamic mountain environments, it enables the detection of short-term contamination pulses associated with rainfall-runoff events and changes in groundwater flow conditions that often remain undetected by conventional discontinuous monitoring. This paper presents the application of time-series analyses of groundwater levels, stream discharge and specific electrical conductivity to evaluate the relationships between hydrological events and water quality responses. The approach is demonstrated at the former mining site of Rákoš, where seepage from a waste rock dump represents the principal source of contamination to the receiving stream and may also affect groundwater within its floodplain. The results of the monitoring revealed pronounced temporal variability of the monitored parameters controlled by climatic conditions and episodic rainfall events. Identification of these processes provides a more objective basis for assessing the impacts of mining activities on the aquatic environment and supports a more reliable evaluation of environmental risks.

Kľúčové slová: režimové merania, kvalita vôd, banská činnosť, horské prostredie, podzemná voda

Key words: time-series monitoring, water quality, mining activities, mountain environment, groundwater

1. Úvod

Environmentálne záťaže predstavujú z hydrogeologického hľadiska veľmi heterogénnu skupinu lokalít, ktorých správanie je podmienené kombináciou geologických, hydrogeologických, hydrogeochemických a klimatických faktorov. Zatiaľ čo niektoré hydrogeologické systémy vykazujú dlhodobo stabilný režim podzemných vôd, v prostredí s plytkým obehom podzemnej vody, výraznou morfológiou reliéfu a úzkym hydraulickým prepojením podzemných a povrchových vôd dochádza k rýchlym zmenám hydraulických aj hydrochemických pomerov. Takéto podmienky sú typické najmä pre horské oblasti ovplyvnené historickou banskou činnosťou, kde intenzívne zrážky, povodňové epizódy alebo rýchle topenie snehu významne ovplyvňujú mobilizáciu a transport kontaminantov.

S rastúcim dôrazom na hodnotenie environmentálnych rizík sa pozornosť výskumu presúva od samotného zisťovania koncentrácií znečisťujúcich látok k pochopeniu procesov, ktoré riadia ich mobilizáciu, transport, transformáciu a výslednú expozíciu receptorov. Súčasné poznatky poukazujú na význam krátkodobých hydrologických udalostí (hot moments), počas ktorých môže dochádzať k intenzívnej mobilizácii kontaminantov, pričom tieto procesy bývajú pri klasickom periodickom monitorovaní zachytené len obmedzene (McClain et al., 2003). Rozvoj kontinuálneho monitorovania podzemných vôd zároveň ukazuje, že vysokofrekvenčné merania umožňujú identifikovať krátkodobé zmeny hydrochemických parametrov a časové väzby medzi hydraulickou odozvou kolektora a kvalitou podzemnej vody, ktoré pri diskontinuálnom vzorkovaní často zostávajú neidentifikované (Saraceno et al., 2018; Mathany et al., 2019). Tieto poznatky podporujú rozvoj monitorovacích

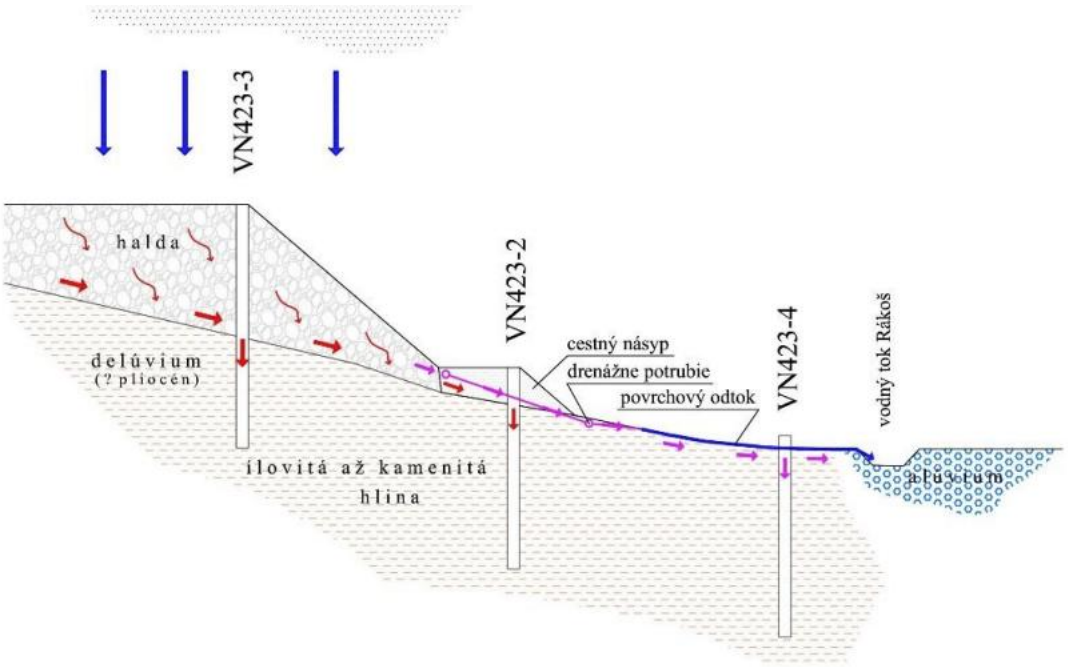
prístupov orientovaných na pochopenie procesov využívajúcich režimové merania na lepšie pochopenie dynamiky hydrogeologických systémov.
Hoci sa jednotlivé lokality environmentálnych záťaží líšia geologickou stavbou, charakterom kontaminácie aj hydrogeologickými pomermi, lokality s obdobnými hydrogeologickými charakteristikami vykazujú spoločné procesy riadiace transport kontaminantov. Ich spoľahlivé hodnotenie si preto vyžaduje monitorovací prístup zohľadňujúci časovú dynamiku hydrogeologického systému, ktorý umožňuje pochopiť väzby medzi hydrologickými udalosťami, transportom kontaminantov a odozvou kvality vôd.
Cieľom príspevku je na prípadovej štúdii lokality Rákoš prezentovať možnosti využitia režimového monitorovania hladiny podzemnej vody, mernej elektrickej vodivosti a prietokov pri identifikácii procesov ovplyvňujúcich transport kontaminantov v hydrogeologickom systéme narušenom historickou banskou činnosťou. Príspevok zároveň poukazuje na význam procesne orientovanej interpretácie monitorovacích údajov pri spresňovaní koncepčného modelu lokality a objektívnejšom hodnotení environmentálnych rizík.

2. Metodika

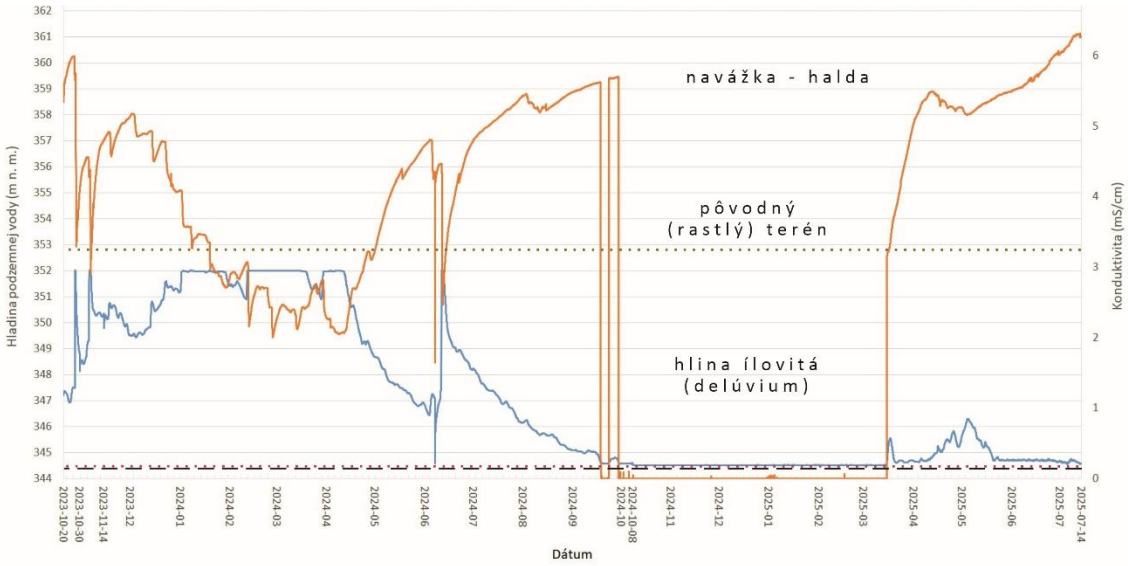
Príspevok vychádza z výsledkov režimového monitorovania lokality environmentálnej záťaže **RA (2104) – Rákoš, štôlne a haldy**. Lokalita predstavuje typický príklad dynamického hydrogeologického systému s plytkým obehom podzemnej vody, výrazným hydraulickým prepojením podzemných a povrchových vôd a historickou banskou činnosťou, pri ktorej priesakové vody z haldového telesa predstavujú významný zdroj kontaminácie recipientu.
Metodika hodnotenia vychádzala z predpokladu, že zmeny kvality vôd sú výsledkom dynamických procesov prebiehajúcich v hydrogeologickom systéme, ktorých identifikácia si vyžaduje spoločnú interpretáciu hydrologických, hydrogeologických a hydrochemických údajov. Na tento účel boli využité časové rady režimových meraní hladiny podzemnej vody a mernej elektrickej vodivosti, doplnené o údaje o zrážkových úhrnoch, prietokoch povrchového toku a výsledky pravidelného monitorovania chemického zloženia podzemných, povrchových a priesakových vôd.
Interpretácia bola založená na vzájomnom porovnaní časových radov jednotlivých monitorovaných parametrov s cieľom identifikovať väzby medzi hydrologickými udalosťami, hydraulickou odozvou systému a zmenami kvality vôd. Osobitná pozornosť bola venovaná mechanizmom mobilizácie a transportu kontaminantov, časovej odozve jednotlivých zložiek hydrogeologického systému a spresneniu koncepčného modelu lokality ako podkladu na hodnotenie environmentálnych rizík.

3. Výsledky

Kontinuálne monitorovanie umožnilo podrobne charakterizovať hydraulický režim lokality a časový vývoj hydrochemických pomerov vo vrte VN423-3. V porovnaní s periodickým vzorkovaním poskytli kontinuálne merania informácie o priebehu zmien hladiny podzemnej vody a mernej elektrickej vodivosti počas hydrologických udalostí.
Na základe syntézy geologických podkladov, výsledkov režimového monitorovania a priestorového usporiadania monitorovacích objektov bol spresnený koncepčný hydrogeologický model lokality (Obr. 1), ktorý znázorňuje hlavné cesty infiltrácie zrážkových vôd, tvorby priesakových vôd a ich transportu z haldového telesa do deluviálnych sedimentov a recipientu.
Vo vrte VN423-3 boli počas monitorovania zaznamenané výrazné zmeny hladiny podzemnej vody s rýchlymi vzostupmi po intenzívnejších zrážkových udalostiach a následnou postupnou recesiou (Obr. 2). Súčasne boli pozorované zmeny mernej elektrickej vodivosti, ktorých priebeh vykazoval odlišnú dynamiku ako zmeny hladiny podzemnej vody. Počas väčšiny monitorovaného obdobia sa hladina podzemnej vody nachádzala pod geologickým rozhraním medzi haldovým telesom a deluviálnymi sedimentmi, pričom hodnoty mernej elektrickej vodivosti zostávali zvýšené.
Najvýraznejšie zmeny boli zaznamenané počas významných hydrologických udalostí, keď po prudkom vzostupe hladiny podzemnej vody nasledovala zmena mernej elektrickej vodivosti a počas následnej recesie dochádzalo k jej postupnému návratu na hodnoty charakteristické pre obdobia nízkych hladín podzemnej vody. Kontinuálne merania tak umožnili zachytiť časové väzby medzi hydraulickou a hydrochemickou odozvou hydrogeologického systému, ktoré pri periodickom vzorkovaní nie je možné identifikovať.



Obr. 1. Koncepčný model prúdenia podzemnej vody a transportu priesakových vôd na lokalite Rákoš.
Fig. 1. Conceptual model of groundwater flow and seepage water transport at the Rákoš site.



Obr. 2 Časový priebeh hladiny podzemnej vody a mernej elektrickej vodivosti vo vrte VN423-3.
Fig. 2 Time series of groundwater level and electrical conductivity in monitoring well VN423-3.

4. Diskusia

Výsledky monitorovania potvrdili, že hydraulická a hydrochemická odozva sledovaného hydrogeologického systému neprebiehajú súčasne ani rovnakým spôsobom. Zatiaľ čo hladina podzemnej vody reagovala na významné zrážkové udalosti rýchlymi vzostupmi a následnou recesiou, vývoj mernej elektrickej vodivosti vykazoval odlišný časový priebeh. Táto skutočnosť poukazuje na to, že hydrochemické pomery nie sú riadené iba zmenou hladiny podzemnej vody, ale odrážajú aj zmeny hydraulických podmienok a mechanizmov transportu v hydrogeologickom systéme.

Zvýšené hodnoty mernej elektrickej vodivosti boli zaznamenané aj počas období, keď sa hladina podzemnej vody nachádzala pod geologickým rozhraním medzi haldovým telesom a deluviálnymi sedimentmi. Tento poznatok podporuje predpoklad hydraulického prepojenia monitorovaného vrtu s priesakovými vodami pochádzajúcimi z haldového telesa. Súčasne naznačuje, že transport kontaminovaných vôd nie je podmienený iba plošným

zvodnením haldy, ale môže prebiehať aj prostredníctvom lokálnych preferenčných prúdových ciest alebo kontaktných zón s vyššou hydraulickou vodivosťou.

Význam kontinuálneho monitorovania spočíva predovšetkým v možnosti sledovať časový vývoj jednotlivých procesov. Kým periodické vzorkovanie poskytuje informáciu o stave systému v konkrétnom okamihu, kontinuálne merania umožňujú identifikovať hydraulické udalosti, ich trvanie, intenzitu a následnú hydrochemickú odozvu. Takto získané informácie predstavujú dôležitý podklad pre spresňovanie koncepčných hydrogeologických modelov a správnu interpretáciu mechanizmov transportu kontaminantov.

Uvedený prístup je významný najmä na lokalitách s dynamickým režimom podzemných vôd, kde krátkodobé hydrologické udalosti môžu podstatne ovplyvňovať mobilizáciu kontaminantov a ich transport do povrchových vôd. V takýchto podmienkach nemusí periodické monitorovanie zachytiť rozhodujúce fázy vývoja systému, čo môže viesť k neúplnej interpretácii výsledkov alebo podhodnoteniu environmentálnych rizík. Kontinuálne monitorovanie preto predstavuje vhodný nástroj na identifikáciu procesov, ktoré riadia správanie hydrogeologického systému počas extrémnych hydrologických situácií.

5. Záver

Kontinuálne monitorovanie na lokalite Rákoš umožnilo zachytiť časové väzby medzi hydraulickou odozvou hydrogeologického systému a zmenami hydrochemických pomerov, ktoré pri periodickom monitorovaní nie je možné spoľahlivo identifikovať. Získané výsledky prispeli k spresneniu koncepčného hydrogeologického modelu lokality a lepšiemu pochopeniu mechanizmov transportu kontaminantov.

Skúsenosti z monitorovania potvrdzujú, že pri dynamických hydrogeologických systémoch predstavuje kontinuálne monitorovanie účinný nástroj na interpretáciu procesov ovplyvňujúcich kvalitu vôd a môže významne prispieť k objektívnejšiemu hodnoteniu environmentálnych rizík a návrhu monitorovacích opatrení.

Poďakovanie: Príspevok vznikol v rámci riešenia projektu APVV-21-0212 Vybrané environmentálne záťaže ako stresový faktor ovplyvňujúci biodiverzitu a zdravotné riziká pre exponované skupiny obyvateľstva, podporeného Agentúrou na podporu výskumu a vývoja. Výsledky prezentované v príspevku vychádzajú z kontinuálneho monitorovania realizovaného na lokalite Rákoš v spolupráci so Štátnym geologickým ústavom Dionýza Štúra.

Zoznam literatúry

Mathany T. M., Saraceno J. F., Kulongoski J. T., 2019: *Guidelines and standard procedures for high-frequency groundwater-quality monitoring stations—Design, operation, and record computation.* – U.S. Geological Survey, Techniques and Methods 1–D7, Reston.

McClain M. E., Boyer E. W., Dent C. L., Gergel S. E., Grimm N. B., Groffman P. M., Hart S. C., Harvey J. W., Johnston C. A., Mayorga E., McDowell W. H., Pinay G., 2003: *Biogeochemical hot spots and hot moments at the interface of terrestrial and aquatic ecosystems.* – Ecosystems 6, str. 301–312.

Saraceno J. F., Kulongoski J. T., Mathany T. M., 2018: *A novel high-frequency groundwater quality monitoring system.* – Environmental Monitoring and Assessment 190, 477.

SANACE NÁSLEDKŮ HAVÁRIE VLAKU S BENZENEM V HUSTOPEČÍCH NAD BEČVOU

REMEDIATION OF THE CONSEQUENCES OF THE TRAIN ACCIDENT WITH BENZENE IN HUSTOPEČE NAD BEČVOU

Milan Horák[1], Martin Popl[1], Ondřej Urban[1] a kol., DEKONTA, a.s.

[1]) DEKONTA, a.s., Dřetovice 109, 27342 Stehelčeves, e-mail: horak@dekonta.cz

Abstrakt:
V únoru 2025 došlo v železniční stanici Hustopeče nad Bečvou k havárii nákladního vlaku, při níž uniklo přibližně 250 tun benzenu do horninového prostředí. Havárií bylo zasaženo území o rozloze přibližně 45 000 m², nacházející se v bezprostřední blízkosti ekosystému řeky Bečvy. Bezprostředně po stabilizaci požáru byly zahájeny havarijní práce zaměřené na omezení další migrace kontaminace. Klíčovým opatřením první etapy bylo vybudování podzemní štětové stěny, která hydraulicky uzavřela nejvíce kontaminované území a vytvořila tzv. izolovanou oblast (IO). Od května 2025 probíhají na lokalitě havarijně-sanační práce zahrnující čerpání a cyklické promývání saturované zóny v IO, přičemž kontaminované vody jsou čištěny na velkokapacitních filtrech s aktivním uhlím. V oblastech vně IO byly na odtokových liniích vybudovány sorpční bariéry z koloidního aktivního uhlí. V současné době zde probíhají sanační práce za použití metod in situ chemické oxidace (ISCO) a podporované aerobní biodegradace.

Abstract:
In February 2025, a freight train accident occurred at the Hustopeče nad Bečvou railway station, during which approximately 250 tons of benzene leaked into the environment. The accident affected an area of approximately 45,000 m², located in the immediate vicinity of the Bečva River ecosystem. Emergency work was initiated immediately after the fire was stabilized, aimed at limiting further migration of contamination. The key measure of the first stage was the construction of an underground sheet pile wall, which hydraulically closed the most contaminated area and created the so-called isolated area (IO). Since May 2025, emergency remediation work has been underway at the site, including pumping and cyclic washing of the saturated zone in the IO, with contaminated water being cleaned on large-capacity activated carbon filters. In areas outside the IO, sorption barriers made of colloidal activated carbon were built on the drain lines. Currently, remediation work is underway using in situ chemical oxidation (ISCO) and assisted aerobic biodegradation methods.

Klíčová slova:
Benzen, havárie, sanace, biodegradace, ISCO

Key words:
Benzene, accident, remediation, biodegradation, ISCO

1. Úvod

V únoru 2025 došlo v železniční stanici Hustopeče nad Bečvou k mimořádné havárii nákladního vlaku převážejícího benzen. Do horninového prostředí následně uniklo přibližně 250 tun této vysoce rizikové látky.

Rozsahem úniku i charakterem zasaženého území se jednalo o jednu z nejvýznamnějších ekologických havárií svého druhu ve střední Evropě. Kontaminace zasáhla území o rozloze přibližně 45 000 m² tvořené převážně velmi propustnými fluviálními štěrky a písky, které jsou hydraulicky propojeny s vodními plochami okolních štěrkoven a s řekou Bečvou.

Nejbližší vodní plocha se nachází pouze přibližně 80–100 m od místa havárie, což představovalo vysoké riziko rychlé migrace kontaminace.

Bezprostředně po požáru byly zahájeny havarijní a sanační práce koordinované HZS ČR, ČIŽP, Správou železnic a později státním podnikem DIAMO. Sanační zásah realizovala společnost DEKONTA, a.s.

V průběhu roku 2025 a první poloviny roku 2026 byly postupně aplikovány a dále doplňovány sanační technologie založené na hydraulické izolaci, čerpání kontaminovaných vod, sorpce na aktivním uhlí a navazující chemické oxidace a biodegradace.

2. Charakteristika benzenu

Benzen (C_6H_6) je aromatický uhlovodík široce využívaný v petrochemickém a chemickém průmyslu. Zároveň se jedná o látku s významnými toxikologickými riziky.

Benzen je těkavý, vysoce hořlavý a dobře migruje horninovým prostředím i podzemní vodou. Z hlediska klasifikace je veden jako prokázaný lidský karcinogen skupiny 1A. Dlouhodobá expozice může vést zejména k poškození krvetvorby a zvýšenému riziku leukémií.

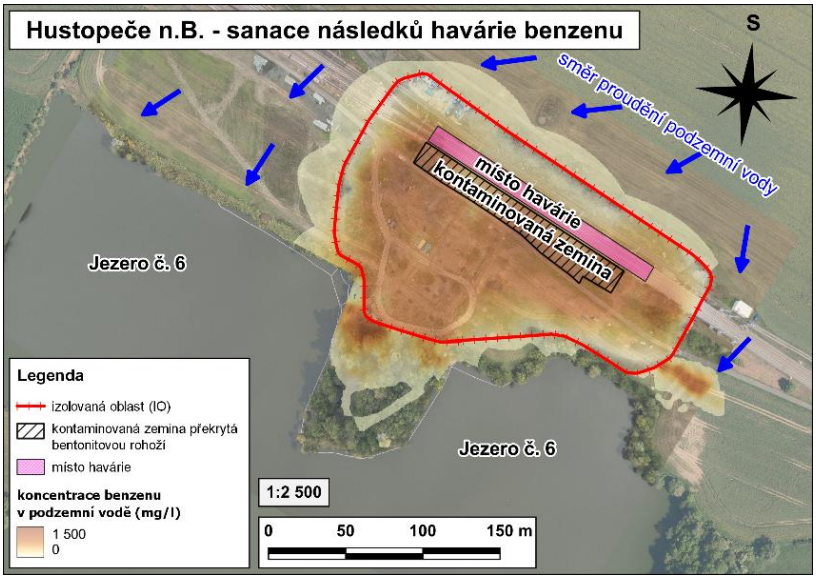
Na lokalitě se významně projevily fyzikálně-chemické vlastnosti benzenu – nižší hustota oproti vodě (LNAPL), relativně nízká viskozita a současně poměrně vysoká rozpustnost. Tyto vlastnosti umožnily rychlé šíření jak ve formě volné fáze na hladině podzemní vody, tak i ve formě rozpuštěné kontaminace.

3. Stabilizace území a vytvoření izolované oblasti

Krátce po stabilizaci požáru byly zahájeny práce směřující k omezení další migrace znečištění. Z důvodu časové naléhavosti byl prvotní průzkum prováděn pomocí kopaných sond a přímých metod typu MIP (Membrane Interface Probe), které umožnily rychle vymezit oblasti s nejvyšší koncentrací benzenu.

Klíčovým opatřením bylo vybudování podzemní štětové stěny, která hydraulicky oddělila nejvíce kontaminovanou část území a vytvořila tzv. izolovanou oblast (IO).

Tím došlo k zásadnímu omezení šíření kontaminace směrem k řece Bečvě a okolním vodním plochám. V rámci IO se podařilo zachytit převážnou část uniklého benzenu (95-98% uniklého množství) a tím vytvořit podmínky pro řízenou sanaci a významně snížit riziko kontaminace řeky Bečvy a na ní navázaných ekosystémů.



Obr. 1 Zjednodušené schéma lokality
Fig. 1 Simplified site diagram

4. Sanační práce uvnitř izolované oblasti

Uvnitř izolované oblasti byl vybudován rozsáhlý sanační systém založený na kontinuálním čerpání podzemní vody a jejím následném čištění na filtrech s granulovaným aktivním uhlím.

Do poloautomatického systému bylo zapojeno 20 vrtů vybavených horními i spodními čerpadly. Čerpaná voda byla sváděna do akumulační nádrže a následně vedena přes sestavu velkokapacitních adsorpčních filtrů.

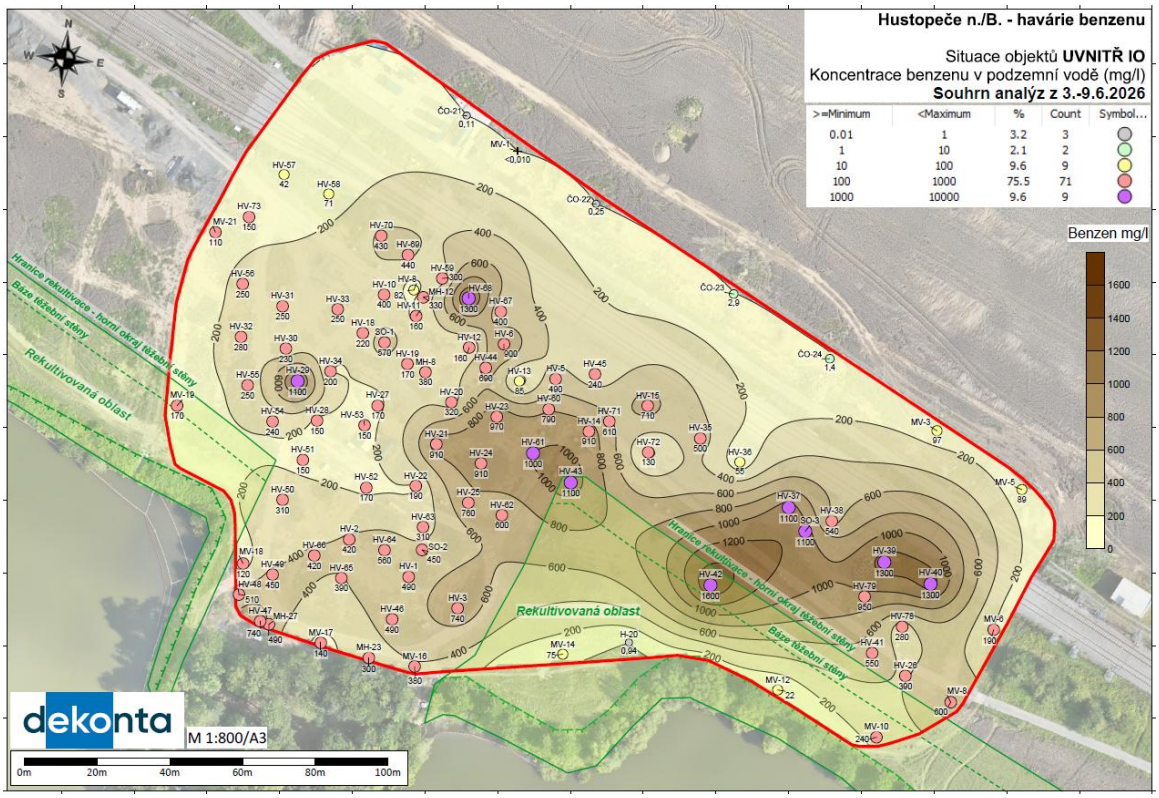
Provoz systému byl v roce 2026 optimalizován tak, aby bylo možné cyklicky měnit hladinu podzemní vody v IO. Řízené snižování a následné zvyšování hladiny podporovalo rozpouštění zbytkové volné fáze benzenu zachycené v pórech horninového prostředí a vedlo k efektivními navýšení účinnosti sanačního čerpání.

Od zahájení sanačních prací v 3/2025 do 06/2026 bylo v rámci IO přečištěno více než 125 000 m³ podzemních vod a odstraněno přibližně **170 tun** benzenu, z toho téměř **67 tun** prostřednictvím filtrů s aktivním uhlím.

Monitoring současně potvrzuje, že koncentrace uvnitř IO postupně klesají, i když v některých částech přetrvávají vysoké obsahy rozpuštěného benzenu v důsledku pokračujícího rozpouštění zbytkové fáze. Množství podzemních vod v kolektoru uzavřeném štětovou stěnou (cca 700 m a 28 000 m^2) lze odhadovat cca na 25–30 tis. m^3. Do června 2026 tedy byl tento objem vyčerpán a přečištěn zhruba 5krát, přesto aktuální koncentrace na vstupu do filtrů AU dosahují

0,3 – 0,5 g/l, přičemž při zvýšení hladiny v IO na úroveň hladiny při havárii vlaku dochází cyklicky i ke zvýšení koncentrací benzenu v čerpané vodě. To je důkazem přítomnosti zbytkové volné fáze v pórech v zóně kolísání hladiny podzemní vody a dalšího rozpouštění.

Obr. 2 Systém velkokapacitních filtrů s AU
Fig. 2 Large-capacity filter system with AC



Obr. 3 Koncentrace benzenu uvnitř štětové stěny v červnu 2026
Fig. 3 Benzene concentration inside the IO in June 2026

5. Sanační práce mimo izolovanou oblast

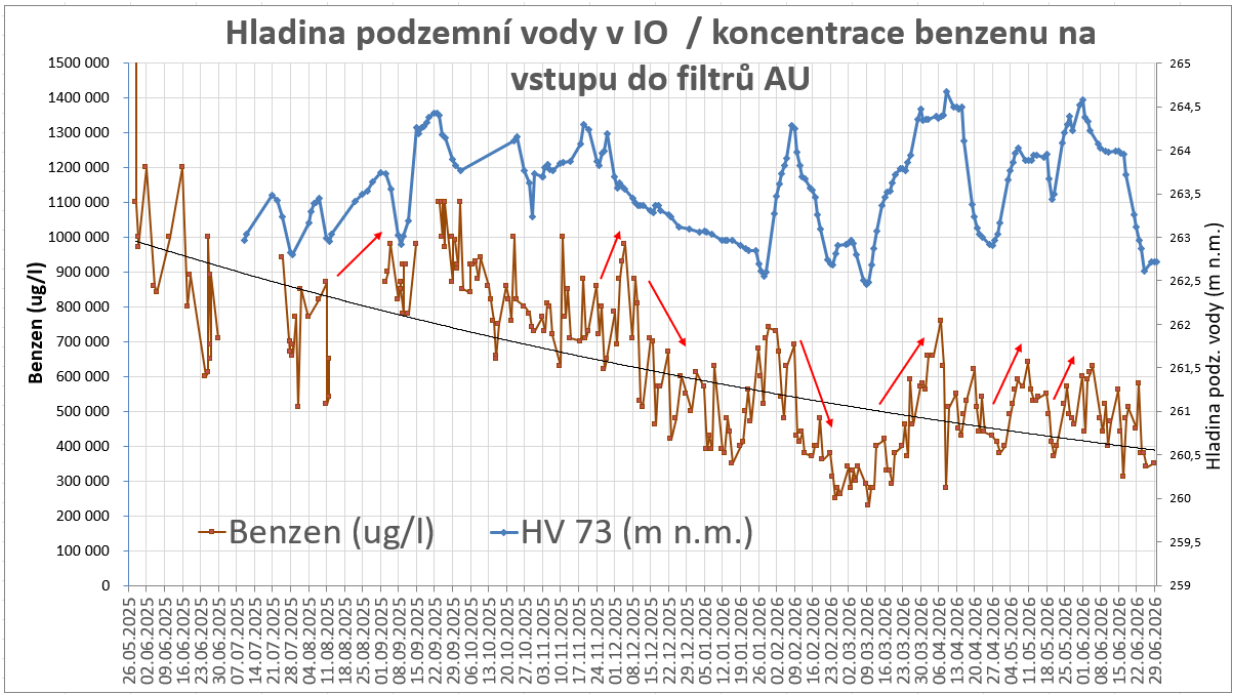
Průzkum provedený v roce 2025 prokázal, že část kontaminace unikla mimo izolovanou oblast ještě před dokončením štětové stěny. Nejvýznamnějšími oblastmi mimo IO jsou tzv. poloostrov a východní ohnisko.

Na poloostrově byly nejprve realizovány aplikace koloidního aktivního uhlí (KAU), které vytváří sorpční bariéru pro omezení šíření rozpuštěného benzenu. Současně byly v exponovaných částech instalovány sanační a monitorovací vrty a probíhalo ochranné čerpání.
V březnu 2026 proběhla nultá a první kampaň ISCO (in situ chemické oxidace). Technologie byla založena na aplikaci peroxidu vodíku aktivovaného nanočásticemi železa a síranem železnatým.
Pilotní výsledky prokázaly velmi vysokou účinnost zejména v západní části poloostrova, kde došlo ke snížení koncentrací benzenu až o několik řádů. V některých vrtech poklesly koncentrace ze stovek tisíc µg/l na stovky až jednotky µg/l.
Na východním byla v květnu zahájena první kampaň ISCO a v návazností rovněž biodegradace v jižní části V-ohniska (oddělené linií z KAU), kde se nachází koncentrace benzenu do 50 mg/l.

Obr. 4 a 5 Bioreaktor pro aplikaci biodegradace in situ a isokontejner na H_2O_2 pro chemickou oxidaci ISCO
Fig. 4 and 5 Bioreactor for in situ biodegradation application and H_2O_2 isocontainer for chemical oxidation ISCO

6. Výsledky monitoringu a provozu

V průběhu sanačních prací probíhá kontinuální monitoring podzemních i povrchových vod, sledování hladin podzemní vody a kontrola případného výskytu volné fáze benzenu.
Součástí kontrol během aplikací KAU a ISCO bylo také pravidelné monitorování okolních vodních ploch pomocí PID detektorů.
Dlouhodobé výsledky potvrzují, že se podařilo zabránit nekontrolovanému šíření kontaminace do řeky Bečvy i okolních štěrkoven.
Hydraulický režim sanace je průběžně upravován podle aktuální situace na lokalitě. Zvýšené hladiny vody v některých obdobích podporují rozpouštění zbytkového benzenu v zóně kolísání hladiny podzemní vody, což se následně projevuje dočasným nárůstem koncentrací v čerpaných vodách.



Obr. 6 Změny koncentrací benzenu při změnách hladiny uvnitř IO
Fig. 6 Changes in benzene concentrations with changes in the level inside the IO

7. Závěr

Přibližně rok po havárii lze konstatovat, že lokalita byla úspěšně hydraulicky stabilizována a podařilo se významně omezit riziko šíření kontaminace do okolního prostředí.

Probíhající sanační práce představují technicky i organizačně mimořádně náročný zásah, který kombinuje několik navazujících sanačních technologií.

První etapa sanace (ukončená k 07/2026) byla zaměřena především na odstranění volné fáze benzenu a snížení koncentrací rozpuštěné kontaminace v saturované zóně.

V navazujících etapách bude pokračovat chemická oxidace, biodegradace a sanace nesaturované zóny kombinací ventingu a ex situ dekontaminace zemin.

Lokalita zůstává pod intenzivním monitoringem a veškeré práce probíhají za přísných bezpečnostních podmínek odpovídajících toxicitě a výbušnosti benzenu.

Seznam literatury

DEKONTA (2025): Odstranění následků havárie Hustopeče nad Bečvou (1. etapa), Havarijně sanační projekt, revize 02. Praha

https://cs.wikipedia.org/wiki/Benzen

DEKONTA (2026): Odstranění následků havárie Hustopeče nad Bečvou – Zpráva z 0. a 1. kampaně ISCO, rev.02.

DEKONTA (2026): Shrnující zpráva za měsíc květen 2026.

LIKVIDACE NEPOTŘEBNÝH VRTŮ

REDUNDANT BOREHOLES DECOMMISSIONING

Martin Zrzavecký

Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4 – Komořany,
e-mail martin.zrzavecky@chmi.cz

Abstrakt: Nepotřebné hydrogeologické průzkumné vrty představují dlouhodobé riziko pro podzemní vody, zejména pokud nejsou řádně zabezpečeny nebo odborně zlikvidovány. Mohou vytvářet preferenční cesty pro migraci kontaminantů, hydraulicky propojovat zvodně nebo způsobovat neřízené odtoky podzemní vody. Problematické jsou především hluboké průzkumné vrty realizované během regionálních hydrogeologických průzkumů v 70. a 80. letech 20. století, u nichž často není znám vlastník ani odpovědný subjekt. Český hydrometeorologický ústav se problematikou jejich likvidace systematicky zabývá již od konce 80. let a od roku 2007 odborně zlikvidoval více než 500 monitorovacích a průzkumných vrtů. Příspěvek shrnuje dlouholeté technické, administrativní a majetkoprávní zkušenosti získané při realizaci těchto prací a upozorňuje na nejčastější překážky, které proces likvidace komplikují. Současně představuje nový program financovaný z Národního programu Životní prostředí, jehož cílem je podpořit likvidaci nepotřebných průzkumných hydrogeologických vrtů bez známého vlastníka nebo odpovědného subjektu. Program vytváří dosud chybějící mechanismus pro systematické odstraňování rizikových objektů a přispívá k dlouhodobé ochraně podzemních vod.

Abstract: Abandoned hydrogeological exploration boreholes represent a long-term risk to groundwater resources if they are not properly secured or professionally decommissioned. They may serve as preferential pathways for contaminant migration, hydraulically connect otherwise isolated aquifers, or cause uncontrolled groundwater discharge. Deep exploration boreholes drilled during regional hydrogeological surveys in the 1970s and 1980s are of particular concern, as many no longer have an identifiable owner or responsible authority. The Czech Hydrometeorological Institute has been systematically involved in the decommissioning of such boreholes since the late 1980s and has professionally decommissioned more than 500 monitoring and exploration boreholes since 2007. This paper summarizes the technical, administrative, and legal experience gained during these activities and discusses the main challenges associated with borehole decommissioning in the Czech Republic. It also presents a new programme funded under the National Programme Environment, which supports the decommissioning of abandoned hydrogeological exploration boreholes without a known owner or responsible entity. The programme provides a long-needed mechanism for the systematic elimination of hazardous boreholes and contributes to the long-term protection of groundwater resources.

Klíčová slova: podzemní vody, hydrogeologické vrty, likvidace vrtů, ochrana podzemních vod, Národní program Životní prostředí.

Key words: groundwater, hydrogeological boreholes, borehole decommissioning, groundwater protection, National Programme Environment.

1. Úvod

Monitorovací a průzkumné vrty, stejně jako studny a jímky, představují záměrný zásah do horninového prostředí, který s sebou nese dlouhodobou odpovědnost za stav a bezpečnost objektu. Pokud vrt přestane plnit svou funkci a není řádně zabezpečen nebo zlikvidován, může se stát významným hydrogeologickým rizikem. Nevystrojený nebo poškozený vrt funguje jako preferenční cesta pro kontaminanty z povrchu do hlubších zvodní, jež jsou za přirozených podmínek chráněny málo propustnými vrstvami. U přetokových artéských vrtů navíc dochází k neřízenému odtoku podzemní vody na povrch, čímž se narušuje přirozená hydraulická rovnováha. Nejzávažnější situaci představují hluboké vrty zasahující více zvodní — ty mohou způsobit jejich hydraulické propojení, změnu tlakových poměrů a zhoršení kvality podzemních vod, včetně ohrožení hlubokých kolektorů využívaných jako zdroje pitné vody.

2. Historické souvislosti

2.1 Průzkumné vrty z 70. a 80. let

V průběhu regionálních hydrogeologických průzkumů v 70. a 80. letech minulého století bylo realizováno na území dnešní České republiky velké množství průzkumných vrtů financovaných státem, prováděných organizacemi, které dnes většinou již neexistují. U řady těchto objektů není znám vlastník ani odpovědný subjekt.

Rovněž není jednoznačně vymezená odpovědnosti mezi resorty životního prostředí a zemědělství. Přitom se jedná o objekty často ve špatném technickém stavu, dosahující značných hloubek a zasahující více zvodní.

2.2 Vývoj likvidace vrtů v ČHMÚ

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) se problematikou likvidace nepotřebných vrtů zabývá systematicky již od konce 80. let minulého století, kdy mu byla v rámci hospodářské smlouvy předána skupina 281 hydrogeologických objektů určených k likvidaci, převážně hlubokých vrtů. V důsledku společenských a ekonomických změn po roce 1989 byla tato činnost na delší dobu přerušena a k jejímu obnovení došlo až po roce 2000. Od samého počátku se realizace likvidací potýkala s řadou praktických komplikací. Evidence předaných vrtů byla v mnoha případech pouze formální a neodpovídala skutečnému terénnímu stavu, takže před zahájením prací bylo nutné objekty složitě dohledávat. Část vrtů se nepodařilo lokalizovat vůbec — v terénu již nebyly patrné a způsob jejich zániku není znám. Další komplikací bylo zajišťování souhlasu vlastníků dotčených pozemků; u některých objektů se souhlas nepodařilo získat dodnes.
Postupně byly do programu zařazovány i objekty z vlastní monitorovací sítě ČHMÚ, u nichž technický stav neumožňoval bezpečný další provoz. Od roku 2007 bylo v rámci ČHMÚ odborně zlikvidováno více než 500 monitorovacích a průzkumných vrtů, přičemž přibližně třetinu tvořily hluboké vrty. Celkové náklady na tyto práce přesáhly 40 mil. Kč. Tyto zkušenosti — technické, administrativní i majetkoprávní — tvoří základ, z něhož ČHMÚ vychází při realizaci aktuálního programu.

Obr. 1 Realizace likvidačních prací zhavarovaného vrtu VP9507 Lanškroun.
Fig. 1 Decommissioning of the failed VP9507 Lanškroun borehole.

3. Současný program likvidace nepotřebných vrtů

3.1 Průzkumné vrty ze 70. a 80. let

V průběhu regionálních hydrogeologických průzkumů v 70. a 80. letech minulého století bylo realizováno na území dnešní České republiky velké množství průzkumných vrtů financovaných státem, prováděných organizacemi, které dnes většinou již neexistují. U řady těchto objektů není znám vlastník ani odpovědný subjekt. Rovněž není jednoznačně vymezená odpovědnosti mezi resorty životního prostředí a zemědělství. Přitom se jedná o objekty často ve špatném technickém stavu, dosahující značných hloubek a zasahující více zvodní.

3.2 Vývoj likvidace vrtů v ČHMÚ

V říjnu 2025 byla v rámci Národního programu Životní prostředí vyhlášena výzva Státního fondu životního prostředí ČR č. 23/2025, zaměřená na financování likvidace nepotřebných průzkumných hydrogeologických vrtů bez známého vlastníka nebo odpovědného subjektu. Oprávněným příjemcem podpory je ČHMÚ, který zajišťuje odbornou realizaci včetně souladu s platnou legislativou. Pro program je alokováno celkem 50 mil. Kč s možností čerpání do konce roku 2029. V návaznosti na vyhlášení výzvy oslovil ČHMÚ orgány státní správy a samosprávy

s žádostí o vytipování vhodných objektů. První termín pro podání návrhů byl stanoven na 31. 3. 2026, druhé kolo proběhne k 31. 10. 2026.

Obr. 2 Zcela nezajištěné vrty O-1 Osík a PK-1 Pekla, zařazené do projektu Likvidace nepotřebných vrtů v rámci výzvy SFŽP ČR č. 23/2025

Fig. 2 Unsecured O-1 Osík and PK-1 Pekla boreholes selected for decommissioning under Call No. 23/2025 of the State Environmental Fund of the Czech Republic

4. Závěr

Nový program představuje dosud chybějící nástroj pro systematické řešení rizikových objektů, jejichž likvidace dosud narážela především na nejasné vlastnictví a možnosti financování. Příspěvek shrnuje praktické zkušenosti ČHMÚ nabyté během několika desetiletí a diskutuje hlavní překážky, s nimiž se likvidace vrtů v českém prostředí potýká. Hlavním cílem příspěvku je informovat odbornou i správní veřejnost o aktuálních možnostech a zapojení do probíhajícího programu.

Poděkování: Příspěvek byl zpracován v rámci projektu Likvidace nepotřebných vrtů, realizovaném v návaznosti na výzvu č. 23/2025 Národního programu Životní prostředí.

Sekce 6

Termální, minerální a léčivé vody

APLIKOVANÉ SOMMELIÉRSTVÍ V HYDROGEOLOGII

APPLIED SOMMELIERSHIP IN HYDROGEOLOGY

David-Aaron Landa[2], Simona Mrázková[1], Žaneta Chudá[3], Eliška Cermanová[1]

[1] *Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, Praha 2, e-mail: simona.mrazkova@natur.cuni.cz*
[2] *Institut lázeňství a balneologie v. v. i., Závodní 353/88, Karlovy Vary, e-mail: landa@i-lab.cz*
[3] *1. Lékařská fakulta, Univerzita Karlova, Kateřinská 1660/32, Praha 2, e-mail: zaneta.chuda@email.cz*

Abstrakt: Organoleptické vlastnosti vody hrají zásadní roli nejen při výběru balené *minerálky* spotřebitelem, ale obecně při jakékoliv konzumaci pitných vod. V příspěvku jsou diskutovány výsledky tří ročníků Sommeliérských zkoušek, které každoročně probíhají na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy (158 respondentů) a dále výsledky dotazníkového šetření v rámci Geologického dne pořádaného Českou geologickou službou a v rámci Karlovarského mezinárodního festivalu pořádaného Institutem lázeňství a balneologie zaměřeného na posouzení nejchutnější minerální vody (261 respondentů). Ze získaných dat vyplývá, že při slepém testování vod hraje velkou roli i podvědomé uvažování ochutnávačů, přičemž se ukazuje, že v každodenním životě nejčastěji konzumovaná minerální voda nemusí být nutně hodnocena jako nejchutnější. I přesto, že jde o velmi náročnou zkoušku, což dokládá průměrné dosahované skóre cca 50 %, tak jsou ti nejlepší schopni správně rozpoznat všechny prameny z nabídky (slepá zkouška 15 vzorků), což svědčí o tom, že lze minerální vody skutečně organolepticky exaktně rozlišovat.

Abstract: The organoleptic properties of water play a fundamental role not only in consumers' selection of bottled mineral water but also in drinking water consumption in general. This paper discusses the results of three annual Water Sommelier Exams conducted at the Faculty of Science, Charles University (158 respondents), alongside findings from a questionnaire survey administered during the Geological Day (organized by the Czech Geological Survey) and the Karlovy Vary International Film Festival (organized by the Institute of Spa and Balneology), which focused on identifying the best-tasting mineral water (261 respondents). The acquired data indicate that tasters' subconscious reasoning plays a significant role in blind testing, revealing that the mineral water most frequently consumed in everyday life is not necessarily rated as the best-tasting. Although the exam is highly demanding—as evidenced by an average score of approximately 50%—top-performing individuals are capable of correctly identifying all offered springs (in a 15-sample blind test). This demonstrates that mineral waters can indeed be precisely differentiated through organoleptic evaluation.

Klíčová slova: Sommeliérství, Ochutnávka, dotazníkové šetření, balené minerální vody

Key words: Water sommelier, tasting, questionnaire survey, bottled mineral waters.

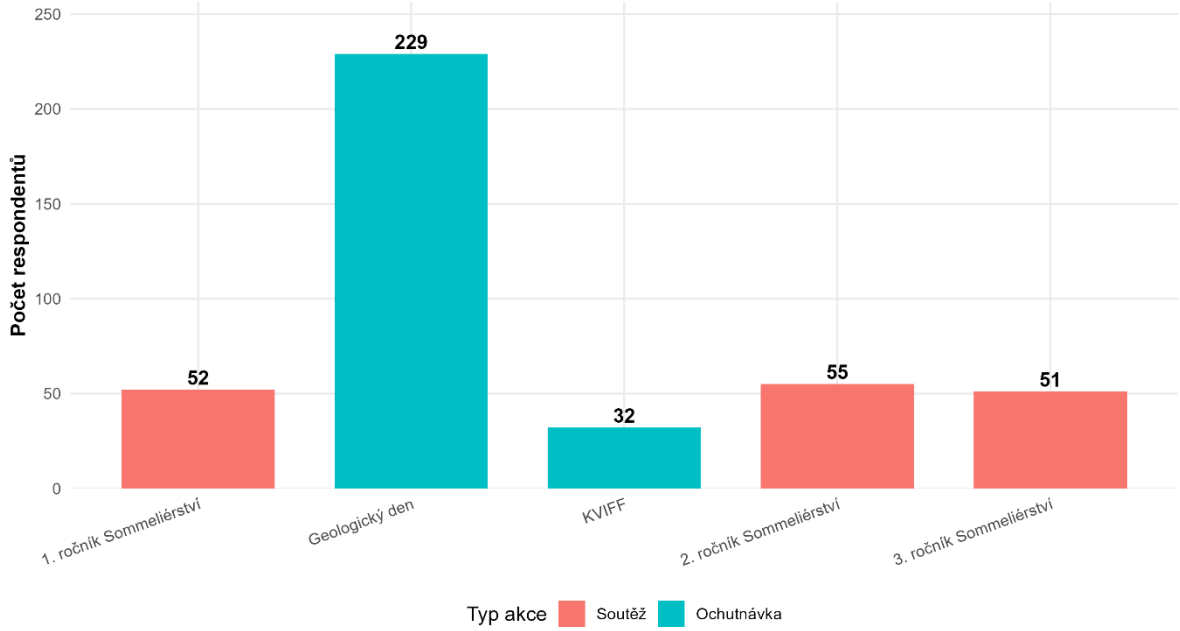
1. Úvod

Minerálním vodám je věnována značná veřejná i odborná pozornost. Běžnou součástí průzkumů minerálních vod jsou měření chemických či izotopických charakteristik, které v řadě případů slouží k vytvoření konceptuálního modelu proudění podzemních vod na dané lokalitě a následně umožňují stanovení ochranných pásem přírodních léčivých zdrojů aj. Mezi takové charakteristiky můžeme řadit i chuťové vlastnosti. Domníváme se však, že data nejsou dostatečně systematicky shromažďována a vyhodnocována, přestože by mohla být interpretována například pomocí upraveného Piperova diagramu. Pro ověření hypotézy, že lze vody skutečně spolehlivě určovat na základě organoleptických charakteristik, byly na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy uspořádány již tři ročníky slepých Sommeliérských zkoušek minerálních vod a dvě dotazníková šetření spojená s ochutnávkou vod. Dotazníkové šetření proběhlo v rámci Geologického dne v Praze na Klárově, který pořádá Česká geologická služba a v rámci Mezinárodního filmového festivalu Karlovy Vary (dále KVIFF), který pořádal Institut lázeňství a balneologie. Podstatou sommeliérských zkoušek je správně přiřadit 15 vzorků z každoročně obměněných vybraných minerálních vod z ČR a SR správnému zdroji minerální vody. Nejúspěšnější sommeliéři po vyhodnocení výsledků získají neformální certifikát Karlovy asociace ochutnávačů minerální vody. Lokalizace 33 ochutnávaných minerálních pramenů z celkem 5 událostí je patrna z obr. 1. Vody pro účely zkoušky jsou stáčeny výhradně přímo u pramene 1 den před konáním akce.

Obr. 1 Testované minerální vody.
Fig. 1 Tested mineral waters.

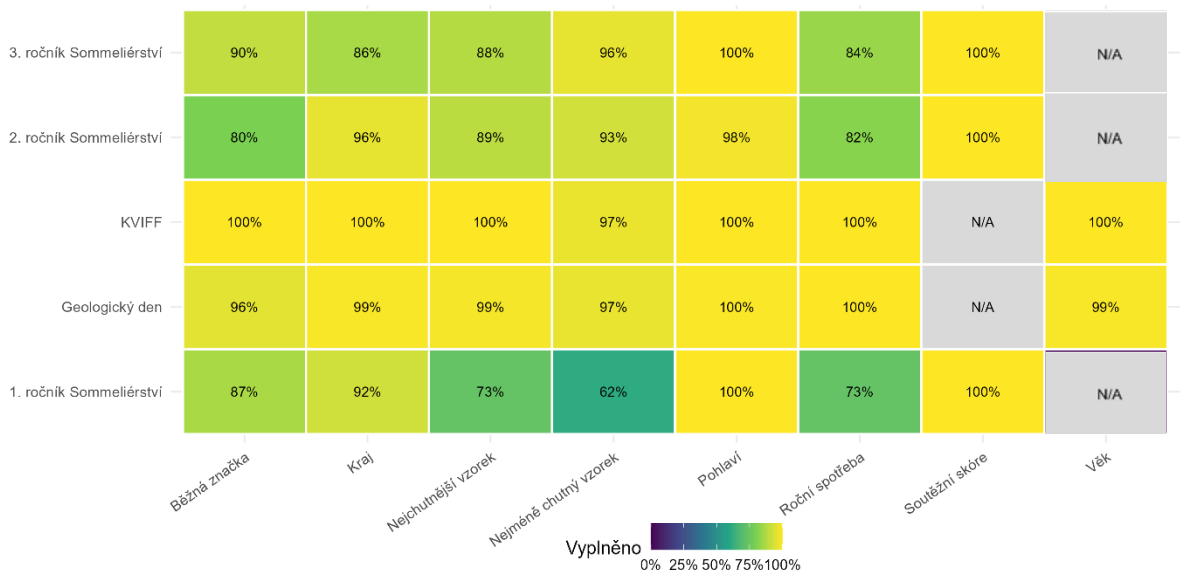
2. Datový soubor

Jak již bylo zmíněno, datový soubor se skládá ze 3 sommeliérských zkoušek (158 respondentů), jejichž podstatou je ke vzorkům vody správně přiřadit jejich název a ze dvou dotazníkových šetření (261 respondentů). Zastoupení respondentů v rámci dílčích událostí je patrné z obr. 2. Z něj vyplývá, že nejvyšší podíl respondentů připadá na Geologický den a nejmenší na KVIFF. Množství soutěžících je však meziročně téměř vyrovnané. Datový soubor zároveň vykazuje téměř vyrovnané zastoupení mužů i žen, což považujeme za důležité. Událostí se účastnilo celkem 204 žen (48,7 %) a 213 mužů (50,8 %), zbytek respondentů údaj nevyplnilo.



Obr. 2 Počet respondentů.
Fig. 2 Number of participants.

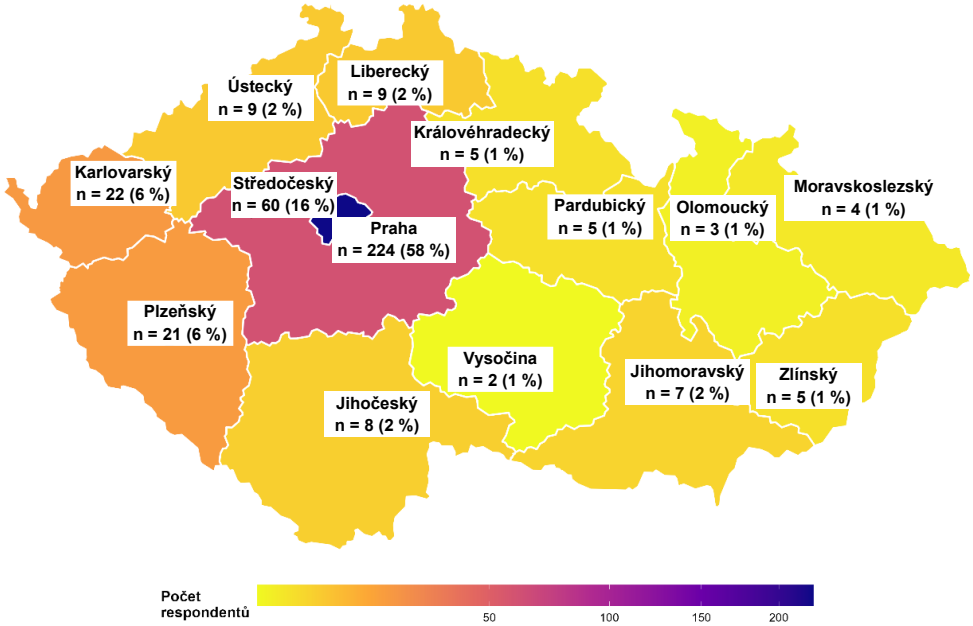
Získávání dat probíhalo v následujících kategoriích (viz obr. 3). Data byla získávána o běžně kupované značce, o kraji ze kterého účastník pocházel, o subjektivně posouzeném nejchutnějším a nejméně chutném vzorku, o pohlaví, o odhadu roční spotřeby minerální vody a věku, sommeliérské zkoušky přirozeně zahrnují i celkové dosažené skóre a samotnou sommeliérskou zkoušku. Údaj o věku nebyl v rámci zkoušek získáván. Podíl zodpovězených otázek je patrný z obr. 3. Z obrázku vyplývá, že vyplněnost dotazníků, resp. protokolů se pohybuje kolem 90 %. Nejnižší vyplněnost se týká nejméně chutného vzorku v rámci 1. ročníku sommeliérství.



Obr. 3 Vyplněnost dílčích položek dotazníků, resp. protokolů.

Fig. 3 Completion rate of partial items of questionnaires or protocols.

Za největší nedostatek lze považovat nerovnoměrné zastoupení respondentů v rámci krajů ČR. Zatímco z Prahy pocházelo 224 respondentů, tak z Kraje Vysočina pouze 2. Z tohoto důvodu je třeba závěry z prostorových analýz brát obezřetně. Zastoupení respondentů je patrné z obr. 4.

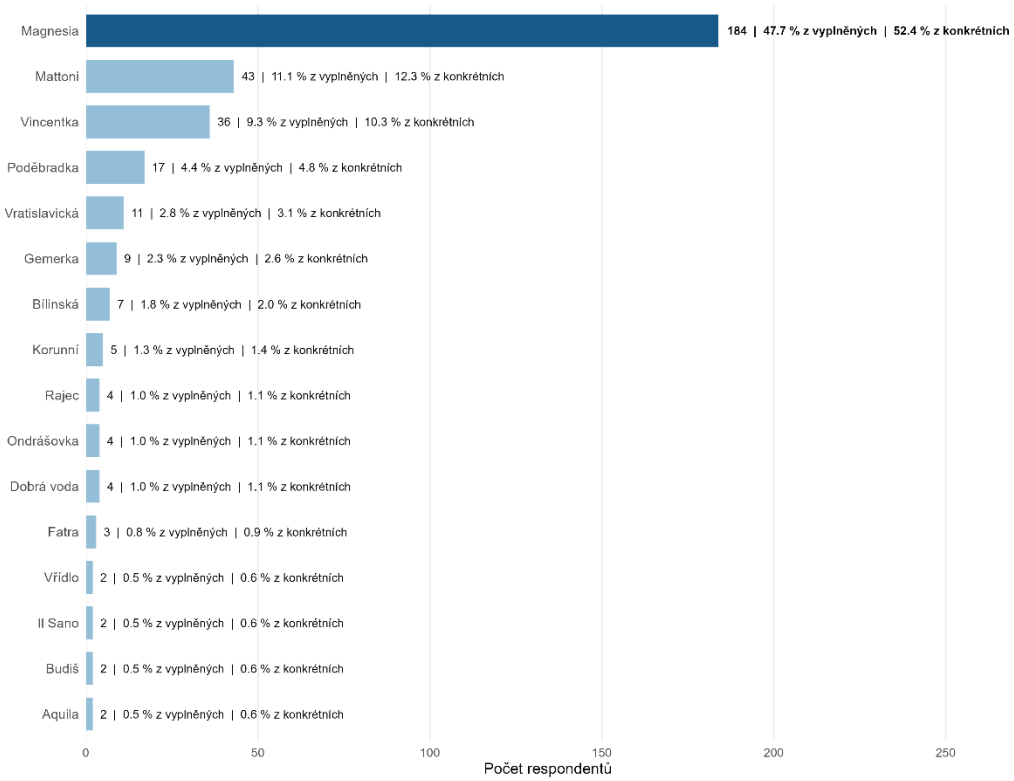


Obr. 4 Místní příslušnost respondentů.

Fig. 4 Locality of respondents.

3. Nejběžnější značka a přibližný konzumovaný objem minerální vody

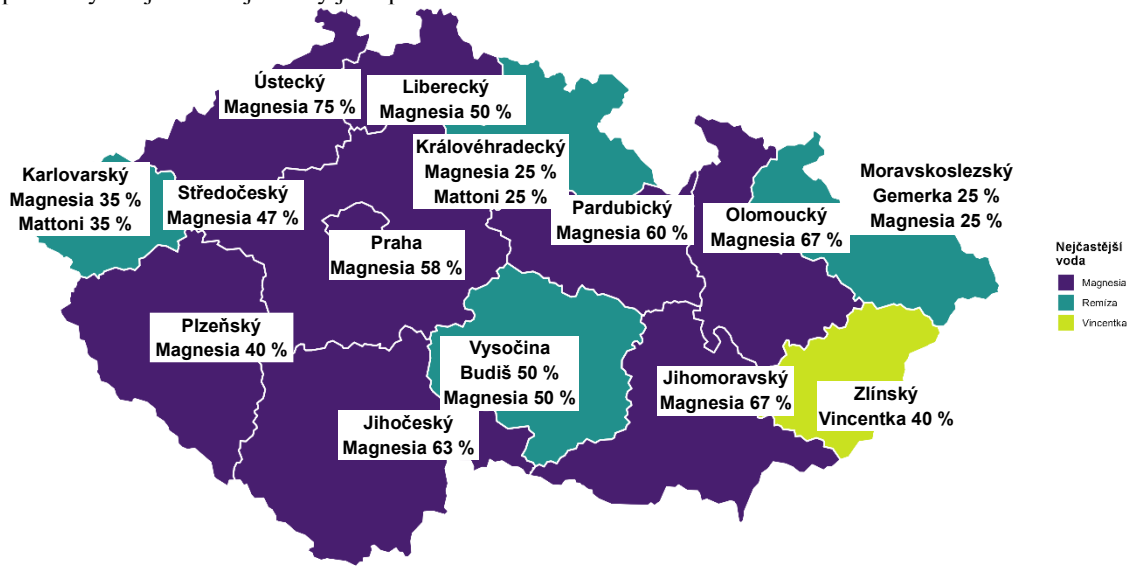
Za nejrozšířenější popíjenou minerální vodu mezi respondenty lze považovat s drtivým náskokem značku Magnesia, která se stáčí v prostoru mezi Mnichovem u Mariánských Lázní, Prameny a Loukou. Celkově ji za nejčastěji konzumovanou *minerálku* deklaruje 48 %, tj. 184 respondentů. Na druhém místě se umístila značka Mattoni, která se stáčí v okolí Kyselky u Karlových Varů. Jako nejčastěji pitou ji uvádí 11 %, tj. 43 respondentů. Když vezmeme v úvahu, že obě tyto značky vlastní společnost Mattoni 1873 (vč. Dobré vody, Aquily, Hanácké kyselky, Poděbradky, Mlýnského pramene a Tomy), tak se tato společnost podílí na trhu s minerálními vodami, dle preferencí respondentů, 65 %. Přirozeně svou roli může mít vysoká publicita zejména o značce Magnesia. To vede k tomu, že i přesto, že respondent tuto značku nejčastěji ve skutečnosti nepije, tak při tlaku o deklarování té nejčastější jako první uvede tu, která je nejvíce medializovaná – *respondenta napadne jako první*. Nejčastěji popíjené minerální vody jsou patrné z obr. 5.



Obr. 5 Nejběžnější značka minerální vody.

Fig. 5 The most common brand of mineral water.

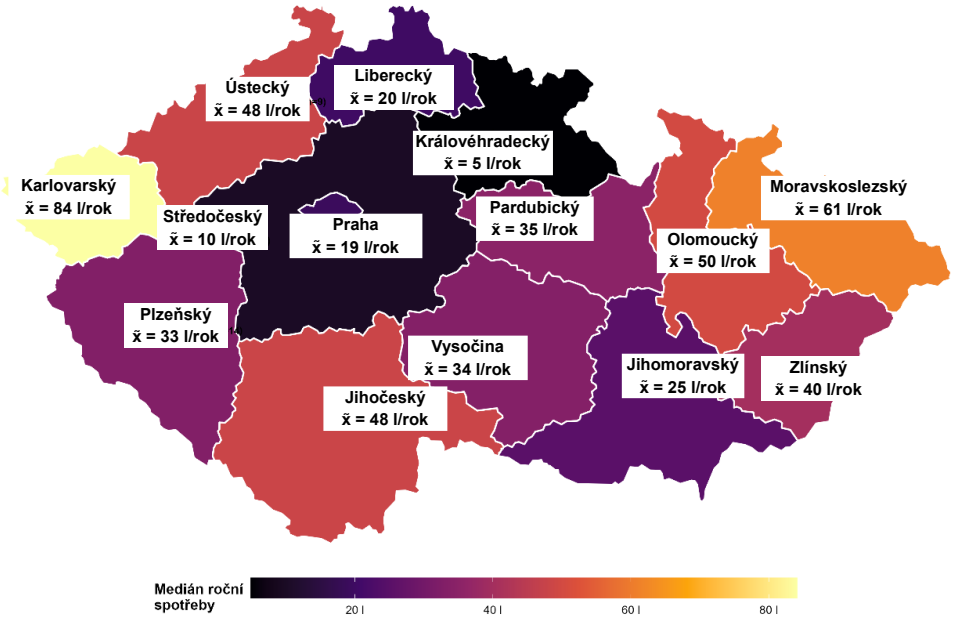
V tomto ohledu považujeme za zajímavé srovnat, která značka je nejoblíbenější v rámci dílčích krajů. Ve všech krajích s výjimkou Zlínského suverénně vyhrála Magnesia, popř. remizovala s konkurentem. Pouze ve Zlínském kraji vyhrála Vincentka. V tomto ohledu je však nutné podotknout, že velkou roli hraje nerovnoměrné pokrytí ČR respondenty. Nejoblíbenější vody jsou patrné z obr. 6.



Obr. 6 Nejběžnější značka minerální vody dle krajů.

Fig. 6 The most common brand of mineral water by region.

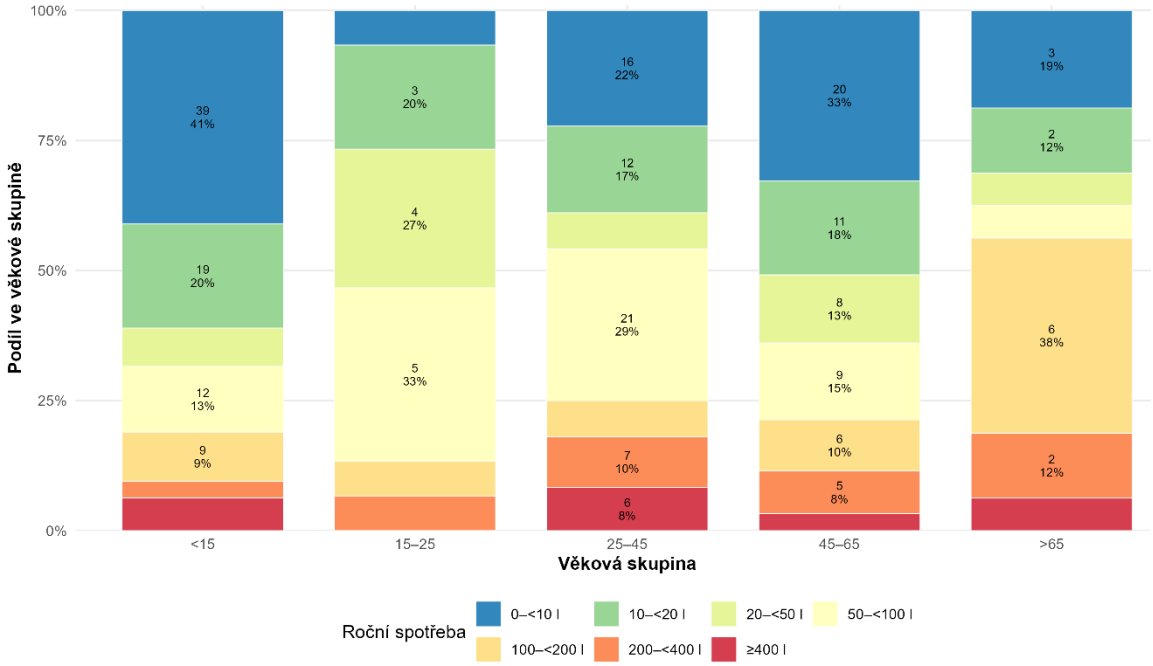
V této souvislosti je možné srovnat nejčastěji konzumovanou minerální vodou s ročním přibližným objemem minerálních vod. Z dat vyplývá, že mediánově nejméně jsou minerální vody konzumovány v Královéhradeckém kraji (n = 5), kde je roční konzumace cca 5 l/rok a naopak nejvyšší v Karlovarském kraji, kde je roční konzumace přes 80 l (n = 22). Jak již však bylo zmíněno, místní příslušnost respondentů není napříč kraji homogenní. Srovnání je patrné z obr. 7.



Obr. 7 Medián roční spotřeby minerální vody dle krajů.

Fig. 7 Median annual consumption of mineral water by region.

V rámci Geologického dne a KVIFF byla navíc při ochutnávce získávána data o věku. Z dat vyplývá, že nelze jednoznačně říci, že se vzrůstajícím věkem roste či klesá konzumace vody. Tomuto aspektu je vhodné věnovat pozornost do budoucna. Do této problematiky zcela jistě vstupuje subjektivní pocit množství minerální vody. Věková skupina pod 15 let bude jinak interpretovat roční spotřebu vody než skupina 15 až 25 let. Jistě by do budoucna bylo zajímavé zhodnotit současně nejen množství, ale i objem, jelikož např. Vincentky či Mlýnského pramene není respondent schopen konzumovat shodné množství ve srovnání s např. vodou Mattoni. Srovnání konzumovaného množství je patrné z obr. 8.



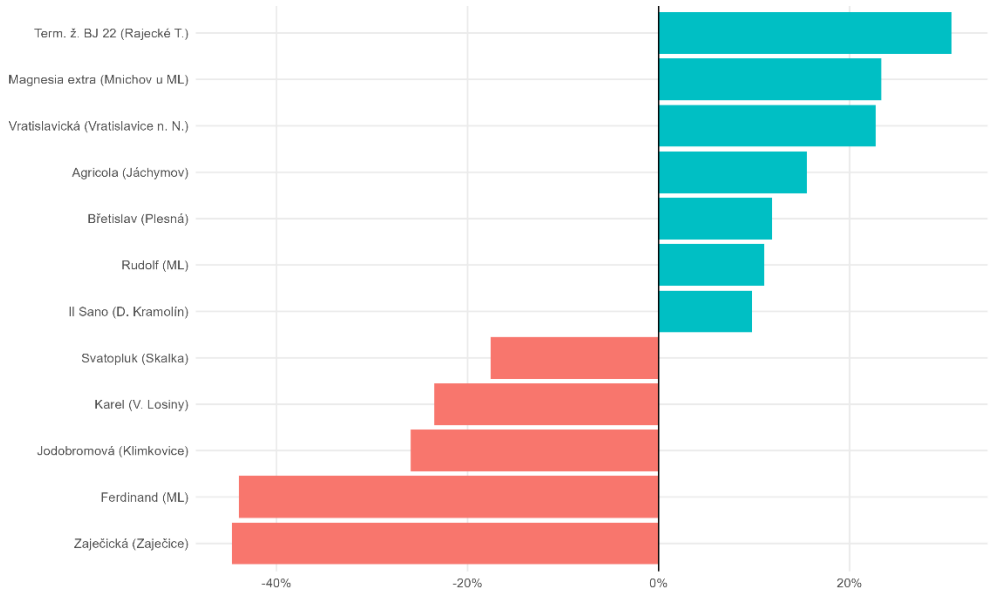
Obr. 8 Množství konzumované vody napříč generacemi.

Fig. 8 Amount of water consumed across generations.

4. Nejchutnější x nejméně chutný vzorek

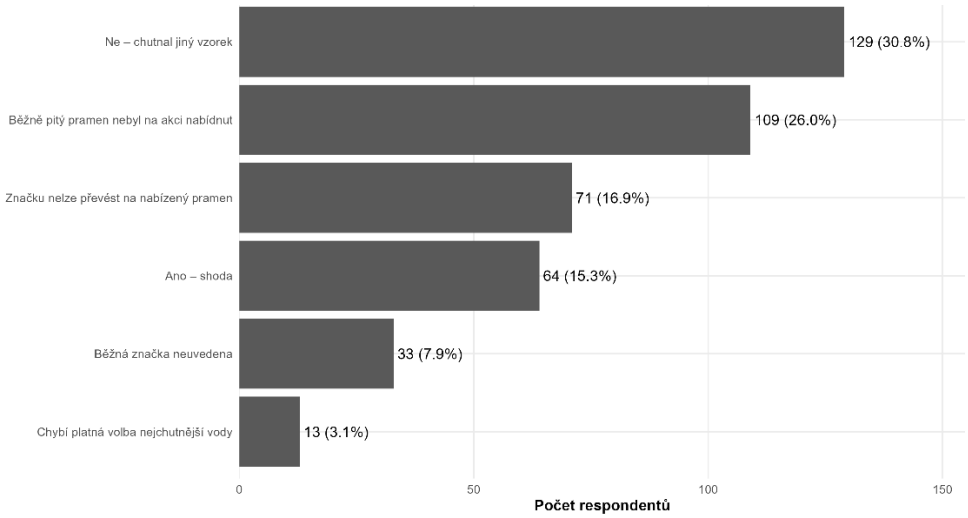
V rámci všech pěti událostí byly posuzovány nejchutnější a nejméně chutné vzorky. Vzorky byly posuzovány slepě. Vzhledem k tomu, že byly v rámci každé akce rozdílné variace minerálních vod, je třeba chuťové preferenci vztahovat pouze k dané události. Jako nejlepší index chuťových preferencí je pravděpodobně vhodné neposuzovat

odděleně ty nejlepší a nejhorší vzorky, neboť například Vincentka je řadou respondentů vyhledávána, ale zároveň neoblíbená právě pro vyšší mineralizaci. Z tohoto důvodu jsou chuťové preference normalizované tak, že jsou záporné hlasy odečteny od těch kladných. Za nejchutnější je dle této metriky považována minerální vod z Rajeckých Teplic, která je bez rozpuštěného CO_2 a vyznačuje se nižší mineralizací, na druhém místě je pak voda prodávaná pod komerčním názvem Magnesia extra (dříve Grünská kyselka) z Mnichova u M. L. a jen s nepatrným odstupem na třetím místě Vratislavická kyselka z Vratislavic nad Nisou. Z výsledků je zřejmé, že u respondentů zvítězily méně mineralizované vody a prohrály naopak ty velmi mineralizované. Výsledek je patrný z obr. 9.



Obr. 9 Nejchutnější vzorky minerální vody.
Fig. 9 The most delicious mineral water samples.

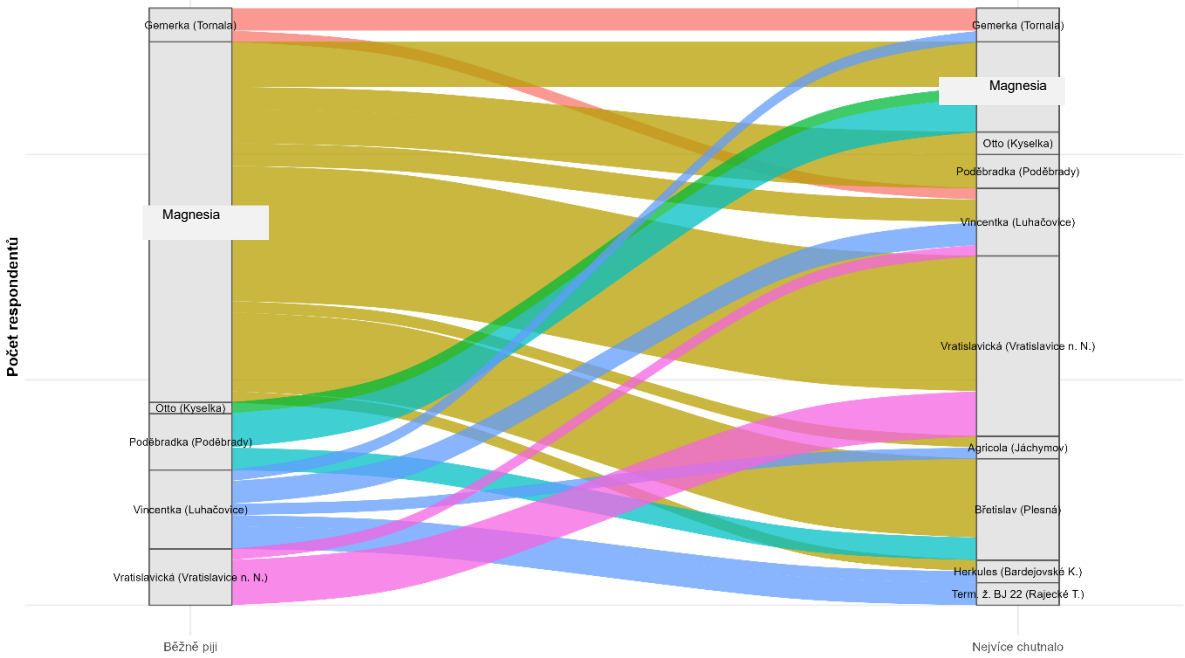
Jak již bylo zmíněno, nabídka pramenů se na každé události obměňovala, i přesto zůstává paradoxní, že deklarovaná nejčastěji konzumovaná značka vody neodpovídá vzorku vody, kterou respondent označil jako nejchutnější. Celkové zhodnocení je patrné z obr. 10. Z něj mj. vyplývá, že hlavní skupinu tvoří případy, kdy nejčastěji konzumovaná značka nebyla následně správně rozpoznána, resp. respondentovi chutnal jiný vzorek. Tato situace nastala ve 31 % případů. Ve 26 % případů nastalo to, že běžně pitá značka (pramen) nebyl na události nabídnut, či značku nelze vztáhnout ke konkrétnímu pramenu. Shoda nastala pouze v 15 % případů.



Obr. 10 Rozpoznávání nejchutnějšího vzorku minerální vody.
Fig. 10 Recognizing the tastiest sample of mineral water.

V případě redukce souboru dat pouze na slepou sommeliérskou zkoušku jsou výsledná data ještě zajímavější, kdy sice Magnesia tvoří většinu v souboru běžně pitých značek, ale v souboru nejvíce chutných vod již neobstála. Přeliv hlasů mezi běžně pitou a nejvíce chutným vzorkem vody je patrný z obr. 11. Nutno podotknout, že jistou

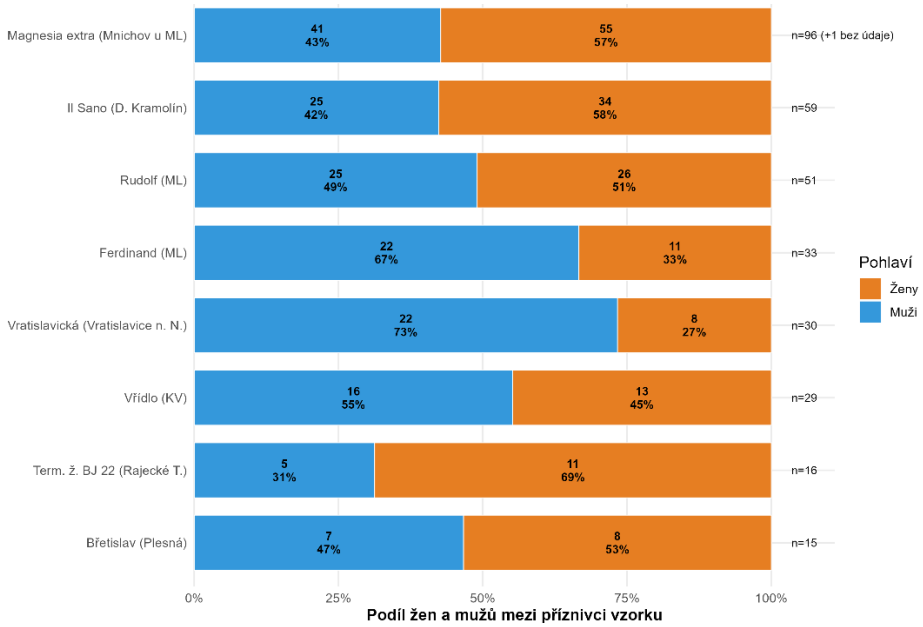
roli v tom bude mít i změna koncentrace oxidu uhličitého, kdy Magnesia stočena přímo u Grunského pramene jeden den před událostí má jiné parametry než balená a perlivá Magnesia z obchodu.



Obr. 11 Běžně konzumovaná a nejchutnější minerální voda.

Fig. 11 Commonly consumed and most delicious mineral water.

Na závěr byla provedena analýza preferencí mezi muži a ženami. Z výsledků vyplývá, že zatímco Vratislavická kyselka je dominantně oblíbená u mužů (73 %), tak naopak minerální voda z Rajeckých Teplic u žen (69 %). To otevírá otázku, zda náhodou nejsou více mineralizované vody populární u mužů, zatímco méně mineralizované u žen. To dokládá zejména pramen Ferdinand a Vřídlo (též Mlýnský p.) pro muže a na druhé straně Magnesia, Rajecké T. a Il Sano pro ženy, viz obr. 12.



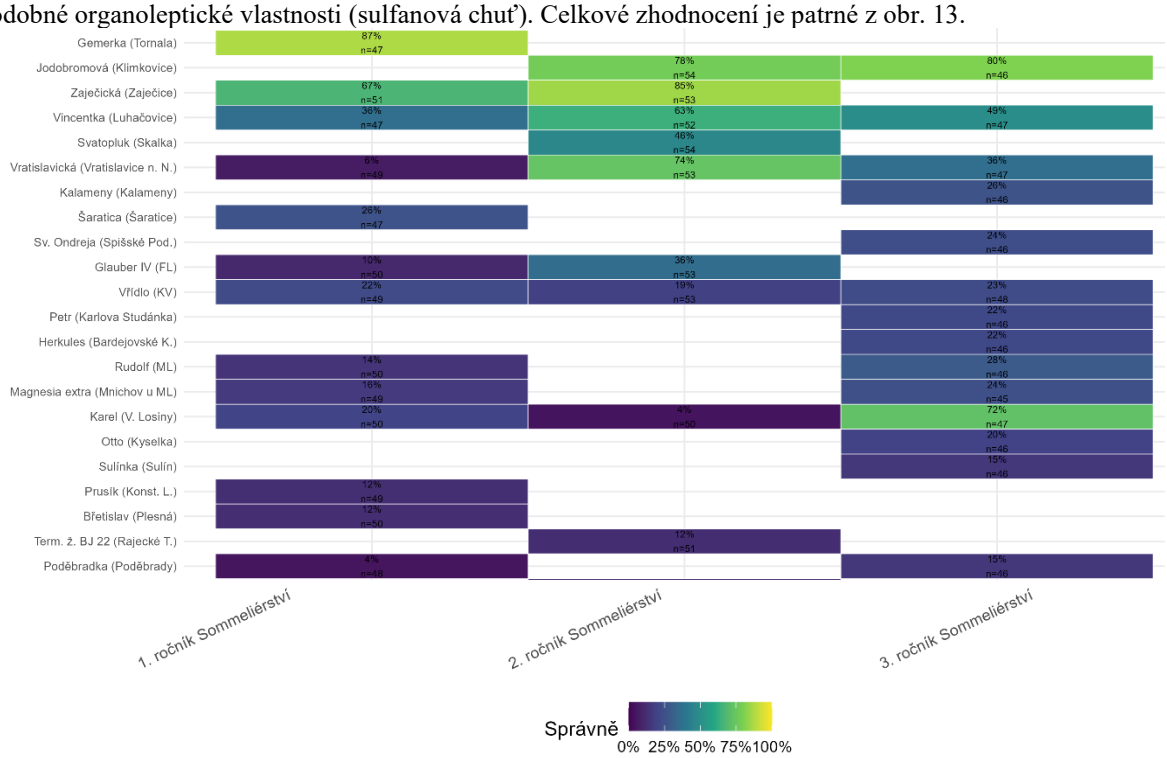
Obr. 12 Nejchutnější voda pro muže vs. ženy.

Fig. 12 The best tasting water for men vs. women.

5. Akurátnost sommeliérů

V rámci zhodnocení je důležité zmínit i akurátnost sommeliérů. Z obr. 13 je zřejmé, že akurátnost není náhodná, ale odvíjí se od chuťově podobných pramenů. Obecně jsou více mineralizované vzorky lépe rozeznatelné, než ty méně. Absolutním vítězem je Jodobromová solanka z Klimkovic, která má úspěšnost identifikace 78 a 80 %.

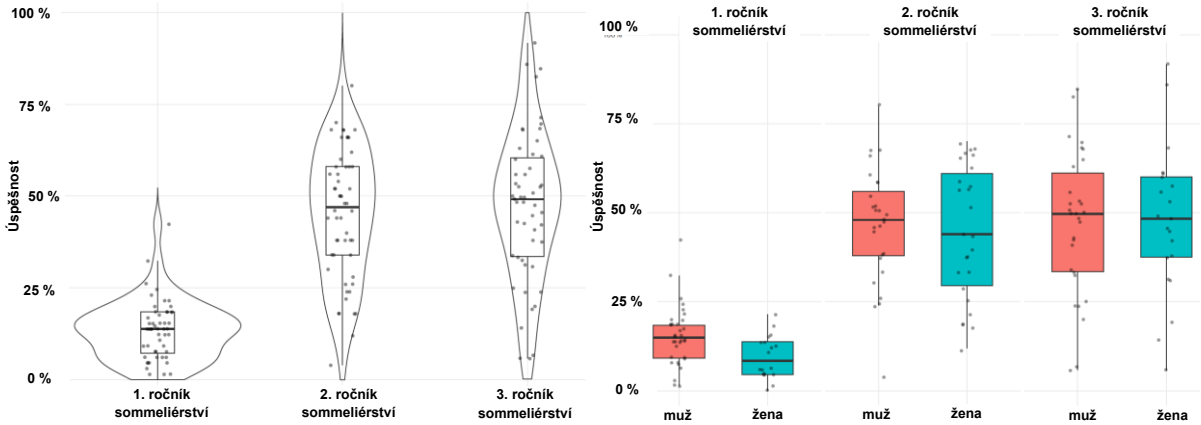
Vysokou úspěšnost rozpoznání vykazuje dále Zaječická hořká se 67 % a 85 %. Nutno v tomto ohledu podotknout, že snížená rozeznatelnost Zaječické hořké je v prvním případě způsobena přítomností Šaratice, která chutná velmi podobně (hořká voda). Relativně dobře rozeznatelná je dále Vincentka, tak Karel z Velkých Losin s úspěšností identifikace 20, 4 a 72 %. Vysoká neúspěšnost v prvním ročníku je způsobena neznámou chutí (v prvním ročníku nebyla možnost tréninku) a ve druhém ročníku byl zaměňován s pramenem Svatopluk ve Skalce, který má podobné organoleptické vlastnosti (sulfanová chuť). Celkové zhodnocení je patrné z obr. 13.



Obr. 13 Úspěšnost identifikace vzorků (výčet pro přehlednost není kompletní).
Fig. 13 Sample identification success rate.

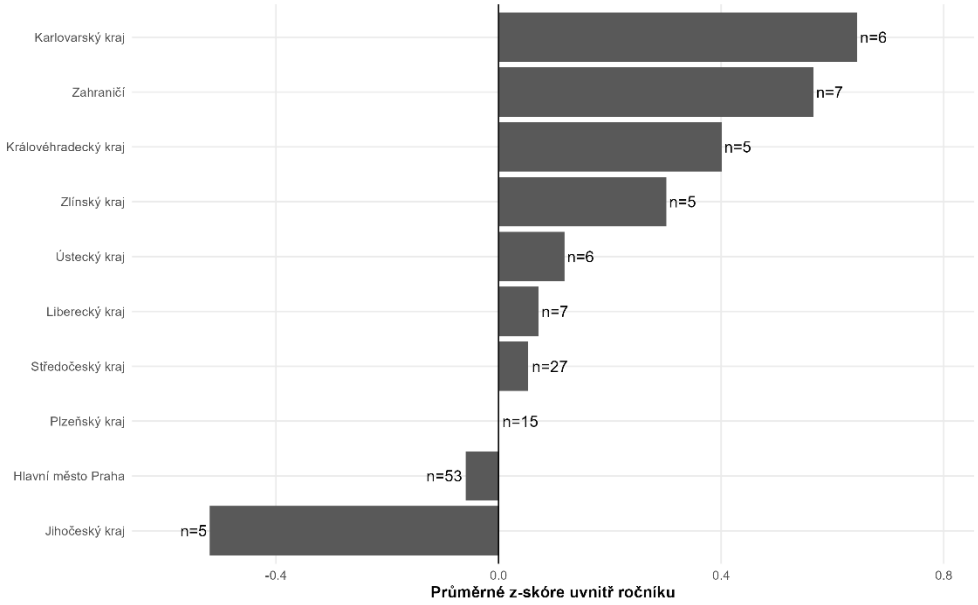
6. Dosažené skóre sommeliérských zkoušek

Zatímco první ročník sommeliérských zkoušek byla spíše pilotní událost, ve druhém i třetím ročníku došlo ke dramatickému zlepšení úspěšnosti respondentů, kdy ti nejlepší dosáhli skóre i přes 90 %, což lze považovat za velmi dobrý výsledek vzhledem k tomu, že jde o slepé rozpoznání 15 vzorků. Velké zlepšení mezi prvním a druhým ročníkem je zapříčiněno zejména skutečností, že byla zkouška rozdělena na dva bloky. V prvním bloku respondenti trénují a až ve druhém slepě degustují a rozeznávají. Meziroční srovnání je patrné z obr. 14. Hlavním poznatkem je, že meziročně dochází k profesionalizaci účastníků. Zajímavostí je, že v prvním ročníku dominovali muži, což může být způsobeno, jak bylo diskutováno, obecnou zálibou v mineralizovanějších vodách, zatímco v dalších ročnících jsou kohorty zcela vyrovnané díky přípravné testové ochutnávce.



Obr. 14 Úspěšnost rozpoznávací zkoušky minerálních vod.
Fig. 14 Success rate of mineral water recognition test.

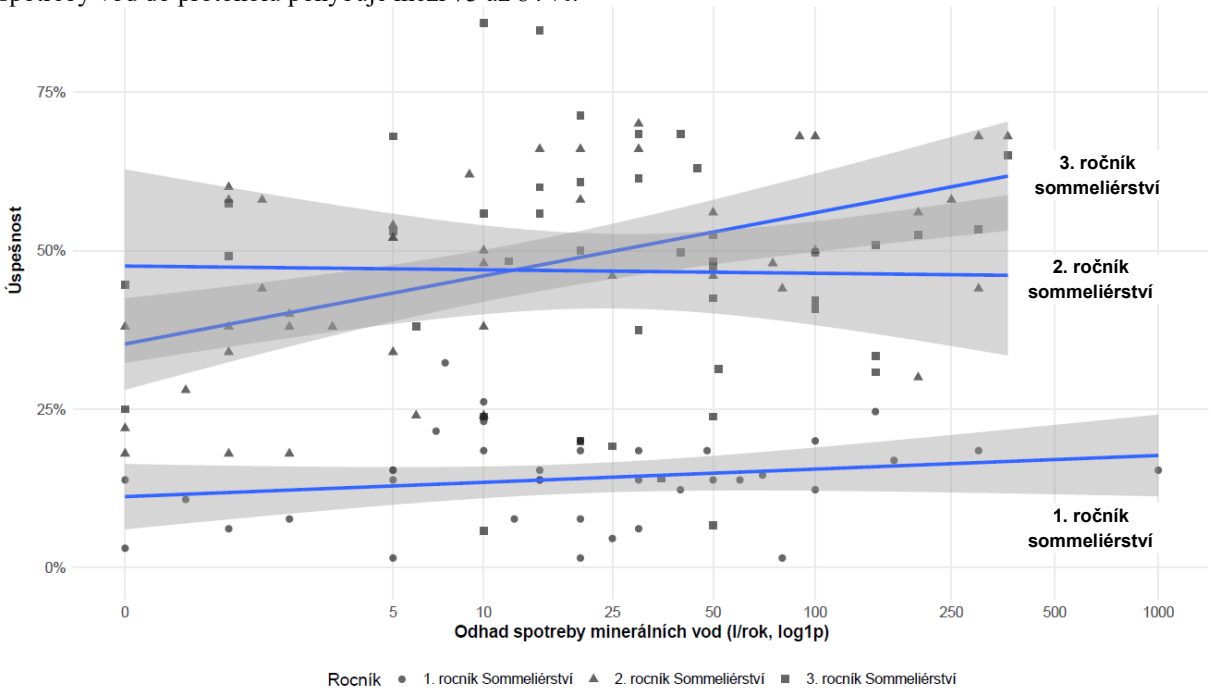
Po normalizaci datového souboru získaných skóre je možné zhodnotit i úspěšnost napříč kraji ČR. Normalizace je nutná z důvodu rozdílné obtížnosti dílčích ročníků. Po normalizaci z průběžných dat plyne, že nejlepší predispozice pro sommeliérství mají patrně respondenti z Karlovarského kraje a ze zahraničí (Slovensko). Velmi dobře na tom jsou také účastníci z Královéhradeckého a Zlínského kraje. Naopak nejhůře na tom jsou sommeliéři z kraje Jihočeského. Možným důvodem může být nepřítomnost žádných pramenů na ochutnávkách z tohoto kraje a absence proplyněných, mineralizovaných či termálních vod v Jihočeském kraji. Zhodnocení je patrné z obr. 15.



Obr. 15 Vliv místní příslušnosti na úspěchu v sommeliérské zkoušce.

Fig. 15 The influence of local affiliation on success in the sommelier exam.

To, že může mít místní příslušnost vliv na úspěšnost ve zkoušce bylo pilotně posouzeno, lze však také pokusně posoudit, zda i kvantita konzumované vody vede ke zlepšení úspěšnosti. Z obr. 16 vyplývá, že patrně jen omezeně. Rozptyl dat je příliš významný pro jednoznačný závěr. Zejména ve 2. ročníku se korelace vůbec neprokázala. Naopak nejlépe vyšla pozitivní korelace ve 3. ročníku. Svůj podíl na tom má i to, že se vyplněnost údaje roční spotřeby vod do protokolů pohybuje mezi 73 až 84 %.



Obr. 16 Vliv množství konzumace na úspěch v sommeliérské zkoušce.

Fig. 16 The influence of consumption amount on success in the sommelier exam.

4. Závěr

Sommeliérství se neomezuje pouze na víno, med, kávu nebo destiláty. Lze ho uplatnit v celém potravinářském segmentu, minerální vody nevyjímaje. Tři proběhlé ročníky Sommeliérských zkoušek potvrdily, že po odpovídajícím tréninku dokáže člověk rozpoznat až 15 chuťově odlišných minerálních pramenů. To dokazuje nesmírnou citlivost lidského organismu na jemné chuťové nuance i případné vady, které umí nejen odhalit, ale také vyhodnotit. Díky tomu si každý může určit, která voda mu skutečně vyhovuje nejvíce.

Tato problematika si jednoznačně zaslouží hlubší zkoumání. S nadsázkou lze říci, že jsme teprve na začátku a organoleptické vlastnosti vody by se ve střednědobém horizontu mohly stát i součástí výuky hydrogeologie.

Z více než 400 analyzovaných dotazníků a protokolů navíc vyplývá, že spotřebitelé by měli ke konzumaci balených i prostých vod přistupovat uvážlivěji. Při výběru totiž často podvědomě podléhají marketingovým tlakům, které je přesvědčí o nákupu konkrétní značky, přestože jim ve slepém testu reálně chutná jiná voda. Poselství tohoto příspěvku je tedy jasné: až budeme příště stát před regálem s vodami, zamysleme se, na základě čeho si konkrétní láhev vybíráme a zda je hlavním motivem skutečně její chuť.

Poděkování: Děkujeme spoluorganizátorům P. Knotkovi, K. Šabatové, A. Kojzarové, I. Kůrkové, T. Vylitovi. Financováno z projektu č. CZ.10.01.01/00/22_001/0000261.

EXTRAKCE RADONU Z PRAMENITÉ VODY DO ROSTLINNÝCH OLEJŮ: PŘÍPRAVA VYSOCE ÚČINNÝCH AKTIVNÍCH PREPARÁTŮ PRO LÉČEBNÉ ÚČELY

EXTRACTION OF RADON FROM SPRING WATER INTO VEGETABLE OILS: PRODUCTION OF HIGHLY ACTIVE PREPARATIONS FOR MEDICAL PURPOSES

Viktor Goliáš[1], Martin Přeček[2], Ivo Hlásenský[3]

[1]*Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 43 Praha 2: wiki@natur.cuni.cz*
[2]*ELI Beamlines Facility, Extreme Light Infrastructure ERIC, Za Radnicí 835, 252 41 Dolní Břežany: martin.precek@eli-beams.eu*
[3]*DEKONTA, Dřetovice 109, 273 42 Stehelčeves: hlasensky@dekonta.cz*

Abstrakt: Pouhé radonové vody mohou být pro terapii v některých případech málo účinné, proto byla provedena série experimentů s extrakcí radonu z vody do rostlinných olejů (olivového, slunečnicového a řepkového). Jednoduchými experimenty ve skleněné třepačce bylo dosaženo koncentračních faktorů v rozmezí 16 -18. Nejaktivnější preparát dosáhl 213 kBq/l ^{222}Rn.

Abstract: Radon-rich water alone may not be sufficiently effective for therapy in some cases; therefore, a series of experiments was conducted to extract radon from water into vegetable oils (olive, sunflower, and canola). Simple experiments using a glass shaker yielded concentration factors ranging from 16 to 18. The most active preparation reached 213 kBq/l of ^{222}Rn.

Klíčová slova: radon, radioaktivita, léčba, balneologie, extrakce, rostlinné oleje

Key words: radon, radioactivity, healing, balneology, extraction, vegetable oils

1. Úvod

Karcinogenita radonu (^{222}Rn) v obytných prostorech již byla vědecky vyvrácena. Pozitivní korelace mezi radonem a rakovinou plic je pouze hypotézou založenou na teorii LNT (teorie lineární závislosti bez prahové hodnoty). Při použití bezpředpokladové bayesiánské statistické analýzy žádná korelace neexistuje (Fornalski a Dobrzyński 2011). Potvrdila to také (v té době) metaanalýza všech třiceti dvou studií o radonu (Dobrzyński et al. 2018). Nové studie dokládají, že teorie LNT se v oblasti nízkých dávek již dlouhou dobu nachází v hluboké krizi, na což poukazuje již velká část odborné radiační komunity (Calabrese 2021). Stejně tak i v České republice slouží v současné době přetrvávající, do legislativy v 90. letech prosazené tažení proti radonu a související regulace již jen jako prostředek ke strašení obyvatel "nebezpečím" nízké radioaktivity, a to jak z politických tak i ideologických důvodů.

Naproti tomu se radon v balneologii úspěšně využívá již od roku 1905 (Becker 2004). Radonová lázeňská střediska se nacházejí po celém světě: Schlema, Sibylenbad, Bad Brambach (Německo), Bad Gastein (Rakousko), Radon Mine Montana (USA), Jáchymov (Česko), Ischia, Lurisia (Itálie), Kowary (Polsko), Misasa (Japonsko) a na dalších místech. V závislosti na dostupném zdroji radonu se radonová terapie aplikuje formou inhalací, pitných kúr a nejoblíbenějších radonových koupelí (György 2018, Przylibski 2018). Díky radiační hormezi přináší komplexní terapeutické účinky spojené s aktivací a modulací imunitního systému (Maier et al. 2021, Danaubauer et al. 2024). Velmi důležité je také snížení dávek léků, protože po radonové terapii dochází ke zmírnění bolesti (Deloch et al. 2022). Biochemické mechanismy, které vedou k úlevě od bolesti a zahájení hojivých procesů, jsou dnes rovněž poměrně dobře pochopeny (Maier et al. 2021, Danaubauer et al. 2024). V každém případě přínosy radonové terapie převažují nad teoretickými (nízkými) riziky vypočítanými podle lineární bezprahové teorie (LNT) (Scott 2025).
Domníváme se, že v některých případech (např. při lokálních aplikacích) může být aktivita radonu v přírodních zdrojích pro účinnější léčbu nedostatečně nízká. Rozhodli jsme se proto vyrobit z přírodního zdroje přípravek s výrazně vyšší aktivitou. Vysoká afinita radonu k organickým látkám, zejména k nenasyceným mastným kyselinám, je známa již dlouho (Nussbaum a Hursh 1958). Z tohoto důvodu jsme provedli terénní experimenty zaměřené na extrakci radonu metodou kapalina-kapalina do olivového a jiných rostlinných olejů.

2. Metodika

Jako přírodní, virtuálně nekonečné zdroje radonu byly využity dva přírodní prameny – povrchové vodní zdroje s nejvyššími známými aktivitami radonu v České republice, které se nacházejí v pohoří Smrčiny/Fichtelgebirge (Západní Čechy): pramen Břetislav (*2016, https://www.estudanky.eu/11000-radonka-pramen-bretislav) v Plesné a pramen Pod Skalou (*2017 https://estudanky.eu/12362-pramen-pod-skalou) ve Skalné. Oba jsou studené (8–10 °C), nízce mineralizované (kolem 100 mg l^{-1}), hydrochemického typu Ca-Na-SO_4. Pramen Břetislav má průtok 2,4–5,2 l min^{-1} a aktivitu ^{222}Rn v rozmezí 11,4 až 13,1 kBq l^{-1}. Pramen Pod Skalou má průtok 0,94–3,8 l/min a aktivitu ^{222}Rn v rozmezí 4,5 až 10 kBq/l.

Obr. 1 Vypouštění vody po separaci fází po sedmé extrakci. V důsledku hydrolýzy je vodní fáze mléčně zakalena, olivový olej tvoří vrstvu na hladině.
Fig. 1. Water discharge after phase separation after the seventh extraction. The oil floats on top and water is already milky cloudy.

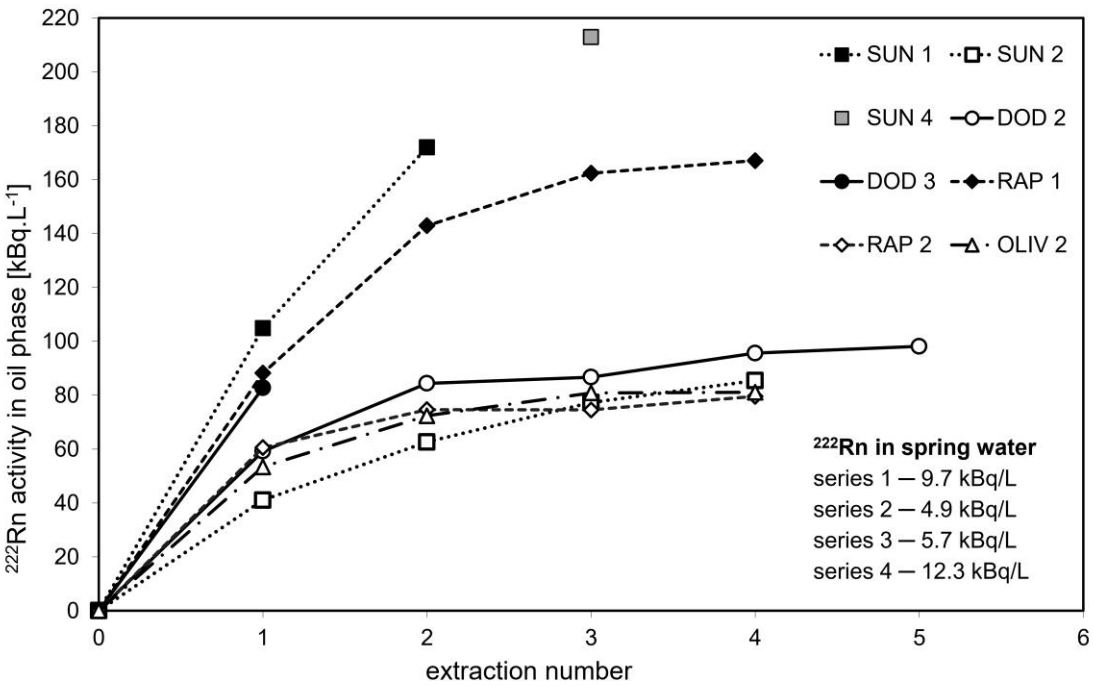
Extrakce byly prováděny ve 2 litrové dělící nálevce (třepačce), vždy 2 litry vody a počátečně 100 ml oleje. Směs byla 1 minutu promíchávána, pak následovala separace fází, vypuštění vodné fáze a vzorkování 1 ml oleje do lahvičky s LSC scintilátorem Ultima Gold F (Perkin Elmer). Následovalo další nalití čerstvé vody a další kolo extrakce. Bylo provedeno 9 za sebou následujících extrakcí.
Aktivita radonového oleje byla měřena večer na základně na LSC spektrometru TRIATHLER (Hidex, Finsko). Byly zkoušeny olivový, slunečnicový a řepkový oleje a n-dodekan pro porovnání. Byly také testovány různé způsoby promíchávání fází.

3. Výsledky

Bylo zjištěno, že rostlinné oleje jsou radonem zcela nasyceny (saturovány) již po 3. až 4. extrakci; další následné extrakce pouze způsobují hydrolýzu olejů a jejich ztráty, jež dosáhly po 9. extrakci až 30 %.

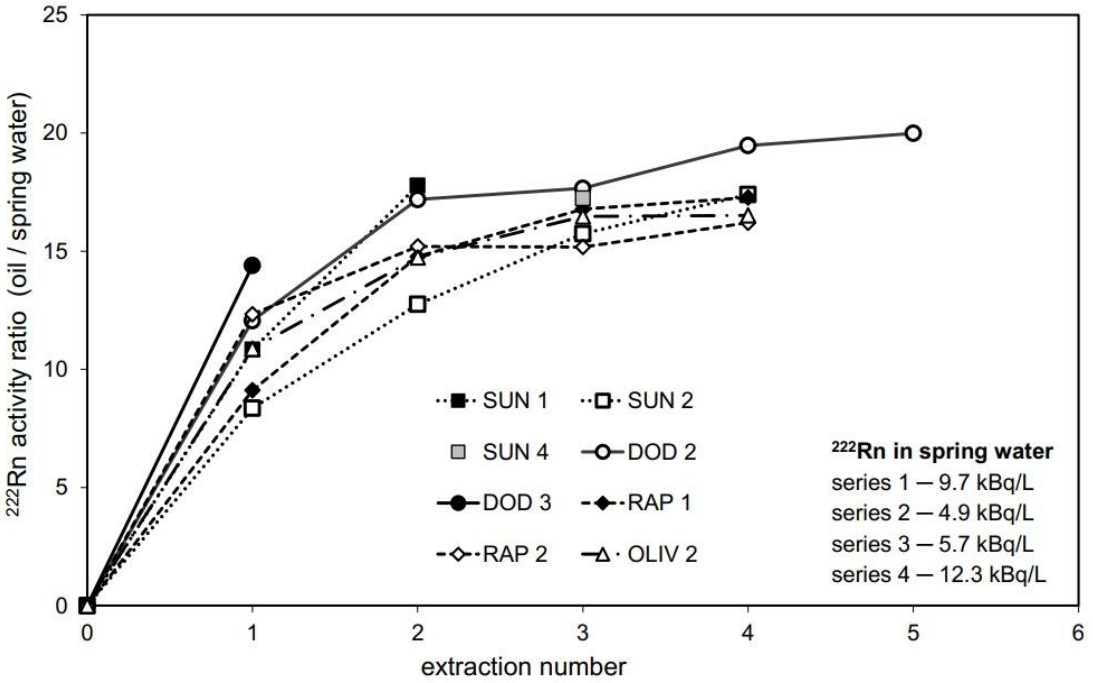
Promíchávání vzduchovou bublinou způsobovalo ztráty radonu. Jako optimální řešení se ukázalo promíchávání zpevňovačem mléka přes nálevní otvor, kdy nálevka byla umístěna stacionárně na kovovém stojanu. Tím byl omezen styk promíchávané směsi se vzduchem i omezeno nebezpečí jejího vyklouznutí z ruky. Po optimalizaci metodiky trvalo provedení následných čtyř extrakcí okolo 20 minut a ztráty činily pouze 8 – 13 % oleje.

Byly naměřené kinetické křivky dokumentující proces extrakce (Obr. 2) a spočítány extrakční poměry (Obr. 3). Poněkud oproti očekávání se neukázal olivový olej jako nejlepší, ale všechny oleje měly podobné extrakční charakteristiky s extrakčními poměry 16,7 až 18. Dodekan dosáhl extrakčního poměru 20. Absolutní aktivity připravených preparátů byly různé, podle aktivity použité zdrojové vody. Nejaktivnější preparát (slunečnicový olej) dosáhl 213 kBq/l ^{222}Rn.



Obr. 1 Extrakční křivky měřené na základě alfa-aktivity ^{222}Rn oleji: SUN = slunečnicový olej, DOD = n-dodekan, RAP = řepkový olej, OLIV = olivový olej; čísla odpovídají vodní aktivitě v jednotlivých experimentálních sériích.

Fig. 2. Extraction curves measured by ^{222}Rn alpha activity in oil: SUN = sunflower oil, DOD = n-dodecane, RAP = rapeseed oil, OLIV = olive oil; number labeling corresponds to the water activity during each experimental series.



Obr. 2 Aktivitní poměry vypočítané vydělením skutečné objemové aktivity ^{222}Rn v oleji původní specifickou aktivitou v pramenité vodě: SUN = slunečnicový olej, DOD = n-dodekan, RAP = řepkový olej, OLIV = olivový olej; čísla odpovídají vodní aktivitě v jednotlivých experimentálních sériích.

Fig. 2. Activity ratios calculated by dividing the actual specific activity of ^{222}Rn in oil by the original specific activity in spring water: SUN = sunflower oil, DOD = n-dodecane, RAP = rapeseed oil, OLIV = olive oil; number labeling corresponds to the water activity during each experimental series.

4. Diskuse

Ověřené experimentální extrakční uspořádání s omezeným kontaktem se vzduchem vzduchu a snížením počtu následných extrakcí na čtyři se ukázalo jako prozatím nejlepší, a to jak díky snížení ztrát oleje v důsledku hydrolýzy, tak i zvýšením extrakčního poměru na 16,2–18. Není překvapením, že se jako nejlepší extrakční činidlo osvědčil n-dodekan, který dosáhl poměru aktivity 20 a ukázal tak limity použité metodiky.
V odborné literatuře se často uvádí ještě vyšší rozdělovací koeficient radonu mezi olivovým olejem a vodou – konkrétně 45 (Schubert et al. 2007). Vždy existuje prostor pro zlepšení a zvažujeme nové, ještě účinnější experimentální uspořádání. Pokud má někdo z našich čtenářů dobrý nápad, prosíme, kontaktujte autory.

4.1 Možnosti použití a terapeutický potenciál extraktu z radonového oleje

Je velmi pravděpodobné, že kromě vyšší terapeutické účinnosti dané mnohem vyšší aktivitou radonu bude také absorpce radonu z oleje jako transdermálního nosiče vyšší než z vody, jelikož pronikání oleje lidskou kůží jako lipofilním médiem je snazší, jak již bylo několikrát prokázáno (Herman a Herman 2015, Hasan a Farooqui 2021). Tento radonový přípravek bude proto obzvláště vhodný pro lokální aplikaci jako intenzivní léčebná terapie, například ve formě masáží nebo obkladů (kompresů). Svou intenzitou a účinností se aplikace radonového oleje bude řadit mezi radonové koupele a brachyradiumterapii (aplikace radiových přípravků na povrch těla), která se v Lázních Jáchymov stále používá jako *ultimum refugium* (Jandová 2009). Naše předběžné výsledky byly představeny a terapeutický potenciál byl projednán s lázeňskými lékaři na konferenci Vincenze Priessnitze v Jeseníku (Česká republika) dne 7. října 2022. Od té doby také spolupracujeme s lázeňskými terapeuty v lázních Františkovy Lázně (nacházející se v blízkosti pramenní oblasti) na vývoji experimentální lázeňské kúry s využitím tohoto aktivovaného oleje.

5. Závěr

Bylo prokázáno, že pomocí jednoduché klasické metody extrakce kapalina-kapalina lze vyrobit účinný radonový přípravek s vysokým terapeutickým potenciálem. Je zřejmé, že připravené terapeutické přípravky z radonového oleje musí být čerstvé; Vzhledem ke krátkému poločasu rozpadu radonu (3,8 dne) je lze pravidelně připravovat všude tam, kde je k dispozici přírodní léčivý zdroj radonové vody. Tento radonový olej má vysoký potenciál pro léčení a zlepšení kvality života lidí.

Poděkování: Děkujeme za pomoc a příznivé podmínky obcím Plesná a Skalná a jejím obyvatelům a místním strážcům pramenů, děkujeme také LČR za podporu finanční i materiální. Velký dík náleží všem příznivcům radioaktivních pramenů nezištnou pomoc v terénu a jejich vytrvalou podporu.

Seznam literatury

Fornalski KW, Dobrzyński L (2011): *Pooled Bayesian analysis of twenty-eight studies on radon induced lung cancers. Health Phys 101(3):265-273.*
Dobrzyński L, Fornalski KW, Reszczyńska J (2018): *Meta-analysis of thirty-two case–control and two ecological radon studies of lung cancer. J Radiat Research 59(2):149-163.*
Calabrese EJ (2021): *LNT and cancer risk assessment: Its flawed foundations part 2: How unsound LNT science became accepted. Environ Research 197: 111041.*
Becker K (2004): *One century of radon therapy. Int J Low Radiat 1:334–357.*
György C (2018): *Hormesis and immunity: A review. A Microbiol Immunol Hungar 66:155–168.*
Przylibski TA (2018): *Radon: A radioactive therapeutic element. In: Gilmore GK, Perrier FE, Crockett RGM (eds) Radon, Health and Natural Hazards. Geol Soc London, Spec Publ 451:209–236.*
Maier A, Wiedemann J, Rapp F, Papenfluss F, Rödel F, Hehlgans S, Gaipl US, Kraft G, Fournier C, Frey B (2021): *Radon exposure – Therapeutic effect and cancer risk. Int J Mol Sci 22/1. 316.*
Donaubauer AJ, Becker I, Klein G, Voll RE, Weikl L, Klieser M, Barzangi S, Zhou JG, Fietkau R, Gaipl US, Frey B (2024): *Effects of serial radon spa therapy on pain and peripheral immune status in patients suffering from musculoskeletal disorders – results from a prospective, randomized, placebo-controlled trial. Front Immunol 15:1307769.*
Deloch L, Hehlgans S, Ruckert M, Maier A, Hinrichs A, Flohr AS, Eckert D, Wiessmann T, Seeling M, Nimmerjahn F, Fietkau R, Rodel F, Fournier L, Frey B, Gaipl US (2022): *Radon improves clinical response in an animal model of rheumatoid arthritis accompanied by increased numbers of peripheral blood B cells and interleukin-5 concentration. Cells 11(4), 689.*
Scott BR (2025): *Radiophobia harm, its main cause, and a proposed solution. Dose-Response 23/1:1-30*
Nussbaum E, Hursh JB (1958) Radon solubility in fatty acids and triglycerides. J Phys Chem 62:81-84.

Schubert M, Lehmann K, Patschke A (2007): *Determination of radon partition coefficients between water and organic liquids and their utilization for the assessment of subsurface NAPL contamination. Sci Total Environ 1-2:306-316.*
Hinrichs A, Schmidt M, Papenfluss F, Roth M, Fournier C, Kraft G, Maier A. (2023): *Radon solubility in different tissues after short term exposures. Int J Environ Res Public Health 20(3), 1773*.
Herman A, Herman AP (2015): *Essential oils and their constituents as skin penetration enhancer for transdermal drug delivery: A Review. J Pharm Parmacol 67(4):473-485.*
Hasan A, Farooqui H (2021): *A Review on role of essential oil as penetration enhancer in transdermal drug delivery system. Sys Rev Pharm 12(8):439-444.*
Jandová D (2009): *Balneologie. Grada publishing. Praha*

Tvorba ochranných pásem hydrogeologických fenoménů v CHKO Slavkovský les a širším okolí

DEFINITION OF PROTECTION ZONES FOR HYDROGEOLOGICAL PHENOMENA IN THE SLAVKOVSKÝ LES PROTECTED LANDSCAPE AREA AND ITS SURROUNDINGS

Jan Holeček[1], Martin Alexa[1], Jiří Burda[1], Petr Charvát[1], Barbora Dudíková[1], Jan Jelínek[1], Radek Kadlubiec[1], Iva Kůrková[1], David-Aaron Landa[1], Martin Paleček[1], Tomáš Radoměřský[1], Ivan Rozkošný[1], Lenka Rukavičková[1], Zuzana Skácelová[1], Irena Šupíková[1], Tomáš Vránek[1], Tomáš Vylita[1], Vladimír Žáček[1]

[1]Česká geologická služba, Geologická 6, 152 00 Praha 5 - Barrandov, e-mail: jan.holecek@geology.cz

Abstrakt: Příspěvek představuje výsledky projektu „Tvorba podkladů pro stanovení ochranných pásem hydrogeologických fenoménů v CHKO Slavkovský les“ (TOPS), jehož cílem bylo získání aktuálních podkladů pro ochranu přírodních minerálních vod a dalších významných hydrogeologických fenoménů této oblasti. V rámci projektu byla provedena komplexní revize zdrojů minerálních a prostých podzemních vod, jejich terénní dokumentace, hydrochemická charakterizace a vytvoření databáze hydrogeologických objektů. Celkem bylo evidováno 1 137 hydrogeologických objektů, z nichž 297 představují zdroje minerálních vod. Součástí řešení bylo rovněž zpřesnění geologické a hydrogeologické stavby území, identifikace infiltračních oblastí a vyhodnocení vztahů mezi geologickou stavbou, tektonikou a výskytem minerálních pramenů. Výsledky projektu byly využity pro vytvoření veřejně dostupné mapové aplikace a představují významný podklad pro budoucí stanovení ochranných pásem hydrogeologických fenoménů. Navazující projekt TOPS2 rozšiřuje výzkum do širšího okolí CHKO Slavkovský les.

Abstract: The contribution presents the results of the project “Preparation of Data for Definition of Protection Zones of Hydrogeological Phenomena in the Slavkovský les Protected Landscape Area” (TOPS), aimed at obtaining up-to-date data for the protection of natural mineral waters and other important hydrogeological phenomena in the region. The project included a comprehensive revision of mineral and ordinary groundwater sources, their field documentation, hydrochemical characterization, and the creation of a database of hydrogeological objects. A total of 1,137 hydrogeological objects were recorded, including 297 mineral water sources. The study also focused on refining the geological and hydrogeological framework of the area, identifying recharge areas, and evaluating relationships between geological structure, tectonic faults, and the occurrence of mineral springs. The project results were used to develop a publicly available web map application and provide important background information for the future definition of protection zones of hydrogeological phenomena. The follow-up TOPS2 project extends the research to the wider surroundings of the Slavkovský les Protected Landscape Area.

Klíčová slova: minerální vody, hydrogeologie, ochranná pásma, hydrogeologické fenomény, Slavkovský les

Key words: mineral waters, hydrogeology, protection zones, hydrogeological phenomena, Slavkovský les

Přírodní minerální vody provázejí člověka od nepaměti. Dokládají to pravěké archeologické nálezy objevené v blízkosti minerálních pramenů, zatímco písemné zmínky o jejich využívání máme k dispozici již od středověku. Ačkoli naši předkové neznali přesné chemické složení minerálních vod, prostým pozorováním a užíváním rozpoznali jejich příznivé účinky na lidské zdraví.

V současnosti se využíváním minerálních vod zabývá obor balneologie, který je úzce propojený s lékařskými vědami. Minerální vody jsou hojně využívány jako léčebný prostředek a jsou významnou součástí lázeňské léčby. Stále větší uplatnění nacházejí taktéž v oblasti wellness lázeňské turistiky. Samostatnou kapitolou je využívání přírodních minerálních vod v nápojářském průmyslu. Spotřeba balených minerálních vod v České republice od počátku 90. let výrazně vzrostla. Zatímco v letech 1989–1993 činila průměrná spotřeba 16 litrů na osobu a rok, v období 2019–2023 již přesáhla 53 litrů (ČSÚ, 2025). Tento více než trojnásobný nárůst názorně ukazuje, jakému spotřebitelskému tlaku zdroje minerálních vod v současnosti čelí. Chceme-li, aby jejich blahodárné účinky mohly využívat i budoucí generace, je nezbytné zajistit jejich dlouhodobě udržitelné a šetrné využívání a jejich ochranu. Oblast Slavkovského lesa je na minerální vody mimořádně bohatá, a právě jejich hojný výskyt byl jedním z hlavních důvodů vyhlášení chráněné oblasti v roce 1973. CHKO Slavkovský les dodnes zůstává mezi českými chráněnými krajinnými oblastmi výjimečná – její poslání nespočívá pouze v ochraně cenné krajiny, ale výslovně také ve vyhlašovacím dekretu ukotvuje „zachování neporušenosti přírodních léčivých zdrojů“ (Rolková a Horáček, 2024).

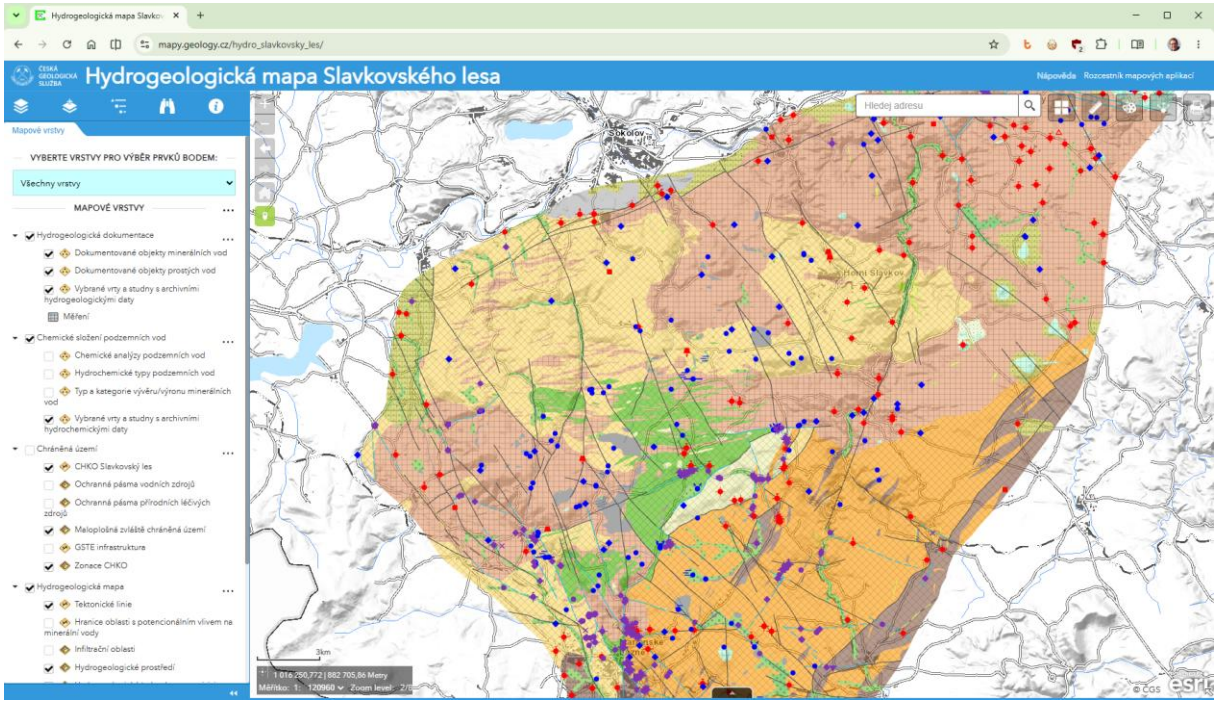
Výzkumem a katalogizací minerálních vod ve Slavkovském lese se ve 20. století věnovala řada významných badatelů, mezi nimi například Dašek (1948), Klír (1953), Dovolil (1959), Pačes (1962), Vylita (1967) nebo Křivanec a Milota (1996). Nejnověji se minerálním pramenům v oblasti Mariánských Lázní věnoval Landa (2024). Pohled na data těchto prací však ukazuje, že naprostá většina zásadních poznatků vychází ze studií starých již několik desetiletí, v některých případech dokonce více než půl století. Přitom právě voda představuje jednu z nejdynamičtějších složek krajiny. Vodní režim se přirozeně mění v čase a v posledních desetiletích do něj stále výrazněji zasahuje probíhající klimatická změna. Potřeba získat aktuální informace o stavu zdrojů minerálních vod a vytvořit podklady pro jejich účinnou ochranu se proto stala hlavním impulzem pro nový výzkum iniciovaný Správou CHKO Slavkovský les. Na tuto potřebu reagovala Česká geologická služba realizací projektu „Tvorba podkladů pro stanovení ochranných pásem hydrogeologických fenoménů v CHKO Slavkovský les“ (TOPS). Projekt byl následně finančně podpořen v rámci programu Technologické agentury ČR Prostředí pro život a byl řešen odborníky České geologické služby v letech 2022–2026.

Projekt TOPS se soustředil na tři hlavní oblasti výzkumu. Nejrozsáhlejší část představoval hydrogeologický výzkum zaměřený na mapování a terénní revizi zdrojů minerálních i prostých podzemních vod. Jeho cílem bylo co nejpodrobněji zdokumentovat jejich současný stav a vytvořit ucelený přehled o výskytu vodních zdrojů v celé zkoumané oblasti.

Výzkumný tým přitom vycházel nejen z archivních podkladů a ověřoval historicky známé prameny, ale v průběhu terénních prací objevil a zdokumentoval také řadu dosud neevidovaných zdrojů minerálních vod. Součástí terénního výzkumu bylo měření základních fyzikálně-chemických parametrů a odběr vzorků pro laboratorní analýzy hlavních složek i vybraných stopových prvků s balneologickým významem. Výsledkem tohoto úsilí je unikátní databáze minerálních vod CHKO Slavkovský les. Ta obsahuje celkem 1 137 hydrogeologických objektů, z nichž 297 představují zdroje minerálních vod. Tato data jsou veřejně dostupná v mapové aplikace, která je popsána dále v textu.

Rozsáhlý soubor dat umožnil provést novou komplexní hydrochemickou analýzu, jejíž výsledky byly publikovány v publikaci Nová hydrochemická zonace minerálních vod Slavkovského lesa (Landa et al., 2025).

Součástí projektu bylo rovněž vytvoření nové hydrogeologické mapy CHKO Slavkovský les, vymezení infiltračních oblastí, tedy území, kde dochází k tvorbě zásob podzemních vod. Právě tyto informace představují důležitý podklad pro budoucí ochranu a udržitelné využívání vodních zdrojů. Hydrogeologická mapa byla zpracována v digitální podobě a je veřejně dostupná prostřednictvím interaktivní mapové aplikace České geologické služby na adrese https://mapy.geology.cz/hydro_slavkovsky_les/. Kromě mapových podkladů tato aplikace zveřejňuje i výše popsaná hydrogeologická data (Obr. 1).

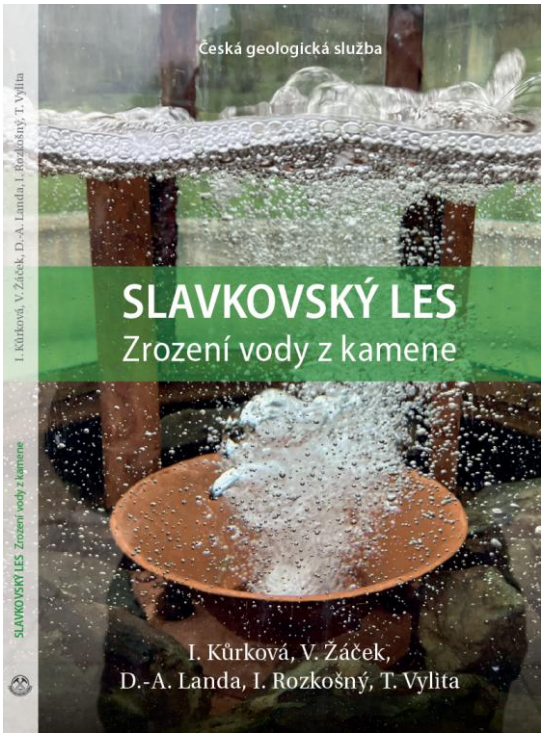


Obr. 1 Interaktivní hydrogeologická mapová aplikace Slavkovského lesa je optimalizována jak pro PC, tak i mobilní zařízení.

Fig. 1 The interactive hydrogeological map application of Slavkovský les is optimized for both PC and mobile devices.

Druhou oblastí výzkumu byla geologie. Mimořádná rozmanitost chemického složení zdejších minerálních vod totiž přímo souvisí s pestrou geologickou stavbou Slavkovského lesa. Terénním mapováním byla revidována a na

řadě míst zpřesněna geologická mapa území. Geofyzikální měření pak umožnila upřesnit průběh tektonických zlomů, které zásadně ovlivňují pohyb podzemních vod i vznik a distribuci minerálních pramenů. Také tato geologická mapa je součástí veřejně přístupné mapové aplikace.
Vedle základního mapování byly navíc popsány nejvýznamnější geologické lokality regionu, které jsou poutavou formou představeny v publikaci Slavkovský les – Zrození vody z kamene (Kůrková et al., 2026) (Obr. 2). Tato kniha může sloužit jako inspirace pro řadu zajímavých výletů v regionu Slavkovského lesa.



Obr. 2 Populárně naučná publikace je zdrojem informací a inspirace k prozkoumání Slavkovského lesa.

Fig. 2 The popularization and educational publication is a source of information and inspiration for exploring Slavkovský les.

Třetím směrem výzkumu bylo hydrologické studium odtokových poměrů vybraných ložisek peloidů na Krásně, Číhané a Lysině. Zejména v případě historicky těženého rašeliniště Krásno byly získány cenné podklady pro přípravu budoucí rekultivace a obnovu vodního režimu tohoto dnes již částečně degradovaného rašeliniště.
Závěrem řešení projektu TOPS byla v březnu 2026 uspořádána v Mariánských Lázních dvoudenní multidisciplinární konference s názvem „Minerální prameny Slavkovského lesa 2026“ a podtitulem "Prameny Slavkovského lesa – zdravé srdce lázeňské krajiny". V rámci této konference byly odborné ale i široké veřejnosti představeny všechny dosažené výstupy projektu. PDF verze přednesených konferenčních příspěvků jsou dostupné na adrese: https://aopk.gov.cz/mineralni-vody-slavkovskeho-lesa.
Projekt TOPS přinesl nejen nové poznatky, ale zejména nástroj pro ochranu přírodních zdrojů minerálních vod v CHKO Slavkovský les. Výsledky podporují udržitelné využívání a informované rozhodování orgánů ochrany. Cílem není omezování uživatelů, ale udržitelné uchování těchto přírodních fenoménů pro budoucí generace.
Už v době řešení projektu TOPS výzkumný tým narážel na řadu dalších výzkumných otázek a problémů, které nebylo možné vyřešit ve stávajícím projektu. Například to, že původní projekt TOPS byl cílený na výzkum v hranicích CHKO Slavkovský les, ale řada zdrojů minerálních vod se nachází i v širším okolí této chráněné oblasti. Geologie a hydrogeologie oblasti se neřídí hranicemi CHKO. Byla načata otázka výzkumu antropogenního ovlivnění a znečištění zdrojů minerálních vod a v neposlední řadě při diskuzích se správou CHKO Slavkovský les a Českým inspektorátem lázní a zřídel (ČIL) vyplynuly otázky ochrany minerálních vod v místech, kam nesahá státní ochrana přírody v podobě Agentury ochrany přírody a krajiny. Opět ve spolupráci se Správou CHKO Slavkovský les a ČIL byl připraven návrh navazujícího projektu „Revize zdrojů minerálních vod strukturně souvisejících s CHKO Slavkovský les“ (TOPS2), který byl následně opět podpořen z prostředků TAČR, výzva Prostředí pro život 2. Tento navazující projekt je aktuálně na České geologické službě řešen od dubna 2026 a kompletní výsledky projektu lze očekávat z kraje roku 2029.

Poděkování: Příspěvek byl připraven za finanční podpory projektů TAČR SS06010461 Tvorba podkladů pro stanovení ochranných pásem HG fenoménů v CHKO Slavkovský les a SQ02010041 Revize zdrojů minerálních vod strukturně souvisejících s CHKO Slavkovský les.

Seznam literatury:

ČSÚ, 2025: *Česko od roku 1989 v číslech.* – Český statistický úřad. Dostupné z: https://csu.gov.cz/produkty/cesko-od-roku-1989-v-cislech-aktualizace-21-5-2026

Dašek V., 1948: *Prameny v Mariánských Lázních.* – Státní inspektorát pro přírodní léčivé zdroje.

Dovolil M., 1959: *Hydrogeologie oblasti kyselek v Mariánských Lázních a v jejich širokém okolí.* – Dizertační práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. Praha.

Klír S., 1953: *Zpráva o geologickém a hydrogeologickém průzkumu okolí Mariánských Lázní a Lázní Kynžvartu.* – Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. Praha.

Křivanec J., Milota J., 1996: *Úprava registrů minerálních vod Slavkovský les, Chebská pánev, Doupovské hory.* – Aquatest – Stavební geologie a.s. Praha.

Kůrková I., Žáček V., Landa D. A., Rozkošný I., Vylita T., 2026: *Slavkovský les – Zrození vody z kamene.* – Česká geologická služba. Praha, 120 s.

Landa D. A., 2024: *Hydrochemická zonace minerálních vod v oblasti Mariánských Lázní.* – Diplomová práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. Praha, 145 s.

Landa D., Holeček J., Kůrková I., Vylita T., Žáček V., Mareš J., Jurkovská L., 2025: *Nová hydrochemická zonace minerálních vod Slavkovského lesa.* – Zprávy o geologických výzkumech 58(2), str. 71–84. Dostupné z: https://app.geology.cz/img/zpravyvyzkum/fulltext/zpravy.geol.2025.12.pdf

Pačes T., 1962: *Příspěvek ke geochemickému studiu karlovarských vod.* – Časopis pro mineralogii a geologii 7(4), str. 418–427.

Vylita B., 1967: *Zákonitosti režimu karlovarských terem.* – Kandidátská disertační práce. Karlovy Vary.

Rolková J., Horáček J., 2024: *Vývoj ochrany CHKO Slavkovský les.* – Arnika 1/2024. Dostupné z: http://casopis-arnika.cz/pdf/arnika_2024_01.pdf

REVIZE MINERÁLNÍCH VOD V CHKO SLAVKOVSKÝ LES

REASSESSMENT OF MINERAL WATERS IN THE SLAVKOVSKÝ LES PROTECTED LANDSCAPE AREA

I. Kůrková[1], D.-A. Landa[1,2], J, Holeček[1], L. Rukavičková[1], J. Burda[1], T. Vylita [1,3],

[1]Česká geologická služba, Klárov 131/3, 118 00 Praha 1, e-mail: iva.kurkova@geology.cz3
[2]Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 00 Praha 2
[3]Institut lázeňství a balneologie, v. v. i., Závodní 353/88, 360 06 Karlovy Vary

Abstrakt: CHKO Slavkovský les patří k nejvýznamnějším hydrogeologickým oblastem České republiky díky vysoké koncentraci minerálních pramenů, výronů plynů a ložisek peloidů. Jejich výskyt souvisí se složitou geologickou stavbou a hlubinnými zlomovými strukturami umožňujícími výstup oxidu uhličitého. Projekt TOPS (Tvorba podkladů pro stanovení ochranných pásem hydrogeologických fenoménů v CHKO Slavkovský les) probíhal v letech 2023–2026 a byl zaměřen na aktualizaci hydrogeologických a hydrochemických dat pro podporu ochrany těchto fenoménů.
Minerální vody mají meteorický původ, jejich chemické složení však odráží rozdílné horninové prostředí, hloubku oběhu i dobu kontaktu s horninami. Na základě hydrochemických a genetických charakteristik bylo vymezeno pět skupin minerálních vod: hořečnaté vody vázané na serpentinity, vápenaté vody spojené s amfibolity, silně mineralizované vody karlovarského typu, přechodné málo mineralizované vody a antropogenně ovlivněné vody se zvýšenými koncentracemi chloridů a dusičnanů. Hlavními výstupy projektu jsou interaktivní hydrogeologická mapa propojující geologická, hydrogeologická a hydrochemická data a populárně-naučná publikace o geologii a minerálních vodách Slavkovského lesa.

Abstract: The Slavkovský les Protected Landscape Area is one of the most important hydrogeological regions in the Czech Republic due to its high concentration of mineral springs, natural gas emissions, and peat deposits. These hydrogeological phenomena are controlled by a complex geological setting and deep-seated fault systems that facilitate the ascent of carbon dioxide from the deeper parts of the Earth's crust. The TOPS project (Development of Supporting Data for the Delineation of Protection Zones of Hydrogeological Phenomena in the Slavkovský les Protected Landscape Area), carried out between 2023 and 2026, focused on updating hydrogeological and hydrochemical data to support the effective protection of these valuable natural features.
All mineral waters are of meteoric origin; however, their chemical composition reflects differences in geological environment, groundwater circulation depth, and water-rock interaction time. Based on hydrochemical and genetic characteristics, five principal groups of mineral waters were distinguished: magnesium-rich waters associated with serpentinites, calcium-rich waters related to amphibolites, highly mineralized Karlovy Vary-type waters, transitional low-mineralized waters, and anthropogenically influenced waters with elevated chloride and nitrate concentrations. The main outputs of the project include an interactive hydrogeological map integrating geological, hydrogeological, and hydrochemical data, and a popular science publication presenting the geology and mineral waters of the Slavkovský les region.

Klíčová slova:

minerální vody; hydrogeologie; hydrochemie; Slavkovský les; ochrana podzemních vod.

Key words:

mineral waters; hydrogeology; hydrochemistry; Slavkovský les; groundwater protection.

1. Úvod

Západočeské minerální vody jsou vázány hlavně na zlomové zóny oherského riftu a mariánskolázeňského zlomu. Vyskytují se ve třech hlavních oblastech. Nejznámější jsou termální vody v Karlových Varech nacházející se v severním cípu CHKO Slavkovský les. V jejich okolí se nacházejí i studené méně mineralizované kyselky. Františkovy Lázně a jejich široké okolí jsou druhou rozsáhlou oblastí v okolí chebské pánve s výskyty minerálek od Aše přes Skalnou až po Šabinskou kyselku u Kynšperka nad Ohří. Třetí oblastí jsou Mariánské Lázně a prameny Slavkovského lesa, které se nacházejí v jižní části CHKO. Souvislý výskyt minerálních vod však pokračuje dále k JZ a JV a zahrnuje oblast Žandovska, Úterska a Konstantinolázeňska, s nejvzdálenějšími zaznamenanými vývěry u Erpužic a u Tachova.
Projekt TOPS (Tvorba podkladů pro stanovení ochranných pásem hydrogeologických fenoménů v CHKO Slavkovský les) probíhal v letech 2023–2026 a byl zaměřen na aktualizaci hydrogeologických a hydrochemických dat pro podporu ochrany těchto fenoménů v oblasti CHKO a jejího nejbližšího okolí. Navazující projekt TOPS 2 (Revize zdrojů minerálních vod strukturně souvisejících s CHKO Slavkovský les) pokračuje v letech 2026-2029 v revizi minerálních vod se zaměřením na oblast navazující na CHKO Slavkovský les, zejména Žandovsko a Konstantinolázeňsko.

2. Databáze minerálních vývěrů

Poslední systematická dokumentace minerálních vývěrů proběhla v 50. letech (Dovolil 1959, Klír 1953), Myslil a Hazdrová 1960), v menší míře pak v 90. letech (Křivanec a Milota (1996), většinou však šlo o lokální průzkumy (např. Pěček 1980, 1990) či turistické průvodce (Milota a Bartoš 2008, 2009, 2011), některé prameny nikdy nebyly analyzovány. V průběhu revize a mapování minerálních pramenů v terénu byla vytvořena databáze objektů minerálních i prostých vod s jejich dokumentací a klasifikací. V případě přírodních vývěrů minerálních vod, které jsou zpravidla mělce zachycené a jsou často v kontaktu s prostými vodami, není rozlišení mezi prostou a minerální vodou často jednoduché. Prosté vody ve vyšších neosídlených a zemědělsky nevyužívaných oblastech Slavkovského lesa mají zpravidla velmi nízkou mineralizaci (do 200 mg/l) a vyšší hodnoty často indikují významnější příměs minerální vody. Dalším parametrem, ve kterém se zásadně liší minerální vody od prostých, je obsah rozpuštěného kyslíku, který je v minerálních vodách výrazně nižší. Minerální vody byly proto rozděleny do následujících typů na základě mineralizace (případně konduktivity), obsahu v.r. CO_2 a dalších složek, je-li k dispozici analýza:

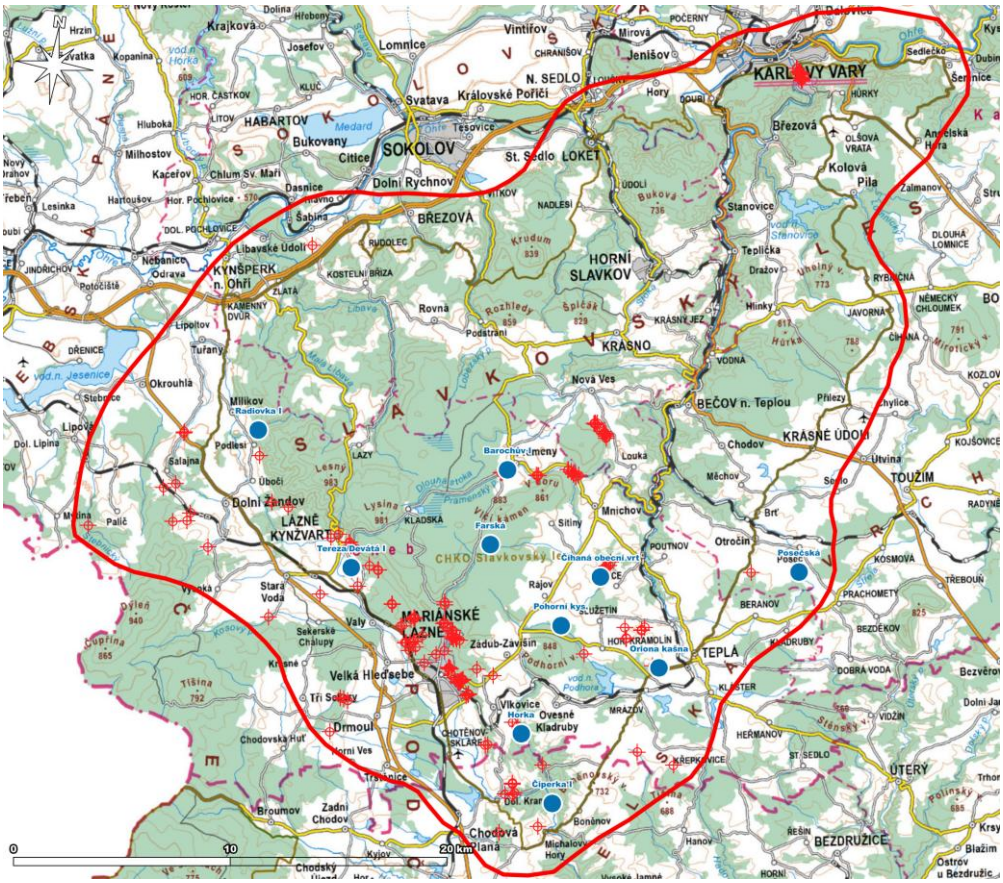
- Minerální kyselky (tzn. mineralizované M a v.r. CO_2 nad 1 g/l nebo nadlimitní obsah jiné složky)
- Prosté kyselky (M pod 1 g/l, bez jiné složky a v.r. CO_2 nad 1 g/l)
- Minerální vody neproplyněné (v.r. CO_2 pod 1 g/l, M nad 1 g/l nebo nadlimitní obsah jiné složky)
- Subminerálky (M 0,5 - 1 g/l nebo 0,5 - 1 g/l v.r. CO_{2-} - přechodný typ indikující pravděpodobné mísení prostých a minerálních vod)
- Prosté vody (M pod 0,5 g/l a pod 0,5 g/l v.r. CO_2)
- Výrony suchého plynu (mofety)

Pro ochranu přírody je zásadní informace, zda se jedná o přírodní vývěr, nebo zda je ovlivněn zásahem člověka. Vývěry minerálních pramenů a výrony plynů byly proto rozděleny do tří základních kategorií na základě jejich zachycení:

- Přírodní nezachycené prameny bez zásahu člověka, často špatně přístupné
- Zachycené prameny jakýmkoliv způsobem od mělkých jímek z vydlabaných kmenů přes hlubší betonové jímky určené k čerpání vody po zachycení vrtem.
- Referenční zachycené prameny pravidelně čtvrtletně odebírané v rámci projektu a další doporučené ke sledování.

3. Hydrochemická charakteristika

Pro charakterizaci území z hlediska chemismu minerálních vod bylo použito 298 reprezentativních analýz minerálních vod na 213 objektech včetně poskytnutých dat z vrtů z oblasti Nová Ves – Louka – Mnichov (zdroje Magnesie), z Karlových Varů a Mariánských Lázní (Obr. 1). Pro vyhodnocení byly využity pouze chemické rozbory s analytickou chybou < 5 % a zároveň s koncentrací v.r. $CO_2 \geq 1000$ mg/l nebo se jedná o vývěry termální (>20 °C) anebo prameny osvědčené jako PLZ, resp. ZPMV (přírodní léčivé zdroje a zdroje přírodní minerální vody). Na celkovou mineralizaci nebyl brán zřetel. Tento postup byl zvolen s ohledem na lázeňský zákon č. 164/2001, který vymezuje tzv. minerální vody pro léčebné využití, a limitní hodnoty byly převzaty. Jedenáct pramenů bylo dále vybráno pro hydrochemický monitoring, vzorky na analýzy zde byly odebírány kvartálně.



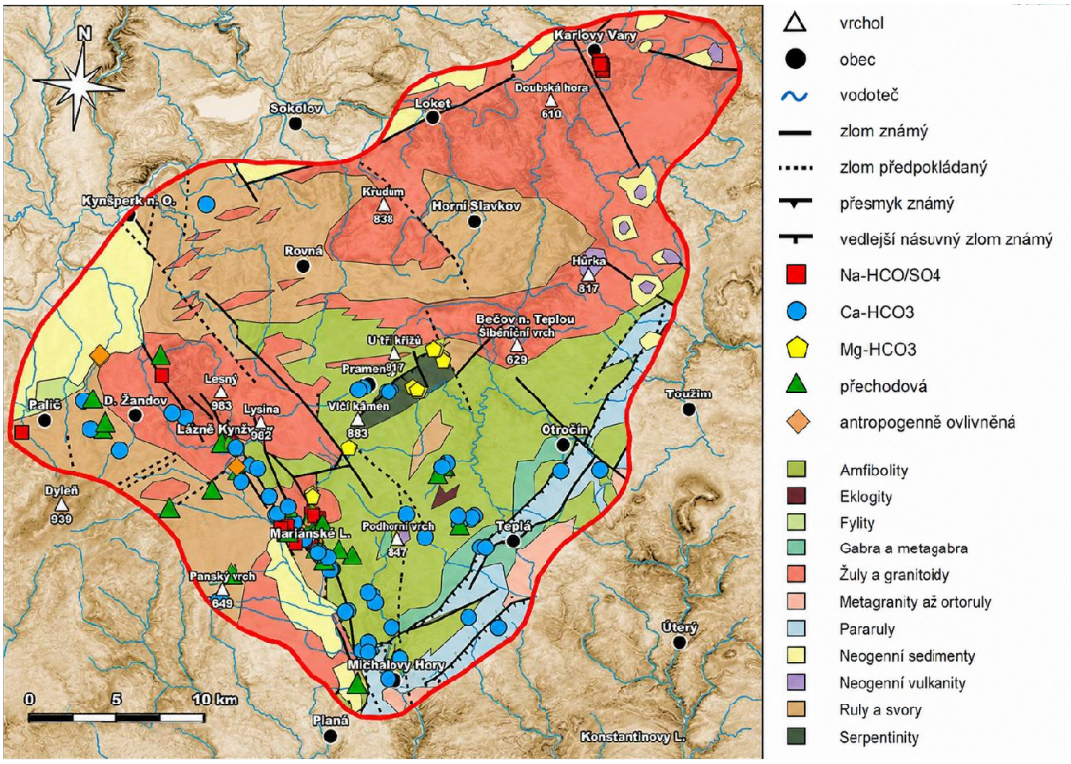
Obr. 1 Studované minerální prameny (červeně), vybrané kvartálně monitorované prameny (modře).
Fig. 1 Studied mineral springs (red) and selected springs monitored quarterly (blue).

3.1 Hydrochemická zonace

Oproti rozsahu geologické a hydrogeologické mapy byla oblast zpracování chemických analýz mírně rozšířena tak, aby zahrnula monitorovanou Posečskou kyselku nacházející se těsně za hranicí mapy a reprezentující vzdálenější tepelské kyselky, a také pramen Kyselecký Hamr, který je nejvzdálenějším pramenem Žandovské oblasti, a přitom má vysokou mineralizaci karlovarského typu. Toto vymezení bylo definováno již pro zpracování článku publikovaného v rámci projektu (Landa et al. 2025), kde jsou výsledky popsány podrobněji.
Pestré chemické složení minerálních vod je výsledkem interakce meteorických vod s různorodým horninovým prostředím a hlubinným CO_2. Tento plyn podporuje rozpouštění minerálů a pomáhá minerální vodě stoupat k povrchu. Na základě chemického složení a lze minerální vody rozdělit do pěti hlavních skupin:

1. vody s převahou Mg^{2+}, jejichž mineralizace je vázána na rozpouštění ultrabazických hornin, zejména serpentinitů.
2. vody s převahou Ca^{2+}, které vznikají interakcí s amfibolity – kromě vápníku obsahují i významné podíly Mg^{2+}.
3. vody se zvýšenými obsahy Na^{+}, SO_4^{2-} a Cl^{-} – vody karlovarského typu spjaté s karlovarským žulovým plutonem, oblastí mariánskolázeňského zlomového pásma a okrajem chebské pánve.
4. vody z prostředí s proměnlivou litologií nebo s krátkou dobou kontaktu s horninou, což se projevuje nízkou celkovou mineralizací a méně vyhraněným chemickým složením (přechodné typy).
5. vody antropogenně ovlivněné, u nichž se projevují zvýšené koncentrace chloridů a místy i dusičnanů, což ukazuje na vliv lidské činnosti. Přestože jsou tyto případy spíše ojedinělé, upozorňují na citlivost minerálních pramenů vůči vnějším zásahům.

Zjednodušená geologická mapa s rozmístěním těchto pěti hlavních typů minerálních vod je znázorněna na Obr. 2.



Obr. 2 Minerální prameny rozdělené na 5 skupin pomocí shlukové na podkladu zjednodušené geologické mapy
Fig. 2 Classification of mineral springs into five groups based on cluster analysis, shown on a simplified geological map.

3.2 Celková mineralizace a sezónní variabilita

Distribuce celkové mineralizace v zájmové oblasti není jednoduchá. Nejvíce mineralizované prameny jsou vody chemicky řazené do karlovarského typu, jejich přesné rozložení však není zcela vysvětleno. Obecně lze předpokládat, že jsou vázány na hlubší zlomy a dovolují komunikaci s hlubinnou složkou, ale v menším měřítku se nedaří tyto zlomy jednoznačně ověřit. V celé oblasti jsou tyto vody vázány na svahy mariánskolázeňského zlomu (Podlesí a Mariánské Lázně) a oherského riftu (Karlovy Vary). Důležitým aspektem je i hloubka a nadmořská výška záchytů minerální vody. S hloubkou vrtů roste celková mineralizace vody a dále se vzrůstající nadmořskou výškou mineralizace klesá.
Analýza sezónní variability ukazuje, že chemické složení sledovaných minerálních pramenů byl během dvouletého sledování převážně stabilní a významnější změny se objevují pouze u několika lokalit. U hlavních iontů byly zaznamenány výraznější změny koncentrací Ca^{2+} (nárůst ve Farské kyselce přibližně o 300 % a pokles v prameni Čiperka I o zhruba 50 %) a Mg^{2+} (pokles v prameni Radiovka I asi o 50 %), zatímco změny stopových prvků mají spíše charakter ojedinělých odchylek nebo pravděpodobných analytických chyb.

4. Infiltrační a drenážní oblasti

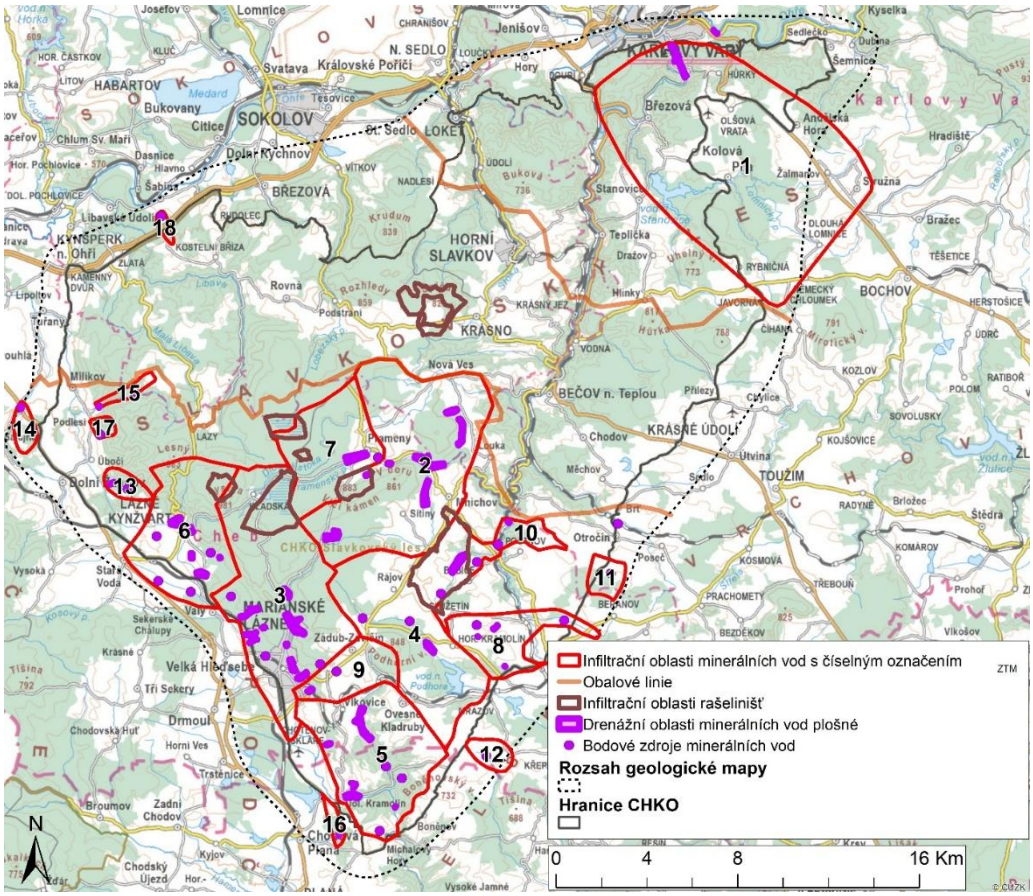
Vymezení infiltračních oblastí zdrojů minerálních vod a nejvýznamnějších rašelinišť je základním podkladem pro jejich ochranu. Rozsah a přehled základních parametrů jsou součástí mapové aplikace: https://mapy.geology.cz/hydro_slavkovsky_les.

4.1 Infiltrační a drenážní oblasti minerálních vod

Na základě výskytu vývěrů minerálních vod a jejich zachycení vrty byly stanoveny drenážní území minerálních vod, v případě podrobněji neprozkoumaných osamocených výskytů byly stanoveny jako bodové zdroje. Na území Slavkovského lesa se nacházejí tři oddělené oblasti s přítomností minerálních vod:

- Mariánskolázeňská oblast: Jižní část oblasti ohraničená na severu přibližně linií Smrkovec-Lazy-Nová Ves-Otročín.
- Karlovarská oblast: SV cíp CHKO Slavkovský les patří do infiltrační oblasti Karlovarských terem a okolních kyselek nacházejících se v oblasti Doupovských hor.
- Šabinská kyselka je izolovaným vývěrem minerální vody na SZ hranici Slavkovského lesa.

K infiltraci srážkové vody dochází plošně na celém území těchto oblastí. Syntézou informací o geologickém prostředí, strukturní geologii a chemismu minerálních vod byly stanoveny infiltrační oblasti jednotlivých struktur minerálních vod, tj. skupin vývěrů, které si jsou blízké geografickou polohou a chemickými vlastnostmi. Chemismus pramenů odráží horninové složení, přičemž zásadní pro obsah rozpuštěných látek je zejména akumulační, tranzitní a výstupní oblast, ve kterých dochází k přísunu CO_2. Popis infiltračních oblastí a způsob jejich klasifikace byly převzaty a upraveny podle metodiky interního projektu ČGS „Geologické podmínky ochranných pásem přírodních léčivých zdrojů minerálních vod (Kryštofová et al. 2022)“.
Výsledkem je 18 infiltračních oblastí (Obr. 3), oblast karlovarských a mariánskolázeňských minerálních vod je navíc vymezena tzv. obalovou linií, která vyznačuje kompaktní oblast, která s určitou pravděpodobností stále může mít vliv na tvorbu minerálních vod a často se shoduje s rozsahem ochranných pásem přírodních léčivých zdrojů. Obalové linie nejsou uzavřenými oblastmi, výskyty minerálních vod a jejich infiltrační oblasti pokračují dále za hranice zkoumané oblasti/rozsahu hydrogeologické mapy – v případě karlovarské oblasti na sever (Lázně Kyselka a další výskyty minerálních vod, infiltrační oblast karlovarských terem pak zahrnuje i část sokolovské pánve a sahá až do Krušných hor) a v případě jižní části v okolí Mariánských Lázní pokračují výskyty minerálních vod na Žandovsko, Konstantinolázeňsko a Útersko.
Pro jednotlivé struktury byly spočteny základní parametry (tab.1): plocha, odhad vydatnosti minerálních vod ze struktury, základní odtok (Bruthans et al. 2024; https://mapy.geology.cz/hydro_rajony/#), podíl minerální vody na základním odtoku, srážky (ČHMÚ normál 1991-2020). Dále tabulka obsahuje stručnou charakteristiku geologické stavby, celkovou mineralizaci minerálních vod a jejich chemismus.



Obr. 3 Přehled vymezených drenážních a infiltračních území minerálních vod a rašelinišť v CHKO Slavkovský les. Čísla infiltračních území s popisem jsou uvedeny v tab. 1

Fig. 3 Overview of delineated recharge and discharge areas of mineral waters and peatlands in the Slavkovský les Protected Landscape Area. The numbers of the recharge areas and their descriptions are provided in Tab. 1.

Tab. 1. Přehled infiltračních oblastí a jejich základní charakteristiky: Plocha infiltrační oblasti struktury, základní odtok (ZO, Bruthans et al. 2024; https://mapy.geology.cz/hydro_rajony/#), srážky ČHMÚ (normál 1991-2020), vydatnost minerální vody (MV) ze struktury, a podíl minerální vody v základním odtoku (MV/ZO), geologie oblasti, chemismus vod a celková mineralizace (TDS)

Tab. 1. Overview of the delineated recharge areas and their basic characteristics: recharge area size, baseflow (ZO; Bruthans et al., 2024; https://mapy.geology.cz/hydro_rajony/#), precipitation (Czech Hydrometeorological Institute, 1991–2020 climatological normal), mineral water discharge (MV) from each structure, and the proportion of mineral water in the baseflow (MV/ZO). geology, water chemistry and total dissolved solids (TDS)

Id	Struktura	Plocha km^2	ZO l/s/km	srážky mm/rok	Vydatnost MV l/min	MV/ ZO	geologie	chemismus	TDS (g/l)
1	**Karlovarské termy**	82.55	1.4	632	2000		granity, granodiority, gabra	$Na\text{-}HCO_3\text{-}SO_4(Cl)$	5-6.4
2	**Magnesia, Amálka a Farská**	43.77	3.8	781	316	0.031	1.serpentinit; 2. amfibolity, zelené břidlice, erlany; 3. pararuly ortoruly	$Mg\text{-}HCO_3$ až $Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	0.1-6
3	**Mariánské lázně**	40.20	4.0	804	600	0.062	1. pararuly, svory, migmatity, rohovce, ortoruly 2.granity, granodiority, gabra 3.amfibolity, metabazity, zelené břidlice, erlany, 4. serpentinity	$(Mg)\text{-}Ca\text{-}HCO_3$ až $Na\text{-}HCO_3\text{-}SO_4(Cl)$	0.4-9
4	**Číhaná a Podhorní**	34.13	3.2	743	353	0.053	1.amfibolity, metabazity, zelené břidlice, erlany. 2.pararuly, ortoruly	$Ca\text{-}(Mg)\text{-}HCO_3$ až $Na\text{-}HCO_3$	0.3-2.8
5	**Il Sano**	26.31	2.6	704	60	0.015	1.amfibolity, metabazity, zelené břidlice, erlany 2.pararuly, ortoruly	$Mg\text{-}Ca\text{-}HCO_3$, $Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	0.4-4
6	**Kynžvart**	22.02	4.2	834	60	0.011	1.pararuly, svory, migmatity, rohovce, ortoruly, 2.granity, granodiority, gabra	$Ca\text{-}HCO_3$, $Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$, $(Na\text{-}HCO_3)$	0.3-1.9
7	**Prameny**	15.90	4.5	831	250	0.059	1.amfibolity, zelené břidlice, erlany, 2.serpentinity	$Mg\text{-}Ca\text{-}HCO_3$, $Ca\text{-}(Mg)\text{-}HCO_3$	0.3-2.4
8	**Oriona, Hoštěc**	10.02	2.6	696	24	0.015	1.amfibolity, metabazity, zelené břidlice, erlany 2.pararuly, ortoruly	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	0.2-1.3
9	**Antoníček**	7.71	3.3	750	24	0.016	1.amfibolity, metabazity, zelené břidlice, erlany. 2.velmi podřadně pararuly, ortoruly	$Ca\text{-}(Mg)\text{-}HCO_3$	0.2-1.4
10	**Bohuslav**	2.81	2.7	696	3	0.007	1.amfibolity, metabazity, zelené břidlice, erlany. 2.velmi podřadně pararuly, ortoruly	$Ca\text{-}HCO_3$	0.4
11	**Otročín**	2.42	2.2	677	3	0.009	1. pararuly, ortoruly. 2. podřadně amfibolity, metabazity, zelené břidlice, erlany	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	1.2-2.0
12	**Beranovka**	2.10	2.5	694	2	0.006	1. pararuly, ortoruly. 2. podřadně amfibolity, metabazity, zelené břidlice, erlany	$Ca\text{-}HCO_3$	1
13	**Bubláky**	1.92	3.4	816	5	0.013	granity, granodiority, gabra	$Ca\text{-}HCO_3$	0.3-1.2
14	**Leimbruck**	1.65	2.3	656	1	0.004	pararuly, svory, migmatity, rohovce, ortoruly, ZNEČIŠTĚNÍ	Na-Cl	0.2-0.6
15	**Radiovka**	1.17	3.8	823	2	0.008	granity, granodiority, gabra	$Na\text{-}HCO_3\ (SO_4)$	1.1-3.5
16	**Hubertka**	0.94	2.0	652	2	0.018	1.amfibolity, metabazity, zelené břidlice, erlany 2.pararuly, ortoruly	$Ca\text{-}Mg\text{-}HCO_3$	0.7
17	**Podlesí**	0.78	3.6	794	2	0.012	granity, granodiority, gabra	$Na\text{-}SO_4$	2.9
18	**Šabina**	0.59	2.6	691	2	0.022	pararuly, svory, migmatity, rohovce, ortoruly,	$(CaNaMg)\text{-}HCO_3$	2.2-2.4

4.1 Infiltrační oblasti rašelinišť

Infiltrace rašelinišť jako oblastí akumulace srážkové vody a vod mělkého oběhu byla stanovena podle orografických povodí (Obr. 3). Pro rašeliniště Krásno je navíc znázorněna širší oblast zahrnující jeho ochranné pásmo, ve kterém potenciálně mohou mít výraznější zásahy do podzemní vody vliv na režim rašeliniště a jeho dotaci mělkými podzemními vodami.

5. Hydrogeologická mapa CHKO Slavkovský les

Jedním z výstupů projektu je Hydrogeologická mapa CHKO Slavkovský les. Hydrogeologická mapa ve standardním tištěném formátu by neumožňovala zobrazení celé škály unikátních dat, která byla v průběhu řešení projektu získána. Proto byl standardní formát mapy nahrazen mapovou aplikací, která umožňuje uživatelům zobrazení velkého množství hydrogeologických dat.

Odborný obsah aplikace:

1. Hydrogeologická mapa:
   - Hydrogeologické jednotky vyčleněné na základě aktualizované geologické mapy podle horninových typů s obdobnou genezí, typem propustnosti a obdobnými hydraulickými vlastnostmi.
   - Tektonické linie významné pro oběh minerálních vod
   - Infiltrační oblasti struktur minerálních vod
2. Geologická mapa
   - Hranice horninových jednotek
   - Pozice tektonických linií (zlomů).
   - Významné geologické lokality
3. Hydrogeologická dokumentace
   - Dokumentované objekty minerálních a prostých vod
   - Vybrané vrty a studny s archivními hydrogeologickými daty
4. Chemické složení podzemních vod
   - Chemické analýzy podzemních vod
   - Hydrochemické typy podzemních vod
   - Typ a kategorie vývěru minerální vody
   - Vybrané vrty a studny s archivními hydrochemickými daty
5. Chráněná území
   - Hranice CHKO Slavkovský les
   - Zonace CHKO
   - Ochranná pásma vodních zdrojů
   - Ochranná pásma přírodních léčivých zdrojů
   - Maloplošná chráněná území

Aplikace byla vytvořena v prostředí Web AppBuilder (verze 2.27) od firmy Esri, které ČGS provozuje a rozvíjí. Toto řešení vývojáři přináší robustní prostředí, kde lze kombinovat standardní funkčnosti prostředí pro přípravu mapových aplikací s vlastními nástroji, které byly naprogramovány. Mapová aplikace je volně přístupná a může být využívána jak orgány státní správy, tak odbornou i laickou veřejností. Mapová aplikace je plně optimalizována pro provoz na mobilních zařízeních, přičemž její uživatelské rozhraní se automaticky přizpůsobuje velikosti displeje koncového zařízení. V mobilním zobrazení je kladen důraz na maximální přehlednost a efektivní ovládání v terénu, čemuž odpovídá i zjednodušené prostředí. Mapy a data získaná v průběhu řešení projektu jsou přístupná zde: https://mapy.geology.cz/hydro_slavkovsky_les

6. Populárně naučná publikace

Knížka Slavkovský les – Zrození vody z kamene vychází z výsledků projektu a popisuje nejzajímavější geologické a hydrogeologické fenomény Slavkovského lesa. Hlavním cílem je seznámit čtenáře z řad veřejnosti s příběhem vzniku minerálních vod, zejména s bezprostředním vlivem hornin a geologické stavby na jejich tvorbu a chemické složení.
Úvodní část je věnována geologickému vývoji, vlastnostem horninového prostředí a na ně vázaných minerálních vod. Devět kapitol pak popisuje oblasti Karlovarska, Loketska, okolí Horního Slavkova, Kynžvartska, Mariánských Lázní, Pramenska, Podhorního vrchu, Tepelska a okolí Michalových Hor. Výběr přírodních i montanistických zajímavostí čítá přes 60 lokalit minerálních pramenů, hornin a minerálů, a to jak místa známá a turisticky navštěvovaná, tak opomíjená, ležící mimo síť turistických cest či veřejnosti běžně nepřístupná.

7. Závěr

Minerální vody představují citlivé hydrogeologické fenomény, jejichž účinná ochrana vyžaduje znalost jejich původu, chemického složení, režimu a vazby na okolní horninové prostředí. Stejně důležitá je ochrana prostých podzemních vod, které tvoří významnou část infiltrace a mohou ovlivňovat množství i kvalitu minerálních vod. Výsledky projektu TOPS poskytly nové podklady pro ochranu těchto vazeb v CHKO Slavkovský les, zejména prostřednictvím aktualizace databáze minerálních vývěrů, hydrochemické charakterizace a vymezení infiltračních a drenážních oblastí.

Navazující projekt TOPS 2 se kromě revize dalších minerálních vývěrů v oblasti Žandovska, Konstantinolázeňska, Úterska a Tachovska zaměří také na zpřesnění poznatků z prvního projektu na vybraných strukturách minerálních vod, zejména na jejich hydrogeologický režim a vztah mezi infiltračními oblastmi a vývěry. Získané informace budou sloužit jako podklad pro dlouhodobou ochranu minerálních i prostých podzemních vod a dalších na ně vázaných přírodních fenoménů.

Poděkování: Příspěvek byl podpořen granty TA ČR SS06010461 – Tvorba podkladů pro stanovení ochranných pásem hydrogeologických fenoménů v CHKO Slavkovský les a SQ02010041 – Revize zdrojů minerálních vod strukturně souvisejících s CHKO Slavkovský les.

Seznam literatury

Bruthans, J., Grundloch J., Kadlecová R., Karatas T., Šabatová K., Vlnas R. (2024): Metodika tvorby Mapy zranitelnosti kvantity přírodních zdrojů podzemní vody k suchu pro Českou republiku. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace. ISSN 0322-8916. http://doi.org/10.46555/VTEI.2024.07.002, https://mapy.geology.cz/hydro_rajony/#

Dovolil M. (1959): Hydrogeologie oblasti kyselek v Mariánských Lázních a v jejich širokém okolí. – Ms. Dizertační práce, Přírodovědecká fakulta UK Praha.

Český hydrometeorologický ústav (2020): Srážky – klimatologický normál 1991–2020 a denní data srážek ze srážkoměrných stanic. Národní databáze hydrometeorologických údajů (ČHMÚ), Praha. Dostupné z: https://opendata.chmi.cz/

Klír S. (1953): Zpráva o geologickém a hydrogeologickém průzkumu okolí Mariánských Lázní a Lázní Kynžvart. Diplomová práce. - Přírodovědecká fakulta University Karlovy, Praha.

Kolářová M., Myslil V. (1979): Minerální vody Západočeského kraje. - Ústř. Úst. geol. Praha.

Kryštofová E., Baldík V., Čurda J., Gilíková H., Hadacz R., Havlín A., Knotek J., Novotná J., Otava J., Paleček M., Rez J., Sedláček J., Skácelová Z., Tomanová Petrová P. (2022): Geologické podmínky ochranných pásem přírodních léčivých zdrojů minerálních vod (OPPLZ MV). Závěrečná zpráva o řešení projektu ČGS. – Česká geologická služba.

Křivanec J., Milota J. (1993): Registr vývěrů minerálních vod. Slavkovský les, Tepelská vrchovina, Tachovská brázda. - AQUATEST - Stavební geologie, akciová společnost, Praha 1.

Kůrková, I., Žáček, V., Landa, D., Rozkošný, I., Vylita, T. (2026): Slavkovský les. Zrození vody z kamene. Česká geologická služba, vyd. 1., 120 s. Praha.

Landa, D., Holeček, J., Kůrková, I., Vylita, T., Žáček, V., Mareš, J., Jurkovská, L. (2025): Nová hydrochemická zonace minerálních vod Slavkovského lesa. – Geosciences Research Reports, 58, 2, 71–84.

Milota J., Bartoš J. (2008-2011): Průvodce po minerálních pramenech. I. -IV. – Český svaz ochránců přírody, ZO ČSOP Kladská, Mariánské Lázně.

Pěček J. (1980): Závěrečná zpráva o hydrogeologickém průzkumu pro stanovení ochranných pásem léčivých zdrojů lázeňského místa Lázně Kynžvart. Název úkolu: Lázně Kynžvart – ochranná pásma 2. a 3. fáze, číslo úkolu: 0379106313 KH. Praha.

Pěček J. (1990): Slavkovský Les - regionální hydrogeologický průzkum - I. fáze - studie. - Stavební Geologie. Praha.

Vodní dílo Skalička – hydrogeologické a inženýrskogeologické poměry v oblasti projektované stavby

Waterwork Skalička – hydrogeological and engineering-geological conditions in the area of the planned construction

Jitka Novotná[1], Roman Hadacz[1], Jan Sedláček[1], Eva Kryštofová[1]

[1]*Česká geologická služba, Klárov 131/, 118 21 Praha 1, e-mail: jitka.novotna@geology.cz, roman.hadacz@geology.cz, jan.sedlacek.brno@geology.cz, eva.krystofova@geology.cz*

Abstrakt: Vodní dílo (VD) Skalička je projektováno jako suchý poldr, jehož hráz v délce ca 8 km kopíruje levý břeh Bečvy v lokalitě rozšíření údolí mezi Miloticemi nad Bečvou a Teplicemi nad Bečvou. Jde o území kontaktu hornin Českého masívu a Západních Karpat. Hráz VD je projektovaná jako sypaná hráz s těsnícím prvkem. V současnosti na území probíhají průzkumy a jsou identifikovány jevy (hydrogeologické a inženýrskogeologické poměry), které mohou zásadně negativně ovlivnit výstavbu VD nebo tyto jevy mohou být negativně ovlivněny výstavbou VD.

Abstracts: Waterwork (WW) Skalička is designed as a dry retention basin, with a dam about 8 km long following the left bank of the Bečva River in the valley expansion area between Milotice nad Bečvou and Teplice nad Bečvou. It's an area where the rocks of the Bohemian Massif and the Western Carpathians meet. The dam of the WW is planned as an embankment dam with a sealing element. Currently, surveys are being carried out in the area, and phenomena have been identified (hydrogeological and engineering-geological conditions) that could significantly negatively affect the construction of the WW, or these phenomena could be negatively affected by the construction of the WW.

Klíčová slova: vodní dílo, Teplice nad Bečvou, minerální voda, fluviální štěrky, vzdálené dotační zázemí

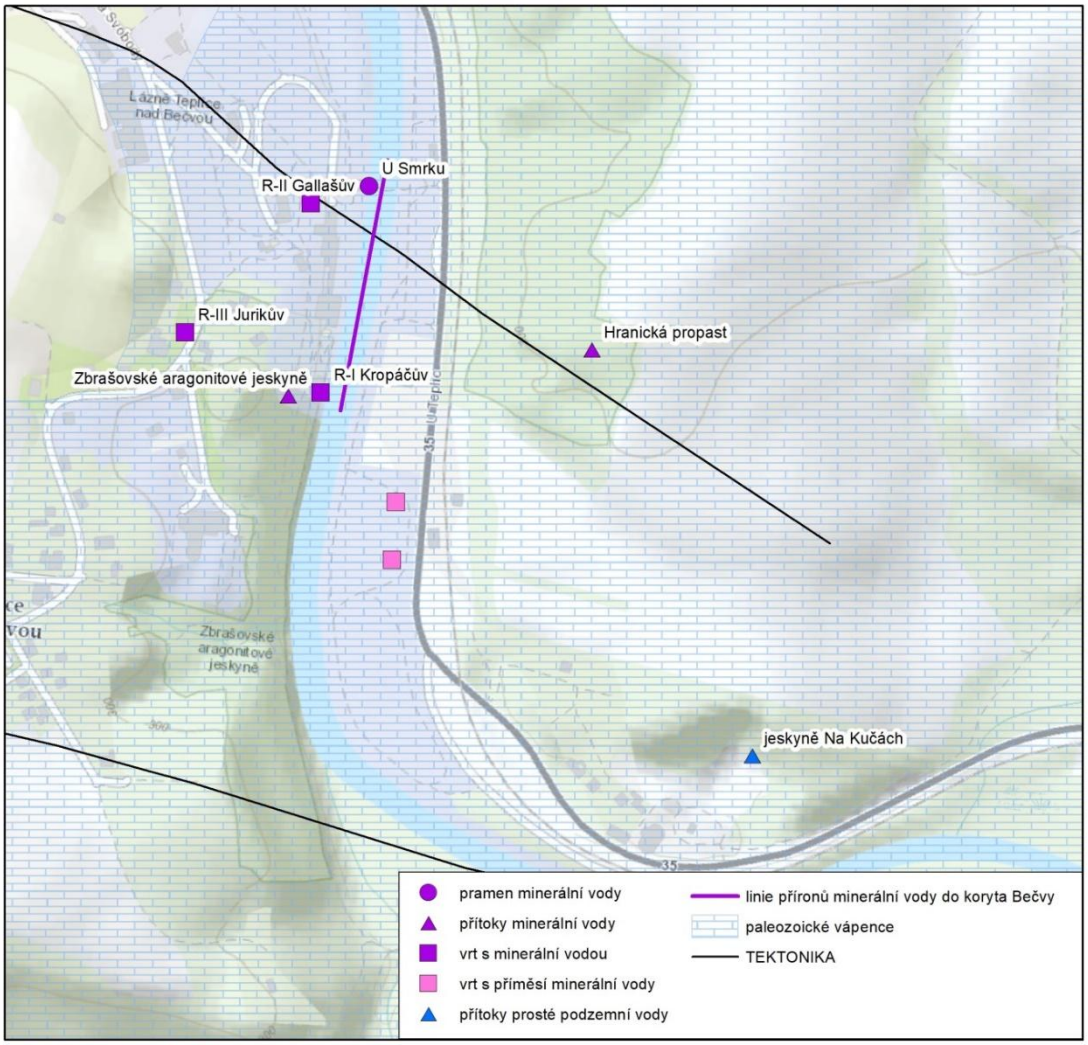
Keywords: waterwork, Teplice nad Bečvou, mineral water, fluvial gravels, distant subsidy background

1. Úvod

Vodní dílo (VD) Skalička je projektováno jako suchý poldr, jehož hráz v délce ca 8 km kopíruje levý břeh Bečvy v lokalitě rozšíření údolí mezi Miloticemi nad Bečvou a Teplicemi nad Bečvou. Jde o území kontaktu hornin Českého masívu a Západních Karpat geograficky jde o ca z. třetinu Středobečevské nivy (podcelek Příborská pahorkatina, celek Podbeskydská pahorkatina – Demek, Mackovič 2006). Hráz VD je projektovaná jako sypaná hráz s těsnícím prvkem. V současnosti na území probíhají průzkumy a jsou identifikovány jevy (hydrogeologické a inženýrskogeologické poměry), které mohou zásadně negativně ovlivnit výstavbu VD nebo tyto jevy mohou být negativně ovlivněny výstavbou VD. Projektovaná stavba zasahuje do v současnosti platných ochranných pásem přírodních léčivých zdrojů lázní Teplice nad Bečvou. V prostoru hráze a zátopy se nacházejí relikty devonských vápenců, které jsou výrazně zkrasovělé. S relikty vápenců souvisí transgresivně na ně uložené černotínské vrstvy, které jsou tvořeni slepenci až písčitými jílovci s krasovou propustností. V těch by podle současného projektu VD mělo být ukončeno těsnění hráze. Při napuštění VD bude zátopa na východě zasahovat k patě sesuvů na čelech karpatských příkrovů. Těsněním hráze minimálně přes hydrogeologický kolektor fluviálních štěrků dojde ke změně hydrogeologických poměrů, což může vést k ovlivnění především minimálních průtoků na Bečvě a objemu podzemní vody v fluviálním kolektoru. Mezi minerální vodou balneologické struktury Teplice nad Bečvou a průtokem vody v údolní nivě Bečvy existuje dlouhodobým monitoringem vod vývěrové oblasti prokázaná silná hydraulická vazba. Při změně průtoků nivou dochází k zvýšení nebo poklesu hladiny minerální vody, přičemž v době nízkých průtoků v nivě se zvyšuje podíl minerální vody, která zvodeň fluviálních štěrků (a vodu v korytě) doplňuje. Pokud dojde výstavbou VD Skalička v období sucha ke snížení průtoků povrchové a podzemní vody v údolní nivě, bude docházet k rychlejší drenáži minerální vody do fluviálních štěrků a koryta Bečvy, a tím k vyprazdňování balneologické struktury. Při bilanci průtoků korytem jsou využívána data z limnigrafu situovaného v Teplické soutěsce ca 10 km od místa, kde má voda z toku natékat do vodního díla, a především v místě, kde se zcela mění morfologie údolí. Šířka údolí se mění z 1,7 km na 0,1 km. Probíhající průzkumné práce jsou omezeny pouze na levobřežní část údolní nivy, monitoring hladiny podzemní vody je prováděn nedůsledně a z provedených vrtných prací nejsou archivovány vrtná jádra, což výrazně snižuje kvalitu geologického průzkumu.

2. Vzdálená infiltrační oblast

Intenzívní geologické a hydrogeologické práce realizované v širší zájmové oblasti Hranického krasu v rámci projektu RENS Podzemní voda v krasu (Kryštofová et al, 2024) vedly k formulaci hypotézy o existenci potenciální infiltrační oblasti balneologické struktury Teplice nad Bečvou ve spodnokarbonských horninách jesenického kulmu v oblasti Oderských vrchů z oblasti povodí Odry. Možnost dotace srážkových vod do balneologické struktury Teplic nad Bečvou z oblasti Oderských vrchů uvedli Bruthans, Vysoká a Grundloch (2021), předpokládali ovšem, že k dotaci dochází z údolí Veličky ssz. od Hranic a v citované práci není vysvětlena transportní cesta podzemní vody. Nově formulovaná hypotéza předpokládá existenci dvou větví výstupu podzemních, resp. minerálních vod. Ve vývěrové oblasti balneologické struktury vystupují vody v rámci složitého tektonického uzlu přibližně v linii Hranická propast – vývěry minerálních vod ve fluviálních štěrcích a v korytě Bečvy – balneologické vrty v lázních Teplice nad Bečvou – Zbrašovské aragonitové jeskyně (obr. 1). Výstup minerálních vod lze s ohledem na jejich teplotu předpokládat z hloubek ca 700 m spolu s juvenilním CO_2, jehož původ je v hlubších částech zemské kůry. Této hypotéze odpovídá i doba zdržení minerální vody v horninovém prostředí (desítky let – např. Vysoká et al. 2019).



Obr.1: Pozice jednotlivých hydrogeologických prvků v drenážní oblasti minerálních vod v údolí Bečvy
Fig.1: Position of individual hydrogeological elements in the mineral water drainage area in the Bečva Valley

Druhá větev výstupu podzemních vod směřuje do oblasti hlavního evropského rozvodí v Hluzovské pahorkatině (pravý svah údolí Bečvy) přibližně na území obcí Hluzov, Černotín, Špičky a Hranické Loučky. Hydrogeologický

kolektor, kterým dochází k výstupu podzemní vody ca 80 m nad úroveň říční nivy Bečvy, tvoří pravděpodobně vápnité pískovce až slepence s puklinovou až krasovou porozitou (černotínské vrstvy). Pro některé obce představují tyto podzemní vody jediný zdroj zásobování vodou. K drenáži prostých podzemních vod dochází do fluviálních štěrků Bečvy.

Definování druhé větve výstupu podzemních vod vyplynulo z vyhodnocení hydrogeologických poměrů uvedeného území (podzemní voda vystupuje ca 80 m nad údolím Bečvy, v místě evropského úmoří, tedy rozvodnice Moravy a Odry), jde o podzemní vodou trvale dotované území. Černotínské vrstvy jsou převážně kalcitem tvořený puklinově až krasově propustný hydrogeologický kolektor, který tvoří bezprostřední nadloží omezeně propustných devonských vápenců. K infiltraci srážek dochází o ca 400 m výše, než je drenážní oblast shodně s výškou infiltrace minerálních vod, což bylo potvrzeno izotopovými analýzami. Nadmořská výška infiltrační oblasti zajišťuje dostatečný gradient pro výstup podzemních vod do oblasti rozvodnice Moravy a Odry. Jde o podzemní vodu s poměrně vysokou mineralizací (zvýšený obsah vápníku), která není kontaminována dusičnany a metabolity pesticidů, k její infiltrace tedy nemůže docházet pod zemědělsky obdělávanými plochami. Problematika zvodnění území obcí Hluzov, Černotín, Špičky a Hranické Loučky, tedy evropského úmoří (rozvodnice Moravy a Odry), byla studována v rámci projektu RENS Podzemní voda v krasu, v minulosti se tímto územím z hlediska hydrogeologie nikdo nezabýval.

Pro vývěrovou oblast struktury minerálních vod v Teplicích nad Bečvou představuje mělká podzemní voda ve fluviálních štěrcích Bečvy a povrchová voda v jejím korytě řídící tlakový systém, který zásadně ovlivňuje množství a vlastnosti minerálních vod, které jsou prostřednictvím fluviálních štěrků následně drénovány do toku Bečvy. Pokud se sníží průtok podzemní vody v sedimentech údolní nivy a průtok povrchové vody v korytě Bečvy, zvýší se drenáž celé balneologické struktury s dopadem na množství a vlastnosti minerálních vod.

V současnosti existují dvě hypotézy vzniku teplických minerálních vod – starší hypotéza vzniku minerální vody infiltrací vod z fluviálních sedimentů do vápenců v oblasti Kamence a ohbí Bečvy (tratě Na Skalách/Zlámaná a Hrubý rybník), která je postavena na předpokladu hydraulického propojení (při existenci krasových dutin) výše uvedeného území v oblasti Kamence a ohbí Bečvy (tratě Na Skalách/Zlámaná a Hrubý rybník) a Teplické soutěsky. Této hypotéze odpovídá současný rozsah ochranných pásem přírodních léčivých zdrojů v Teplicích nad Bečvou (např. Geršl, Konečný 2015). Druhá hypotéza je uvedena v textu výše.

3. VD Skalička

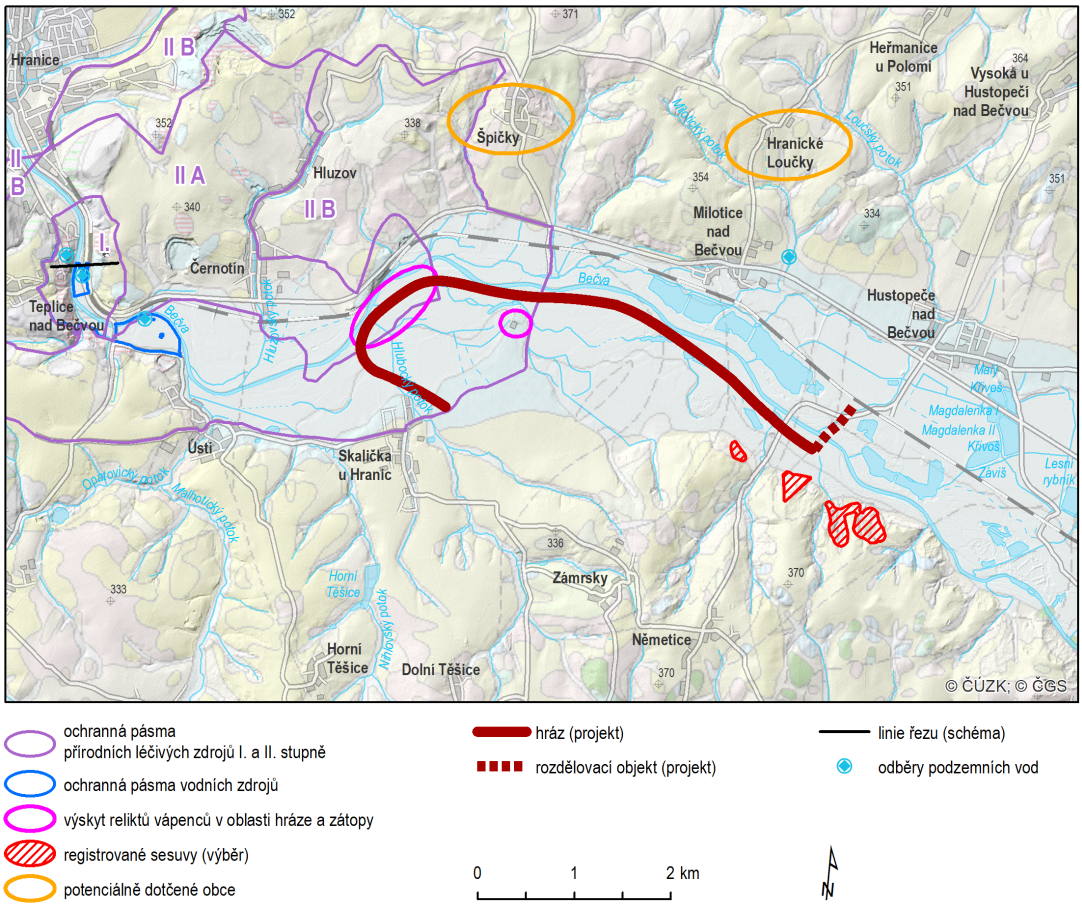
S výstavbou vodního díla se v Teplické soutěsce začalo uvažovat už v minulém století (např. Hrdý 1959). V současnosti probíhají průzkumné práce v gesci Povodí Moravy (Bradáč 2025). Hráz VD by měla být, podle posledních dostupných informací (Švancara 2025), sypaná zemní hráz dlouhá 7,9 km. Schematický průběh hráze je uveden na obr. 2. Ve vztahu k inženýrskogeologickým poměrům lze podloží hráze rozdělit na dvě z hlediska zakládání odlišná prostředí: oblast výskytu eolických sedimentů, tvořenou převážně soudržnými jílovitými zeminami, a oblast údolní nivy řeky Bečvy, budovanou kvartérními fluviálními sedimenty, především hlínami a štěrky. Hráz je projektovaná těsněná, v úseku spraší do nich, v rámci údolní nivy pod fluviální štěrky (Kršková e al. 2025)..

V lokalitě Hrubý rybník, v místě ohybu projektované hráze, byl ve vrtech minimální výnosem jádra (Bradáč 2025). Vrty byly pravděpodobně zastiženy černotínské vrstvy, u kterých vlivem trvalého kontaktu s podzemní vodou došlo k rozpuštění karbonátového tmelu.

V rámci prací realizovaných na projektu RENS, prací při zpracovávání posudků Služby oblastních geologů a informací získaných na kontrolních dnech na Povodí Moravy a dalších akcích souvisejících s projektem VD Skalička, byly identifikovány následující negativní vlivy nebo rizika stavby VD:

- Vliv stavby na vývěrovou oblast balneologické struktury minerálních vod v Teplicích nad Bečvou.
- Riziko nehomogenity černotínských vrstev v podzákladí hráze.
- Existence možné hydraulické komunikace mezi vápenci v oblasti zátopy VD a oblasti bývalé vápenky (jeskyni Na Kučách – Černotínských jeskyní).
- Problematika nízké úrovně hydrogeologického monitoringu.
- Problematika nedostatečného monitoringu průtoků na Bečvě v úseku hráze.

- Vliv zátopy v místě jejího východního ukončení na sesuvné území – lokalita Doubek.

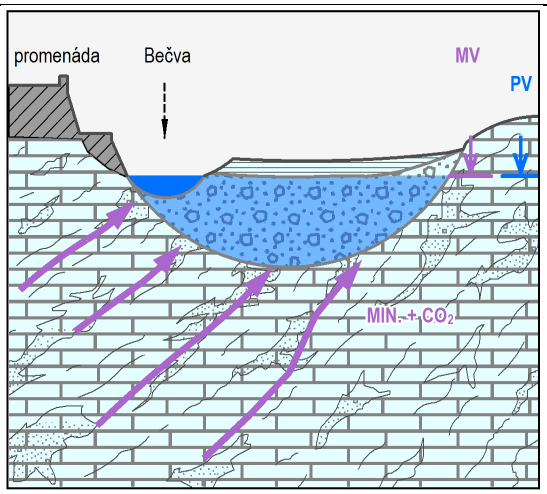


Obr. 2: Schéma projektovaného VD Skalička s vyznačením prvků, které mohou být stavbou ovlivněny.
Fig. 2: Diagram of the designed WW Skalička highlighting elements that may be affected by the construction

Trvalá změna hydrogeologických poměrů údolní nivy (voda bude zrychleně odtékat zúženým profilem nivy podle těsněné hráze), která se projeví poklesem hladiny podzemní vody a tím i častějšími periodami nízkých průtoků v korytě Bečvy, pravděpodobně povede dále k zrychlení odtoku podzemní vody z pravého svahu údolí Bečvy.

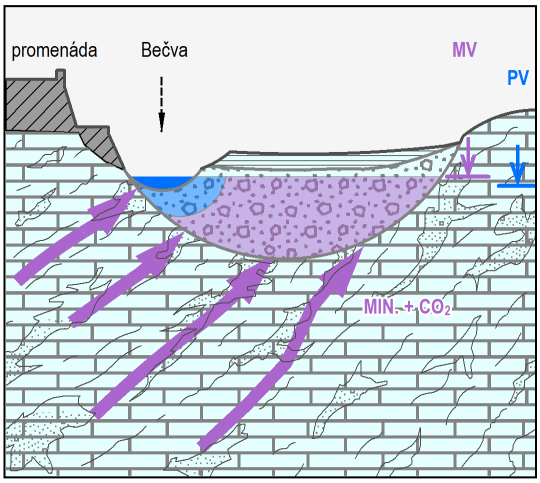
Při realizaci stavby VD Skalička by došlo k oddělení vodního kontinua údolní nivy – hydrogeologického kolektoru fluviálních štěrků v jižní části údolní nivy– od povrchové vody v korytě toku Bečvy. V místě zúžení nivy před Teplickou soutěskou dochází k částečnému odvodnění kolektoru štěrků do toku. Podíl podzemní vody na průtoku korytem Bečvy narůstá v době nízkých průtoků, které se dle měření ČHMÚ v době sucha pohybují pouze v jednotkách m3/s. Při oddělení fluviálních štěrků těsněnou hrází VD Skalička a souběžným stavem, kdy nebude vzhledem k nízkým průtokům v korytě Bečvy odváděna voda do středového koryta nádrže, je pravděpodobné, že se sníží průtok vody v korytě Bečvy a ve fluviálních sedimentech. Což podle nových zjištění povede ke zvýšení doplňování vody v korytě Bečvy v místě vývěrové oblasti přírodních léčivých zdrojů minerálních vod v Teplicích nad Bečvou. Změna podílu minerální vody na dotaci fluviálních štěrků je znázorněna na obrázcích č. 3 a 4. Změna průtoků vody kontinuem říční nivy bude trvalá. Podzemní voda ve fluviálních štěrcích v celém objemu kolektoru představuje v údolní nivě vyrovnávací prvek při nízkých průtocích v toku. Za těsněnou hrází (na její vnější straně) bude hydrogeologický kolektor bez vody.

Další riziko z hlediska hydrogeologických poměrů, které nebylo dosud zvažováno, je pravděpodobnost konsolidace fluviálních štěrků údolní nivy při výstavbě v důsledku snižování hladiny podzemní vody. To by vedlo k trvalému snížení efektivní pórovitosti sedimentů a snížení jejich transmisivity a storativity. Tento stav nenapraví ani příležitostné zaplavování poldru s periodou jednou za desítky let.



Obr. 3: Aktuální stav – podzemní voda (PV) a voda v korytě Bečvy (modrá barva) reguluje množství minerálních vod (fialová barva).

Fig. 3: Current state – groundwater (GW) and water in the Bečva riverbed (blue color) regulate the amount of mineral water (purple color).



Obr. 4: Stav po vybudování VD Skalička – riziko snížení průtoku vody fluviálními štěrky a korytem a zvýšení odtoku minerální vody (MV) do řečiště.

Fig. 4: Condition after the construction of the WW Skalička – risk of reduced water flow through fluvial gravels and the riverbed, and increased outflow of mineral water (MW) into the river.

4. Závěr

Pro přírodní léčivé zdroje Kropáčův pramen a Jurikův pramen jsou vymezena ochranná pásma II. stupně, do kterých projektovaná stavba vodního díla Skalička zasahuje. Tato skutečnost není v rámci realizovaných prací řešena.

Pro obě větve výstupu vod (minerálních i prostých) představuje změna hydrogeologických poměrů v údolní nivě Bečvy vážné riziko. VD Skalička má být provozováno jako boční suchá nádrž, přičemž hráz bude kopírovat současné koryto Bečvy. Změna hydrogeologických poměrů bude způsobena mimo jiné těsněním hráze pod cca 8 m mocnou zvodeň silně propustných fluviálních štěrků v délce 8 km. Vliv na hydrogeologické poměry budou mít i úpravy a opatření, která budou nutná na ochranu vzdušného líce hráze vodního díla.

Očekávané snížení průtoku podzemní vody ve fluviálních štěrcích údolní nivy Bečvy povede s největší pravděpodobností ke zrychlení odtoku minerálních vod z balneologické struktury v Teplicích nad Bečvou. Snížení přirozené úrovně erozní báze, tj. úrovně vody v korytě Bečvy v souvislosti se zajištěním ochrany vzdušného líce hráze, povede současně ke snížení hladiny podzemní vody v černotínských vrstvách na pravém svahu údolí.

Problematická je z hlediska stavby hráze přítomnost reliktů vápenců v zátopové oblasti i pod projektovanou hrází, které mohou mít vliv na těsnost vodní nádrže. Dalším rizikovým prvkem je geofyzikálním průzkumem potvrzená existence sesuvných území na levém svahu údolí Bečvy, na čele karpatského příkrovu, na území obcí Zámrsky a Němetice. V případě napuštění suché nádrže bude nadržená voda dosahovat až k akumulační části těchto sesuvných území a nelze proto vyloučit jejich reaktivaci.

V současnosti pro geologické (inženýrskogeologické, hydrogeologické a geotechnické) průzkumy vodních děl neexistuje technický předpis, případně metodický pokyn nebo norma, který by upravoval postupy pro tyto průzkumy. V rámci realizovaných geologických prací pro VD Skalička byly odvrtány vyšší stovky metrů jádrových vrtů, nicméně nebyla provedena archivace jejich jader pro následnou revizi, což je u průzkumů pro významné stavby (např. liniové) běžné. Pro průzkumy nebyla určena osoba s odbornou způsobilostí (inženýrský geolog, hydrogeolog) a supervizní geotechnik, kteří by prováděli dohled nad průzkumnými pracemi. VD Skalička je situována v geologicky složitém území, jak z hlediska hydrogeologie, tak i z hlediska inženýrské geologie. Finanční náklady stavby i možná rizika při její realizaci a provozu do značné míry závisí na těchto poměrech,

Poděkování: Příspěvek byl zpracován v rámci projektu TAČR SS02030023 prostředí pro život „Výzkumné téma č. 6 Horninové prostředí a suroviny Podzemní voda v krasových oblastech“

Seznam literatury

Bradáč, V. (2025): Bečva, Vodní dílo Skalička. Předprojektová příprava, technické řešení, IG a HG průzkum.

Bruthans, J., Vysoká, H., Grundloch, J. (2021): Natural yield of thermal waters in the Teplice nad Bečvou, their hydraulic connection with Bečva river and discussion of location of recharge area. – Geoscience Research Reports, 54, 1, 13–21.

Demek, J. Mackovčin, P., eds. (2006): Zeměpisný lexikon ČR, Hory a nížiny. – AOPK ČR, 582 str..

Geršl, M.. Konečný, O. (2018): Geological hazards resulting from the planned construction of a water dam “Skalička” near the Hranice Karst and the Hranice Abyss . – Geoscience Research Reports, 51, 1, 75–79 . (in Czech)

Hrdý, J. (1959): Přehrada na Bečvě u Teplic n/B. Závěrečná zpráva o inženýrsko-geologickém průzkumu v r. 1959 v přehradním místě Kamenec. – Geologický průzkum Brno. Archiv ČGS

Kršková, V., Novotný, R., Kryštofová, E., Novotná, J., Ličbinská, M. Baldík, V., Rez, J., Křenovská, I., Hadacz, R, (2025): Identifikace rizik plynoucích z existence vodních děl v blízkosti či na okraji krasových území na základě rešerše literatury a vyhodnocení dat a informací získaných v průběhu řešení ostatních dílčích cílů. Zpráva za Dílčí cíl 2-9 Podzemní voda v krasových oblastech Výzkumné téma č. 6 Horninové prostředí a suroviny TAČR SS02030023 Česká geologická služba

Kryštofová, E., Novotná, J., Novotný, R., Baldík, V. Rez, J., Sedláček, J. Müller, P., Drahoš, K., Kršková (2023): Sestavení koncepčního modelu (hydrogeologický a hydraulický model) chování podzemních vod v systému krasových území a jejich infiltračních oblastech. Zpráva za Dílčí cíl 2-7 Podzemní voda v krasových oblastech Výzkumné téma č. 6 Horninové prostředí a suroviny TAČR SS02030023 Česká geologická služba

Švancara, J. (2025): Bečva, vodní dílo Skalička Předprojektová příprava, technické řešení. Shrnutí předprojektové přípravy.

Vysoká, H., Bruthans, J., Falteisek, L. Žák, K., Rukavičková, L., Holeček, J., Schweigstillová, J., Oster, H. (2019): Hydrogeology of the deepest underwater cave in the world: Hranice Abyss, Czechia. – Hydrogeol. J. 27, 2325–2345.

REBILANCE TERMY V OBLASTI ÚSTÍ NAD LABEM Z HLEDISKA VYUŽITÍ GEOTERMÁLNÍ ENERGIE

REBALANCE OF THERMAL STRUCTURES IN THE ÚSTÍ NAD LABEM REGION FROM THE POINT OF VIEW OF GEOTHERMAL ENERGY USE

Martin Procházka[1], Zbyněk Vencelides[2]

[1]SG Geotechnika a.s., Geologická 4, 152 00 Praha 5, e-mail: martin.prochazka@geotechnika.cz
[2] OCHRANA PODZEMNÍCH VOD s.r.o.., Bělohorská 31, 169 00 Praha 6, e-mail: vencelides.z@opv.cz

Abstrakt: Jímání a využívání termálních vod bazálního kolektoru české křídové pánve v oblasti tzv. oháreckého riftu probíhá v oblasti Ústí nad Labem nepřetržitě 130 let. Cílem projektu bylo komplexní posouzení možností využití geotermální energie, vázané na výskyt termálních vod, včetně posouzení stavu existujících vrtů jímacích (ale i monitorovacích) na základě karotáže a vyhodnocení bilance termálních vod. V současnosti se v oblasti vyskytuje deset hlubokých vrtů do bazálního kolektoru. Současně proběhla podrobná archivní rešerše, terénní rekognoskace, souhrnné hydrochemické a hydraulické vyhodnocení, včetně zpracování numerického modelu proudění podzemní vody a transportu tepla. Komplexní a systematické vyhodnocení všech dostupných dat umožnilo významným způsobem aktualizovat pohled na ústeckou termální oblast.

Abstract: The extraction and use of thermal waters of the basal collector of the Bohemian Cretaceous Basin in the area of the so-called Ohárecký rift has been taking place continuously in the Ústí nad Labem region for 130 years. The aim of the project was a comprehensive assessment of the possibilities of using geothermal energy, linked to the occurrence of thermal waters, including an assessment of the condition of existing extraction (and also monitoring) wells based on logging and evaluation of the thermal water balance. There are currently ten deep wells in the area into the basal collector. At the same time, a detailed archival search, field reconnaissance, a comprehensive hydrochemical and hydraulic evaluation were carried out, including the processing of a numerical model of groundwater flow and heat transport. A comprehensive and systematic evaluation of all available data made it possible to significantly update the view of the Ústí nad Labem thermal area.

Klíčová slova: geologická stavba, termální voda, archivní rešerše, karotážní měření, bilance termálních vod

Key words: geological structure, thermal water, archival research, well logging, thermal water balance

1. Úvod

Geotermální oblast v okolí Ústí nad Labem se nachází v prostoru tzv.oháreckého riftu, jenž je na SZ ohraničen krušnohorským zlomem a na JV zlomem litoměřickým. Vyznačuje se zvýšenou hodnotou tepelného toku, zhruba o 50% vyšší, než je průměr pro ČR. Překryv oblasti zvýšeného tepelného toku v oháreckém riftu s oblastí existence významného zvodnělého systému v sedimentech české křídové pánve vytváří předpoklad pro existenci termálních vod v tomto území. Zvodnělý systém zasahuje do širší oblasti Ústí nad Labem, Děčína a Benešova nad Ploučnicí, a v celém tomto území jsou termální vody s teplotami 25-31°C dlouhodobě využívány. Vzhledem k prostorově proměnlivé mocnosti vrstev propustných pískovců a jejich posunům na zlomových liniích, jež omezují možnosti proudění podzemní vody, lze vyčlenit samostatnou ústeckou oblast výskytu termálních vod. Na rozdíl od oblasti Děčína a Benešova nad Ploučnicí není v oblasti Ústí nad Labem vyvinut turonský kolektor. Výskyt termálních vod je tady proto vázán na bazální kolektor (cenomanského stáří). V Ústí nad Labem probíhá jímání a využívání termálních vod nepřetržitě již 130 let. V současnosti v oblasti existuje deset hlubokých vrtů. Voda ze tří vrtů slouží pro balneologické účely: vrt ML-2 jako zdroj vody pro provoz Městských lázní, vrt HB-2 jako zdroj pro termální koupaliště v Brné, vrt ULK-1 napájí areál koupaliště na Klíši. Využíván je také vrt ULZOO-1, tepelná energie z něj získávaná se využívá pro vytápění zoologické zahrady Ústí n.L. Vrty HB-1 v Brné, 6412-1C ve Všebořicích a HU-1 v Předlicích v současné době využívány nejsou. Vrty v Předlicích, v Modlanech a dva vrty v Těchlovicích (ty jsou ale pravděpodobně již mimo oblast ústecké termy a lze je řadit do oblasti termy děčínské) využívá Český hydrometeorologický ústav pro dlouhodobé sledování hladin podzemní vody. Hloubky vrtů se pohybují řádově v rozmezí 400-500 m.

2. Dřívější průzkumy v oblasti Ústí nad Labem

Intenzivní průzkumy podmínek výskytu termálních vod v oblasti Teplic a Ústí nad Labem byly zahájeny zejména po průvalu termálních vod teplické termy do dolu Döllinger v Duchcově (10.2.1879) v množství až 30 m^3/s, po němž zapadl hlavní pramen teplických terem (Pravřídlo). Obnova termálních pramenů a stanovení podmínek pro jejich koexistenci s těžbou uhlí byla pro teplické lázně existenční otázkou. Proto byla v roce 1895 uzavřena dohoda o narovnání mezi majiteli lázní a majiteli dolů, která stanovila kótu pro udržování důlních vod v úrovni +192 m n.m.
V druhé polovině 20.století byl v oblasti mezi Teplicemi a Ústím n.L. proveden rozsáhlý regionální hydrogeologický průzkum, zaměřený na vztah teplických a ústeckých termálních vod, jehož součástí bylo také vyhloubení řady průzkumných vrtů. Skupinová hydrodynamická zkouška vyloučila hydraulickou spojitost termálních podzemních vod v oblasti Ústí n.L. a teplických termálních vod vázaných na těleso teplického ryolitu.
V roce 1987 byla zpracována Hydrogeologická syntéza české křídové pánve, která systematicky vyhodnotila všechny dosavadní poznatky o hydrogeologických podmínkách zájmového území. Termálním vodám v oblasti Ústí nad Labem se věnovala řada autorů (například M.Hazdrová, V.Nakládal, J.V.Datel a další).
Podrobné hydrochemické vyhodnocení složení ústeckých termálních vod moderními metodami, včetně posouzení jejich geneze, provedla ve své disertační práci v roce 2015 Dupalová.
Poslední souhrnnou prací, která aktualizuje poznatky o hydrogeologických podmínkách české křídové pánve v oblasti Ústí nad Labem, je zpráva Rebilance podzemních vod České republiky (ČGS 2016).

3. Geologické poměry, tektonická stavba

Zvodnělé souvrství pískovců cenomanského stáří, jež je z hlediska akumulace podzemních vod v oblasti Ústí nad Labem zásadní, spočívá na podloží tvořeném metamorfovanými horninami krušnohorského krystalinika proterozoického a spodnopaleozoického stáří. Nadložní jizerské souvrství (turon) je tvořené v oblasti Děčína převážně pískovci. Na spojnici Ústí nad Labem- Litoměřice ale těleso pískovců vykliňuje a dále k jihozápadu (v našem zájmové území) pokračuje jizerské souvrství pouze ve slínovcovém vývoji (mocnost 30-50 m). Teplické a březenské souvrství (svrchní turon až santon) představuje prakticky nerozlišitelný celek. Souvrství je budováno převážně vápnitými jílovci, slínovci a vápnitými prachovci. Sedimenty turonu (vyjma jeho nejstarších sedimentů) a santonu jsou tedy v zájmové oblasti jemnozrnné a z hlediska hydrogeologického se jedná na rozdíl od pískovců cenomanských o hydrogeologické izolátory. Druhohorní sedimenty české křídové pánve proráží a částečně překrývá vulkanosedimentární komplex Českého středohoří. Tělesa a žíly vulkanitů jsou hojně zastoupeny i v oblasti Ústí nad Labem.
Geologická stavba zájmového území je zásadním způsobem ovlivněna zlomovou tektonikou. Širší okolí Ústí nad Labem je součástí středohorské kry, nejhlouběji zakleslého bloku hornin ve východní části tzv. ohárecké riftu (prolomu). Jedná se o rozsáhlý tektonický příkop zasahující na jihozápadě i do Německa a na severovýchodě do Polska. Zlomové linie související s vývojem ohárecké riftu přerušují sedimentární formace křídového souvrství a jeho podloží a rozdělují ho na dílčí kry. Ovlivňují tak zásadním způsobem režim přirozené cirkulace podzemních vod.

4. Vývoj hladin v posledních letech

Společným znakem hlubokých vrtů (vrtů zasahujících do bazálního kolektoru cenomanských pískovců), minimálně v centrální části struktury je, že se jedná o vrty artéské. Vydatnosti přelivu se pohybují v řádu litrů až první desítky litrů za sekundu.
Po odborné likvidaci starého vrtu na Střekově a pravděpodobně i vrtů „Sklárna“ a „Textilana II“ v Ústí n.L. v době omezení využití termální vody pro průmyslové účely na počátku 90.let 20.století bylo možno sledovat postupné zvyšování hladiny v oblasti ústecké termy. Nejlépe na vrtu ČHMÚ v Modlanech: VP8408, kde existuje záznam pohybu hladiny od roku 1964. V období let 1992-2018 docházelo k postupnému zvyšování piezometrické úrovně v důsledku zamezení ztrát termální vody nevyhovujícími jímacími vrty. Celkový vzestup piezometrické úrovně dosáhl téměř 20 m.
Od roku 2020 je ale patrný poměrně strmý poklesový trend piezometrické úrovně v zájmovém území. Pozorovaný pokles piezometrické úrovně ve vrtech odpovídá významnému zvýšení odběru / úniku podzemní vody z termální struktury oproti stavu z roku 1990, a to v řádu 10-20 l/s.

5. Modelové řešení proudění podzemní vody a transportu tepla

Byla provedena rešerše archívních podkladů, byla provedena identifikace historických vrtů a studní, jež je v některých případech obtížná (nejednoznačnost identifikace vrtů v jednotlivých archívních podkladech, informace o vrtech si v některých případech dokonce odporují).

Závěrečná etapa byla zacílena na ověření získaných dat a na návrh optimalizace odběrů a doporučení k ochraně ústecké termální struktury.
Pro oblast ústecké termální struktury byl sestaven numerický model proudění podzemní vody a šíření tepla v horninovém prostředí s využitím softwarového systému GMS. Je nutno upozornit, že celé území prošlo zásadními změnami, které mají významný vliv rovněž na oběh podzemní vody. Jedná se o historickou hlubinnou a novější historickou těžbu hnědého uhlí a následnou rekultivaci území v prostoru severozápadně od Ústí nad Labem. Těžba byla spojená s odvodňováním dolů, přeložkami a úpravami vodních toků, následná rekultivace pak se vznikem nových vodních těles. Uvedené změny mají dílčí vliv na pozici okrajových podmínek.
Celková plocha modelového území dosahuje 404,7 km^2.
Použitá vstupní data pro modelové řešení byla získána komplexním vyhodnocením výsledků archivních geologických prací, doplněných interpretací provedených karotážních měření.

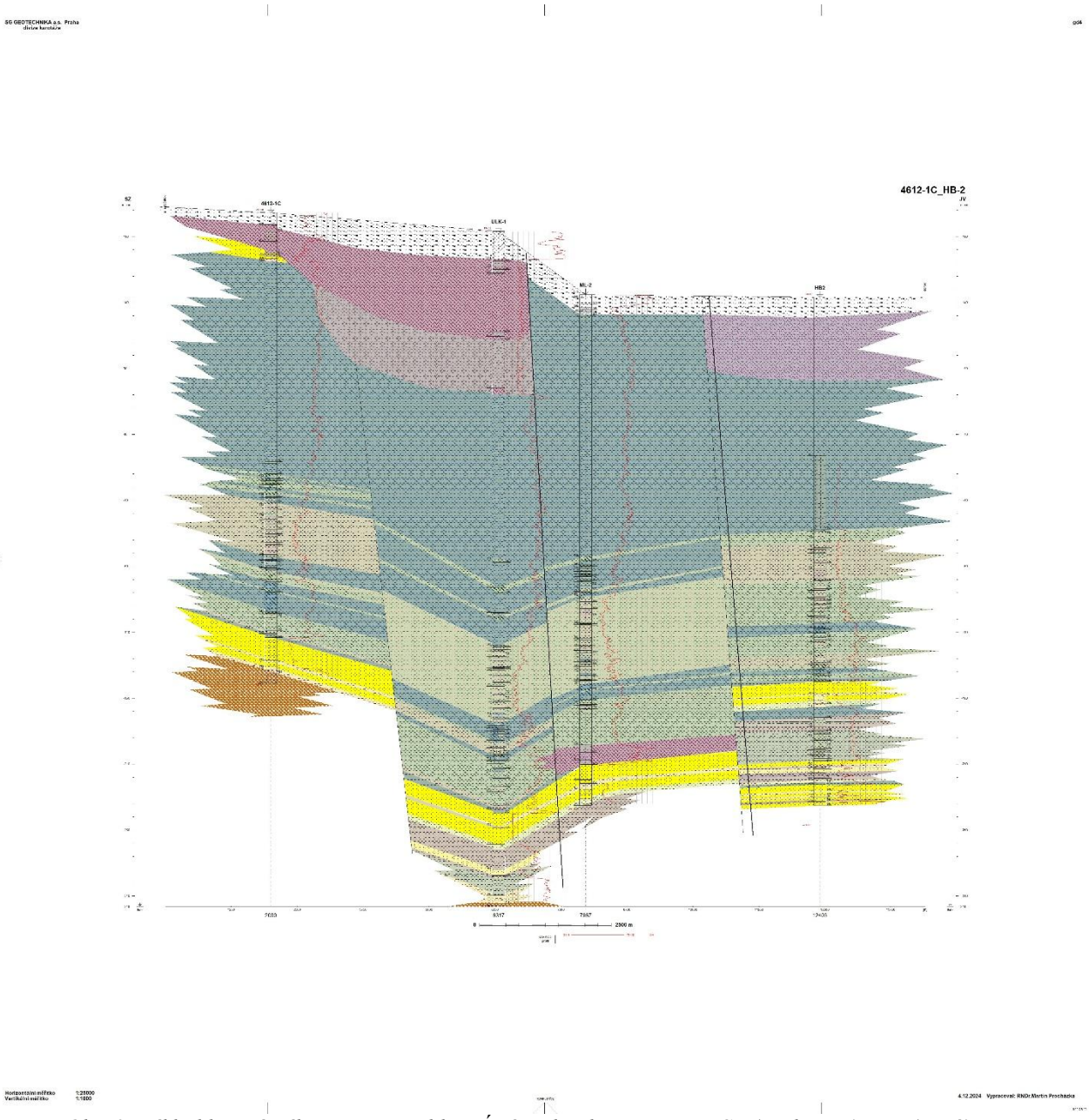
6. Karotážní měření ve vrtech

Cílem karotážního měření a televizních prohlídek bylo především ověřit aktuální technický stav a funkčnost vrtů, ověřit přítoky a vlastnosti vody z přítoků v různých místech ústecké termy. Dále bylo našim cílem sjednotit geologické popisy. Popisy hornin vytěžených z vrtů totiž prováděli v průběhu času různí geologové s poněkud jiným pohledem na věc, v průběhu let se kromě toho názory na zařazení horninových typů postupně vyvíjely.
Úkolem karotáže bylo však především zjistit příčiny pokračujícího úbytku tlaku na zhlavích vrtů, případně poklesu hladin ve vrtech se zakleslou hladinou.

Tomu byla přizpůsobena karotážní metodika. Poměrně široký komplex karotážních metod byl doplněn televizními prohlídkami prováděnými kamerou s otočným objektivem.

Obr. 1 Karotážní měření a televizní prohlídka vrtu v areálu koupaliště Klíše se uskutečnily za plného provozu

Výsledky karotážního měření a televizních prohlídek byly detailně popsány ve zprávách k jednotlivým vrtům. Ve zprávách byly podrobně popsány výsledky měření a jednotlivé vrty byly posouzeny z hlediska jejich funkčnosti.
Ve vrtu ML-2 Městské lázně byla zjištěna havárie výstroje a neřízený únik vody z termální struktury vinou poškozené výstroje. Tento únik vody se podílí na poklesu tlaku v celé ústecké termě.
Také ve vrtu ULK-1 na koupališti Klíše byl zjištěn otvor v ocelové výstroji, který však dosud nemá negativní vliv na jeho funkčnost, neboť průsakům vody mimo termu brání kvalitní cementace.
Ze staršího vrtu HB-1 dochází k nepatrnému průsaku mimo jeho prostor. Průsak je ale malý a na funkčnost vrtu ani na celou termální strukturu žádný významný vliv nemá.
Po roce 2001 byly ztráty termální vody pravděpodobně minimální. K obnovení ztrát v odhadované výši cca 10 l/s došlo až po roce 2019 v důsledku zhoršení technického stavu vrtu ML-2. Hodnoty ztrát, uváděné v archívních podkladech, je nutné pokládat za nejisté, protože aktuálně provedené práce nepotvrdily úniky vody uváděné archívními zdroji, například ztrátu uváděnou ve výši 12-15 l/s vrtem HB-1 v Brné.



Obr. 2 Příklad karotážního řezu přes oblast Ústí nad Labem ve směru SZ (Všebořice) - JV (Brná)
Odstíny zelené barvy označují jemnozrnné sedimenty v nadloží pískovců (označeny žlutou barvou). Fialová šrafa označuje tělesa třetihorních vulkanitů a vulkanosedimentů (tufity)

V sedimentárním souvrství české křídové pánve se stejné horninové vrstvy zpravidla opakují i na dlouhé vzdálenosti. Pro každou horninovou vrstvu jsou příznačné konkrétní fyzikální vlastnosti, které ji odlišují od vrstev ostatních. Ve vrstevním sledu ve všech zpracovávaných vrtech jsou na karotážních křivkách dobře patrné i drobné změny fyzikálních vlastností, které se ve vrtech opakují. Znamená to, že horninové vrstvy (vyjma bazální části sedimentární pánve) jsou až na nepodstatné rozdíly na lokalitě prakticky identické ve všech zpracovávaných vrtech. Podařilo se tak sjednotit pohled na vrstevní sled v zájmovém území, sjednotit geologické popisy a spojit na delší vzdálenosti jednotlivé vrstvy, které jsou od ostatních makroskopicky nepoznatelné. Zvláštností ústecké termy je výrazná role tektoniky. Zlomy v širším okolí Labe způsobily posuny jednotlivých horninových bloků a některé z nich ve třetihorách posloužily jako přívodní kanály pro magma během aktivní fáze terciérního vulkanismu. Jak se na základě karotáže ukázalo, sehrávají důležitou roli i dosud: jako přívodní cesty vysoce mineralizované vody z hlubokého puklinového systému v podložním krystaliniku a jako přívodní cesty zemského tepla. Pro oblast je typický četný výskyt výlevných a intruzivních vulkanických hornin.
Byly sestaveny tři karotážní řezy geotermální strukturou..

Byly porovnány vlastnosti vody v jednotlivých vrtech a jejich zonalita. Některé výsledky jsou do jisté míry překvapivé. Hodnoty konduktivity, jež jsou úměrné celkové mineralizaci, se v jednotlivých vrtech výrazně liší, a to od hodnoty 690 µS/cm ve vrtu 4612-1C ve Všebořicích po 2700 µS/cm v blízkosti Labe ve vrtu ZOO-1 v zoologické zahradě. Téměř stejně vysoké hodnoty byly změřeny i v obou vrtech v Brné (už na pravém břehu Labe). Vyšší než ve Všebořicích na západním konci sledovaného území, ale zhruba třikrát nižší, než ve vrtech v blízkosti Labe byly zaznamenány konduktivity ve vrtech TH-10 Předlice, HU-1 Předlice a ULK-1 Klíše. Tam se konduktivita vody pohybuje v úzkém rozpětí hodnot 950-970 µS/cm. Zdá se, jako by existovaly tři oddělené bloky s různou mineralizací vody.
Zajímavé je, že se ve všech případech jedná o vodu ze stejných vrstev pískovců bazálního kolektoru. Kdyby byly vrstvy propojené, naměřili bychom ve všech vrtech podobné hodnoty konduktivity. V důsledku složité tektoniky ale propojené nejsou (viz například obr.2- karotážní řez). Pravděpodobně podél zlomů, zvláště zlomů v okolí Labe, dochází k dotaci vody do bazálního kolektoru – cenomanských pískovců vysoce mineralizovanou vodou z podloží.
Zajímavý je i fakt, že není přímá souvislost mezi teplotou a celkovou mineralizací vody. Vrt s nejvyšší mineralizací vody nedosahuje nejvyšší teploty, a naopak ve vrtu s nejvyšší teplotou nedosahuje voda nejvyšší mineralizace.
Nejvyšší teplota byla zaznamenána ve spodní části vrtu ULK-1 Klíše: 36,2°C. V podobné hloubce ve vrtu ULZOO-1 dosahuje teplota 34,4°C. Ve vrtu TH-10 v Předlicích je to dokonce „pouze“ 28,7°C. Rozdíly teplot v rámci jediné struktury jsou tedy poměrně výrazné.

7. Bilance termální vody

Pro ústeckou geotermální oblast bylo sestaveno několik bilancí termální vody. První bilanční odhady jsou datovány do roku 1913. V 60. letech 20.století sestavila bilanci M.Hazdrová. V rámci hydrogeologické syntézy české křídové pánve v roce 1987 výpočet provedli F.Herčík a V.Nakládal. V.Nakládal v roce 2004 stanovil výpočtem maximální využitelné množství termální vody z ústecké termální struktury.
S ohledem na výsledky provedených prací byly pro sestavení závislostí uvažovány ztráty vody pro různá období. Z výsledků je patrné, že v hodnocené struktuře se může vytvářet maximální celkové množství 50-55 l/s termální vody, z toho využitelné množství dosahuje 40 l/s při limitním snížení hladiny na kótu 140 m n.m.

8. Závěry

Byla provedena podrobná archivní rešerše podkladů vztahujících se k využívání termálních vod ve zkoumané oblasti, byla provedena terénní rekognoskace s cílem posoudit existenci a stav hydrogeologických objektů využívajících termální vodu ve zkoumaném území.
Ve všech hlubokých vrtech s termální vodou se uskutečnily televizní prohlídky a komplexní revizní karotážní měření plánovaným souborem metod, který byl přizpůsoben konstrukci vrtů. Alarmujícím zjištěním je nekontrolovatelný únik vody z vrtu ML-2. Únik termální vody v množství 8-10 l/s tímto vrtem má zásadní vliv na pokles piezometrické úrovně vody v celé geotermální struktuře.
Výstroj ve vrtu ULK-1 na koupališti Klíše rovněž místy vykazuje známky pokračující koroze. Z vrtu HB-1 v areálu termálního koupaliště v Brné byl zjištěn malý průsak vody, který ale na geotermální strukturu nemá praktický vliv. Ostatní vrty jsou dosud funkční a po technické stránce relativně v pořádku.
Na základě karotáže byly sjednoceny geologické popisy hornin. Bylo využito velmi úzkých korelací fyzikálních projevů jednotlivých horninových vrstev, což umožnilo interpretaci geologických profilů. Byly sestaveny tři

karotážní řezy geotermální strukturou. Bylo zjištěno, že jednotlivé horninové bloky jsou vzájemně různě výškově posunuté. Ukázalo se, že hlavní přítok termální vody ve všech vrtech pochází z první vrstvy čistého pískovce pod mocným souvrstvím jemnozrnných sedimentů (slínovce, prachovce). Další, zpravidla méně vydatné přítoky byly zaregistrovány z dalších vrstev pískovců.
Jednotlivé přítoky v rámci vrtu i v rámci celé struktury mají rozdílnou teplotu a mineralizaci. Nejvyšší a velmi podobnou mineralizaci má voda ve vrtech v blízkosti Labe (2400-2700 µS/cm). Na západ od této oblasti dosahuje konduktivita vody téměř identické hodnoty 960-970 µS/cm. Ve vrtu ve Všebořicích na západním okraji Ústí n.L. je konduktivita termální vody nižší: 690 µS/cm. Rovněž teploty jsou rozdílné, ve stejné hloubkové úrovni se liší až o cca 10°C. Nejvyšší teplota byla zaznamenána ve spodní části vrtu (490 m) na koupališti Klíše: 36,2°C.
Všechny tyto charakteristické vlastnosti termální vody v ústecké struktuře nepochybně souvisejí s tektonickou stavbou oblasti, pravděpodobně též s dotací vysoce mineralizované vody z podloží v místě zlomů a možná i se skutečností, že hydrogeologické poměry v jednotlivých horninových blocích vymezených tektonikou jsou do jisté míry autonomní právě v rámci těchto bloků. Jedná se o hypotézu, která by mohla vysvětlit některé souvislosti, jež z provedených měření vyplynuly.
Bylo zpracováno modelové řešení proudění podzemní vody a transportu tepla v ústecké termální struktuře. Byla sestavena, a pomocí modelového řešení ověřena, bilance termálních vod v oblasti Ústí nad Labem. V hodnocené struktuře se vytváří 50-55 l/s termální vody, z toho využitelné množství dosahuje 40 l/s při limitním snížení piezometrické úrovně na kótu 140 m n.m. Výsledky bilance termálních vod jsou v souladu s dřívějšími výsledky dalších autorů.
Využitelný tepelný výkon a využití její tepelné energie prostřednictvím tepelných čerpadel je možné vyčíslit celkově na 3,34 MW při uvažovaném snížení teploty vody o 20°C.

Bylo doporučeno neprodleně zahájit přípravu náhrady a likvidace vrtu ML-2, který je v havarijním stavu.
V době, kdy vzniká tento příspěvek, tyto práce právě probíhají. V době konání kongresu na počátku září 2026 budou snad, pokud půjde vše tak, jak si všichni přejeme, k dispozici aktuální informace, jak náhrada a likvidace vrtu proběhly.

Bylo doporučeno osadit vybrané hydrogeologické objekty dataloggery pro kontinuální měření zbytkového tlaku v jímaných vrtech a piezometrické úrovně termální vody ve vrtech nevyužívaných.

Bylo doporučeno v pravidelném intervalu 10 let provádět kontrolu technického stavu vrtů v ústecké geotermální struktuře kamerovou prohlídkou a karotážním měřením.

Poděkování: Výsledky našich pozorování, závěry a doporučení byly v průběhu zakázky průběžně konzultovány se zástupci objednatele, jímž bylo Statutární město Ústí nad Labem. Na závěr bychom rádi poděkovali zástupcům Statutárního města Ústí nad Labem za velmi vstřícný přístup a za pomoc poskytovanou v celém průběhu zakázky.

KDYŽ SE ZŘÍDELNÍ STRUKTURA OZVE: VYBRANÉ PŘÍPADY OVLIVNĚNÍ PŘÍRODNÍCH LÉČIVÝCH ZDROJŮ A JEJICH VÝZNAM PRO SOUČASNOU OCHRANU

WHEN THE SPRING STRUCTURE RESPONDS: SELECTED CASES OF IMPACTS ON NATURAL HEALING RESOURCES AND THEIR IMPLICATIONS FOR CURRENT PROTECTION

Zdeněk Třískala[1], Alena Drdová[1], Lukáš Hronec[1], Martin Jaššo[2], Karolína Lukášová[1], Eliška Pospíšilová[3], Martin Pospíšil[3], Pavel Procházka[1], Monika Vojáková[1], Lucie Zdráhalová[1], Jana Zmítková[2]

[1] *Ministerstvo zdravotnictví České republiky, Český inspektorát lázní a zřídel, Palackého náměstí 375/4, 128 00 Praha 2, e-mail: podatelna@mzd.gov.cz*
[2] *Lázně Teplice v Čechách a.s., Mlýnská 253, 415 38 Teplice, e-mail: info@lazneteplice.cz*
[3] *EKOHYDRO s.r.o., Škrochova 3626/41, 615 00 Brno, e-mail: ekohydro@seznam.cz*

Abstrakt: Přírodní léčivé zdroje jsou projevy prostorově rozsáhlých hydrogeologických systémů, a mohou proto reagovat na zásahy ve značné vzdálenosti od jímacích objektů i mimo vymezená ochranná pásma. Příspěvek porovnává důlní průvaly v Teplicích a sokolovské pánvi, erupci vrtu H 11 u Františkových Lázní, kontaminaci Lesního pramene v Mariánských Lázních a narušení sirné struktury ve Skalce u Prostějova. Současné příklady z Karlovy Studánky a Karlových Varů ukazují přechod od řešení následků k preventivnímu posuzování záměrů. Případy dokládají přímé hydraulické propojení, změny tlakového a plynového režimu, propojení zvodní i chemickou migraci. Společným rysem je rychlá odezva systému a podstatně delší, někdy jen částečná, obnova. Výsledky podporují včasné hydrogeologické hodnocení, provozní kontrolu prací, dlouhodobý monitoring a průběžnou aktualizaci ochranných podmínek.

Abstract: Natural healing resources are manifestations of spatially extensive hydrogeological systems and may therefore respond to interventions far from abstraction structures and beyond formally designated protection zones. The paper compares mine-water breakthroughs in Teplice and the Sokolov Basin, the H 11 borehole blowout near Františkovy Lázně, styrene contamination of the Lesní spring in Mariánské Lázně, and disruption of the sulphurous-water structure at Skalka u Prostějova. Current cases from Karlova Studánka and Karlovy Vary illustrate the shift from remediation to preventive assessment. The case studies document direct hydraulic connections, changes in pressure and gas regimes, interconnection of aquifers, and chemical migration. Their common feature is a rapid system response followed by substantially slower, and sometimes incomplete, recovery. The findings support early hydrogeological assessment, on-site supervision, long-term monitoring, and continuous updating of protection measures.

Klíčová slova: přírodní léčivý zdroj, zřídelní struktura, ochranné pásmo, havárie, hydrogeologické riziko

Key words: natural healing resource, spring structure, protection zone, accident, hydrogeological risk

1. Úvod

Přírodní léčivý zdroj nelze ztotožnit pouze s pramenem, vrtem nebo jiným jímacím objektem. Je využívaným projevem hydrogeologického systému, jehož režim určují geologická stavba, infiltrace, hydraulické a tlakové poměry, proudění podzemních vod i výstup plynů. Zásah mimo místo jímání proto může změnit vydatnost, teplotu, chemické složení nebo zdravotní nezávadnost zdroje.
Ochrana minerálních a termálních pramenů na území dnešní České republiky předcházela moderní hydrogeologii. Pražský guberniální výnos z roku 1761 zakázal těžbu uhlí v Rosnicích kvůli možné souvislosti uhelné sloje s karlovarskými prameny. Následovaly výnosy z let 1790, 1836 a 1846 a obecný horní zákon z roku 1854 vytvořil rámec pro vymezování ochranných okrsků. Průvaly termálních vod na dole Bernard v letech 1876 a 1881 vedly k rozšíření ochrany v roce 1882; ochranné okrsky františkolázeňských pramenů byly vyhlášeny roku 1883 (Jiskra, 1997). Právní ochrana tak místy předcházela úplnému poznání struktury. Havárie jí následně dodávaly prostorové upřesnění, zpravidla za cenu, kterou by běžný výzkumný rozpočet odmítl.
Ochranné pásmo je správní nástroj, nikoli hydraulická bariéra. Jeho účinnost závisí na poznání dostupném v době vymezení a na schopnosti reagovat na nové informace. Cílem příspěvku je porovnat mechanismy antropogenního ovlivnění přírodních léčivých zdrojů, důkazní sílu jednotlivých případů a jejich význam pro současnou preventivní ochranu.

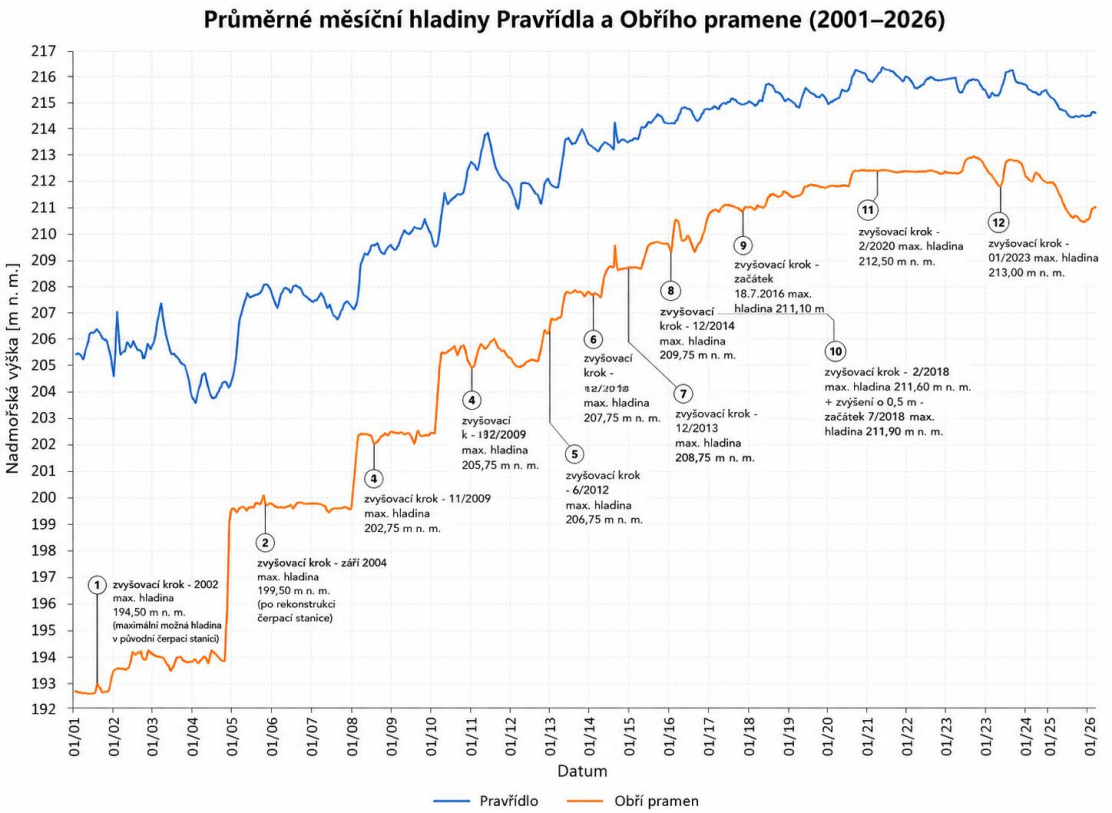
2. Materiál a metody

Byly vybrány případy reprezentující přímé odvodnění puklinové struktury, změnu tlakového či plynového režimu, propojení zvodní a migraci chemického kontaminantu: důl Döllinger, důl Marie II, vrt H 11, Lesní pramen, Skalka u Prostějova a dva současné stavební záměry v Karlově Studánce a Karlových Varech. Nejde o úplný soupis událostí, ale o komparativní soubor rozdílných mechanismů a úrovní důkazní jistoty.
Hodnocení vychází z odborné literatury, správních dokumentů a příručního archivu ČIL. Novější teplické časové řady poskytli Zmítková a Jaššo (2026), data ze Skalky Pospíšil a Pospíšilová (2026). U historických případů byly posuzovány časová návaznost, prostorový rozsah odezvy, změny vydatnosti, hladiny, teploty a chemismu a reakce na nápravná opatření. Chybějící údaje nebyly nahrazovány odhadem; nestejná dokumentační úroveň je menším problémem než přesné číslo bez zjistitelného původu.

3. Případové studie

3.1 Döllinger: průval, jenž nahradil chybějící důkaz

Teplické termální vody jsou vázány na puklinově propustné těleso teplického ryolitu. Původní režim měl dvě hlavní odvodňovací oblasti: teplické a šanovské prameny a Obří pramen v Lahošti. Jeho vydatnost začala klesat od roku 1872 a v červnu 1878 přeliv zanikl. Havrlík (1999) spojuje vývoj s dřívějšími, nedostatečně dokumentovanými průvaly ryolitových vod do důlních děl. Dne 10. února 1879 proniklo důlní dílo na třetím patře dolu Döllinger do vodonosné pukliny. Po 64 hodinách zapadlo Pravřídlo, následovaly ostatní teplické a šanovské zdroje; současně poklesla jejich vydatnost a teplota. Časová návaznost a rozsah odezvy prokázaly hydraulické propojení důlní oblasti s termální strukturou (Havrlík, 1999; ČGS, 2016).
Technická opatření umožnila zachovat lázeňský provoz, založila však dlouhodobý režim umělého odvodňování. Od roku 1895 byla hladina průvalových vod regulována přibližně na kótě 192,50 m n. m. Čerpání na dole nahradila roku 1977 stanice v prostoru Obřího pramene. Postupná reparace začala po roce 2000: ve dvanácti řízených krocích se maximální hladina zvýšila až na 213,00 m n. m. v lednu 2023. Každý krok doprovázel monitoring teplických zdrojů; časové řady ukazují obnovu tlakové úrovně i růst teploty části pramenů, nejvýrazněji Pravřídla (Zmítková a Jaššo, 2026; obr. 1). Průval trval několik dnů, jeho důsledky se staly součástí provozu struktury na více než století. Pro celkový kontext je vhodné uvést, že původní výška přelivu Obřího pramene byla 223 m n. m. s možností vzdouvat hladinu až na 225,3 m n. m.



Obr. 1 Vývoj průměrných měsíčních hladin Pravřídla a Obřího pramene v letech 2001–2026 s vyznačením zvyšovacích kroků. Zdroj dat: Zmítková a Jaššo (2026); zpracování autorů.
Fig. 1 Mean monthly water levels of the Pravřídlo and Obří pramen springs in 2001–2026, including the controlled level-raising steps. Data: Zmítková and Jaššo (2026); processed by the authors.

3.2 Důl Marie II: voda oddělená, důsledky společné

Při dobývání sloje Josef v sokolovské pánvi se opakovaně objevovaly přítoky termálních proplyněných vod. V říjnu 1901 byla na dole Marie II při ražbě na kótě 235 m n. m. zasažena puklina vyplněná uhelným mourem; následující den se z ní provalila termální voda. Po zatopení důlních děl odtékalo přibližně 4 200 l/min. S určitým zpožděním klesala vydatnost karlovarských pramenů i obsah CO_2; pokles se zastavil tři týdny po zatopení spodní části dolu a původní vydatnost se obnovovala více než tři roky (Pöpperl, 2001).

Přímá hydraulická komunikace prokázána nebyla. Událost je interpretována spíše jako odplynění hlubších částí žulového masivu a oslabení výtlaku termy. Současně probíhala sanace nekontrolovaných úniků v Karlových Varech a známy jsou i přirozené výkyvy pramenů. Případ proto nepředstavuje experiment s jedinou proměnnou, dokládá však možnou vazbu prostřednictvím tlakového a plynového režimu (Pöpperl, 2001; Vylita, 2008).

3.3 Vrt H 11: čtyřicetimetrový argument

V letech 1955–1957 probíhal ve františkolázeňské části Chebské pánve průzkum uhelného slojového pásma. Při hloubení vrtu H 11 v Horní Vsi došlo 16. října 1957 v 16.00 hodin, po provrtání podložních jílů v hloubce 55,3 m, k erupci písku, uhlí, vody a plynu. Počáteční výška sloupce dosáhla přibližně 40 m. Uváděný průtok až 450 l/s je zatížen značnou nejistotou, neboť převažovala plynná fáze (Staněk a Mackovič, 2009; obr. 2).

Obr. 2 Ilustrační kolorovaná rekonstrukce erupce vrtu H 11 v Horní Vsi v roce 1957, zpracovaná podle dobové fotografické dokumentace.
Fig. 2 Illustrative colour reconstruction of the H 11 borehole blowout at Horní Ves in 1957, based on contemporary photographic documentation.

Odezva zřídelní struktury byla mimořádně rychlá. Vydatnost Kostelního pramene poklesla během dvou hodin z přibližně 130 na 4 l/min, tedy téměř o 97 %. Náhlý pokles zaznamenaly také prameny František, Studený, Luisa, Glauber I a Glauber II. Reakce ostatních zdrojů byla rozdílná; Stejskal et al. (2008) ji spojují s polohou jednotlivých jímacích objektů vůči zlomům. Podle souhrnu Veselé (2014) se původní vydatnosti obnovily přibližně do dvou měsíců po uzavření vrtu a mineralizace se podstatně nezměnila.

Podle osobního svědectví Václava Dvořáka, účastníka vrtání, přispěla havárie k prosazení preventivního osazování vrtů protierupčním zařízením – preventrem. Přímý dobový předpis spojující tuto změnu výslovně s H 11 se zatím nepodařilo dohledat; současná báňská úprava již preventr u vrtů s očekávaným výskytem tlakové vody, ropy nebo plynu vyžaduje (§ 43 vyhlášky č. 239/1998 Sb.). Prozatímní ochranná pásma františkolázeňských zdrojů byla stanovena v roce 1959. Vzdálenost přibližně 2 km poskytla struktuře na výraznou reakci necelé dvě hodiny. Vrt tak splnil poznávací funkci poněkud důraznější formou.

3.4 Lesní pramen: když sanace kanalizace vyžaduje sanaci podzemní vody

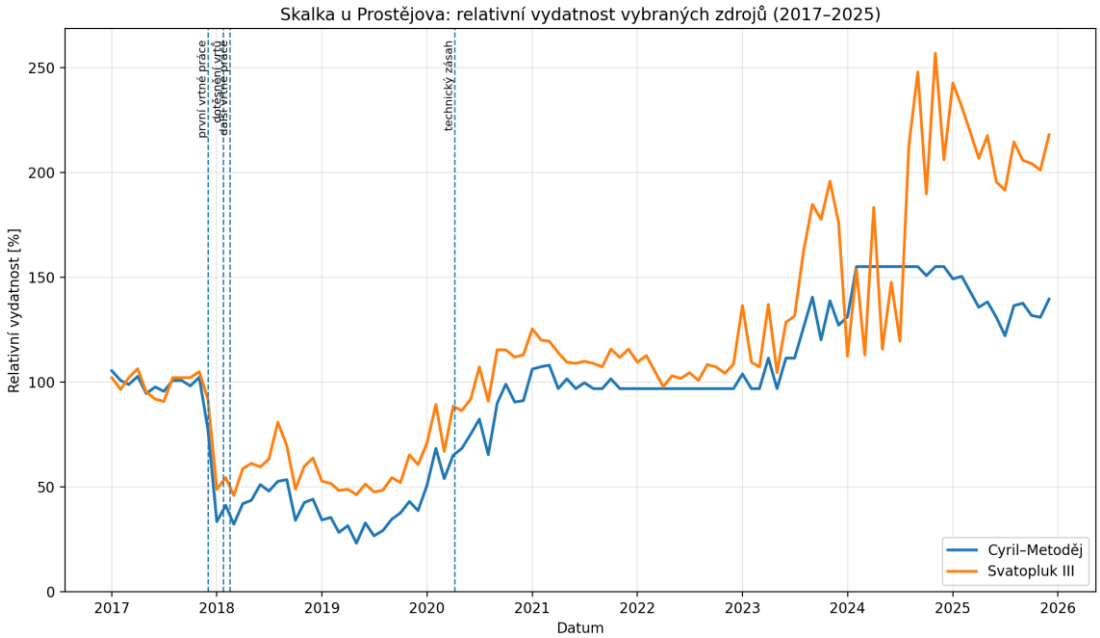
Na přelomu let 2000 a 2001 řešil ČIL kontaminaci podzemních vod styrenem v ochranném pásmu I. stupně Lesního pramene v Mariánských Lázních. Předcházela jí bezvýkopová oprava havarijní kameninové stoky v Třebízského ulici. Použitá výstelka KAWO CW 102 byla založena na polyesterové pryskyřici ve styrenu, zatímco předložené certifikační podklady se vztahovaly k epoxidové technologii. Nepropustný preliner nebyl instalován a úsek přímo nad Lesním pramenem nebyl před opravou kamerově prohlédnut (ČIL, 2001).

Po odkrytí potrubí byla na vnější straně hrdla nalezena pryskyřičná hmota. Analýzy Státního zdravotního ústavu a Ústavu makromolekulární chemie AV ČR potvrdily polyesterovou pryskyřici, volný zbytkový styren a shodu materiálu mimo potrubí s výstelkou. Důkazní řetězec tvořily chemické a materiálové analýzy, absence prelineru a havarijní stav původní stoky. Průnik pryskyřice netěsnými spoji či porušenými stěnami byl proto hodnocen jako vysoce pravděpodobný (ČIL, 2001). Certifikát materiálu podzemní vodu nechrání; tuto úlohu plní správně navržená a provedená technologie.

3.5 Skalka: obnovitelný zdroj energie versus obtížně obnovitelný léčivý zdroj

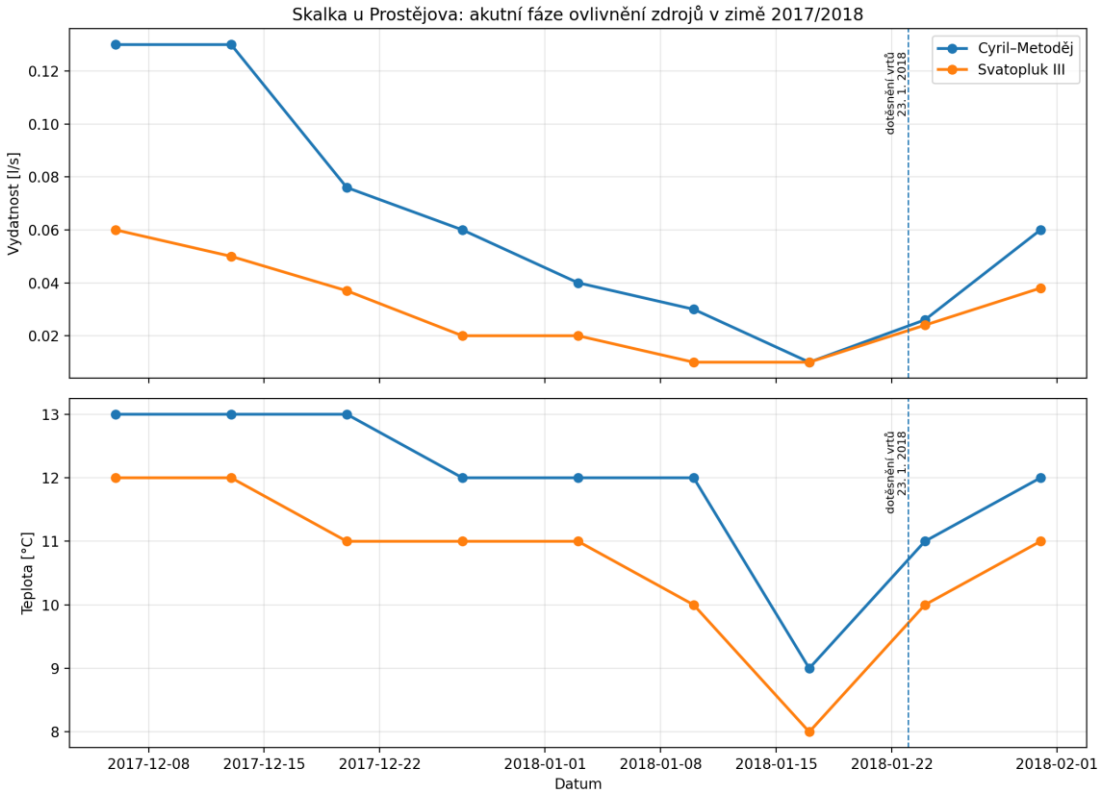
Sirné vody ve Skalce u Prostějova vznikají v otevřeném systému, kde se hlubší zlomové vody mísí s vodami neogenních a kvartérních sedimentů. V prosinci 2017 byly asi 200 m od hranice tehdejšího ochranného pásma vyhloubeny dva přibližně 60 m hluboké vrty pro tepelné čerpadlo. Během několika dnů výrazně poklesla vydatnost lázeňských zdrojů a drenážemi odtékalo do toku Trávnička 2,86–3,0 l/s vody chemicky odpovídající sirné minerální vodě (Pospíšil a Pospíšilová, 2026).

Mezi 6. prosincem 2017 a 17. lednem 2018 poklesla vydatnost zdroje Cyril–Metoděj z 0,13 na 0,01 l/s (o 92,3 %), u Svatopluka III o 83,3 %. Teplota obou zdrojů klesla o 4 °C. Pravděpodobným mechanismem bylo propojení zvodněných horizontů nebo tlakové odlehčení struktury vrtnými stvoly. Po dotěsnění vrtů 23. ledna se přelivy částečně obnovily a odtok drenáží poklesl na 0,21 l/s. Další zásah v únoru 2018 strukturu znovu ovlivnil; technické opatření v dubnu 2020 poměry stabilizovalo a kolem roku 2022 se vydatnosti vrátily k předhavarijním hodnotám (Pospíšil a Pospíšilová, 2026; obr. 3 a 4).



Obr. 3 Relativní vydatnost zdrojů Cyril–Metoděj a Svatopluk III v letech 2017–2025; 100 % představuje průměr za leden až listopad 2017. Zdroj dat: Pospíšil a Pospíšilová (2026); zpracování autorů.

Fig. 3 Relative discharge of the Cyril–Metoděj and Svatopluk III springs in 2017–2025; 100% represents the January–November 2017 mean. Data: Pospíšil and Pospíšilová (2026); processed by the authors.



Obr. 4 Akutní změna vydatnosti a teploty zdrojů Cyril–Metoděj a Svatopluk III v zimě 2017/2018. Zdroj dat: Pospíšil a Pospíšilová (2026); zpracování autorů.
Fig. 4 Acute changes in discharge and temperature of the Cyril–Metoděj and Svatopluk III springs in winter 2017/2018. Data: Pospíšil and Pospíšilová (2026); processed by the authors.

Vrty ležely mimo tehdejší ochranné pásmo. Případ proto ukázal omezení jeho prostorového rozsahu i bezprostředních správních nástrojů. Hranice pásma plnila správní funkci; minerální voda ji za hydraulickou bariéru nepovažovala.

4. Současná preventivní ochrana

4.1 Quis custodiet ipsos custodes? Karlova Studánka

V Karlově Studánce byl připravován záměr návštěvnického centra Dům přírody Jeseníků. Pozemek leží ve vnitřním lázeňském území, v ochranném pásmu I. stupně přírodních léčivých zdrojů a současně na osvědčeném ložisku peloidu Karlova Studánka. Lokalita se nachází v tektonicky exponovaném prostoru bělského zlomu, s mělkou hladinou podzemní vody a výskytem minerálních vod a CO_2 (ČIL, 2026a).
ČIL se roku 2010 obecně vyjádřil k územněplánovací dokumentaci; nešlo o posouzení konkrétní stavby, jejího založení ani odvodnění. V roce 2024 připustil dvě mělké průzkumné sondy. Ty potvrdily rašelinné vrstvy a mělkou hladinu podzemní vody, tedy citlivost lokality, nikoli její vhodnost pro hluboce založený objekt. Výsledky však nebyly důvodem k přerušení přípravy architektonické soutěže. ČIL do jejího zadání přizván nebyl, památková péče ano; požadavek omezit pohledové působení stavby vedl k vítěznému návrhu zahloubenému pod terén. Architektonické zadání bylo splněno, hydrogeologická přijatelnost prověřena nebyla.
Založení až do hloubky přibližně 6 m by vyžadovalo odvodnění stavební jámy a patrně těsnicí či injektážní práce. Rizika zahrnovala odstranění ochranných nadložních vrstev, změnu proudění a odplynění struktury, ovlivnění vydatnosti přírodních léčivých zdrojů a odtěžení části osvědčeného ložiska peloidu. ČIL proto vydal opakovaně nesouhlasná stanoviska. Následovala písemná a osobní jednání včetně jednání na vládní úrovni; k létu 2026 záměr uzavřen nebyl (ČIL, 2026a).
Případ ukazuje především důležitost pořadí kroků: hydrogeologická přijatelnost má být prověřena před soutěží, nikoli po výběru návrhu a vynaložení významných prostředků. Pokračování projektu lze interpretačně vztáhnout k efektu utopených nákladů a eskalaci závazku, tedy k tendenci setrvávat u zvoleného postupu po investování peněz, času a institucionální reputace navzdory novým nepříznivým informacím (Staw, 1976; Arkes a Blumer, 1985; Brockner, 1992). Averze ke ztrátě tento rámec doplňuje, není však důkazem motivace konkrétních osob (Kahneman a Tversky, 1979). Přibližně 16 mil. Kč vynaložených na přípravu proto nelze odborně použít jako argument pro přijatelnost stavby (ČIL, 2026a). Ani orgán ochrany přírody není chráněn před vlastním špatným

nápadem; institucionální kvalita se pozná podle schopnosti opustit jej dříve, než se dosavadní náklady stanou argumentem pro náklady další.

4.2 Karlovy Vary: tunel jako zkouška hranic ochranného pásma

Prověřovaná varianta silnice I/6 počítá v Karlových Varech s raženým dvoutubusovým tunelem dlouhým asi 3 400 m. V nejhlubší části má být niveleta téměř 60 m pod povrchem; nejnižší bod leží přibližně na kótě 358,28 m n. m. Záměr je situován v ochranném pásmu II. stupně IIA (ČIL, 2026b). Tak rozsáhlé podzemní dílo může změnit puklinové proudění, drenážní a tlakové poměry i cesty výstupu zřídelních plynů. Hydrogeologické hodnocení proto musí být podkladem volby trasy, nikoli následnou podmínkou definitivně vybraného řešení. Tunel lze přeložit na mapě; zřídelní strukturu obvykle nikoli.

5. Diskuse

Případy představují odlišné mechanismy: přímé odvodnění puklinové struktury důlním dílem, změnu hlubinného tlakového a plynového režimu, propojení zvodní vrtným stvolem a migraci chemického kontaminantu. Liší se také důkazní síla. U Döllingeru ji podporuje bezprostřední zapadnutí pramenů, u H 11 dvouhodinová odezva Kostelního pramene, ve Skalce souběh poklesu vydatnosti a teploty, chemická shoda unikající vody a částečná obnova po dotěsnění. U Lesního pramene se opírá o chemické a materiálové analýzy. U dolu Marie zůstává mechanismus interpretačně složitější.

Společný je nepoměr mezi velikostí zásahu a rozsahem následků a výrazná časová asymetrie. H 11 ovlivnil prameny během hodin, obnova trvala přibližně dva měsíce. Ve Skalce nastal pokles během dnů a návrat trval přibližně čtyři roky. V Teplicích následovala po několikadenním průvalu více než stoletá regulace. Preventivní posouzení proto nelze nahrazovat příslibem budoucí technické nápravy.

Další poučení se týká rozdílu mezi projektem a provedením. U citlivých zřídelních struktur nestačí schválená dokumentace; rozhodující je kontrola skutečného technologického postupu, kvalita vrtných a stavebních prací a schopnost práce okamžitě zastavit při neočekávané odezvě. Hydrogeolog a inženýrský geolog zde nemají být pouze autory posudku, ale účastníky realizace.

Ochranná pásma vyjadřují odborné poznání a právní podmínky doby svého vzniku. Nejsou definitivním hydrogeologickým modelem, ale jeho správní aproximací. Historické havárie vedly k jejich zpřesňování; současné případy v Karlově Studánce a Karlových Varech ukazují posun k předběžné ochraně. V této fázi chybí gejzír, zapadlý pramen i laboratorní nález kontaminantu. To je z hlediska zdrojů výhoda, přestože prevence bývá investorem snadno označena za alibismus.

6. Závěr

Přírodní léčivé zdroje mohou reagovat na zásahy mimo vlastní jímací území i mimo formálně vymezené ochranné pásmo. Odezvu zprostředkují přímé hydraulické vazby, změny tlakového a plynového režimu, nové preferenční cesty proudění a migrace chemických látek.

Příčinnou souvislost je nutné opírat o více nezávislých znaků: časovou a prostorovou odezvu, chemickou či materiálovou shodu, reakci na nápravné opatření a dlouhodobý monitoring. Doba vzniku poruchy bývá podstatně kratší než doba obnovy.

Ochranná pásma zůstávají základním právním nástrojem, jejich rozsah a podmínky však musejí reagovat na nové poznatky a nové druhy zásahů. Úlohou ČIL je prosazovat hydrogeologické hodnocení a monitoring před zahájením prací, nikoli až po vzniku škody. Náklady na prevenci bývají nižší než náklady na sanaci, dokazování odpovědnosti a následnou správní korespondenci; posledně uvedená položka navíc tradičně vykazuje mimořádnou životnost.

Seznam literatury

Arkes H. R., Blumer C., 1985: The psychology of sunk cost. – Organizational Behavior and Human Decision Processes 35(1), 124–140.

Brockner J., 1992: The escalation of commitment to a failing course of action: Toward theoretical progress. – Academy of Management Review 17(1), 39–61.

Česká geologická služba (ČGS), 2016: Rebilance zásob podzemních vod, hydrogeologický rajon 6133 – Teplický ryolit. – Závěrečná zpráva, Česká geologická služba. Praha.

ČIL, 2001: Mariánské Lázně – Lesní pramen – oznámení o odvolání do rozhodnutí Okresního úřadu Cheb o udělení pokuty. Č. j. ČIL-451-21.3.2001/9130-J. – Nepublikovaný správní dokument, příruční archiv ČIL, Ministerstvo zdravotnictví ČR.

ČIL, 2026a: Podklady ke správnímu posuzování záměru Dům přírody Jeseníků v Karlově Studánce. – Nepublikované dokumenty, příruční archiv ČIL.

ČIL, 2026b: Podklady k tunelové variantě vedení silnice I/6 v Karlových Varech. – Nepublikované dokumenty, příruční archiv ČIL.

Havrlík S., 1999: Nulté průvaly ryolitových vod v oblasti duchcovských dolů. – Zpravodaj Hnědé uhlí 39(1), 35–47.

Jiskra J., 1997: Z historie uhelných lomů na Sokolovsku: od Johanna Davida Edler von Starcka po Sokolovskou uhelnou, a.s. – Sokolovská uhelná. Sokolov.
Kahneman D., Tversky A., 1979: Prospect theory: An analysis of decision under risk. – Econometrica 47(2), 263–291.
Pöpperl J., 2001: Aktuální problémy ochrany přírodních léčivých zdrojů lázeňského místa Karlovy Vary při těžbě uhlí. – Zpravodaj Hnědé uhlí 41(1), 20–25.
Pospíšil M., Pospíšilová E., 2026: Skalka u Prostějova – vývoj vydatnosti a teploty přírodních léčivých zdrojů, průběh havárie a nápravná opatření. – Nepublikovaná data a podklady předané autorům.
Staněk I., Mackovič M., 2009: Historie průzkumu a jímání minerálních vod. III. část: Erupce minerální vody na výzkumném vrtu H 11 v Horní Vsi u Františkových Lázní. – Františkolázeňské listy 2009(1), 7–8.
Staw B. M., 1976: Knee-deep in the big muddy: A study of escalating commitment to a chosen course of action. – Organizational Behavior and Human Performance 16(1), 27–44.
Stejskal V., Málek J., Novotný O., 2008: Variations in discharge and temperature of mineral springs at the Františkovy Lázně spa during a nearby earthquake swarm in 1985/1986. – Studia Geophysica et Geodaetica 52(4), 589–606.
Veselá M., 2014: Vliv srážek na mělké jímání minerálních vod. – Diplomová práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. Praha.
Vyhláška Českého báňského úřadu č. 239/1998 Sb., o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při těžbě a úpravě ropy a zemního plynu a při vrtných a geofyzikálních pracích, ve znění pozdějších předpisů.
Vylita T., 2008: Zřídelní sedimentace karlovarské termální struktury a její vztah k ochraně zdejších terem. – Disertační práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. Praha.
Zmítková J., Jaššo M., 2026: Teplice – vývoj hladin a teplot přírodních léčivých zdrojů a průběh řízených zvyšovacích kroků. – Nepublikovaná data a podklady předané autorům.

TERMÁLNÍ KOUPELE BEŠEŇOVÁ
REKONSTRUKCE ZHLAVÍ VRTU GEOTERMÁLNÍHO VRTU ZGl-1

THERMAL BATHS BEŠEŇOVÁ
RECONSTRUCTION OF THE WELLHEAD OF THE GEOTHERMAL WELL ZGl-1

Vaněček, M.[1], Michálková, J.[1], Skálová, J.[1], Kešnerová, J.[1], Záruba, J.[2], Navrátilová, V.[2], Reisel, P.[3], Kucharčíková, L.[4], Vylita, T.[4], Tenenko, V.[4]

[1]Watrad, spol. s r.o., Osadní 26, 170 00 Praha 7, e-mail: watrad@watrad.cz
[2]SG Geotechnika a.s., Geologická 4, 152 00 Praha 5, e-mail: jiri.zaruba@geotechnika.cz; vlasta.navratilova@geotechnika.cz
[3]HES - COMGEO, a.s., Medený Hámor 25, 974 01, Banská Bystrica, e-mail: patrik.reisel@hes-comgeo.sk

Abstrakt: Geotermální vrt ZGL-1 v Bešeňové (okres Rožumberok, SK) byl realizován v roce 1987 jako součást výzkumu geotermálního gradientu v oblasti mezi Nízkými a Vysokými Tatrami. Od roku 1993 byl bez větších úprav využíván a sloužil k zásobování Vodního parku Bešeňová a k vytápění areálu s několika hotely a plaveckým stadionem. Vrt je hluboký 1 987 m a limitujícím pro servisní aktivity je teplota minerální vody (62 °C), její množství při volném přetoku (min. 32 l.s-1) a tlak (1,3 MPa). Volný průchod karotážní sondy, resp. kamery komplikuje havarijní stav vrtu. Kamerová prohlídka byla provedena pouze do hloubky 235 m pod povrchem a ukázala, že kolona pažnic je přerušována, a to již od hloubky 10 m pod povrchem. V případě uzavření průtoku termy vrtem hrozilo oddělení zhlaví vrtu od svrchní části kolony pažnic. Navíc nebylo možné ovládat průtok termy, protože hlavní ovládací šoupata byla zcela nefunkční.
Cílem prací byla rekonstrukce a stabilizace zhlaví vrtu ZGL-1 tak, aby bylo možné provézt karotážní měření a zprůchodnění za účelem zjištění stavu vrtu pro další rekonstrukční práce.

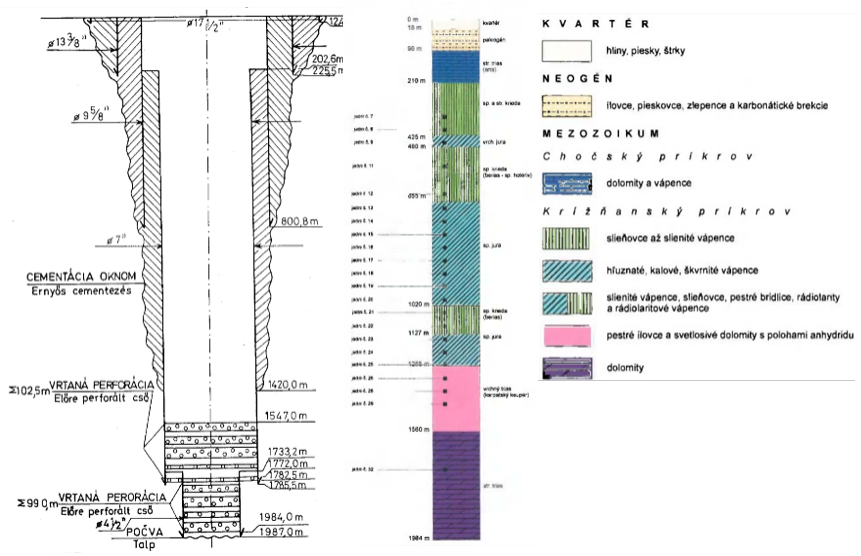
Abstract: The geothermal well ZGL-1 in Bešeňová (Rožumberok district, SK) was built in 1987 as part of research into the geothermal gradient in the area between the Low and High Tatras. Since 1993, it has been used without major modifications and has served to supply the Bešeňová Water Park and to heat the area with several hotels and a swimming stadium. The well is 1,987 m deep and the limiting factors for service activities are the temperature of the mineral water (62 °C), its quantity during free overflow (min. 32 l.s-1) and pressure (1.3 MPa). The emergency condition of the well complicates the free passage of the logging probe, or camera. The camera inspection was carried out only to a depth of 235 m below the surface and showed that the casing string is interrupted, starting from a depth of 10 m below the surface. In the event of the thermal flow through the well being closed, there was a risk of the wellhead separating from the upper part of the casing string. In addition, it was not possible to control the flow of the thermal water because the main control valves were completely inoperative.

Klíčová slova: termální voda, rekonstrukce vrtu, havarijní stav,

Key words: thermal water, well reconstruction, emergency well condition

1. Úvod

Geologický ústav Dionýsa Štúra v Bratislavě objednal realizaci výzkumného vrtu ZGL-1 v obci Bešeňová v rámci řešení státního výzkumného úkolu: „Geotermální energie, výzkum možnosti reinjektáže a hodnocení potenciálu SSR“. Vrt realizoval VIKUV Budapešť v roce 1986. Vrt dosáhl konečné hloubky 1987 m.
Produkční část vrtu v délce 437 m se nachází v hloubce 1547 až 1984 m, celková délka perforace je 201,5 m. Rozhraní paleogénu a chočského příkrovu bylo zaznamenané v hloubce cca 96 m. Karbonátový komplex chočského příkrovu pokračuje do hloubky 210 m. Od této úrovně až do konečné hloubky prochází vrt souvrstvím křížňanského příkrovu. Schéma geologického sledu vrstev je uvedeno v Tab. 2.
Z vrtu je volným přelivem jímána geotermální minerální voda o teplotě až 62 °C. Vrt dosahuje tlakového přelivu 0,6 MPa, po uzavření vrtu působí tlak až 1,3 MPa. Mineralizovaná terma je silně proplyněná, obsah CO2 byl při poloprovozní hydrodynamické zkoušce stanoven v roce 2009 na 715 až 1300 mg.l-1. Vydatnost přetoku při téže zkoušce dosahovala až 37 l.s-1.
Pracovní výstroj vrtu je v havarijním stavu – to bylo potvrzeno karotážní kamerou, kterou se v roce 2023 podařilo zapustit pouze do hloubky 328 m pod terénem. Kolona pažnic je v kontrolovaném intervalu nesouvislá, její průběh je přerušován chybějícím materiálem. Zbývající materiál je zrezivělý a pokrytý sintrem.

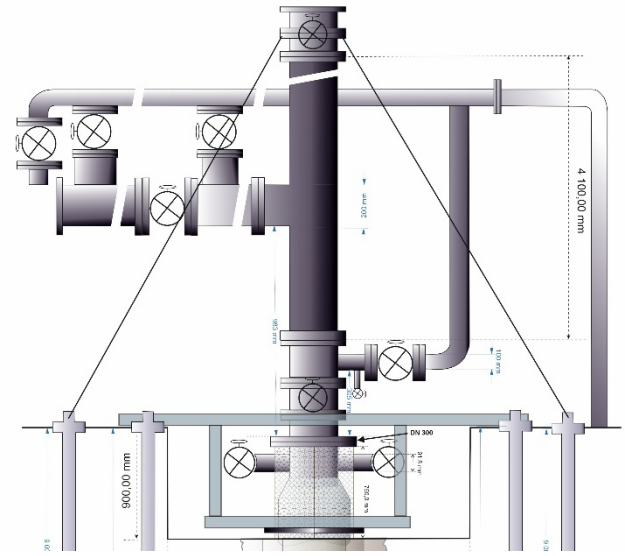


Obr. 1 Technický nákres vystrojení vrtu a litostratigrafický profil
Fig. 1 Borehole construction diagram and lithostratigraphic profile

Zhlavím vrtu byla pažnice DN 300 mm přecházející do zúžené pažnice ukončené přírubou DN 200. Ve zúžené části byl odlehčovací kříž tvořený dvěma trubkami DN 85 mm z nichž jedna byla ukončena šoupětem, druhá byla jednoduše zaslepena. Z dostupné dokumentace nebylo zřejmé vnitřní uspořádání svařence zhlaví a ani jak bylo zhlaví vrtu napojeno na pažnicovou výstroj. Až na šoupě bylo zhlaví vrtu vyrobeno z nerezového materiálu pokrytý sintrem místy silným až několik mm. Armatura byla nefunkční, nedala uzavírat/otevírat a na zhlaví byly patrné částečné (dočasné) opravy.
Součástí této etapy byla i hydrodynamická zkouška, která byla realizována na závěr prací.
Dílčím cílem etapy 2025 bylo stabilizovat zhlaví vrtu a upravit přístup do vrtu tak, aby bylo možné realizovat karotážní měření bez dlouhodobého odstavení provozu termálních koupelí od zdroje termy. Výsledky karotážního měření budou sloužit k rozhodnutí o způsobu celkové rekonstrukce jímacího zdroje termy.

2. Příprava projektu

Před realizací technických prací byly vypracovány a vyhodnoceny 4 scénáře. Navrhované postupy byly mimo jiné hodnoceny pravděpodobnostní a váhovou analýzou.



Obr. 2 Grafické zpracování scénáře č. 5
Fig. 2 Graphical processing of scenario No. 5

Pro každý jednotlivý scénář byl rozpracován pracovní postup v textové formě a obrazové animaci. Pro realizaci byl investorem schválen scénář č. 4, který však byl v průběhu prací operativně upravován a v závěrečné zprávě byl označen jako scénář č. 5.

3. Pracovní postup

Scénář č. 5 byl z větší části projednán s realizačními techniky, částečně reagoval operativně na aktuální situaci a měl následující průběh:

1. Aplikace všech 8 ks injekčních závrtných kotev vně jímky, protože se vrtné nářadí vrtné soupravy nevešlo do vymezeného prostoru jímky
2. Několikadenní příprava svařenců pro pospojování nových dílů armatury s armaturou stávající technologie
3. Důkladné očištění starého zhlaví vrtu a komponent odlehčovacího kříže od sintru

Obr. 3 Zhlaví vrtu před rekonstrukcí
Fig. 3 Wellhead before reconstruction

4. Postupné nahrazení starých šroubů na ucpávce a šoupěti odlehčovacího kříže šrouby novými
5. Instalace speciálně vytvarovaného nového pláště zhlaví s přírubou DN 350 do prostoru jímky
6. Svaření speciálně vytvarovaného nového pláště zhlaví s přírubou DN 350 a přivaření v místě rozšířené příruby DN 350 k přírubě DN 200 starého zhlaví vrtu.
7. Zaplnění prostoru mezi novým a starým pláštěm zhlaví vrtu vysokopevnostní pryskyřicí

Obr. 4 Stabilizované zhlaví vrtu
Fig. 4 Stabilized wellhead

8. Montáž nosníků – svaření stabilizační stolice v šachtici
9. Spojení stabilizační stolice ve 4 bodech s bližšími 4 injekčními závrtnými kotvami vně jímky
10. Přivaření speciálně vytvarovaného nového pláště zhlaví s přírubou DN 350 ke stabilizační stolici
11. Odstranění ucpávky 1. ramene odlehčovacího kříže
12. Montáž nového šoupěte DN 100 na 1. rameno odlehčovacího kříže
13. Montáž bypassu - redukční tvarovky pro napojení nového šoupěte DN 100 na odpadní větev stávající technologie
14. Otevření šoupěte DN 100 na 1. rameni odlehčovacího kříže pro odlehčení tlaku
15. Odstranění sintrem ucpaného šoupěte 2. ramene odlehčovacího kříže
16. Montáž nového šoupěte DN 100 na 2. rameno odlehčovacího kříže
17. Montáž bypassu - redukční tvarovky pro napojení nového šoupěte DN 100 na větev stávající technologie

Obr. 5 Rekonstruovaný odlehčovací kříž a napojení bypasů
Fig. 5 Wellhead cross and bypass connection

18. Otevření šoupěte DN 100 na 2. rameni odlehčovacího kříže pro odand lehčení tlaku
19. Uzavření výtoku z vrtu membránovou klapkou
20. Demontáž zhlaví vrtu se šoupětem a odpojení od degazační technologie
21. Montáž obtokového kolena, přichycení staré části technologie nad zhlavím vrtu k hydraulické ruce a otevření membránové klapky
22. Oddělení staré části technologie nad zhlavím vrtu řezem

Obr. 6 Oddělení staré části technologie nad zhlavím vrtu řezem
Fig. 6 Cutting off the old part of the technology above the wellhead

23. Usazení a montáž redukce DN 350/200 s otevřeným šoupětem DN 200 na nové zhlaví vrtu za pomoci hydraulické ruky
24. Uzavření šoupěte DN 200
25. Montáž tvarovky s odbočkou a komory produkčního kříže ukončenou šoupětem DN 200
26. Úprava svařence propojovacího potrubí tvarovky s degazační technologií
27. Montáž degazační technologie
28. Zprovoznění produktovodu
29. Přichycení komory produkčního kříže ke kotvám vně jímky

Obr. 7 Zrekonstruované zhlaví vrtu
Fig. 7 Wellhead after reconstruction

4. Hydrodynamická zkouška

Hydrodynamické zkoušky ve vrtu ZGL-1 byly prováděny v letech 1987, 1997/1998 a 2009.
V roce 1987 bylo provedeno měření nástupu tlaku ve vrtu ZGL-1, kdy byl na počátku zaznamenán tlak 0,6 barů při volném přelivu 30,2 l.s-1. Po uzavření vrtu byl již po 30 sekundách zaznamenán tlak 11 barů a ustálil se na hodnotě okolo 13 barů, které dosáhl již po 90 min. Při hydrodynamických zkouškách byl stanoven koeficient průtočnosti 1,162. 10-4 m2. s-1.

Obr. 8 Instrumentace tlaková zkoušky
Fig. 8 Pressure test instrumentation

V roce 1997/1998 byly naměřeny maximální hodnoty tlaku 8,67 barů při jeho plném otevření, měření jsou však ovlivněna napojením na komplex aquaparku. Naměřené hodnoty průtoku se pohybovaly v rozmezí 20 – 40 l.s-1.

V roce 2009 bylo dokumentováno přelivové množství termální vody 35,82 l.s-1 (denní průměr). Vrt byl otevřený naplno a tlak nebyl zaznamenáván.
Instrumentace tlakové zkoušky je znázorněna na *Obr. 2*. Tlaková zkouška probíhala v postupných navazujících krocích.

- 1. Byla na odlehčovací rameno vrtu ZGL-1 nainstalována hadice s čidly na měření tlaku, teploty a průtoku s odpouštěcím ventilem. Měřící čidla byla napojena na záznamové zařízení Hydrotechnik.
- 2. Byl otevřen uzávěr ramene („šoupě“), čímž byla zavodněna hadice s měřícími čidly. Na hadici byl otevřen odpouštění ventil, hadice byla odvzdušněna a byla ověřena těsnost a funkčnost jednotlivých komponent, poté byl ventil opět uzavřen.
- 3. Byl zpuštěn záznam zkoušky a uzavřen vrt ZGL-1 nad odlehčovacím ramenem pomocí „šoupěte“.

Po dobu 6 hodin byl zaznamenáván nárůst tlaku ve vrtu ZGL-1. Doba trvání tlakové zkoušky byla omezena technickými možnostmi provozovatele aquaparku na odstávku vrtu.
Po 6 hodinách byl opět otevřen ventil („šoupě“) z vrtu ZGL-1 do technologie aquaparku a zaznamenáván pokles tlaku až do následujícího dne.
Při hydrodynamické zkoušce byl na závěr etapy 2025 plně uzavřen výtok termy z vrtu ZGL-1 s okamžitým naměřeným tlakem 6,9 barů. Tlak pomalu stoupal po dobu 6 hodin, tj. po dobu, kterou provozovatel termálních koupelí povolil. Úroveň tlaku nedosáhla v daném časovém intervalu (6 hodin) ustáleného stavu.
Pomalý nástup tlaku nad 6,9 barů měřený na ústí uzavřeného vrtu ZGL-1 v roce 2025 oproti tlaku 13 barů na ústí uzavřeného vrtu v roce 1987 lze vysvětlit rozsáhlou infiltrační oblastí ovlivněnou dlouhodobou exploatací hydrotermálního vrtu. Hydrogeologická struktura mezozoických vápenců a dolomitů je nepřetržitě exploatována více jak 30 let a odčerpané zdroje podzemní vody se v infiltrační oblasti pouze pozvolna doplňují, proto tlak ve vrtu narůstá velice pomalu.
Výsledky realizované hydrodynamické zkoušky s hodnotami koeficientu průtočnosti $1{,}86.10^{-4}$ $m^2.\ s^{-1}$ jsou ve shodném řádu s výsledky koeficientu průtočnosti stanovenému v roce 1987 ($1{,}162.10^{-4}$ $m^2.\ s^{-1}$).

5. Závěr

Terénní práce započaly 3.9.2025 odvrtáním injekčních samozávrtných kotev. Následovala delší pauza , kdy byly připravovány a zajišťovány nové díly technologie a probíhala příprava pracoviště včetně proškolení aktérů z bezpečnosti práce. Termín ukončení terénních aktivit byl stanoven na 15.10.2025 a ukončením celého projektu bylo stanoveno datum 15.11.2025 předáním závěrečné zprávy.
V období přípravných aktivit byly mimo jiné vypracovány a vyhodnoceny 4 rizikové analýzy hodnotící návrh technologického postupu rekonstrukce zhlaví vrtu ZGL-1. Při samotné realizaci však nebyl dodržen ani 4. scénář. Operativně byl zaznamenáván a hodnocen scénář č. 5. K zásadním odchylkám, ke kterým došlo při realizaci projektu od hodnoceného posledního 4. scénáře patří

- všechny samozávrtné injektážní kotvy byly umístěny vně jímky,
- nebyl použit žádný pakr,
- nebyla instalována pracovní plošina,
- byly vyrobeny redukce pro bypassy,
- byly použity bypassy při odpouštění termy odlehčovacím křížem.

Terénní práce byly ukončeny 15.11.2025 ve 23:00 hod. připojením nové, rekonstruované části jímací technologie k degazační technologii. Otevřením nového šoupěte a odpojením bypassů byl obnoven provoz dodávky termy odběrateli.

VYUŽITÍ MINERÁLNÍCH VOD V POTTOVĚ ÚDOLÍ V MARIÁNSKÝCH LÁZNÍCH

USE OF MINERAL WATERS IN THE POTTA VALLEY, MARIÁNSKÉ LÁZNĚ

Tomáš Vylita[1]
Dobroslava Jandová

[1]*Institut lázeňství a balneologie, v.v.i., Závodní 353/88, 360 06 Karlovy Vary, e-mail: vylita@i-lab.cz*

Abstrakt: V lázeňských místech nelze uvažovat pouze o léčivých účincích vody samotné, ale spíše o komplexních, synergických účincích přírodního i uměle vytvořeného prostředí jako celku. Záměr vybudování balneoparku v Mariánských Lázních lze považovat za krok tímto směrem. Geneze místních kyselek a vývoj solitérních zřídelních struktur, obvykle poměrně mělkého zakotvení v horninovém prostředí, je podobně jako v případě jiných zřídelních lokalit ne zcela jasná, střetávají se názory preferující litomorfní původ mineralizace a zdůrazňující funkci hlubších zlomových poruch jako přívodních drah pro silněji mineralizované podzemní vody, s názory fixovanými na roli katamorfních zasáklých solanek. Vazba na různé typy horninového prostředí je však evidentní. Zájmovou dílčí strukturou (a nejníže položenou pramenní skupinou) je Pottovo údolí na jihu lázeňského místa. Je uvažováno s odběrem směsné vody ze zdrojů v horní části údolí, tak, aby voda dotékala gravitačně k uvažovaným atrakcím v dolní části údolí – směsnou vodu lze užít saturaci potřeb různých vnějších balneací a též k zásobování inhalatoria typu gradovny v rámci balneoparku.

Abstract: In spa towns, one cannot consider merely the therapeutic effects of the water itself, but rather the complex, synergistic effects of the natural and man-made environment as a whole. The plan to construct a balneological park in Mariánské Lázně can be viewed as a step in this direction. The genesis of the local acidulous springs—and the development of their individual spring structures, which typically have relatively shallow roots in the bedrock—remains not entirely clear, much like at other spring sites. Conflicting theories exist: some favor a lithogenic origin for the mineralization and emphasize the role of deep fault zones as conduits for more highly mineralized groundwater, while others focus on the role of infiltrating catamorphic brines. A specific area of interest is Potta's Valley in the southern part of the spa town. Plans are being considered to collect mixed water from the sources in the upper part of the valley, allowing it to flow by gravity to proposed attractions in the lower part of the valley; this mixed water could be used to meet the requirements of various external balneotherapy treatments and to supply facilities such as inhalation chambers etc.

Klíčová slova: zřídelní struktura, balneace, přírodní prostředí lázeňských míst, balneopark, terapie

Key words: spring structure, balneotherapy, natural setting of spa towns, balneological park, therapy

1. Úvod

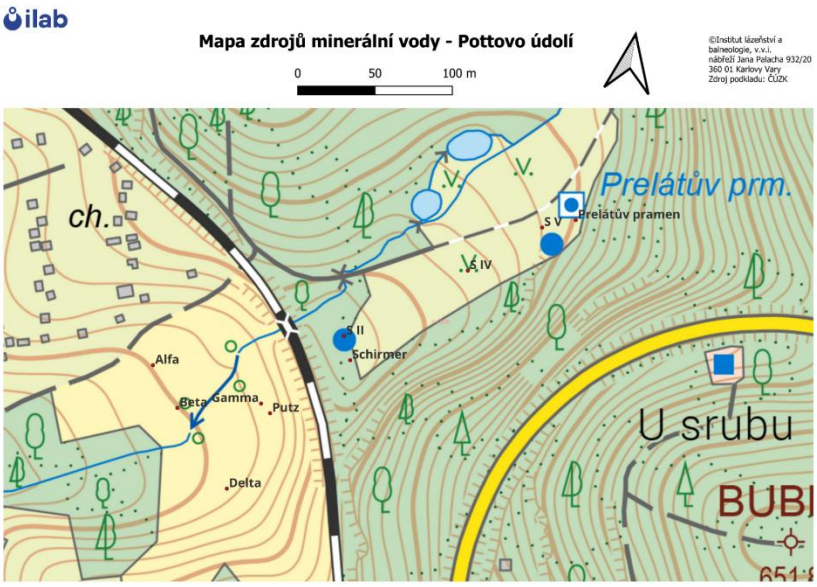
Vývěrová zóna proplyněných mineralizovaných podzemních vod v Mariánských Lázních je prostorově vázána jv. okraj Slavkovského lesa, jehož svahy jsou zde tektonicky postiženy zlomy spjatými s průběhem mariánskolázeňského hlubinného zlomu. Vývěry proplyněných minerálních vod a zřídelního plynu jsou rozmístěny v dílčích strukturách v širším okolí morfologicky nepříliš výrazného údolí Úšovického potoka, v intervalu nadmořských výšek cca 570-750 m.n.m. Údolí je otevřeno směrem k jihu, centrální část je historicky urbanizována, severní část lázeňského místa je obklopena lesními porosty, část jižní ústí do tachovského prolomu.

1.1 Pottovo údolí a zdejší zdroje minerální vody

Projekt balneologického parku je prostorově vázán na Pottovo údolí v jihovýchodní části extravilánu Mariánských Lázní. Zdejší pramenní skupina je nejníže položenou skupinou pramenů minerálních vod na území tohoto lázeňského místa (cca 571-588 m n.m.). Nejstarší zmínka o zdejších pramenech pochází od B. Balbína (1679).
Skalní podloží je zde tvořeno amfibolity a granátickými amfibolity mariánsko-lázeňského bazického komplexu, hadci a rulovými aplity. Kvartérní pokryv tvoří svahové a fluviální sedimenty o mocnosti až 6 m. Místy se vyskytují relikty organogenní sedimentace typu rašelinných zemin.
Dominantní tektonickou strukturu představuje mariánskolázeňský hlubinný zlom směru SSZ – JJV, křížící se se zlomovým pásmem příčného směru (SV – JZ), blíže povrchu značně otevřeným a řídícím průběh místní vodoteče. Výstup plynných fluid je determinován průběhem hlubinného zlomu, výstup proplyněných minerálních vod je vázán na zlomy příčné.

Geneze zdejších kyselek a vývoj solitérních zřídelních struktur, obvykle poměrně mělkého zakotvení

v horninovém prostředí, není, podobně jako i v případě jiných zřídelních lokalit, zcela jasná; střetávají se názory preferující litomorfní původ mineralizace a zdůrazňující funkci hlubších zlomových poruch jako přívodních drah pro silněji mineralizované podzemní vody, s názory fixovanými na roli katamorfních zasáklých solanek. Vazba na různé typy horninového prostředí je však evidentní, v granitech a metamorfitech typu svorů a rul dominují vody o základním iontovém složení Na-HCO_3, v metabazitech („ultrabazitech“) pak vody o složení MgCaNa-HCO_3 (podobně jako v Louce nebo Nové Vsi).
Minerální vody se formují v celku jednotném proudu podzemní prosté vody, sestupujícím z prostoru náhorních plošin Slavkovského lesa. Cirkulace se děje převážně v hloubkách cca 30–150 m pod povrchem terénu a vývěry či uměle jímání se pak vyskytují v depresi Pottova údolí. Utváření takových dílčích zřídelních struktur je určeno místní geologickou stavbou, tektonickou expozicí, příronem CO_2 z hloubky (výstup CO_2 je vázán na tektonické zóny a pásma porušení) a morfologií území ovlivňující vytváření nádrže podzemní vody. Spoluúčastí těchto činitelů vzniklo v Mariánských Lázních několik víceméně samostatných zřídelních struktur, které podmiňují pestrost chemického složení zdejších minerálních vod. Kvantitativní obsahy iontů přitom závisí na puklinové propustnosti a rychlosti oběhu vody, zejména však na chemickém rozkladu hornin, na nějž jsou tyto soliterní struktury prostorově vázány. Zdejší kyselky (cca 40 zdrojů ve 12 dílčích zřídelních strukturách) tak vykazují značnou variabilitou chemického složení a obsahem rozpuštěných látek v intervalu 0,3 až přes 11 $g.l^{-1}$. Obvykle jsou zde z hlediska hydrogeochemického vyčleňovány čtyři skupiny proplyněných vod (Dovolil, 1959; Dvořák, Horna, 1978; Krásný, 2012 ad.), přičemž většinu zdrojů v Pottově údolí řadíme k typu prostých kyselek s celkovou mineralizací 0,1 – 1,0 $g.l^{-1}$ (stejně jako např. Ambrožovy prameny, Ústřední, Marie, Hamelika ad.).
Jímány jsou zde kyselky s celkovou mineralizací cca 700–1400 $mg.l^{-1}$ (původně však Alfa až 2500 $mg.l^{-1}$), proplyněné CO_2 v intervalu 780 – 2500 $mg.l^{-1}$; hydrogeochemického typu CaMg-HCO_3 (zdroje Alfa, Beta, Sonda II a Sonda IV) až CaMg-HCO_3Cl (zdroje Sonda V, Schirmer studna a Schirmer dren) a typů složitějších, Na-SO_4ClHCO_3, (zdroje Gamma), resp. CaMg-SO_4ClHCO_3 (zdroje Putz). Všechny zdroje jeví vysoký obsah železa, 10,5 až téměř 27 $mg.l^{-1}$ (tab. 1).



Obr. 1 Situační mapa zdrojů v Pottově údolí.
Fig. 1 Situational map of source in the Potta Valley.

Celková využitelná vydatnost zdrojů kyselek v Pottově údolí byla dříve odhadnuta až na více než 4 $l.s^{-1}$ (Dovolil, 1956); reálná aktuální využitelná vydatnost je sice vysoká, avšak významně nižší, cca 1,5 $l.s^{-1}$. Jímání je zajištěno šachticemi (o hloubce 6,4 až 9,45 m z l. 1909 - 1910) i vrty (22,8 až 49 m; Sondy II, IV a V z r. 1954).

Tab. 1 Vybrané parametry zdrojů minerální vody v zájmovém území

Název zdroje	v.r. CO_2 $mg.l^{-1}$	Odparek $mg.l^{-1}$	pH	Na $mg.l^{-1}$	Mg $mg.l^{-1}$	Ca $mg.l^{-1}$	Cl $mg.l^{-1}$	SO_4 $mg.l^{-1}$	HCO_3 $mg.l^{-1}$
Schirmer studna	1600	844	5.69	50.3	58.5	113	215	50.5	477.5
Schirmer dren	2100	916	5.70	42.1	47.6	93.2	168	44.4	396
Putz	2200	906	5.72	30.1	75.7	142	206	53.5	576
Alfa	1890	803	6.28	31.4	122	203	15.2	45.6	803
Beta	1100	618	6.15	17.8	65.1	142	49.6	25.3	630
Gama	2100	734	5.82	27.5	58.5	114	135	32.2	604
Delta	780	483	6.10	19	63.8	129	35.4	31.3	614
Sonda II	2300	892	5.8	21.3	68.6	126	97.9	22.9	690
Sonda IV	2100	900	5.66	23.6	40	81.3	62.4	31.6	615.5
Sonda V	2500	852	5.87	51.9	71.2	146	177	27	643

Obr. 2 Pohled na svrchní partie jímacího objektu zdroje S IV
Fig. 2 View of the upper sections of the shaft tapping S IV

2. Možné využití zdrojů v Pottově údolí

Terapeutický program využívající prostoru Pottova údolí kombinuje biologicky účinné vlivy přirozeného přírodního prostředí na zdraví člověka doplněné cíleným využitím místních zdrojů minerálních vod s minimálními antropogenními, resp. urbanistickými zásahy do biotopu/ekotopu. V úvahu byly vzaty i příznivé klimatické vlastnosti Pottova údolí, poskytujícího podhorské klima mírně dráždivé, mírně stimulující, s vhodnými parametry jako je sluneční svit, teplota a vlhkost vzduchu, vyšší koncentrace iontů v troposféře. Lokální orografie s cirkulačními poměry a poloha mimo inverzní zónu je výhodou. Jde o maximální využití všech složek vytvářejících terapeutický potenciál dané lokality Pottova údolí za podmínek: minimalizace zásahů do přirozeného přírodního prostředí a přitom maximalizace prevence rizikových civilizačních vlivů.

Po dohodě s operativní správcem zdrojů lze pro terapeutický program uvažovat s odběrem směsné vody ze zdrojů v horní části údolí, tj. směsné vody ze Sond II, IV a V, resp. Schirmer dren, a to optimálně ze šachtice nad železniční tratí tak, aby minerální voda dotékala gravitačním spádem (výškový rozdíl cca 10 - 15 m) k uvažovaným atrakcím v dolní části údolí– směsnou vodu lze užít saturaci potřeb různých vnějších balneací, zejména pitných kúr, norných koupelí dle Priessnitze a Kneippa k částečným koupelím horních a dolních končetin, k zchlazovacím procedurám v kombinaci se suchým Kneippovým chodníkem, též k zásobování inhalatoria typu gradovny pro inhalace aerosolu při léčení chronických respiračních nemocí a v rámci primární prevence pro udržení stavu zdraví sliznic horních cest dýchacích. Významným faktorem tříštění kapiček bude ovšem zvýšené množství negativně

nabitých iontů v aerosolu, které je a bude významným pozitivním ozdravným faktorem/parametrem a tyto ionty mohou pronikat až do plicních sklípků.
Parametry směsné vody budou zhruba následující: celková mineralizace cca 1250 $mg.l^{-1}$, teplota kolem 9,7 °C (sezónní změny mezi 8-10 °C), proplynění kolem 2100 $mg.l^{-1}$ volného rozpuštěného CO_2.Dle provedených měření je reálně uvažovat s odběrem vody k pitným kúrám ze zdrojů ze Sond II, IV a V., je možné do budoucna uvažovat o využití zdrojů v dolní části údolí: Gamma a Putz, případně Alfa při maximalizaci prevence rizikových civilizačních vlivů. Dále bude možné „oživit" pravý břeh potoka uvažovaný jako prostor s aromatickými rostlinami přelivnou vázou s výtokem event. z výtěžku ze zdroje Alfa ev. Putz, lze rovněž kalkulovat s přivedením minerální vody ze zdrojů ústících do šachtice nad propustkem železniční dráhy, jak zmíněno výše.
Všechny jímané zdroje přímo v lokalitě Pottova údolí (Alfa, Gamma, Delta, Putz) by mohly být využity k pitným kúrám a inhalacím a ostatním zamýšleným balneoprocedurám, pokud dojde k eliminaci rizik civilizačních vlivů a komplexní rozbory neprokáží kontraindikaci pro vnitřní balneace včetně inhalací. Zdroj Schirmer studna a zdroj Schirmer dren mají vysoký obsah sodíku, proto by bylo potřeba zvažovat výhodnější využití pro gradovnu či norné koupele, tedy mimo pitné kúry. Ostatní dotčené zdroje svým chemickým složením skýtají podmínky pro výrazný diuretický účinek primárně u klientů indikační skupiny onemocnění močového ústrojí a onemocnění ledvin. Z oblasti mimo nefrourologii je možné uvažovat pitné kúry z vybraných zdrojů pro klienty, u nichž byla zjištěna zvýšená hladina kyseliny močové, obezita, počínající metabolický syndrom nebo osteoporóza.

Obr. 3 Přeliv na zhlaví vrtu Sonda II
Fig. 3 Sonda II wellhead overflow

3. Závěr

Ve spolupráci lékařů a hydrogeologů byl definován cíl terapeutického programu, který maximálně využívá všech složek vytvářejících potenciál lokality Pottova údolí, a to za podmínek minimalizace zásahů do přirozeného přírodního prostředí a maximalizace prevence rizikových civilizačních vlivů.

Poděkování: Příspěvek byl připraven v rámci projektu pro město Mariánské Lázně. Děkujeme za spolupráci lázeňské společnosti Ensana Mariánské Lázně.

Seznam literatury

Dovolil M., 1956: *Zvětšení využité vydatnosti zdrojů kyselky v Pottově údolí ve zřídelní oblasti Mariánských Lázní. Universitas Carolina, Geologica Vol. 1, No. 2.*
Dovolil M., 1959*: Hydrogeologie oblasti kyselek v Mariánských Lázních a jejich širokém okolí. MS DP, PřFUK Praha.*
Janský, L., Jandová, D., Kunc, P., Knížková, I., Vávra, V. , 2006: *Využití infračervené termografie v hydroterapii. Vliv Priessnitzových procedur na změny kožní termografie. Čas. Rehab. Fyzik. Med., 2006, 1.*

Jandová, D., Janský, L., Janský, P., Vávra, V., 2006: *Modulace kardiovaskulárních funkcí po opakovaném ochlazování dolních končetin. Čas. Rehab. Fyzik. Med., 2006, 2.*

Kunc, V., Knížková, I., Janský, P., Jandová, D., Slováček, K., 2002: *Skin temperature changes in humans induced by local peripheral cooling – use of infrared thermography. Abstracts 78th Physiological days of the Slovak and Czech Physiological Societies held as The First Multilateral Conference of the Physiologists from Central Europe*, February 5–8, 2002, Piešťany, SR, 2002.

Janský, L., Vávra, V., Janský, P., Jandová, D., Slováček, K., 2003: *Skin temperature changes in humans induced by local peripheral cooling. J. Thermal. Biol., 2003, 28, p. 429–437.*

Janský, L., Jandová, D., et al., 2003: *Fyziologická podstata přizpůsobení člověka na chlad. Čs. Fyziol*., 2003, 52(3), s. 107–117.

Kolisko, P., Jandová, D., et al., 2000: *Vliv chladových podnětů na aktuální funkční změny autonomního nervového systému – Priessnitzova pitná kúra. Sborník konference společnosti rehabilitační a fyzikální medicíny v Jáchymově, 2000.*

Kolísko, P., Slováček, K., 2003: *Vliv klimatoterapie a rehabilitace na VTF u dorostových pacientů s asthma bronchiale. Předneseno na konferenci FTK Olomouc a na celostátním sjezdu RFM v Luhačovicích 2003.*

Třískala Z., Jandová D. a kol., 2019: *Přírodní léčivé zdroje-Minerální vody.Grada,Praha 2019*

Špišák L. et al.., 2010: *Klinická balneologie. Karolinum; Praha: 2010.*

I/13 TUNEL BÍLINA – HYDROGEOLOGICKÝ PRŮZKUM V RÁMCI PODROBNÉHO INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU

HYDROGEOLOGICAL SURVEY FOR PLANNED BÍLINA TUNNEL CONSTRUCTION

Helena Vysoká, Aleš Kunovjánek, Aleš Pacl, Tomáš Paulin, Vladimír Říha, Vlasta Navrátilová, Marta Valentová, [1]

[1]SG Geotechnika a.s, Geologická 988/4 152 00 Praha 5, e-mail: helena.vysoka@geotechnika.cz, ales.kunovjanek@geotechnika.cz, ales.pacl@geotechnika.cz, tomas.paulin@geotechnika.cz, vladimir.riha@geotechnika.cz, vlasta.navratilova@geotechnika.cz, marta.valentova@geotechnika.cz

Abstrakt: Hydrogeologický průzkum pro obchvat Bíliny probíhal v období 5/2024 – 9/2025 v rámci podrobného inženýrskogeologického průzkumu. Cílem průzkumných a monitorovacích prací bylo získat podklady pro projekt zkapacitnění silnice I/13, který uvažuje variantu se 4 mostními objekty a tunelem. Předním objektem zájmu ve zkoumané lokalitě je ochrana přírodních léčivých zdrojů (Bílinská kyselka). Zvodnění v oblasti je vázáno na kvartérní sedimenty řeky Bíliny, podložní proterozoické ortoruly, mezozoické sedimenty (křída), terciérní vulkanity, tufy a pánevní (terciérní) sedimenty. Oblast je součástí širšího poruchového pásma – Bílinského zlomu a doprovodných zlomů. Na nově vybudované síti objektů probíhal hydrogeologický monitoring, zahrnující terénní měření (úroveň HPV, pH, teplota, el. konduktivita), odběry a analýzy vzorků podzemních vod, hydrodynamické zkoušky, monitoring výšky hladiny podzemních vod pomocí dataloggerů a monitoring obsahu atmosférického CO_2 v HG objektech. Výskyt mineralizovaných vod byl zastižen ve většině nových vrtů v rámci celé délky trasy průzkumu. Byla zjištěna stratifikace podzemních vod a hydraulická vazba podložních zvodní s nadložní kvartérní zvodní a v blízkosti řeky Bíliny také s hladinou v řece. Přímá souvislost studovaných podzemních vod s chráněným zdrojem minerálních vod nebyla prokázána. Čerpací zkoušky potvrdily značnou anizotropii propustnosti bílinské ortoruly a vliv tektonického porušení na možnosti proudění podzemní vody. Ochrana zdroje minerálních vod představuje i do budoucna nejvýznamnější předmět zájmu.

Abstract: Hydrogeology survey for planned Bílina Tunnel construction was held from May 2024 to September 2025 in the frame of detailed civil ingeneering survey. The aim of realised survey and monitoring was to get essential data for project of the road I/13 capacity increase. Project of the new road deals with 4 bridges and a tunnel. Priority is to protect local mineral water source (Bílinská kyselka). Aquifers are developed in quarternary sediments (connected to the Bílina River), underlaying proterozoic orthogneiss, mesozoic sediments, tertiary volcanic rocks, tuffs and basin sediments, here. The area belongs to the Bílina fault zone. New monitoring net (consisting of boreholes and wells) was established, which enabled hydrogeological monitoring of chemical and physical parameters of underground water, sampling, pumping tests, CO_2 gass monitoring, etc. Contribution of mineral water was detected in most of new boreholes along the studied route. Stratification of underground water of various types was revealed. Hydraulic relation of underlying aquifers with abovelying quartenary aquifer, and with the river level in close vicinity of the Bílina river, was prooved. Straight communication of studied underground water with protected spa mineral source (Bílinská kyselka) wasn´t found. Pumping tests showed high anisotropy in orthogneiss permeability and importance of tectonics for underground water flow. Protection of spa mineral water source remains the highest priority for the future.

Klíčová slova: tunel Bílina, hydrogeologie, minerální vody, průzkum, monitoring

Key words: Bílina tunnel, hydrogeology, mineral water, survey, monitoring

1. Úvod

Společnost SG Geotechnika se podílela na realizaci Podrobného inženýrskogeologického průzkumu pro zkapacitnění rychlostní silnice I/13 Bílina. Objednatelem je ŘSD. Cílem průzkumu bylo přinést podklady pro projektovou dokumentaci a hydrogeologické posouzení možného vlivu realizace průzkumných prací na chráněné lázeňské zdroje vod.

Tunel Bílina je projektován jako součást přeložky silnice I/13 spojující Karlovy Vary, Chomutov, Most, Bílinu, Teplice a Děčín. Uvažovaná varianta nové trasy přeložky zahrnuje 4 mostní objekty a tunel o délce 1380 m, v provedení se 2 tubusy (4 pruhy). Záměrem stavby je především ulehčit přetížené dopravě skrze město a zrychlení provozu.

1.1 Lokalizace
Město Bílina se nachází v Severních Čechách, v okrese Teplice, jedná se o Ústecký kraj. Nová trasa silnice I/13 má průběh skrze střed města ve směru SSV- JJZ, kdy přibližně kopíruje průběh stávající trasy a tok řeky Bíliny, viz obr. 1.

1.2 Přírodní poměry a specifika zájmové lokality
Terén zájmového území stavby je převážně rovinatý. Oblast je antropogenně formovanou údolní nivou řeky Bíliny. Koryto řeky bylo ve 2. polovině 20. století narovnáno regulačními úpravami.
Specifikem lokality je výskyt přírodních léčivých zdrojů podzemní minerální vody, využívaných od 17. století. V současné době jsou jímány jako pitná kůra (Bílinská kyselka). Uvažovaná stavba tunelu Bílina se nachází v prostoru ochranného pásma I. a II. A a II. B stupně lázní Bílina a v ochranném pásmu II. C stupně lázní Teplice v Čechách (obr. 1).
Do interakce zde vstupují požadavky průzkumu, ochrana lázeňských zdrojů, jímání Bílinské kyselky, pozůstatky těžby uhlí v okolí (výskyt poddolovaných území, lom Bílina).
Oblastí prochází Bílinský zlom, který má charakter širšího poruchového pásma směru SSZ – JJV.
Tunel bude situován pod úrovní drenážní báze ~~údolní nivy~~ řeky Bíliny. Celá ražená část tunelu bude zasahovat pod hladinu podzemní vody, a to ve staničení 0,500 -1,880 km. Ve staničení 1,050 km tunel zasahuje až 35 m pod ustálenou hladinu podzemní vody. Mocnost nadloží dosahuje v portálových částech tunelu 2,5 – 10 m; v mezilehlém středovém úseku kolísá mezi 10 až 36 m.

1.3 Hydrogeologické poměry
Zájmové území spadá do hydrogeologického rajónu 2131 – Mostecká pánev – severní část a do útvaru podzemních vod 21310 – Mostecká pánev.
Zvodnění je v zájmové oblasti vázáno na vícero zvodní, a to na nadložní kvartérní sedimenty nivy řeky Bíliny a navážky s průlinovou propustností, a dále na podložní proterozoické horniny, prezentované bílinskou ortorulou, mezozoickými sedimenty křídového stáří a terciérními vulkanity, tufy a pánevními sedimenty, v nichž převažuje puklinová propustnost.
Oblastí protéká řeka Bílina, s pravostrannými přítoky Lukovský potok a Syčivka. Území náleží k povodí Ohře.
Směr proudění podzemní vody je k místní drenážní bázi – řece Bílině. To znamená ve směru k severu až severozápadu na pravém břehu Bíliny, a ve směru k východu až severovýchodu na levém břehu Bíliny. Lokalita částečně spadá do záplavového území (Q_{100}) řeky Bíliny, včetně trasy tunelu v říčním kilometru 33,5 – 37,25. Zdrojová oblast Bílinské kyselky se nachází cca 700 m západně od posuzované lokality. Čerpané množství kyselky činí průměrně 0,3 – 0,4 l/s.

2. Metodika

2.1 Vrtné práce – síť monitorovacích objektů
V rámci inženýrskogeologického průzkumu bylo vybudováno celkem 85 jádrových vrtů do hloubky 4 – 50 m, s celkovou metráží okolo 1.343 bm. Jednalo se o geologické práce spojené se zásahem do pozemku, také v ochranném pásmu lázeňských zdrojů (dle lázeňského zákona č. 164/2001 Sb.) a na části trasy i v záplavovém území (dle vodního zákona č. 254/2001 Sb.). Z celkového souboru vrtů bylo 25 vrtů vystrojeno jako pozorovacích. Tyto byly začleněny do sítě objektů k hydrogeologickému monitoringu. K tomu byly ke sledování zahrnuty archivní objekty, a to archivní hydrogeologické vrty (5 ks) a vrtané i kopané domovní a obecní studny (4 ks).

2.2 Hydrogeologický monitoring
Terénní práce na vytvořené monitorovací síti objektů probíhaly od započetí průzkumu v květnu 2024 až do ukončení v září 2025. Zahrnovaly následující kategorie:
- studny) byly prováděny ručním elektrokontaktním hladinoměrem (NPK Uhřínov, přesnost 0,5 cm). Kontinuální záměry hladin podzemní vody na vystrojených HG objektech byly měřeny pomocí automatických snímačů hladiny s dataloggery Solinst s intervalem záznamu 1 hodina.
- ***Měření chemických a fyzikálních parametrů*** (el. konduktivita, pH, teplota) probíhalo s využitím přístrojů WTW multimetr pH/Cond 3320 se sondami SenTix 41 a Tetracon 325 a Hanna Instruments
- ***Vzorkovací práce*** – byly realizovány dynamické odběry a analýzy vzorků podzemní a povrchové vody (29 ks), statické odběry, celkem 54 vzorků z 32 nových vrtů.
- ***Analytické práce*** – základní chemické složení (celkem 54 vzorků) byly uskutečněny v rozsahu: anorganické parametry: NH_4^+, chloridy Cl^-, $CHSK_{Mn}$, CO_2 (agresivní, celkový, volný), dusičnanový dusík $N\text{-}NO_3$, dusičnany NO_3^-, dusitany NO_2^-, fluoridy, hydrogenuhličitany HCO_3^-, kyselinová neutralizační kapacita pH 4,5 a 8,3, ortofosforečnany, rozpuštěné látky $RL_{105}{}^{o}C$, sírany SO_4^{2-}, zásadová neutralizační kapacita (pH 4,5 a 8,3); hlavní kationty (rozpuštěné kovy Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na), souhrnné parametry: suma aniontů a suma kationtů (mg/l,

mval/l); tvrdost, tvrdost hořečnatá a vápenatá; pH, elektrická konduktivita. Analytické práce provedla laboratoř ALS CZ.

- ***Hydrodynamické zkoušky***- čerpací a stoupací zkouška na monitorovacích vrtech byly realizovány v počtu 29 ks (jednodenní čerpací zkoušky na 13 vystrojených vrtech, 3 dočasně vystrojených vrtech a 4 starších vrtech, dvoudenní čerpací zkoušky na 9 vrtech, vystrojených do podložní zvodně. Bylo čerpáno na 1 hladinovou depresi, bylo sledováno množství čerpané vody a před ukončením byly odebírány vzorky vody. Úroveň hladiny podzemní vody (HPV) byla měřena pomocí tlakových snímačů firmy Solinst s automatickým záznamem dat (interval měření 15 s) a současně kontrolně elektrokontaktním hladinoměrem. Během zkoušek byly měřeny parametry– pH, el. konduktivita, teplota, a dále byl měřen obsah suchého CO_2 ve vzdušnině. Čerpací zkoušky trvaly od 30 minut do 43 hodin, stoupací zkoušky pak od 30 minut do 133 hodin (zpravidla do ustálení hladiny podzemní vody). Vyhodnocení proběhlo v programu AquiferTest metodou podle Theise, Theise a Jacoba, respektive podle Coopera a Jacoba.
- ***Měření obsahu atmosférického CO_2 ve vzdušné části HG vrtů:*** koncentrace suchého CO_2 ve svrchních částech vrtů byla měřena přenosným plynoměrem BW GasAlert od výrobce Honeywell.
- ***Sledování oscilací výšky hladiny řeky Bíliny*** (bylo průběžně stahováno z webu ČHMÚ, frekvence záznamu 1 hod)

3. Výsledky

3.1 Hydrogeologický charakter studovaného prostředí

Vrtné práce potvrdily dosavadní poznatky o charakteru zvodnění v zájmovém území.

Z výsledků provedených terénních prací vyplynulo, že ve většině hydrogeologických vrtů existuje zonalita podzemních vod. Ve svrchní části vrtů se vyskytují prosté vody s nízkou až střední mineralizací, zvýšeným pH v rozsahu 8,4 – 11, el. konduktivitou okolo 100 – cca 2000 µS/cm. Pod nimi se vyskytují většinou silně mineralizované podzemní vody s úrovní el. konduktivity okolo 2000 - 7000 µS/cm. Svrchní část často zasahuje do více než poloviny vodního sloupce ve vrtech. Hranice může být i relativně ostrá (např. karotáž ve vrtu HJ3a odhalila výrazné rozhraní v hloubce 24 m, v místě přítoku minerální vody). Ke stratifikaci vod dochází samovolně, téměř okamžitě po jejich smíchání např. během čerpací zkoušky, nebo po vybudování vrtů. Takovéto rozhraní bylo detekováno například u vrtů: HJ3a, HJ4, HJ5, HJ24, HJ25, PHJ28, PHJ29, PJ30, PHJ32, PHJ33, PJ37, PJ40, PJ82. Jedná se o vrty, kde nadložním kolektorem jsou kvartérní sedimenty, v podloží se zvodnění vyskytuje v ortorulách (ev. v terciérních tufech a vulkanitech v některých dalších vrtech v okolí bílinského zlomu)

Byla zjištěna hydraulická souvislost podložních zvodní s nadložní kvartérní zvodní, a poblíž řeky Bíliny také s hladinou v řece. Výskyt vysoce mineralizovaných podzemních vod (obsah HCO_3 mezi 1000 – 2000 mg/l, vysoký obsah Na, F, Li) byl zaznamenán po celé délce trasy tunelu. Výšková úroveň výstupu minerálních vod je ve vrtech různá (viz 1.1). Existuje podobnost chemického složení těchto vod s Bílinskou kyselkou, stejně tak jako odpovídá výšková úroveň jejich zastižení v průzkumných vrtech. Z tohoto důvodu se předpokládá, že bude docházet k přítoku minerálních vod do výrubu v celé délce ražby tunelu.

3.2 Hladina podzemní vody a její oscilace

Hladina podzemní vody se ve zkoumané oblasti pohybuje v úrovni okolo 194,6 – 199,6 m n. m. Ve vrtech v blízkosti řeky Bíliny se vyskytuje okolo 0,5 m p.t., v nejvýše položeném nově realizovaném vrtu to je v hloubce okolo 16,8 m p.t. Výška hladiny podzemní vody je během roku velmi vyrovnaná. Sezónní kolísání je minimální, pohybuje se v rozpětí 0,3 m až maximálně 0,5 m. Výstupní výška minerálních vod v monitorovacích vrtech odpovídá úrovni 167 – 187,5 m n.m. (Ke srovnání: výšková úroveň čerpaných vod ve využívaném zdroji Bílinské kyselky BJ-6 se pohybuje okolo 170 m n. m.)

3.3 Chemické složení a fyzikální parametry podzemních vod

Z hlediska chemického složení převažují silně mineralizované vody s pH od 6,5 do 11,3 s celkovou mineralizací 262 – 4450 mg/l. Podzemní vody jsou převážně hydrogenuhličitanové s převládajícím kationtem Na nad Ca a Mg. Vyskytují se i síranové vody, s převažujícím kationtem Na nad Ca či Mg a vody typu Na-SO_4-HCO_3 a Na-SO_4-Cl. Maximální i anomální hodnoty TDS odpovídaly svým výskytem oblasti tektonických poruch a zlomů (vrty HJ7, PJ40, PJ39, PHJ38, PJ37, PHJ36, PHJ35, PHJ83, HJ3a, PJ34, PJ33 a PHJ29).

Ve vrtech HJ3a a HJ4, kde byly zaznamenány značně zvýšené až anomální hodnoty TDS, byla při čerpací zkoušce potvrzena stratifikace vod, kdy se ve spodní části obou vrtů vyskytuje výrazně mineralizovaná voda s TDS = 3235 – 4450 mg/l, ve svrchní části vrtů je slabě mineralizovaná voda s TDS = 262 – 280 mg/l. Evidence přítomnosti značně mineralizované vody v hlubší zóně je v souladu s výsledky karotáže (viz např. vrt PHJ32 s přítokem mineralizovaných vod v hloubce okolo 46 - 50 m p.t., el. konduktivita přitékajících vod byla okolo 4000 µS/cm, pH okolo 6). V těchto vrtech byl detekován nejvyšší obsah volného CO_2 v podzemní vodě (1430 mg/l u HJ4

a 1930 mg/l u HJ3a). Pro srovnání: v lázeňském zdroji BJ-6 se uvádí obsah volného CO_2 = 2370 mg/l (analýza RL PLZ Z ČR Karlovy Vary 24.11.2023).
Nejvyšší hodnota elektrické konduktivity byla naměřena ve vrtu PHJ38: 7800 µS/cm. (Pro srovnání: hodnota konduktivity u Bílinské kyselky je okolo 7000 µS/cm).
Anomální hodnoty v chemismu jako nejnižší hodnoty pH, nejvyšší hodnoty el. konduktivity, nejvyšší obsah CO_2 (v rozpuštěné formě i v podobě suchého CO_2), které indikují zvýšenou příměs minerálních vod, byly zjištěny ve vrtech v oblastech předpokládaných i ověřených zlomů a tektonických pásem. Bylo vymezeno několik hlavních oblastí s vrty s extrémními hodnotami těchto parametrů v podzemní vodě (viz tab. 1).

Tab. 1 Vymezení oblastí s podzemními vodami s anomálními hodnotami pH, el. konduktivity a obsahu CO_2.ve vzdušné části vrtu.
Tab. 1 Main zones of underground water with extreme values of pH, el. conductivity and CO_2 in borehole atmosphere.

	pH	el. konduktivita (µS/cm)	obsah suchého CO_2 (obj. %)	vrty
Oblast 1	6,7 - 6,9	1900 - 5140	< 1,35	HJ21, HJ25
Oblast 2	6,2 - 6,7	2530 - 4200	< 2,25	PHJ29, PHJ31
Oblast 3	6,3 - 6,8	2600 - 4770	< 2,1	PHJ33, PHJ83, HJ3a, HJ4
Oblast 4	6,3 - 6,7	2600 - 7880	< 1,21	PHJ36, PHJ38, PJ37, PJ39
Oblast 5	6,4 - 6,9	1500 - 4860	< 2,4	HJ7, PHJ42, PHJ84

Co se týká vyššího obsahu fluoridů (F^-), který je charakteristický pro minerální vodu Bílinské kyselky, u 22 vzorků z celkových analyzovaných 56 objektů, byl zjištěn obsah fluoridů v podzemích vodách vyšší než 2 mg/l. Dle Vyhl. 423/2001 Sb. jde o kategorii přírodní minerální vody se zvýšeným obsahem F^-.

3.4 CO_2 ve vzdušnině vrtů, analýza plynů ve vzdušnině

Největší intenzity vývěrů suchého CO_2 v úrovni 1 – 3 obj. % (10 000 – 30 000 ppm) byly detekovány v oblastech výskytu silně mineralizovaných vod, v tektonických zónách a oblastech velkých zlomů (např. v okolí vrtů PHJ29, PHJ31, PHJ33 a PHJ83 (více než 2 obj. %). Dále v oblasti vrtů, které pod sledem zvodnělých kvartérních sedimentů zastihly prostředí bílinské ortoruly a migmatitů proterozoického stáří, s různou mírou zvětrání a tektonického postižení (PHJ38, PHJ42 a HJ84, přes 1 obj. %). Výjimkou byly vrty, kde v podloží kvartérních sedimentů byly terciérní vulkanity a tufy s pánevními sedimenty, místy obsahujícími uhelnou sloj (PHJ42 a HJ84). Opakovaně byly nejvýznamnější emise plynného CO_2 registrovány u vrtu PHJ50 s výskytem pánevních terciérních sedimentů (koncentrace mezi 1,8 až přes 3 obj. %, což považujeme za pravděpodobnou indikaci bílinského zlomu v hloubce pod úrovní vrtu). Vrt má nyní hloubku 10 m, je vystrojen v úrovni kvartérních sedimentů a menší měrou do podložních třetihorních pánevních sedimentů. S možností silných úniků vzdušného CO_2 je třeba počítat v případě hloubení tunelové části, také s hlediska bezpečnosti práce.

3.5 Výsledky hydrodynamických zkoušek

Na 29 nově vybudovaných vrtech byly provedeny hydrodynamické zkoušky o délce trvání 1 – 2 dny. Byly tak ověřeny hydraulické parametry koeficient hydraulické vodivosti (k) a transmisivita (T) pro zastižená horninová prostředí prostředí (viz tab.2).

Tab. 2 Řádové zhodnocení koeficientu hydraulické vodivosti a transmisivity pro zastižené typy horninového prostředí zjištěné na základě hydrodynamických zkoušek na vrtech.
Tab. 2 Hydraulic conductivity and transmisivity of studied rocks, based on pumping tests.

km	oblast	horninové protředí	k (m/s)	T m^2/s	pozn.
	kvartérní sedimenty při jižním portálu tunelu	štěrk, písek hlinitý, písek štěrkovitý	10^{-4} až 10^{-5}	10^{-3} až 10^{-4}	
0,5 - 14	proterozoické horniny	bílinská ortorula	10^{-6} až 10^{-8}	10^{-5} až 10^{-7}	neporušený masív
		bílinská ortorula	10^{-5} až 10^{-7}	(v místech tektonických linií a zlomů	
1,4 – 2,05	mezozoické a terciérní horniny a sedimenty	slínovce, vulkanity, tufy a pánevní sedimenty	10^{-6} až 10^{-7}	10^{-5} až 10^{-6}	puklinová propustnost
	kvartérní sedimenty při sever. portálu tunelu		10^{-4} až 10^{-6}	10^{-4} až 10^{-5}	

Z čerpacích zkoušek na vrtech dále vyplynulo, že dosah ovlivnění hladiny podzemní vody činí desítky až první stovky metrů. Konkrétně se jednalo v prostředí proterozoických ortorul o vzdálenosti: 122 m (vrty PHJ33 a PHJ83), 73 m (vrty PJ37 a PHJ38), 115 m (PHJ32 a PHJ33). Naproti tomu nebylo zjištěno ovlivnění mezi některými sousedními vrty (HJ3a, (PHJ33) a HJ 4, ve vzdálenosti do 92 m. Což vypovídá o anizotropii propustnosti

hydrogeologického masívu bílinské ortoruly. Vzájemné ovlivnění vrtů ve větší vzdálenosti bylo zjištěno v rámci vrtů ve směru SSV – JJZ než ve směru V-Z.
Dosah deprese při čerpací zkoušce, evidovaný v rámci vrtů v kvartérním kolektoru činil při jižní části portálu až 200 m, při severním portálu 189 m. Takové dosahy ovlivnění korespondují s předpokladem, že v místech tektonického porušení a zlomů mohou být hodnoty koeficientu hydraulické vodivosti až o řád vyšší, než hodnoty zjištěné pro dané horninové prostředí. Hydrodynamické zkoušky na vrtech přispěly k potvrzení existence stratifikace různých typů vod v rámci zastižených zvodní (viz 3.1).

3.6 Přítoky do ražby tunelu

Ražba tunelu bude probíhat pod úrovní drenážní báze v horninovém prostředí s výskytem minerálních vod. Vypočtená hodnota přítoku do raženého úseku tunelu při uvažované ploše výrubu 240 m^2 odpovídá cca 0,75 l/s na 100 m délky tunelu. Pro raženou část díla je to celkově okolo 10,3 l/s (v místech tektonického porušení a zlomů je nutno počítat s řádově vyššími přítoky). Uvažujeme-li drenáž z horninového prostředí v trase výrubu v řádu několika l/s, pak během ražby tunelu může docházet k významnému odvodnění kolektoru podzemní vody v bílinské ortorule, terciérních horninách a sedimentech, a to i do vzdálenosti stovek metrů od ražby. Projevem takového odvodňování může být pokles hladin v okolních studnách a monitorovacích vrtech, či pokles vydatnosti pramenů. Může též docházet ke zvýšenému výronu suchého CO_2 v míře až několik obj. %.

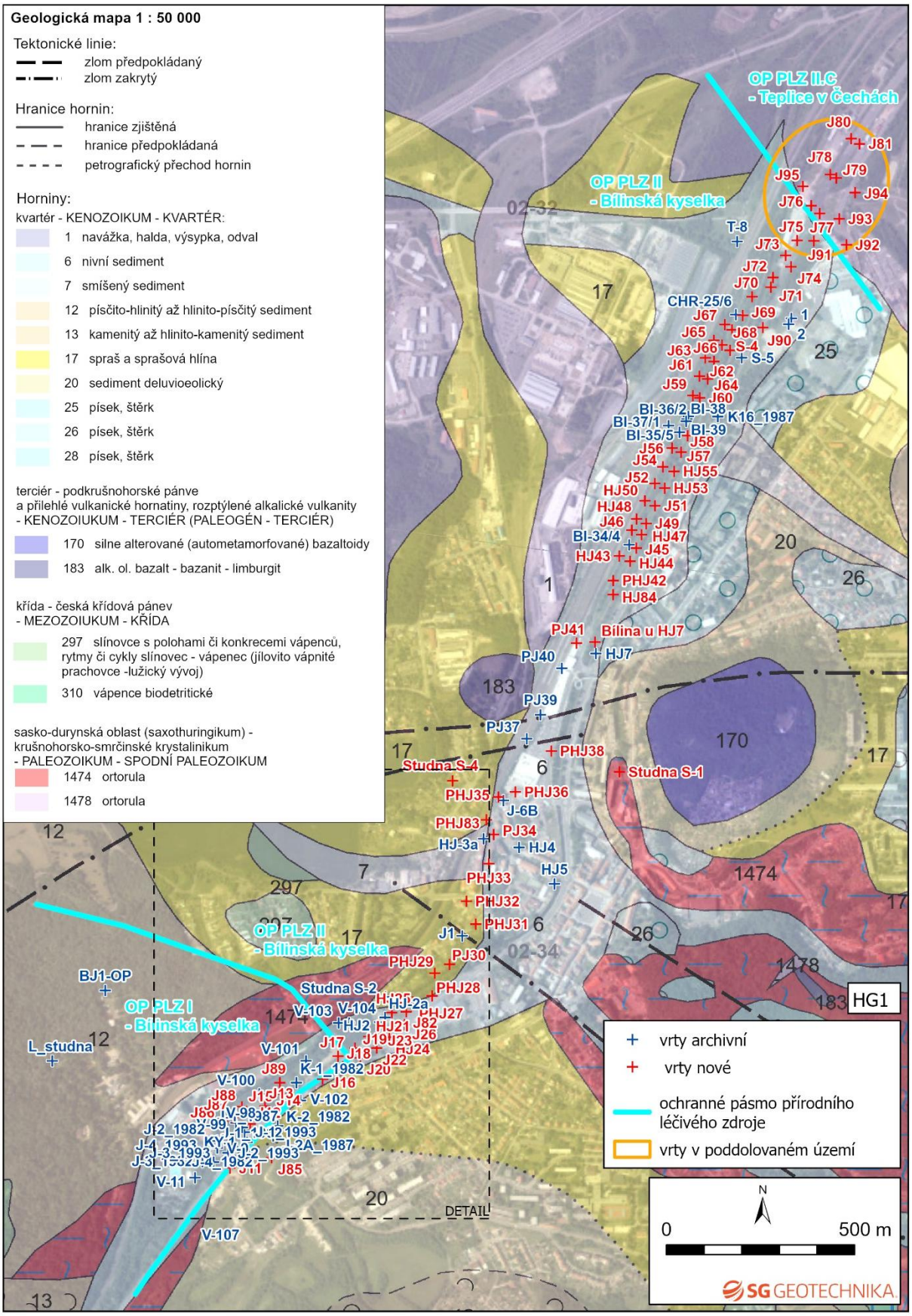
4. Závěr

V rámci podrobného IG průzkumu byl proveden hydrogeologický průzkum lokality Bílina, který, vedle rozšíření stávajících poznatků o zájmové oblasti, poskytnul podklady potřebné pro zpracování projektové dokumentace stavby.
Po celé trase projektovaného tunelu Bílina se zvodnělé kvartérní sedimenty vyskytují v nadloží pod nimi situovaných zvodní v proterozoických, mesozoických a terciérních horninách a sedimentech. V celé trase jsou podložní zvodně v hydraulické souvislosti s nadložní kvartérní zvodní, a do určitého vzdálenosti od řeky Bíliny i v souvislosti s hladinou v řece.
Bylo potvrzeno dosavadní odborné povědomí, že chemické složení podzemních, povrchových i důlních vod v oblasti je ovlivňováno výskytem a chemickým složením Bílinské kyselky (přírodní, uhličitá minerální voda sodno-hydrogenuhličitanová Na HCO_3, studená, s vyšším obsahem fluoridů (Kačura, 1980). Z kationtů převládá v podzemních vodách Na, méně Ca a Mg, z aniontů HCO_3 nebo SO_4, ev. Cl. Podíl minerálních vod byl v různé míře zjištěn v podzemních vodách po celé délce trasy.
V rámci tunelové části se očekává prostředí bílinské ortoruly, terciérních vulkanitů a tufů, vyznačující se puklinovou propustností. Uvažuje se, že množství přitékající vody bude při ražbě záviset na množství puklin, jejich charakteru a případné výplni. S ohledem na výskyt zlomových pásem v oblasti, lze předpokládat výskyt preferenčních cest proudění v zónách spojených s křehkým porušením hornin. Značné přítoky vody do stavební jámy lze čekat i v kvartérních sedimentech v místě jižního a severního portálu tunelu, kde se bude podílet infiltrace z řeky.
Usuzuje se, že během výstavby ražené části tunelu bude docházet k přítoku mineralizovaných vod do výrubu a jeho okolí, a to v úrovni okolo 1 l/s. Dosah ovlivnění může být až do vzdálenosti stovek metrů od místa výrubu. Tím může dojít ke krátkodobému ovlivnění zdroje Bílinské kyselky. Ve vyražené části za čelbou je projektována izolace primárním ostěním. Pokud dojde k zamezení přítoků do výrubu, bude k drenáži z proterozoického kolektoru docházet jen časově omezeně a hladiny se posléze vrátí na původní úroveň. Pokud by došlo k trvalému přítoku minerálních vod do vyraženého tunelu, mohl by se tunel stát drenážním prvkem a došlo by k trvalému snížení úrovně výstupu minerálních vod v oblasti. Tím by nastalo snížení hladiny, vydatnosti a mineralizace ve vrtech, z nichž je čerpána Bílinská kyselka. Maximální povolené čerpané množství v lázeňském zdroji je 0,4 l/s. Překročení tohoto množství trvalým odvodněním minerálních vod tunelem Bílina by vedlo k negativnímu ovlivnění zdroje minerálních vod, k jejich výraznějšímu ředění povrchovými a prostými podzemními vodami, což není žádoucí. Ochrana zdroje minerálních vod je nejvýznamnějším předmětem zájmu.
Míru možného ovlivnění není nyní možné s jistotou určit. Pro zpřesnění a doplnění situace lázeňského zdroje, jeho ochranu a požadavky na realizaci projektované stavby doporučujeme realizaci vrtného doprůzkumu a vytvoření hydraulického modelu studované oblasti, eventuálně doplnění hydrogeologického průzkumu dalšími využitelnými metodami (jako např. využití přirozených stopovačů k popisu proudění podzemní vody a určení střední doby zdržení. Výstavba tunelu Bílina neovlivní oblast Teplické termy

Poděkování: Děkujeme BHMW a. s. (BOHEMIA HEALING MARIENBAD WATERS) za spolupráci a poskytnutá data.

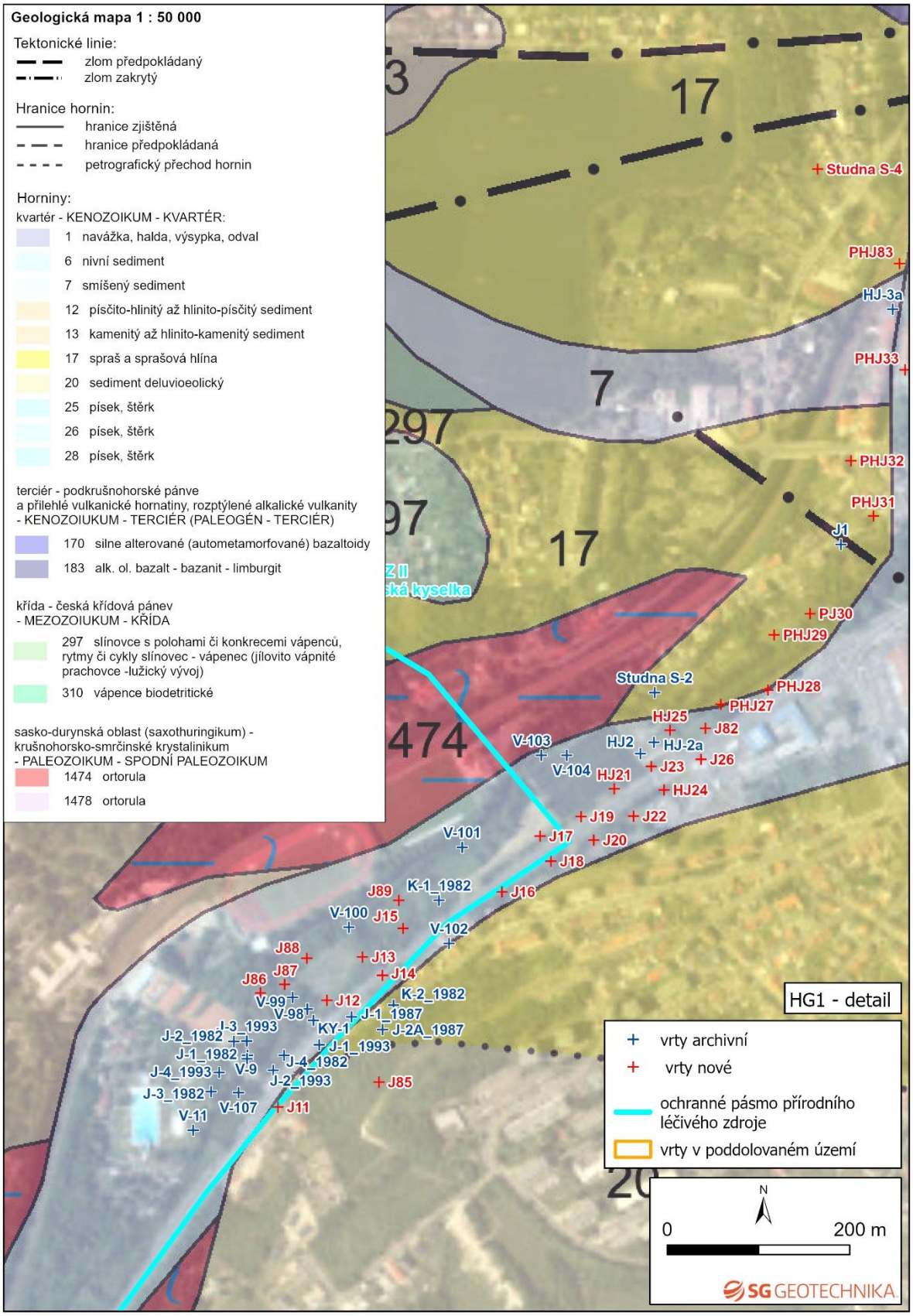
Seznam literatury

Kačura, G. (1980): *Minerální vody Severočeského kraje. 178 s.* – ÚÚG. – Praha



Obr. 1 Geologická mapa zájmové oblasti s vyznačenými archivními a novými vrty a ochrannými pásmy přírodních léčivých zdrojů Bílinská kyselka a Teplice v Čechách

Fig. 1 Geology map with boreholes and mineral water protective zones (Bílinská kyselka and Teplice v Čechách)



Obr. 1a Geologická mapa zájmové oblasti s vyznačenými archivními a novými vrty a ochrannými pásmy přírodních léčivých zdrojů Bílinská kyselka a Teplice v Čechách- detail jižní části

Fig. 1a Geology map with boreholes and mineral water protective zones (Bílinská kyselka and Teplice v Čechách) -detail of its southern part

Obr. 2 Výrony plynu v podzemní vodě vrtu PHJ31 v průběhu vrtných prací (foto Filip Šmat)
Fig. 2 Air–bubbles flow during drilling of borehole PHJ31 (photo Filip Šmat)

Sekce 7

Vrty pro tepelná čerpadla, využívání geotermální energie

PRIMÁRNÍ OKRUH S VRTY PRO TEPELNÁ ČERPADLA PRO DEVELOPERSKÉ PROJEKTY V CENTRU PRAHY
CAMPUS ČESKÁ SPOŘITELNA 192 VRTŮ x 199M, CELKEM 38 208M, LOKALITA PRAHA 5 - SMÍCHOV

PRIMARY CIRCUIT WITH BOREHOLES FOR HEAT PUMPS FOR PROPERTY DEVELOPMENT PROJECTS IN CENTRAL PRAGUE
ČESKÁ SPOŘITELNA CAMPUS 192 BOREHOLES x 199M, TOTAL DRILLING LENGTH 38 208M, LOCATION PRAGUE 5 - SMÍCHOV

Ing. Arch. Pavel Cihelka[1]

[1]*Stavební geologie – Geosan, s.r.o., Karlovotýnská 49, 252 16 Nučice, e-mail: cihelka@sggeosan.cz*

Abstrakt: Prezentace významné akce projektu a realizace Primárního okruhu s vrty pro tepelná čerpadla pro objekt Campus České spořitelny v rámci developerského projektu Smíchov City v centru hlavního města. Celý projekt Smíchov City zahrnuje novou výstavbu bytů, kanceláří, obchodů, školy a veřejných prostranství v Praze, je budovaný na místě bývalého smíchovského nákladového nádraží. Objekt Campus CS je jeho největší částí a projekt, příprava a realizace primárního okruhu s vrty pro tepelná čerpadla představovala řadu výzev, jejichž řešení poskytuje cenné zkušenosti pro budoucí projekty.

Abstract: This paper presents the design and construction of the primary borehole circuit for ground-source heat pumps serving the Česká spořitelna Campus building, which forms part of the Smíchov City development project in the centre of Prague. Smíchov City is a major urban redevelopment project comprising new residential buildings, office space, retail facilities, a school, and public open spaces, built on the site of the former Smíchov freight railway yard. The CS Campus is the largest building within the development. The design and construction of the primary borehole field for the ground-source heat pump system involved numerous technical challenges, the successful resolution of which has provided valuable experience and lessons learned that can be applied to future projects.

Klíčová slova: vrty, tepelné čerpadlo, primární okruh, horizontální rozvody, projekt, realizace, developer, staveniště, dokumentace

Key words: boreholes, ground-source heat pump, primary circuit, horizontal piping network, design, construction, developer, construction site, project documentation

1. Představení projektu CS Campus a lokality Smíchov City

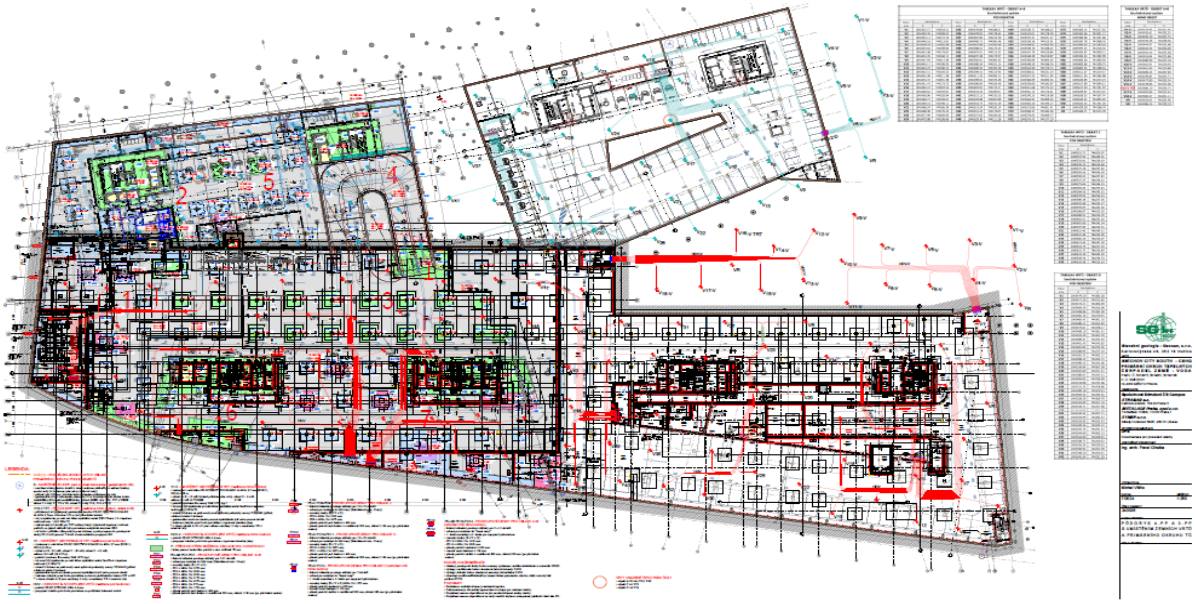
1.1 Představení projektu a lokality

Projekt je realizován dle návrhu architektů Baumschlager Eberle Architekten a Pavel Hnilička Architekti z roku 2017, mezinárodní soutěže se účastnilo celkem 138 návrhů. Celý projekt Smíchov City zahrnuje novou výstavbu bytů, kanceláří, obchodů, školy a veřejných prostranství, je budovaný na místě bývalého smíchovského nákladového nádraží v Praze. Stavba byla zahájena v roce 2020, přípravu území provedla developerská společnost Sekyra Group, akce je rozdělená na 4 etapy. První částí projektu je realizace obytných domů v okolí autobusového terminálu Na Knížecí. Aktuálně probíhá nejrozsáhlejší ze 4 etap v okolí smíchovského terminálu, tato fáze projektu potrvá cca 3-4 roky a dominantou části této čtvrti bude kampus České spořitelny, tvořený čtyřmi budovami o ploše asi 75 tisíc metrů čtverečních, mezi kterými povede bulvár propojující smíchovské nádraží s lokalitou Na Knížecí, ulice ponese jméno Madeleine Albrightové (obr. 1). Třetí etapa zahrnuje čtyři obytné bloky s 800 byty v severní části území, poslední etapa výstavbu podél Radlické ulice, celá čtvrť by měla být dokončena v roce 2032. Plánované investice jsou cca 35 miliard korun, dalších 15 miliard korun jsou veřejné investice. Stát zároveň investuje pět miliard korun do železničního uzlu na Smíchovském nádraží a nad nádražím vznikne další patro pro přesun autobusového nádraží Na Knížecí.

Obr. 1 Celkový pohled na staveniště.
Fig. 1 General view of the construction site

1.2 Technické údaje

Součástí aktuálně prováděné druhé etapy jsou budovy CS Campus, OLOE, OLOW 1 a 2, OLHR, pro tyto budovy je počítáno s celkem 406 vrty o délce 199m, celkem je počítáno s realizací 80.794 metrů vrtů. Z toho největší část vrtů je určena pro budovu Campusu České spořitelny, která má 192 vrtů,199m hlubokých, celkem 38.208 metrů vrtů. Generálním dodavatelem CS Campus je sdružení firem STRABAG a.s., SYNER s.r.o., Instalace Praha s.r.o. Topný výkon tepelných čerpadel byl projektován na 2226,0 kW. Celková energetická potřeba pro vytápění byla projektována na 1400,0 MWh/rok, vzduchotechnika 1050,0 MWh/rok, ohřev TUV 100,0 MWh/rok, celková energetická potřeba pro chlazení 2350,0 MWh/rok. Zadáním pro provedení primárního okruhu pro objekt Campus CS byla realizace 192 vrtů 199m hlubokých (obr.2) a současně ověření vstupních předpokladů při realizaci, tj. dokumentace in situ, měření, aktualizace výpočtů. Na základě projektu pro stavební povolení hlavního projektanta FABIONN, s.r.o. a projektanta části ARTEG s.r.o. vypracovala firma Stavební geologie – Geosan, s.r.o. dokumentaci ve stupni prováděcí dokumentace DPS, dokumentaci skutečného provedení stavby DSPS, předložila kontrolní a zkušební plány KZP a realizovala geologický dozor, v jehož gesci bylo mj. provedení testů tepelné odezvy TRT testů a osazení a kalibrace měřících čidel pro kontrolu a optimalizaci provozu. Jednotlivé prováděcí firmy dále zpracovali technologický postup provádění prací TP a předložili další potřebné dokumenty v souladu s vyhláškou ČBÚ 239/1998. Na projektu bylo požadováno dodržovat postupy v souladu s certifikací BREEAM, WELL, byla plněna kritéria evropské legislativy EU Taxonomy.



Obr. 2 Koordinační situace
Fig. 2 Coordination Plan

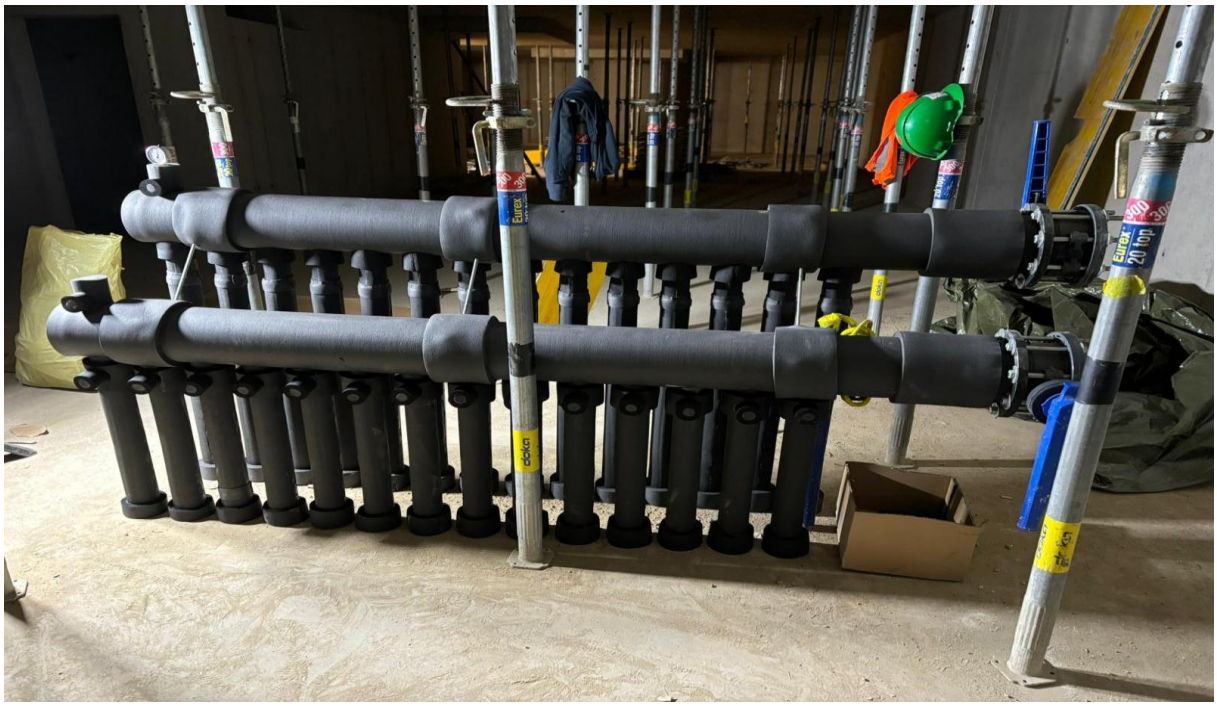
2. Realizace

Realizaci primárního okruhu s vrty pro CS Campus provedlo Sdružení Smíchov, zahrnující vrtné firmy Stavební geologie – Geosan, s.r.o., Green Gas Drilling, s.r.o., ARTEMIA s.r.o. Bylo provedeno 192vrtů 199m hlubokých a následně v rámci rezervy a z důvodu převrtání 4 vrtů v průběhu prací bylo realizováno ještě 5 x199m vrtů původně v projektu určených jako rezerva. Vlastní objekt je v nadzemní části tvořen čtyřmi věžemi A,B,C,D, v suterenu je objekt propojen. Objekt A+B obsahuje 92 vrtů pod budovou a 18 vrtů mimo budovu (celkem 110 vrtů), objekt C 29 vrtů pod budovou a objekt D 42 vrtů pod budovou a 6 vrtů mimo budovu (celkem 48 vrtů). Jednotlivé části byly rozděleny na 14 podcelků o velikostech 5-23 vrtů, které byly sdruženy v samostatných rozdělovačích a sběračích. Byly vypracovány realizační plány postupu prací a koordinační harmonogramy, původně bylo zamýšleno realizovat vrty pro tepelná čerpadla po pilotách, z důvodu komplikovaného zakládání stavby byly nakonec vrty pro tepelné čerpadla realizovány v předstihu z ochranné vrstvy ve stavební jámě a vlastní realizace pilot proběhla až následně.

Obr. 3 Celkový pohled na staveniště před zahájením vrtných prací
Fig. 3 General view of the construction site before drilling works began

Obr. 4 Celkový pohled na staveniště v průběhu prací
Fig. 4 General view of the construction site during the works

Obr. 5 Horizontální rozvody
Fig. 5 *Horizontal piping network*



Obr. 6 Ukončení části primárního okruhu na rozdělovač a sběrači jednoho celku
Fig. 6 Termination of the horizontal piping network at the distribution and collection manifold

3. Závěry a poznatky z akce

Akce byla svým rozsahem, požadovaným termínem provedení a požadavky ze strany zadavatele zejména v souvislosti s plněním požadavků na certifikaci budovy a dokladováním výrobků a postupů vzhledem k environmentální udržitelnosti EU Taxonomy velmi náročná. Vedení stavby bylo velmi profesionální a obohatilo nás o nové postupy řízení prací , z důvodu rozsahu akce stavbu řídilo i realizovalo na každém stupni vždy sdružení několika firem a tím jak byla nastavena pravidla a postupy akce, byla akce dokončena a předána v termínu a bez výhrad. Velmi důležité bylo nastavení přesných koordinačních postupů na stavbě. Na akci vrtů pro primární okruh se podílelo celkem 9 vrtných souprav ze 3 firem, personálně cca 70 lidí. Pomocí digitalizace probíhaly pečlivé

záznamy o každém procesu v online režimu, vše bylo průběžně zaznamenáváno do elektronického deníku, komunikace probíhala na hodinové bázi pomocí k tomuto účelu založených WhatsApp skupin (skupina koordinace mezi pracovníky, koorrdinace řízení stavby, koordinaci s vyššími dodavateli stavby a dozory stavby). Z akce byl pořízen záznam na https://www.youtube.com/@Stavebn%C3%ADGeologieGeosan.

Obr. 7 Dokumentace provedení skutečného stavu
Fig. 7 As-built documentation

DENNÍ ZÁPIS ZE DNE po 20.01.2025

STRABAG

STAVBA: CS CAMPUS

DENÍK: SP1 - GEOVRTY - GEOVRTY

POČASÍ:

Čas	Počasí	Teplota	Srážky	Rychlost větru	Směr větru	Vlhkost
06:00	Polojasno	-3,5°C	0,0 mm/h	1,1 m/s	350°	98%
12:00	Polojasno	-0,4°C	0,0 mm/h	1,1 m/s	309°	80%
18:00	Polojasno	-1,3°C	0,0 mm/h	1,1 m/s	244°	87%

OSOBY NA STAVENIŠTI:

Příjmení a jméno	Název profese	Poč.	Hod.	Příjmení a jméno	Název profese	Poč.	Hod.
Green Gas Drilling,s.r.o.							
Sluček Ladislav	Vrtař	1	8				
Green Gas Drilling,s.r.o.							
Bulín Zdeněk	Vrtař	1	8	Kopeček Vladimír	Vrtař	1	8
Stavební geologie – Geosan, s.r.o.							
Horna Miloslav	Vrtař	1	8	Roušal Ondřej	Vrtař	1	8
Hvězdal Václav	Vrtař	1	8				
Stavební geologie – Geosan,s.r.o.							
Hoffman Petr	Stavbyvedoucí	1	8				

MECHANIZMY:

Název mechanizmu	Název dodavatele	Poznámka	Poč.	Hod.
Vrtná souprava – Centaurchin GT - 600	Stavební geologie – Geosan, s.r.o.	Hvězdal, Horna, Roušal	1	8
Kompresor – Atlas Copco	Stavební geologie – Geosan, s.r.o.		1	8
Nákladní automobil – Iveco Trakker	Stavební geologie – Geosan, s.r.o.		1	8
Vrtná souprava – Nordmeyer	Green Gas Drilling,s.r.o.	Petřík, Havlíček, Hontiroka	1	8
Kompresor – Atlas Copco	Green Gas Drilling,s.r.o.		1	8

MATERIÁLY, VÝROBKY A TECHNOLOGICKÉ DODÁVKY:

Název materiálu	Název dodavatele	Vlastník	Číslo dod. listu	Min	Max
GeoFlow (2,0 W/m,K) – injektážní směs (pelotovaná)	GE-TRA s.r.o.				
Geotermální sondy JANSEN	GE-TRA s.r.o.				

PROVEDENÉ PRÁCE:

Popis	Název dodavatele	Min	Max
V1 - 8– Tlaková injektáž vrtu	Stavební geologie – Geosan, s.r.o.		
V1 - 8– Tlaková injektáž vrtu - průběžně + tlaková zkouška vodou po injektáži a provedení celého vrtu – bez poklesu tlaku (vyhovuje)			

DALŠÍ ZÁZNAMY:

Autor	Název dodavatele	
Hoffman Petr (Stavbyvedoucí)	Stavební geologie – Geosan, s.r.o.	
Tlakové zkoušky		
#Kozel		

Kif 8 - DENNÍ ZÁZNAMY STRANA CS CAMPUS - SP1 - GEOVRTY - GEO - 2025-01-20.PDF

OB VR V1- 2-8 Dens...crew1.jpg OB VR V1- 2-8 Dens...Bell1.jpg OB VR V2-8 profiol_...vrtu.jpg

Stavební geologie – Geosan, s.r.o. GreenGas ARTEMIA

VRTY PRO TEPELNÉ ČERPADLO „CS CAMPUS“

Zhotovitel:	Stavební geologie - Geosan, s.r.o., Karlovotýnská 49, 252 16, Nučice, IČO/DIČ 44684631 / CZ44684631 Green Gas Grilling, s.r.o., Ruské armády 837, 739 21, Paskov, IČO/DIČ 14031825 / CZ14031825 ARTEMIA, s.r.o., U Mlýnky 676, 588 13, Polná, IČO/DIČ 49453338 / CZ49453338
Objednatel:	STRABAG a.s., Kačírkova 962/4, 158 00 Praha 5 – Jinonice, IČO/DIČ 60838744 / CZ60838744 INSTALACE Praha, spol. s r.o., Truhlářská 1109/3, 110 00 Praha 1 – Nové Město, IČO/DIČ 45804371 / CZ45804371 SYNER, s.r.o., Dr. Milady Horákové 580/7, Liberec IV-Perštýn, 460 01 Liberec, IČO/DIČ 46282518 / CZ46282518

KONTROLY PŘI PROVÁDĚNÍ VRTŮ PRO TEPLNÉ ČERPADLO PROVÁDĚNÉ PRŮBĚŽNĚ ODPOVĚDNÝMI PRACOVNÍKY Stavební geologie – Geosan, s.r.o., Green Gas , ARTEMIA, s.r.o.,Grilling, s.r.o.,

Vrt číslo – objekt A,B	V5
Datum zahájení vrtu	28.10.2024
Kontrola neporušenosti geotermální sondy	Provedena před zapuštěním
Kontrola vytýčení pozice vrtu geodetem	Provedeno
Skutečná délka vrtu (m)	199 m
Zkušební tlak na začátku zkoušky před zavedením sondy	4,2 bar
Zkušební tlak na konci zkoušky před zavedením sondy	4,2 bar
Tlaková tamponáž vrtu GeoFlow 2.0 W/mK (1020kg/m3)	Provedeno
Zkušební tlak na začátku zkoušky po injektáži vrtu	4,6 bar
Zkušební tlak na konci zkoušky po injektáži vrtu	4,4 bar
Průtočná zkouška před i po injektáži	provedena
Závěr tlakové a průtočné zkoušky	Vyhověla
Uzavření konců geotermální sondy zátkami	Ano
Práce provedl/ firma	SG - Geosan
Datum ukončení vrtu	30.10.2024

Kontroloval: Petr Hofman

Stavební geologie - Geosan, s.r.o. Karlovotýnská 49 Nučice, 252 16 Řeporyje IČO: 44684631 DIČ: CZ44684631 Tel.: 311 670 610

ZERTIFIKAT · CERTIFICATE · 認証書 · СЕРТИФИКАТ · CERTIFICADO · CERTIFICAT

TÜV SÜD

CERTIFICATE

Certificate Registration No: 951 24 6016

The Certification Body of
TÜV SÜD AMERICA INC.

Certifies that the organization

+GF+

Georg Fischer Piping Systems Ltd.
Ebnatstrasse 111
Schaffhausen, 8201 Switzerland

for the scope

GF Piping Systems develops, manufactures, and distributes plastic and metal piping systems. With a global market presence, GF Piping Systems offers connection technology, fittings, fixtures, sensors and pipes and supplies leading innovative technical solutions for domestic engineering applications, industry and utilities including the sites and scope of application see enclosure

See attachment for complete listing of sites

has established and applies an Environmental Management System.
An audit was performed and has furnished proof that the requirements according to

ISO 14001:2015

are fulfilled.

The certificate is valid from May 28, 2024 until May 27, 2027 with a re-issue date on N/A

Michael Fernald
Centralized Certification Body Manager
Page 1 of 3

TÜV SÜD America Inc • 401 Edgewater Place, Suite 500 • Wakefield, MA 01880 USA • www.TUVSUD.com

The validity of this certificate is contingent on the company maintaining its management system to the requirements of the indicated standard and is subject to regular monitoring by TÜV SÜD America.

ANAB IAF

Obr. 8 Prováděcí a realizační dokumentace
Fig. 8 Construction and execution documentation

4. Závěr

Poděkování: Publikováno se souhlasem České spořitelny a generálních dodavatelů stavby firem Strabag a.s., Syner s.r.o, Instalace Praha s.r.o., kterým tímto děkujeme za profesionální přístup a společně strávený čas.

PROJEKTOVÁNÍ A REALIZACE VRTŮ PRO TEPELNÁ ČERPADLA

DESIGN AND CONSTRUCTION OF BOREHOLES FOR GROUND SOURCE HEAT PUMPS

Michal Havlík

Stavební geologie – Geosan, s.r.o., Rudná u Prahy, e-mail: havlik@sggeosan.cz

Abstrakt: Vrty pro tepelná čerpadla systému země–voda se uplatňují v rostoucím počtu staveb, včetně rozsáhlých vrtných polí a sezónních zásobníků tepla. S nárůstem hloubky a počtu vrtů se zvyšují nároky na geologické poznání lokality, projektovou přípravu, kontrolu provádění a znalost skutečného prostorového průběhu vrtů. Příspěvek shrnuje základní konstrukci a postup realizace vrtů, úlohu hydrogeologického posouzení včetně potřebných průzkumů a měření, a rovněž kontroly a doprůzkumů při provádění vrtů. Skutečný průběh vrtů je závislý na geologických podmínkách na lokalitě. Proto je u rozsáhlých vrtných polí, v zástavbě či v blízkosti chráněných objektů účelné ověřit měřením trajektorii vrtů. Anomální průběh může přinášet technická a legislativní rizika a proto je možné navrhovat některá technická opatření pro snížení odklonu vrtů při realizaci. Kvalitně připravené a kontrolované vrty lze bezpečně realizovat i ve složitých podmínkách.

Abstract: Closed-loop boreholes for ground source heat pumps are increasingly used in larger borehole fields and borehole thermal energy storage systems. Greater depths and denser layouts increase the need for sound geological knowledge, careful design, construction control and information on the actual three-dimensional trajectory of each borehole. The paper summarizes borehole construction, the role of hydrogeological assessment, site investigation, thermal response testing and supplementary investigation during drilling. In-house inclinometric measurements demonstrate that boreholes cannot automatically be assumed to be vertical. In individual cases, borehole bottoms were displaced by tens of metres from the designed vertical line and exceptionally by approximately 100 m. Such deviations may cause borehole intersection, encroachment beyond property boundaries or collision with underground structures. The paper also outlines how disciplined drilling procedures and stabilization of the drill string can reduce deviation. The main conclusion is that boreholes can be constructed safely even under complex urban and geological conditions when investigation, design and execution form one controlled process.

Klíčová slova: tepelná čerpadla, geotermální vrty, realizace vrtů, geologický průzkum, inklinometrie, omezení odklonu vrtů

Key words: ground source heat pumps, geothermal boreholes, hydrogeological investigation, inclinometry, borehole deviation

1. Úvod

Vrty pro tepelná čerpadla se stávají běžnou součástí energetického řešení budov. Vedle menších instalací pro jednotlivé objekty přibývají vrtná pole s desítkami až stovkami vrtů, realizace v městské zástavbě a dále systémy určené nejen k odběru, ale díky zvyšujícím se teplotám také k ukládání tepla a chlazení. Zvyšuje se i průměrná hloubka a hustota projektovaných vrtů. Vrtná pole do hloubek kolem 200 m i více jsou běžná a tento trend bude patrně dále pokračovat. S tím roste význam správného projektového návrhu, geologických průzkumů a posouzení a kontroly provádění vrtných prací.

Příspěvek se soustředí na vrty uzavřeného systému země–voda (voda–voda okrajově v prezentaci). Jeho cílem není podat vyčerpávající přehled celé problematiky, ale propojit základní konstrukci vrtu s úlohou geologa a ukázat poznatky z realizací. Bezpečnost a funkčnost těchto systémů nevznikají pouze odborným posudkem ani pouhým odvrtáním předepsané vrtné metráže. Jsou výsledkem návaznosti geologického poznání, projektu, vhodného technologického postupu, kontroly a vyhodnocení skutečného stavu při provádění.

2. Konstrukce a realizace vrtů pro tepelná čerpadla

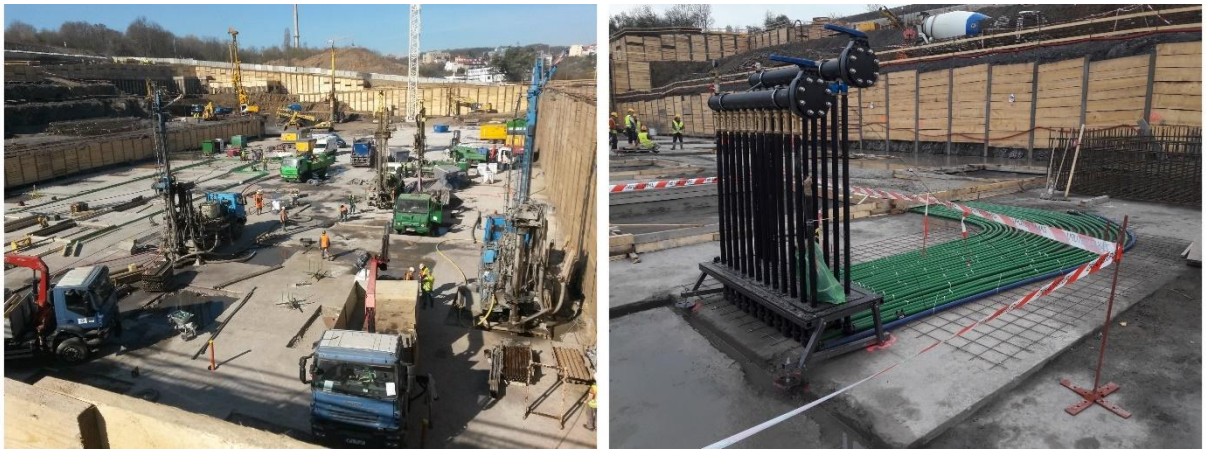
U systému země–voda se teplo mezi horninovým prostředím a tepelným čerpadlem přenáší uzavřeným primárním okruhem (vrty + dopoje). Jeho podzemní část tvoří zemní vrty s tepelnými sondami a propojovací potrubí vedené přes rozdělovač/sběrač do tepelného čerpadla uvnitř objektu. Teplonosná kapalina cirkuluje v uzavřeném oběhu uvnitř potrubí tepelných sond a s podzemní vodou a okolní horninou nepřichází do kontaktu.

Do vrtu se po odvrtání zapouští zpravidla dvojitá U-sonda z potrubí z vysoce odolného plastu HDPE (PE-RC). Mezikruží se ode dna vrtu vzhůru kompletně vyplňuje tepelně vodivou jílo-cementovou těsnicí směsí až k povrchu. To zajišťuje přenos tepla mezi sondou a horninou a současně omezuje nežádoucí proudění podzemní vody podél

vrtu či propojení různých zvodnělých horizontů. Hotový vrt tedy nesmí být jen neúplně vyplněný „otvor do země“, ale kompletně zainjektovaný liniový výměník pevně spojený s okolním horninovým prostředím (viz obr. 1).

Obr. 1 Finální podoba zainjektovaného vrtu v horninovém prostředí.
Fig. 1 Final configuration of a grouted borehole in the rock mass.

Realizace primárních okruhů tepelných čerpadel s vrty zahrnuje projektovou přípravu, zařízení pracoviště, vlastní vrtání, průběžnou dokumentaci geologických podmínek, vystrojení vrtů sondami, tlakové zkoušky, injektáž a následné propojení a kompletaci primárního okruhu. Každý krok ovlivňuje výslednou kvalitu. Nedostatečná injektáž, nevhodně zvolený postup vrtání nebo poškození sondy nelze často napravit pouhým zvýšením počtu běžných metrů.
Samostatnou kapitolou je také způsob nakládání s odvrtkem a s přítoky podzemní vody při realizaci, ochrana okolních konstrukcí a sítí a řešení možných střetů zájmů a vlivů na okolí.



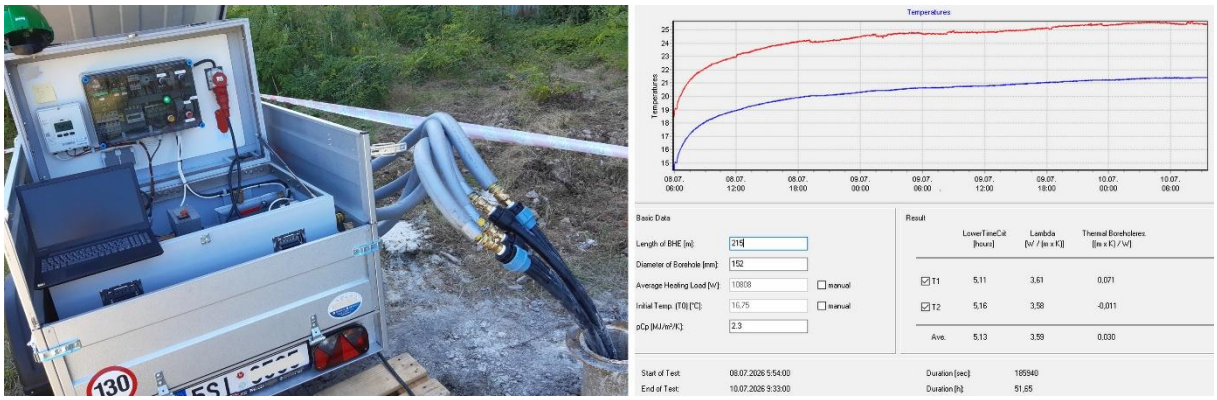
Obr. 2 Realizace vrtného pole a propojení vrtů do primárního okruhu.
Fig. 2 Construction of a borehole field and connection of boreholes into the primary circuit.

3. Projektová příprava, role geologa

V podmínkách České republiky vstupuje geolog do přípravy zejména prostřednictvím hydrogeologického posouzení včetně potřebných průzkumů jako podkladů pro projektovou dokumentaci a povolení vrtů. Konkrétní postup závisí na rozsahu záměru, lokalitě a možných střetech zájmů. Geologický posudek tedy nemá být pouze formální přílohou. Musí skutečně určit a posoudit podmínky, za nichž je záměr bezpečně proveditelný a navrhnout případná opatření odpovídající míře nejistoty.
Pro návrh vrtného pole jsou podstatné geologické a hydrogeologické poměry, očekávaná vrtatelnost, režim podzemních vod, blízké vodní zdroje, ochranná pásma, podzemní objekty a související střety zájmů s okolím. Projekt vrtů musí současně vycházet z energetických potřeb stavby. U významnějších záměrů je vhodně předem realizovat pilotní vrty s podrobným geologickým profilem a měřením tepelných parametrů prostředí (TRT testy atd.). Průzkum tedy poskytuje mimo jiné podklad pro upřesnění energetické výtěžnosti vrtů v lokalitě a pro stanovení potřebné vrtné metráže.

3.1 Průzkum před realizací a doprůzkum při provádění

Průzkum před zpracováním odborného posudku snižuje nejistotu návrhu, ale nemůže v každém případě odhalit všechny lokální změny. Ve vrtech se běžně objevují skutečnosti, které archivní podklady ani omezený předběžný průzkum nezachytily: nečekané přítoky, změny propustnosti, poruchová pásma, rozdílná vrtatelnost nebo odlišný průběh vrstev či anomální směr a úklon vrtů. Proto má zásadní význam doprůzkum a odborný geologický dozor během provádění, které může a má odpovědný geolog uvádět v posudcích v rámci návrhů podmínek pro vydání povolení.
Právě podmínka průběžného sledování a vyhodnocování umožňuje reagovat na neočekávané situace v okamžiku, kdy je ještě možné upravit konstrukci, technologii nebo rozmístění dalších vrtů. Geolog musí mít odbornou oporu i profesní odvahu takový postup v posudku v případě potřeby požadovat. Skutečnost, že investor nebo dodavatel nemá potřebu vynakládat na tato opatření další prostředky, nezbavuje autora posudku odborné odpovědnosti.

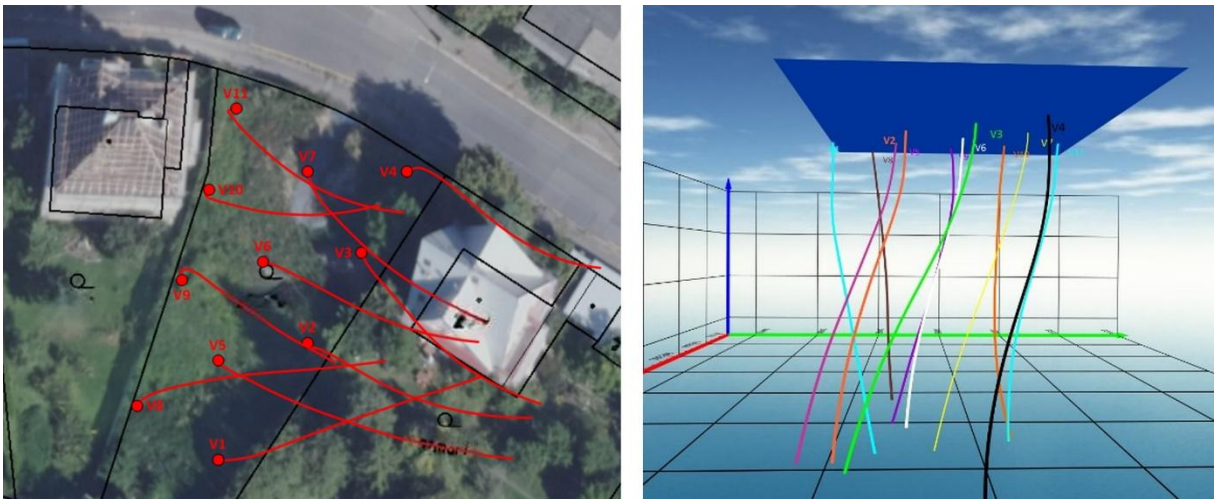


Obr. 3 Průzkum a projektování: měřící aparatura TRT pro výpočet a energetický návrh vrtného pole.
Fig. 3 Investigation and design: TRT equipment and an example of borehole-field design outputs.

4. Skutečný prostorový průběh vrtů

Projektová dokumentace obvykle uvažuje geotermální vrty jako svislé linie. Skutečný průběh vrtu je však silně závislý na geologických podmínkách na lokalitě (průběh vrstev, břidličnatost…) a vrty se mohou odklánět od svislice (obr. 4). Vliv má i použitá technologie vrtání. U jednotlivých instalací na volných pozemcích může být menší odklon vrtů bez praktického dopadu. U větších vrtných polí s hlubšími vrty a v hustě zastavěných oblastech je však situace složitější. Zde neznalost skutečného směru a sklonu vrtů přináší technická a legislativní rizika (vzájemné převrtání a poškození sond při realizaci, změny energetické výtěžnosti vrtů oproti projektu, tepelné ovlivnění a okolní střety zájmů).

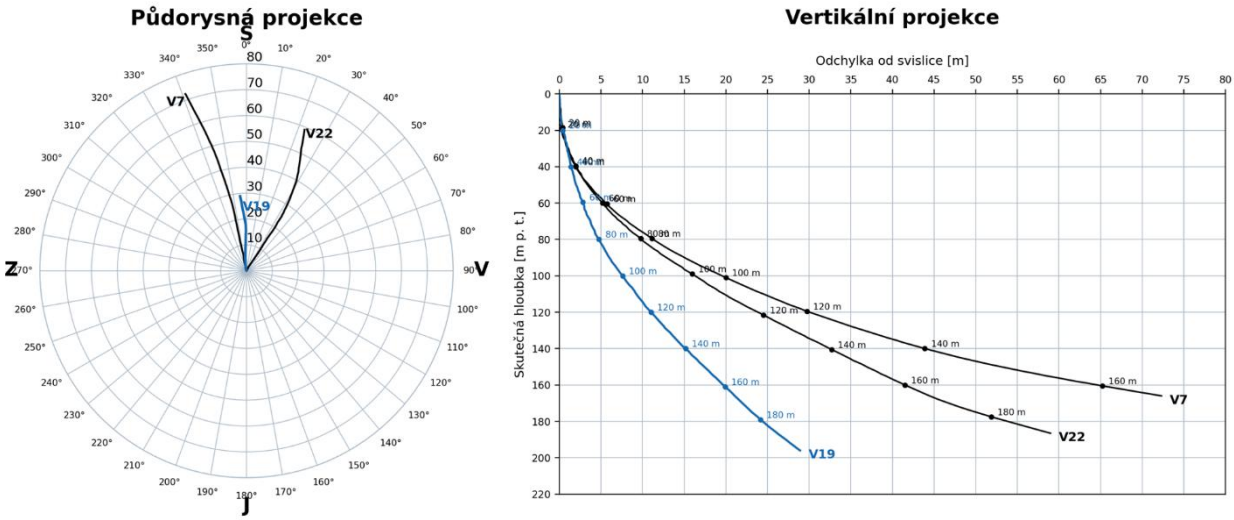
Anomální průběh vrtů může vést k jejich vzájemnému přiblížení nebo převrtání, k poškození sond a změně geometrie vrtného pole uvažované v projektu. Vrty se mohou neplánovaně přiblížit k podzemním objektům nebo kolidovat s dalšími vrty v okolí. Mění se také skutečná svislá hloubka vrtů uvažovaná pro energetický výpočet. Proto je u rozsáhlých vrtných polí, v zástavbě či v blízkosti chráněných objektů účelné ověřit skutečný průběh vrtů a vztahovat výsledky k situaci konkrétního projektového záměru (obr. 4).



Obr. 4 Příklad vyhodnocení skutečného prostorového průběhu skupiny vrtů.
Fig. 4 Example of evaluated three-dimensional trajectories of a borehole group.

5. Opatření pro omezení odklonu vrtů při realizaci

V některých případech se podle výsledků průzkumů navrhují technická opatření pro snížení odklonu vrtů při realizaci (různé způsoby stabilizace sestavy vrtného nářadí, použití centrátorů a stabilizátorů na vrtném soutyčí atd.). Cílem není požadovat dokonale svislé vrty. Praktický postup spočívá ve vymezení přípustné geometrie vrtného pole a souvisejících rizik již v projektu, resp. hydrogeologickém posudku, v návrhu vhodných opatření při realizaci a v průběžné kontrole a evidenci skutečného provedení vrtů.



Obr. 5 Srovnání trajektorií vrtů V7 a V22 bez centrátorů (černě), V19 s centrátory (modře).
Fig. 5 Borehole trajectories V7 and V22 without centralizers (black), V19 with centralizers (blue).

6. Závěr

Vrty pro tepelná čerpadla se stávají běžnou součástí energetického řešení budov. Zvyšuje se hustota i hloubka projektovaných vrtů a přibývají i rozsáhlé realizace v městské zástavbě či systémy určené nejen k odběru, ale i k ukládání tepla. S tím roste význam správného projektového návrhu, geologických průzkumů a posouzení i kontroly při provádění.

Bezpečná a funkční realizace závisí na kvalitním geologickém a hydrogeologickém poznání, odpovědném projektu, průběžném ověřování skutečných podmínek a technologické kázni při provádění. Průzkumy a dohled při provádění nejsou formální náklady navíc, ale nástroje, které umožňují včas podchytit podmínky na lokalitě a stanovit vhodná opatření pro eliminaci rizik a zajištění správné funkce celého primárního okruhu TČ se zemními vrty.

JAK EFEKTIVNĚ NAVRHOVAT HLOUBKU A POČTY VRTŮ PRO TEPELNÁ ČERPADLA SYSTÉMU ZEMĚ X VODA

Ondřej Kaňka

o.kanka@gerotop.cz
GEROTOP spol. s r.o., Kateřinská 589, Stráž nad Nisou 463 03

Abstrakt
Geotermální energii lze nejen z horninového prostředí získávat, ale také do něj ukládat a efektivně sdílet v rámci komunitní energetiky. Přednáška představí možnosti využití energetického potenciálu podloží, principy tepelné regenerace horninového prostředí a faktory ovlivňující dlouhodobou udržitelnost provozu geotermálních vrtů. Součástí bude také ukázka vlivu geotermálních systémů na okolní prostředí, zejména z hlediska šíření teplotních změn v podzemí.

Na konkrétních příkladech projektů společnost Gerotop ukáže, jak provoz budov ovlivňuje teplotní režim podloží a jak lze s energií uloženou v zemi pracovat co nejefektivněji. Pozornost bude věnována klíčovým návrhovým parametrům geotermálních systémů a jejich vlivu na výsledky energetických výpočtů, provozní efektivitu i dlouhodobou stabilitu zdroje.

Klíčová slova: geotermální energie, tepelná regenerace podloží, geotermální vrty, sezónní akumulace energie, komunitní energetika, tepelná čerpadla.

www.gerotop.cz | www.ekg-gerotop.cz | www.prostupy.cz | www.lowatec.cz

HORNINOVÁ AKUMULACE SEZONNÍHO TEPLA

Mgr. Johana Kešnerová

E-mail: jkesnerova@watrad.cz
WATRAD, spol. s.r.o., Osadní 26, Praha 170 00

Další autoři: Mgr. Jarmila Skálová, Mgr. Michal Vaněček, Mgr. Jana Michálková, Ing. Jiří Záruba MBA, , Mgr. Petr Stöhr, RNDr. Karel Sosna, Ph.D., Ing. Jakub Maščuch, Ph.D., Ing. Jan Špale, Ph.D., Ing. Václav Vodička, Ph.D., Ing. Albert Vocel, Ing. Zbyněk Zelený, Ing. Jiří Šťástka, Ph.D., Ing. Matěj Černý, Ph.D.

Abstrakt:
Projekt je zaměřen na vývoj inovativních technologií pro akumulaci tepla v horninách a na návrh provozu sezónního energetického uložiště v již existujících podzemních prostorách. Výstupy projektu přispějí k transformaci teplárenství směrem k nízkoemisnímu provozu s využitím specifických podmínek opuštěných důlních děl v blízkosti aglomerací, kde jsou provozovány systémy centrálního zdroje tepla (CZT).

Technologie horninové akumulace, resp. její technologické a ekonomické parametry závisí krom vlastností hornin/důlních děl i na způsobu přívodu a odvodu tepla do/z hornin.

Projekt je řešen formou experimentálního ověření jednotlivých navržených konceptů zásobníků: laboratorní, horninový a terénní zásobník energie.

Projekt je rozdělen do 5 etap. V současné 3. etapě byl řešen výběr vhodné horninové výplně do laboratorního zásobníku. Hlavním výběrovým kritériem je tepelná odolnost horniny 600 °C. Z vybraných lomů byly odebrány vzorky ke zhodnocení mechanických a petrografických vlastností před i po zahřátí na 600 °C. Tepelnému zatížení nejlépe odolává horninový materiál – bazalt z lomu Libá u Chebu. Tento materiál je využíván v laboratorním zásobníku, který je již v provozu a je cyklicky zahříván na 600 °C.

Horninový a terénní zásobník je budován jako in-situ experiment v podzemní laboratoři Josef CEG ČVUT. Předpoklad tepelné zátěže v terénním zásobníku je 400 °C. Terénní zásobník představuje energetickou akumulační nádrž, která má odrážet praktické využití systému CZT-důlní dílo-blízká horninová výplň. Pro tyto účely byly prověřeny aktivní lomy v okolí podzemní laboratoře. Po vyhodnocení zátěžových testů na 400 °C bude vybrána finální výplň terénního zásobníku.

Horninový zásobník je koncipován tak, že teplonosným médiem je voda ohřívaná na cca 90 °C.

Projekt TS01030218 Horninová akumulace sezónního tepla je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu THETA

POZNATKY Z HYDROGEOLOGICKÝCH DOZORŮ NA STAVBÁCH S NÁROČNOU REALIZACÍ VRTŮ TČ

INSIGHTS FROM HYDROGEOLOGICAL SURVEYS ON CONSTRUCTIONS WITH DEMANDING REALIZATION OF BOREHOLES FOR HEAT PUMP

RNDr. Milan Novák

RNDr. Milan Novák, Kudrnova 12, 284 01 Kutná Hora, e-mail: milan.novak27@seznam.cz

Abstrakt: Předkládaný příspěvek se zabývá realizace vrtů pro tepelné čerpadlo (dále TČ) v lokalitách se složitou geologicko-tektonickou stavbou. Pozornost je věnována zejména srovnání hydrogeologického návrhu vrtů (v primárním hydrogeologickém posudku) a skutečné hloubky realizovaných vrtů TČ (lokality Špindlerův Mlýn – tektonicky postižené fylity krystalinika, Čestice – tektonicky predisponované údolí v České křídové pánvi, Liberec – rozhraní paleozoických granitů a proterozoického krystalinika). Práce rovněž prezentuje hlavní příčiny odlišné realizace od původního návrhu.

Abstract: The presented contribution deals with realization of boreholes for a heat pump in locations with a complicated geological-tectonic structures. Attention is paid in particular to the comparison of the hydrogeological design of boreholes (in the primary hydrogeological assessment) and the real depth of the drilled boreholes (locations Špindlerův Mlýn – tectonically affected crystalline phyllites, Čestice – tectonically predisposed valley in the Czech Cretaceous Basin, Liberec – interface zone of Paleozoic granites and Proterozoic crystalline rocks). The work also presents the main reasons for the different implementation from the original design.

Klíčová slova:
vrty pro TČ – nejčastěji vrty pro tepelné čerpadlo profilu cca 160 – 130 mm, s hloubkou 100 – 200 m, s osazením atestovaným tepelným výměníkem a vyplněné atestovanou termosměsí
duplexní vrtání – hloubení vrtu za průběžného propažování, kdy rozrušování horniny vrtným kladivem je souběžně doprovázeno vnější ocelovou pracovní pažnicí, zajišťující stabilitu stěn vrtu a ochranu vrtného soutyčí s kladivem proti jeho zavalení ve vrtu nestabilní horninou
hloubka průběžného propažování – obvykle možná do hloubek v rozmezí cca 20 – 100 m, reálně dosažitelná maximální hloubka závisí na intenzitě tření horniny na plášti pažnice, průměru vrtu a výkonu vrtné soupravy
primární hydrogeologický posudek – pro vrty TČ zpracovaný HG posudek pro projektovaný počet a hloubku vrtů TČ (projekt pro vytápění či klimatizaci budov), s předem limitovanou hloubkou vrtů TČ od hydrogeologa
projekt a realizace vrtů TČ – rozdíly způsobené rozdílnou představou hydrogeologa (dle dostupných archivních geologických a hydrogeologických podkladů) a skutečnými geologickými a hydrogeologickými poměry na lokalitě, zjištěné při vlastní realizaci vrtů, např. limitované reálnými složitými tektonickými poměry

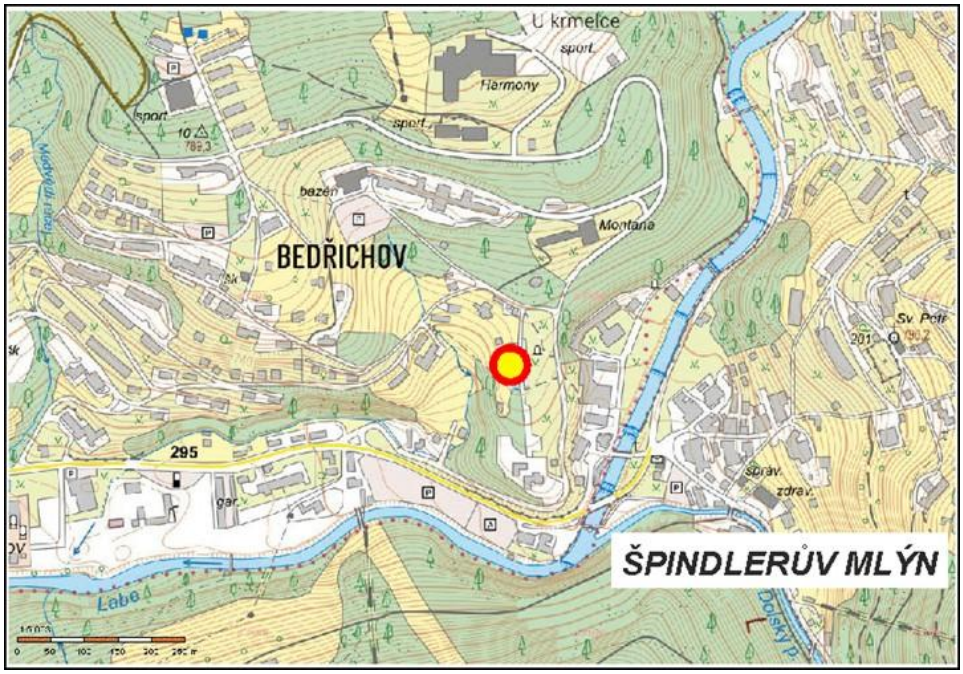
Key words: boreholes for heat pumps – most often boreholes with a profile of approx. 160 – 130 mm, with a depth of 100 – 200 m, with a certified heat exchanger and filled with a certified thermal mixture
duplex drilling - drilling of borehole with continuous casing, where the rock disruption by the drilling hammer is simultaneously accompanied by an external steel working casing, ensuring the stability of the borehole walls and protecting the drill rod and hammer from being crushed in the borehole by unstable rock
depth of continuous casing – usually possible to depths in the range of approximately 20 – 100 m, real achievable depth depends on the intensity of rock friction on the casing surface, the borehole diameter and the performance of the drilling machine
primary hydrogeological assessment – for TČ boreholes, a HG assessment for the projected number and depth of TČ boreholes (project for heating or air conditioning of buildings), with a pre-limited depth of TČ boreholes from a hydrogeologist
design and realization of TČ boreholes – differences caused by a different idea of the hydrogeologist (according to available archival geological and hydrogeological data) and the real geological and hydrogeological conditions on the site, found during the realization of the boreholes, e.g. limited by real complex tectonic conditions

1. Úvod

Česká republika (v době mých studií Československo) byla přednášejícím v předmětu „Regionální geologie“ (doc. Arnošt Dudek) označována jako malá geologická zahrádka v rámci Evropy. Na toto jsem si často vzpomněl, když jsem začínal psát hydrogeologické (HG) posudky pro hloubkové vrty pro tepelné čerpadlo (TČ) a následně pak i některé realizace vrtů TČ začínal dozorovat. Pro více či méně dobrou představu o geologických poměrech je k dispozici relativně dost archivních podkladů (geologické mapy, vrtná prozkoumanost v ČGS Geofond apod.). Zejména Česká křídová pánev je z hlediska sledu jednotlivých souvrství a jejich litologie pro HG posudky TČ relativně dobře „čitelná“, např. s ohledem na existenci hlubokých jádrových vrtů až na bázi křídy z doby ložiskových průzkumů na uranovou rudu. Bohužel tyto „uranové“ vrty nemají hydrogeologická a ani tektonická data. Výbornou publikací, ze kterých jsem čerpal a stále čerpám informace ke geologických a hydrogeologickým poměrům pro HG posudky TČ je kniha „Podzemní vody České republiky – regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod“ od doc. Jiřího Krásného, vydaná v roce 2012. Díky této publikaci v kombinaci i s dalšími dostupnými podklady z dané lokality a postupně sbíraným zkušenostem z dlouholeté praxe inženýrského geologa a hydrogeologa si troufnu říci, že generelně není v zásadě problém napsat primární HG posudek pro TČ v kvalitě přiměřené zdrojům dat. Relativně dobře a věrohodně lze pro navrhované vrty TČ popsat v dané lokalitě geologické poměry, rovněž pak až na výjimky i hydrogeologické poměry. Neuchopitelné však velmi často zůstávají tektonické poměry, proměnná a nepředvídatelná rozpukanost a rozvolnění horninového masivu i ve větších hloubkách, kde již není technologicky při vrtání možné zajistit pracovní propažení vrtu pro TČ a stabilitu stěn vrtu. V textu dále předkládám příklady z lokalit, kde mi realizace vrtů TČ způsobila nečekaná překvapení. Uvádím jen stručný text s obrázky a tabulkami, podrobnější komentář bude v rámci přednášky, resp. blíže probereme společně v rámci diskuze na konci přednášky.

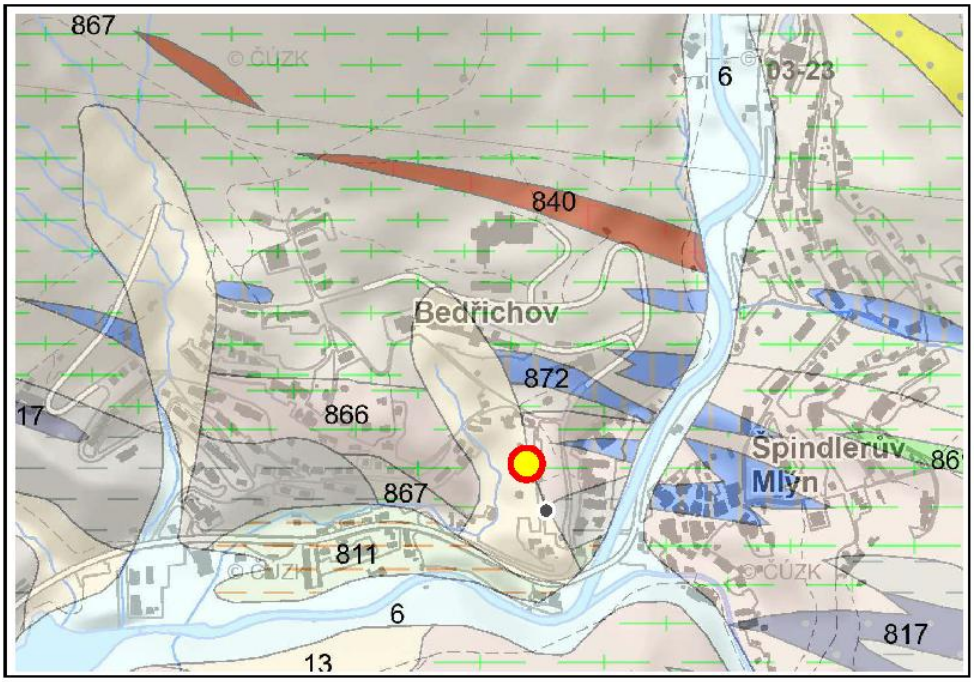
2. Špindlerův Mlýn

V lokalitě se záměrem vrtů TČ a v jejím okolí (obr. 1) nebyly v rámci archivních rešerše zjištěny žádné indicie o složitých tektonických poměrem, v geologické mapě v masivu fylitů nebyly zakresleny žádné zlomy (obr. 2).



Obr. 1 Lokalizace zájmového území

Fig. 1 Localization of the area of interest



Obr. 2 Lokalizace v geologické mapě ve fylitech s nepředpokládanou „přítomností“ tektoniky
Fig. 2 Location in the geological map in phyllites with the unexpected "presence" of tectonics

Představa hydrogeologa pro projekční návrh hloubkových vrtů TČ (150 m), zpracovaná do primárního HG posudku, a jak realizaci vrtů TČ ovlivnily složité tektonické poměry a intenzivní rozpukání či rozvolnění horninového masivu jsou „srovnány“ v následujících tabulkách (tab. 1 a tab. 2).

Tab. 1 Geologické poměry - primární HG posudek a zpráva HG dozoru
Tab. 1 Geological conditions - primary HG assessment and HG supervision report

GEOLOGICKÉ POMĚRY	
PRIMÁRNÍ HG POSUDEK 11 vrtů TČ / hloubka 150 m	ZPRÁVA HG DOZORU 11 vrtů TČ / hloubka 65 - 144 m
chlorit-muskovitický fylit až svor (dále v textu jen fylit), s povrchem v hloubce okolo 2 m pod terénem, svrchu fylity zcela až silně zvětralé, hlinito-úlomkovitě rozpadavé, v hloubkách okolo 5 m s přechodem do mírně zvětralých až navětralých fylitů, středně až slabě rozpukaných, od cca 30 m pod terénem až do konečné hloubky vrtů TČ fylity zdravé, místy slabě navětralé, kompaktní, místy se slabým rozpukáním, ojediněle s výskytem poruchové zóny, zřejmě s hlinito-úlomkovitou výplní	fylitový masiv silně tektonicky postižený – proměnné intenzity i proměnných hloubek, i na vzdálenosti jednotek metrů (značné rozdíly i mezi dvěma sousedícími vrty), nutné pracovní propažování většinou do hloubek cca 50 – 60 m, výjimečně i okolo 120 m s ohledem na nestabilní horninové prostředí i ve značně větších hloubkách, než např. v jiných lokalitách s hloubením vrtů TČ ve Špindlerově Mlýně, proto nutné „zkracování“ vrtů TČ oproti PD

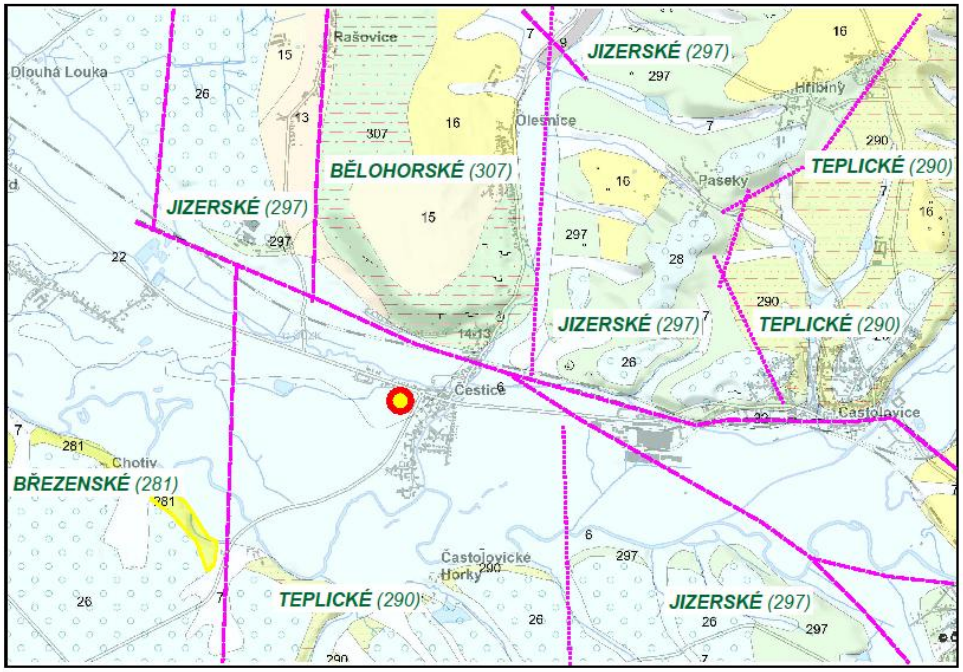
Tab. 2 Realizace vrtů – hloubka pracovního pažení a hloubka vrtů
Tab. 2 Realization of boreholes – working casing depth and drilling depth

HLOUBKA PAŽENÍ A HLOUBKA VRTŮ	
HLOUBKA PAŽENÍ	HLOUBKA VRTŮ
V1 – 122 m, V2 – 64 m, V3 – 54 m, V4 – 46 m, V5 – 46 m, V6 – 4 m, V7 – 64 m, V8 - 60 m, V9 - 60 m, V10 – 48 m, V11 – 3 m	V1 – 144 m, V2 – 65 m, V3 – 90 m, V4 – 85 m V5 – 84 m, V6 – 65 m, V7 – 93 m, V8 - 90 m V9 - 80 m, V10 – 100 m, V11 – 78 m

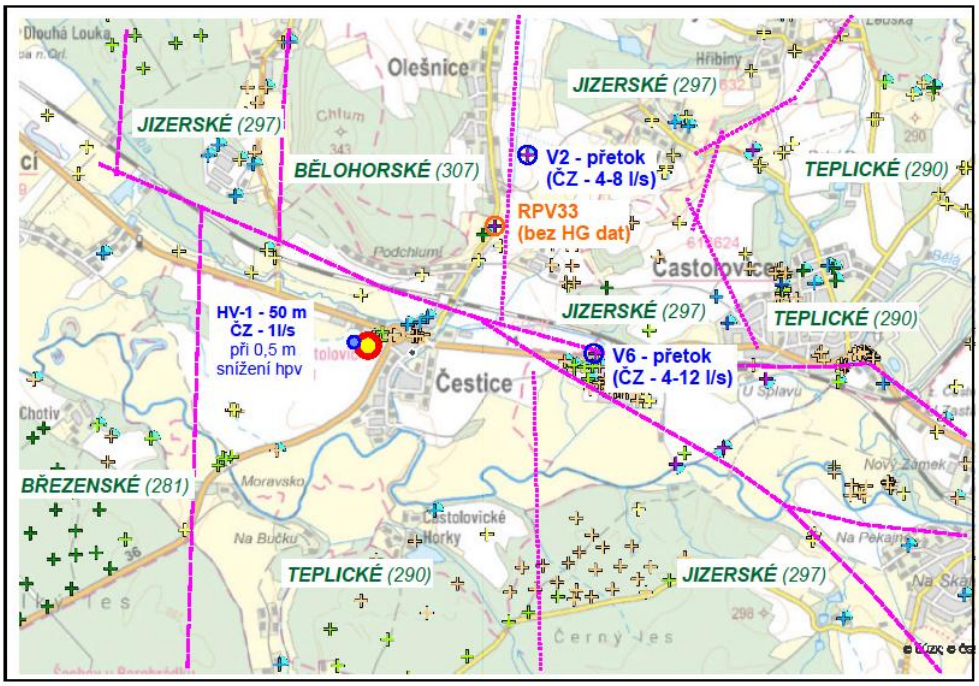
3. Čestice

V lokalitě Čestice (obr. 3) s navrženými dvěma vrty TČ (a realizací pak jednoho vrtu TČ) z geologické mapy i hydrogeologických dat z archivních vrtů v širším okolí (rovněž dle poznatků z testování HG vrtu na dtto parcele) byl předpoklad složitých hydrogeologických i tektonických poměrů (obr.4). V projekčním návrhu po dohodě s hydrogeologem byly zakresleny dva vrty TČ s tím, že při dosažení projektované hloubky stačí pro rodinný dům jen jeden vrt. V případě, že by při hloubení byly problémy zhotovit vrt TČ projektované hloubky, bylo počítáno s vyhloubením dvou mělčích vrtů TČ.

Obr. 3 Lokalizace v geologické mapě s předpokládanou „přítomností“ tektoniky
Fig. 3 Location in a geological map with the presumed "presence" of tectonics



Obr. 4 Situace HG vrtů v okolí a jejich vydatnosti
Fig. 4 Situation of HG wells in the area and their yield



Představa hydrogeologa pro projekční návrh dvou hloubkových vrtů TČ, zpracovaném v primárním HG posudku, a výslednou bezproblémovou realizaci jen jednoho „dostačujícího“ vrtu TČ je v následující tabulce (tab. 3).

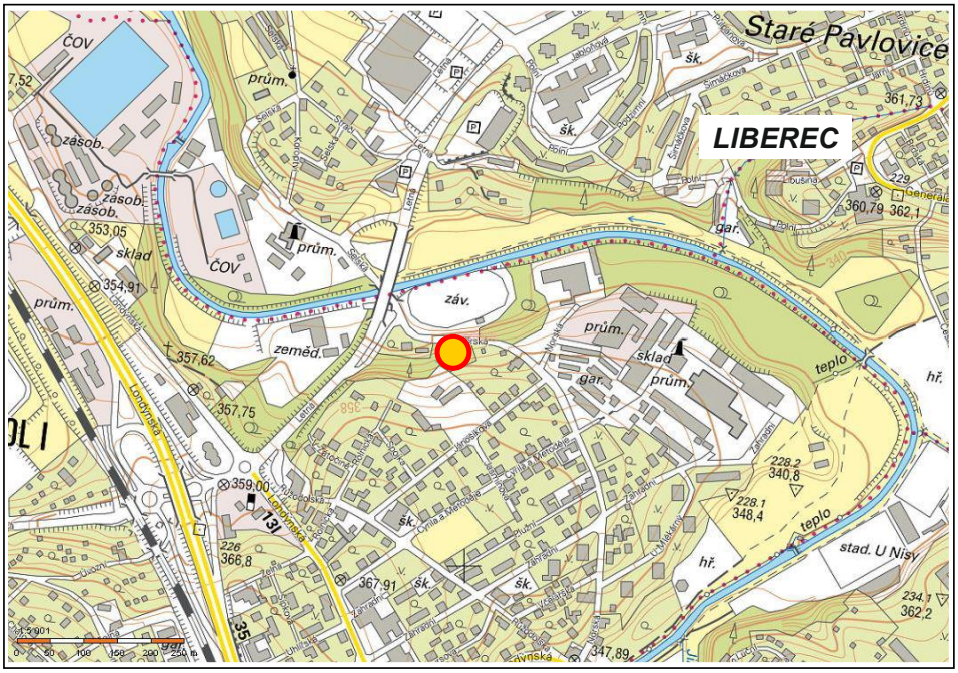
Tab. 3 Geologické poměry - primární HG posudek a zpráva HG dozoru

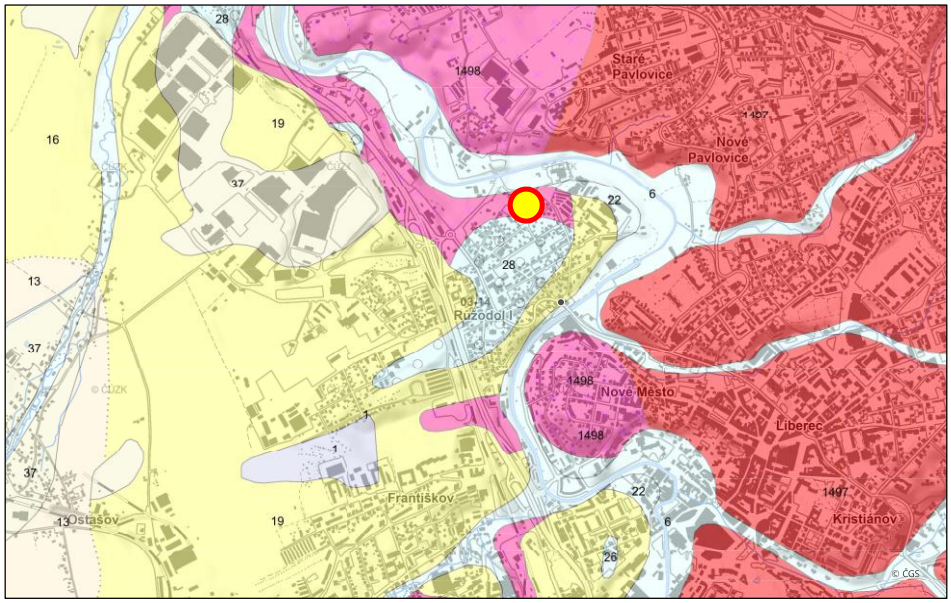
Tab. 3 Geological conditions - primary HG assessment and HG supervision report

GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY	
PRIMÁRNÍ HG POSUDEK 1+1 vrt TČ / max. hloubka 100 m	ZPRÁVA HG DOZORU 1 vrt TČ / hloubka 100 m
0,0 - 10 m hlíny, písky, písčité štěrky 10 - 15 m slínovce silně zvětralé, silně rozpukané 15 - 20 m slínovce mírně zvětralé, středně rozpukané 20 – 100 m slínovce navětralé až zdravé, slabě rozp. v hloubkách cca 70 – 90 m s možností výskytu silně zvodnělých významnějších puklin či poruch - nutné propažování „průběžné s vrtáním“ – turon (svrchu se slabým puklinovým zvodněním, v hloubce okolo 70 - 90 m s napjatou hladinou v polohách se silným rozpukání, s artézsky napjatou podzemní vodou, s pozitivní výstupní úrovní - s přetokem na terén v řádu jednotek l/s – okolo 5 l/s)	průběh hloubení - standardním způsobem, nutné pracovní propažování jen do hloubky 14 m, níže celý profil vrtu v pevné hornině se stabilními stěnami vrtu, včetně i stabilní stěny v zóně předpokládaného tektonického porušení hornin, tj. hloubení vrtu TČ „bez obtíží“, po odtěsnění kvartérního zvodnění a puklinového zvodnění v těsném podloží kvartéru vrt od hloubky 14 m až do konečné hloubky bez „zaznamenatelných“ přítoků podzemní vody

4. Liberec

V lokalitě s navrženými vrty TČ (obr. 5) bylo s ohledem na pozici v magmatické hornině - granitovém plutonu (obr. 6) počítáno s bezproblémovou realizací vrtů TČ, s hloubkou téměř 200 m.


Staré Pavlovice
LIBEREC
ČOV
zásob.
sklad
prům.
zeměd.
záv.
gar.
teplo
hř.
stad. U Nisy
Lidická
Liberecká
Lenka
Jablonská
Šimáčkova
Libušina
Generál
Jablonec
Rychnovská
Ornila a Metoděje
Zahradní
Jarní
Dubová
Lužická
Kozinova
Sadová
Ruzyňská
Lužická
Ovocná
Pluhu
Vrchlická
Tyršova
Kvetná
Mozartova
Dvořákova
Lipová
Jablonská



Obr. 6 Lokalizace v geologické mapě v okrajové zóně granitového plutonu
Fig. 6 Location in the geological map in the marginal zone of the granit pluton

Představa hydrogeologa pro projekční návrh hloubkových vrtů TČ (199 m) dle primárního HG posudku a jak realizaci vrtů TČ ovlivnil nestabilní horninový masiv ve větších hloubkách jsou „srovnány“ v následujících tabulkách (tab. 4 a tab. 5).

Tab. 4 Geologické poměry - primární HG posudek a poznatky z realizace
Tab. 4 Geological conditions - primary HG assessment and knowledge from realization

GEOLOGICKÉ POMĚRY	
PRIMÁRNÍ HG POSUDEK 7 vrtů TČ / hloubka 199 m	POZNATKY Z REALIZACE 13 vrtů TČ / hloubka 60 - 158 m
předkvartérní podklad tvořen karbonským granitem, s povrchem relativně mělce pod terénem, v hloubkách okolo 2 m, ve svrchní části granity zvětralé v hlinitopísčité eluvium (zcela zvětralá zóna), směrem s hloubkou ubývající obvykle jemnozrnné a písčitá frakce a více zastoupeny úlomky zvětralých hornin či pevnější hornina (silně a mírně zvětralá zóna), mocnost zvětralinových zón předpokládána nízká, v hloubkách okolo 5 m zřejmě již přechod do pevných navětralých granitů, středně až slabě rozpukaných, od cca 30 m až do konečné hloubky vrtů granity slabě navětralé až nezvětralé, kompaktní, místy slabě rozpukané, ojediněle s poruchovou zónou	granitový masiv ve dně stavební jámy vesměs již navětralý, s vysokou pevností, se slabým rozpukáním, vrty TČ propaženy jen do hloubek v jednotkách metrů (dále technologicky pažení komplikované + „nepotřebné“), až do hloubek okolo 60 m hloubení ve velmi pevných kompaktních granitech, se stabilními stěnami, od hloubek cca 60 m do 120 m „střídání“ poloh pevných granitů se silně až zcela zvětralými granity (s převahou poloh pevných granitů), od hloubek 120 m dtto střídání poloh, jen převažujícím zastoupením rozvětralých granitů, *zkušenost vrtmistra z prvních vrtů - „dá se vyhloubit, ale pak nutné nářadí rychle vytáhnout a pak rychle zapustit výměník TČ, ale stejně spodní část vrtů nestabilní, s jejich zavalením z důvodu výskytu porušených (rozvětralých) granitů, vrty prakticky bez přítoků podzemní vody = podzemní voda není důvodem nestability stěn vrtů“* diskuzní vysvětlení hydrogeologa - vrty hloubeny v okrajové části granitového plutonu, v blízkosti kontaktu s krystalinikem, primárně možné „ztuhnutí“ magmatu v „komplikovaných“ podmínkách, možná s ovlivněním „doznívající“ tektonikou v zóně rozhraní s krystalinickými horninami, „narušenými“ intruzí plutonu či ovlivněním hydrotermální přeměnou granitů v zóně u kontaktu dvou geologických jednotek ….???

Tab. 5 Projektovaná a realizovaná hloubka vrtů

Tab. 5 Designed and realised drilling depth

HLOUBKA VRTŮ	
PROJEKTOVANÁ	REALIZOVNÁ
V1 až V7 - 199 m, následně po poznatcích z prvních vrtů na lokalitě „přeprojektování“ na vrty s menší hloubkou a jejich vyšším počtem a vyšší celkovou metráží	V1 – 60 m, V2 – 142 m, V3, 70 m, V4 – 148 m V5 – 158 m, V6 – 145 m, V7 – 145 m, V8 – 125 m, V9 – 140 m, V10 – 145 m, V11 – 120 m, V12 -120 m, V13 – 120 m

5. Budoucnost návrhů hloubky a realizovatelnosti vrtů TČ

Návrh realizovatelné hloubky vrtů TČ bude zřejmě i dlouho do budoucna při zpracování primárního HG posudku „zatížen“ nepředvídatelnou nestabilitou horninového masivu ve větších hloubkách, komplikující hloubení pod možným dosahem pracovního pažení. U větších vrtných polí TČ je řešením realizace průzkumných vrtů TČ před definitivním projektem vrtného pole TČ. U menších vrtných polí, resp. pro jednotlivé vrty TČ (např. v případě rodinných domů) provádění průzkumných vrtů je ekonomicky nereálné. Pokud to prostorové poměry na lokalitě dovolí, je vhodné již v projektu či primárním HG posudku navrhnout do povolovacího řízení i rezervní pozice vrtů TČ pro případ, že se nepodaří dosáhnout projektované hloubky a bude nutné mít tak vrtů více a větší celkové metráže.

4. Závěr

Poděkování: Děkujeme panu Michalu Klapáčovi za poskytnuté podrobné konzultace k prezentované problematice realizaci vrtů TČ a Ing. Pavlovi Dědinovi za konzultace k projekční problematice vrtů TČ.

Seznam literatury

Krásný J. et al., 2012: *Podzemní vody České republiky – regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod.* – Česká geologická služba. Praha.

VLIV PROUDĚNÍ PODZEMNÍ VODY NA ÚČINNNOST PODZEMNÍHO ZÁSOBNÍKU TEPLA

prof. Ing. Naďa Rapantová, CSc.

E-mail: nada.rapantova@vsb.cz
VŠB – Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15, 70800 Ostrava

Další autoři: RNDr. Pavel Štrof, Mgr. Martin Lanzendörfer, Ph.D.

Abstrakt:
Příspěvek se zabývá numerickým modelováním vlivu proudění podzemní vody na účinnost podzemního zásobníku tepla na lokalitě Litoměřice s využitím softwaru FEFLOW. V rámci návrhu úložiště tvořeného 36 vrty o délce 100 m byla provedena citlivostní analýza zaměřená na vliv proudění podzemní vody v identifikovaných propustných horizontech na celkovou účinnost ukládání tepelné energie.

Uvažováno je vystrojení vrtů dvojitým U-výměníkem (2U konfigurace) a provozní režim se střídáním půlročních cyklů nabíjení a vybíjení zásobníku. Numerické simulace byly realizovány pro období 10 let, přičemž byl detailně sledován časový vývoj účinnosti akumulace a odběru tepla.

Součástí práce je rovněž srovnání výsledků s výpočty provedenými v prostředí TRNSYS, který je určen pro operativní řízení provozu systému. Na rozdíl od FEFLOW však TRNSYS neumožňuje explicitní simulaci konvektivního přenosu tepla v horninovém prostředí, což se může významně projevit zejména v podmínkách s aktivním prouděním podzemní vody.

KDY A KDE NAVRHOVAT VYSOCE FUNKČNÍ VRTY SYSTÉMU VODA X VODA

WHEN AND WHERE TO DESIGN HIGH-PERFORMANCE BOREHOLES FOR WATER-TO-WATER HEAT PUMP SYSTEMS

Svatopluk Šeda

FINGEO s.r.o., Hniličkova 309 Ústí nad Orlicí, e-mail: seda@fingeo.cz

Abstrakt: Podzemní voda je jedním z čistých, spolehlivých a stabilních zdrojů tepelné energie. Princip jejího využití tepelnými čerpadly (TČ) je jednoduchý, podzemní voda se z jímacího objektu čerpá nebo sama protéká přes výměník tepelného čerpadla v uzavřeném systému, a opět uzavřeným systémem se voda vypouští do recipientu. Účinnost systému je oproti jiným zdrojům tepelné energie pro TČ, jako je například horninové prostředí (TČ systém země × voda) nebo vzduch (TČ systém vzduch × voda), významně vyšší. Topný faktor COP vyjadřuje poměr mezi dodaným teplem a spotřebovanou elektřinou, při COP 5 tedy z 1 kWh elektřiny vznikne přibližně 5 kWh tepla. U tepelných čerpadel se zdrojem vody se typické hodnoty COP pohybují zhruba mezi 4,9 až 5. Podobně zajímavé je i chlazení, tedy poměr chladicího výkonu ke spotřebované elektřině. Zásadní roli při volbě tohoto systému však hraje hydrogeologické posouzení, které dokládá kde, v jaké hloubce a kolik podzemní vody k dispozici je, a jaké jsou další důležité faktory, jako je směr a rychlost proudění podzemní vody nebo její jakost. Příspěvek ukazuje, jak tento systém, tedy využití podzemní vody jako primárního zdroje tepelné energie pro TČ, je v podmínkách ČR významný a jaké jsou limity a rizika tohoto řešení.

Abstract: Groundwater is a clean, reliable and stable source of thermal energy. The principle of its use in heat pump systems is relatively simple: groundwater is pumped from an abstraction well, or flows naturally, through the heat pump heat exchanger in a closed system and is subsequently discharged through another closed system into a receiving body. Compared with other heat sources used for heat pumps, such as the ground (ground-to-water heat pump systems) or air (air-to-water heat pump systems), water-to-water systems can achieve significantly higher efficiency. The coefficient of performance (COP) expresses the ratio between the heat supplied and the electricity consumed; thus, at a COP of 5, approximately 5 kWh of heat is produced from 1 kWh of electricity. For water-source heat pumps, typical COP values are approximately 4.9 to 5. Cooling performance is similarly favourable, particularly in terms of the ratio of cooling capacity to electricity consumption. However, hydrogeological assessment plays a crucial role in determining the suitability of this system, as it establishes where groundwater is available, at what depth and in what quantity, as well as other important factors such as the direction and velocity of groundwater flow and groundwater quality. This paper demonstrates the significance of using groundwater as the primary source of thermal energy for heat pumps under conditions in the Czech Republic and discusses the principal limitations and risks associated with this solution.

Klíčová slova: tepelná čerpadla systému voda × voda, jímací objekty, recipient vypouštěné vody, hydrogeologické posouzení, limity, rizika

Key words: water-to-water heat pumps, groundwater abstraction wells, receiving body for discharged water, hydrogeological assessment, limitations, risks

1. Úvod

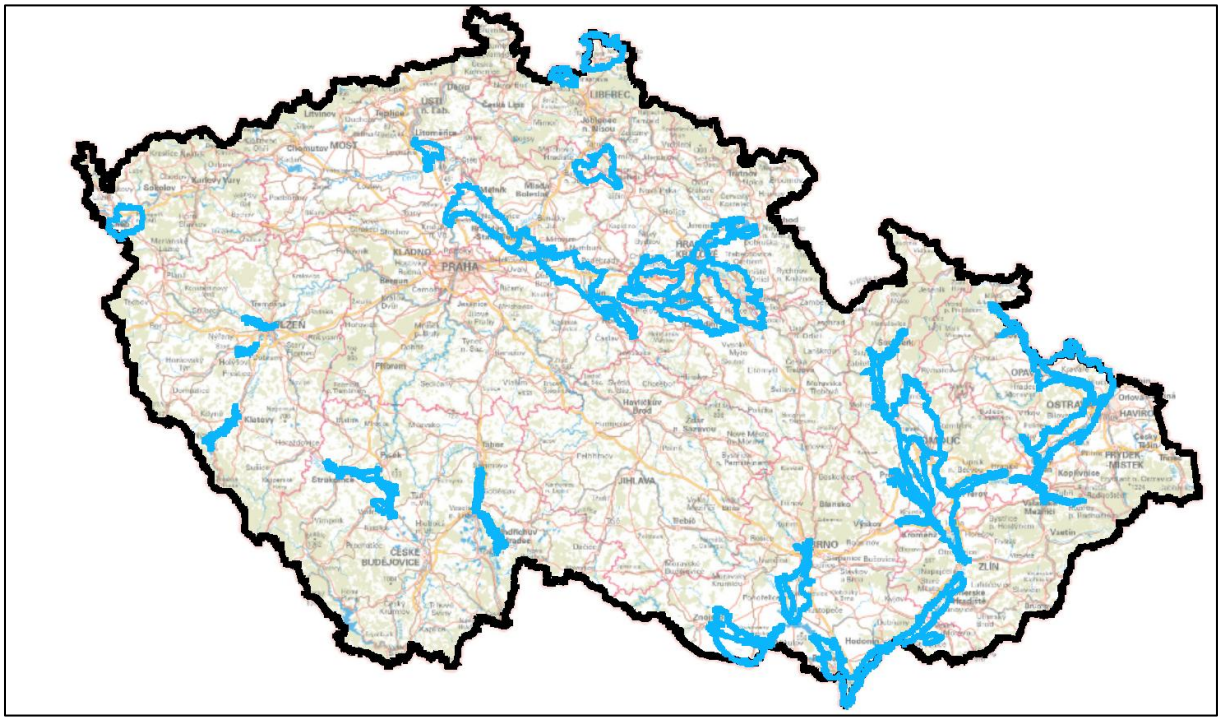
Využití tepelné energie podzemní vody k vytápění a chlazení budov a k přípravě teplé užitkové vody prostřednictvím tepelných čerpadel je v podmínkách ČR významně opomíjeno, a přitom přírodní podmínky pro využití tepelné energie podzemní vody jsou u nás příznivé a lokálně až extrémně příznivé. Příčinou tohoto stavu je patrně obava, že povolovací proces je významně složitější než při povolování tepelných čerpadel systému vzduch x voda nebo země x voda, ale hlavně, roztříštěná hydrogeologická obec zabývající se většinou domovními studnami, vsakování dešťových a odpadních vod či vrty pro tepelná čerpadla systému země x voda dosud k nabídce potenciálu tepelné energie podzemních vod pro provoz tepelných čerpadel systematicky nepřistoupila. Přitom především v údolí řek s významným osídlením, kde se nacházejí významně zvodněné kvartérní štěrkopískové sedimenty, v rozsáhlých pánevních strukturách ale i v oblastech krystalinika našich okrajových hor, jsou podmínky instalace tepelných čerpadel systému voda x voda mnohdy příznivé a při dostatečné odbornosti a dodržení kvality výstavby jímacích nebo vsakovacích objektů prakticky bezrizikové. Proč? Protože se jedná

o systémy uzavřené, kdy podzemní voda přes výměník tepelného čerpadla až do recipientu uzavřený potrubní systém neopustí, a co jsme z přírodního prostředí odebrali, to tam vracíme. Rozhodující jsou dvě věci: za prvé dobře provedený hydrogeologický průzkum zabraňující tomu, aby voda ochlazovaná odběrem jejího tepla ve výměníku tepelného čerpadla nebyla přisávána zpět do jímacího objektu, a za druhé to, aby náklady pro výstavbu celého systému a provoz zahrnující až na výjimky nezbytné čerpání podzemní vody, byly ve vztahu k efektivitě celého systému přijatelné. Jedná se proto většinou o mělké jímací i vsakovací objekty využívající první zvodeň, kdy náklady na zhotovení jímacích a vsakovacích objektů a náklady na čerpání vody byly úměrné výslednému efektu. V následujícím textu je uvedeno, jak by mohla hydrogeologická obec portfolio své činnosti významně rozšířit.

2. Kde jsou vhodné podmínky pro využití podzemní vody jako zdroje tepla pro tepelná čerpadla systému voda x voda

Jak je uvedeno v úvodu, vhodné podmínky pro instalaci tepelných čerpadel systému voda x voda jsou prakticky ve všech hydrogeologických rajónech svrchní vrstvy, tj. v převážně kvartérních rajonech se zvodněnými štěrkopísky údolní terasy nebo teras vyšších, ale i v rajonech druhohorních nebo třetihorních, jako je Jizerský coniak nebo Kvartér a neogén odravské části chebské pánve. V těchto rajónech je hladina podzemní vody volná, specifické vydatnosti jímacích objektů se pohybují v desetinách až jednotkách l/s/m a protože sklon hladiny podzemní vody je malý, piezometrický gradient se pohybuje většinou tisícinách. Odstupová vzdálenost jímacího a vsakovacího objektu by měla činit u jednotlivých objektů cca 10 m, u většího řadu jímacích a vsakovacích objektů bude třeba optimální odstup stanovit výpočtově tak, aby ochlazená voda vytékající z výměníku tepelného čerpadla nebyla nasávána zpátky do jímacího řadu.

Obr.č. 1 Hydrogeologické rajóny svrchní vrstvy



V lokalitách, kde se v dosahu staveniště nachází povrchový tok představující drenážní bázi struktury, lze místo vsakovacího objektu vypouštět vodu přímo do povrchového toku, protože § 8, odstavec 1, písmeno d) říká, že povolení k nakládání s vodami je třeba *„k čerpání povrchových nebo podzemních vod a jejich následnému vypouštění do těchto vod za účelem získání tepelné energie“*. Jinými slovy zákon sice umožňuje čerpání podzemní vody a její vypouštění do podzemní nebo povrchové vody a rovněž čerpání povrchové vody a její vypouštění do povrchové nebo podzemní vody, ale vypouštění podzemní vody do jiného recipientu, povrchového nebo podzemního, lze využívat pouze výjimečně, například v případě, že podzemní voda zvodněného kolektoru se na krátkou vzdálenost zcela odvodňuje do povrchového toku. Přitom je třeba v těchto ojedinělých případech podrobně

hodnotit i jakost čerpané vody, aby nedocházelo k jakostnímu ovlivnění jiného vodního útvaru než útvaru čerpaného.

Obrovský potenciál je pravděpodobně v pánevních strukturách, počínaje permskými sedimenty a konče sedimenty české křídové pánve a pánvemi jihočeskými. I v nich se nacházejí svrchní zvodně s volnou hladinou podzemní vody, často s vydatností desítek l/s, a jejich odběrem a vypouštěním do stejného kolektoru nemůžeme ohrozit nic, jen získat obrovský zdroje tepelné energie pro provoz tepelných čerpadel. Chce to jen profesionalitu, respektování přirozené hydrogeologické stratifikace, bezchybnou výstavbu jímacích a vsakovacích objektů a jejich testování, to vše za sledu řízení dokumentace a vyhodnocení pracovníků hydrogeologické služby. Pokud je ve výjimečných případech využívaná voda druhého kolektoru, měla by se voda vsakovat pokud možno do něj.

Společné pro všechny varianty řešení je provedení čerpací a vsakovací zkoušky verifikující to, že odběr vody ze struktury je možno vyrovnat jejím vsakováním tak, aby nebyla porušena bilanční rovnováha a odběry a laboratorními analýzami ověřit, že nedochází k významnější změně jakostních parametrů podzemní vody ve zvodni, do které je podzemní voda po průchodu výměníkem tepelného čerpadla vsakována.

3. Příprava projektu a povolovací proces

Příprava projektu jímacích objektů a objektů vsakovacích je obdobná jako u studen. Tato díla jsou podle § 55, odstavec 1, písmeno g) zákona č. 254/2001 Sb. stavby k využití vodní energie a energetického potenciálu vody, resp. dle písmene j) studny vodním dílem. V praxi to znamená, že je nutno nejprve získat na základě vyjádření osoby s odbornou způsobilostí v hydrogeologii povolení k nakládání s podzemní vodou, což vydává místně příslušný vodoprávní úřad, a potom stavební povolení, což vydává úřad stavební.

Soubor studen jímacích a vsakovacích pro účely využití tepelné energie podzemní vody prostřednictvím tepelných čerpadel však má jednu nezbytnost, a tou je mít pro účely zpracování vyjádření osoby s odbornou způsobilostí v hydrogeologii jasná, jednoznačná a především ověřená data. V praxi to znamená, že snad až na ojedinělé a zdůvodněné výjimky opakujících se řešení je nejprve třeba provést jímací a vsakovací objekty, včetně jejich nezbytného dlouhodobého testování, jako díla průzkumná v intencích § 3, odstavce 3, písmena b) vyhlášky č. 369/2004 Sb. s tím, že projekt, příprava a provádění geologických prací probíhá dle stejné vyhlášky, včetně vypracování závěrečné zprávy o provedeném průzkumu dle jejího § 16.

Povolovací proces těchto průzkumů, protože se logicky jedná o činnost, která může ovlivnit vodní poměry, zahrnuje vydání souhlasu vodoprávního úřadu dle § 17, odstavec 2, písmeno i) zákona č. 254/2001 Sb., často je však nutno při umisťování jímacích nebo vsakovacích objektů do záplavových území, nebo do území zahrnutých do ochranných pásem vodních zdrojů získat povolení dle § 14 zákona č. 254/2001 Sb. Při větších odběrech (nad 1 l/s), nebo při delší době trvání čerpacích zkoušek (nad 14 dnů) je třeba k provedení těchto prací v rámci prací průzkumných, získat povolení k nakládání s podzemními vodami (čerpání i vsak) dle § 8, odstavec 1, písmeno b), bod 5 zákona č. 254/2001 Sb.

4. Umisťování jímacích a vsakovacích objektů

Objekty využívající tepelnou energii podzemní vody je nutno umisťovat v takové vzdálenosti od sousedních pozemků, aby na nich nebyly ovlivněny podmínky pro jejich běžné užívání, nebo aby nedocházelo k ovlivnění nebo dokonce k ohrožení existujících staveb, včetně studen. Je třeba si uvědomit, že zatímco v místě jímacího objektu dochází k běžně známé depresi hladiny podzemní vody, v místě objektů zasakovacích dochází k elevaci hladiny podzemní vody podzemní vody a dosah deprese ani elevace by neměl ve významnější míře zasahovat na sousední pozemek. Proto minimální vzdálenost těchto objektů od sousedních pozemků zastavitelných nebo zastavěných by měla být 5 m, u větších systémů složených z více jímacích nebo vsakovacích objektů by umístění těchto objektů mělo být stanoveno na základě hydraulických výpočtů a verifikováno dlouhodobou nebo poloprovozní čerpací zkouškou. Zkušenost hovoří, že elevace je zpravidla významnější než deprese, takže zatímco pro získání tepelné energie vody pro provoz tepelného čerpadla vystačí např. jeden jímací objekt, vsakovací objekty musejí být, pokud elevace nemá překročit určitou úroveň, třeba dva.

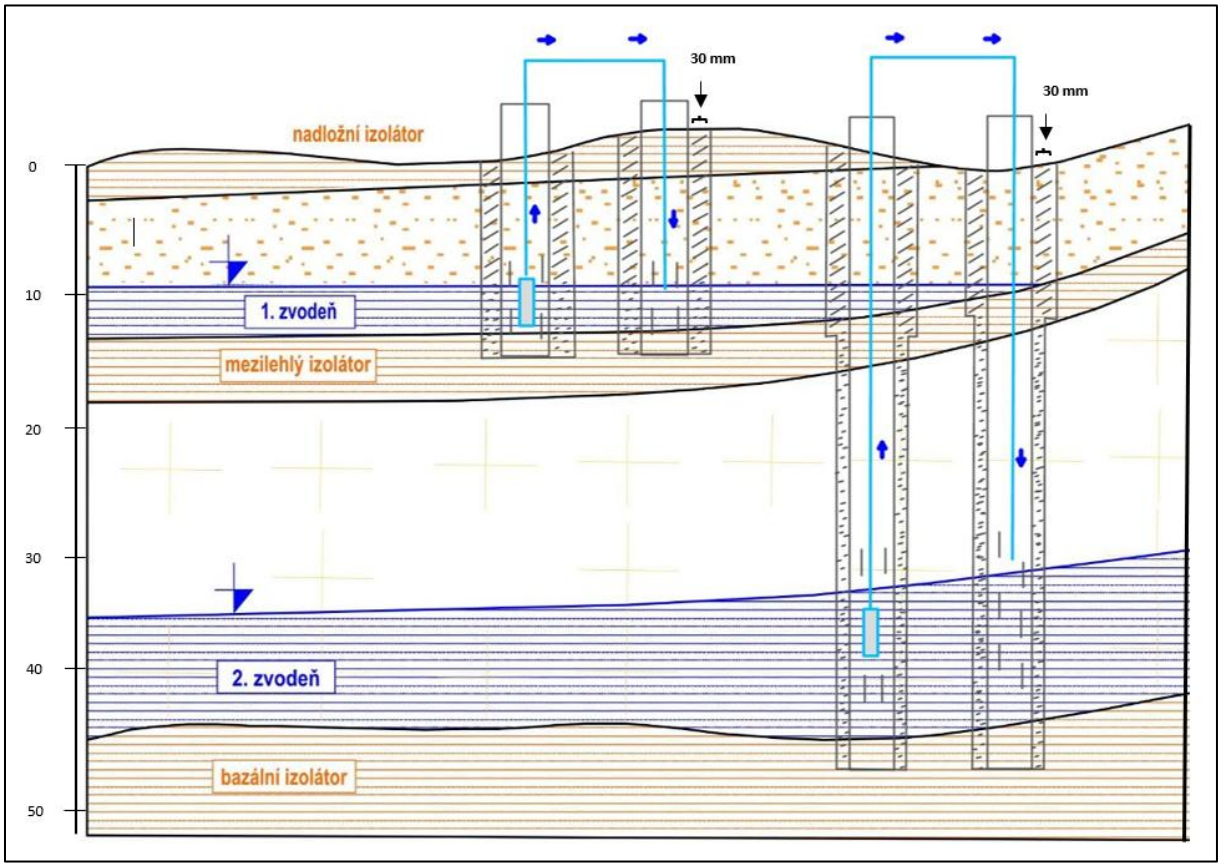
5. Technické parametry jímacích a vsakovacích objektů

Pro projektové parametry těchto objektů se zpravidla využívá ČSN 755115 Jímání podzemní vody. Až na zdůvodněné výjimky by mělo platit, že vodu lze odebírat jenom z jednoho zvodněného kolektoru a do stejného kolektoru by se voda měla i vypouštět. Z hlediska stavebního, protože se až na výjimky jedná o využití podzemní vody s volnou hladinou, je třeba zaplášťový prostor do hloubky min. 3 m v případě vrtaných studen a 500 mm v případě studen šachtových zatěsnit těsnicí směsí (cement, jíl), níže se zaplášťový prostor jímacích i vsakovacích objektů obsypává štěrkem potřebné zrnitosti.

6. Rizika pro vodní ekosystém

Zásadní riziko spočívá v nebezpečí narušení přirozené hydrogeologické stratifikace území, tj. v propojování zvodnělých kolektorů anebo v ochuzování zásob podzemní vody odběrem vody z jednoho útvaru podzemní vody a jejím vypouštěním do jiného útvaru podzemním vody, pokud vyjádření osoby s odbornou způsobilostí dle § 9, odstavec (1) zákona č. 254/2001 Sb. nestanoví jinak a tento způsob nakládání s vodami nezdůvodní. Zásadním požadavkem všech projektových řešení je proto jasná identifikace a podrobný popis všech zvodněných kolektorů podzemní vody, které budou průzkumem nebo stavbou dotčeny, včetně způsobu nakládání s podzemní vodou.

Obr.č. 2 Hydrogeologický řez územím s dvoukolektorovým zvodněným systémem a schéma způsobu nakládání s podzemní vodou prostřednictvím odběrové a vsakovací studny využívající 1. zvodeň, a systém využívající 2. zvodeň s odtěsněním 1. zvodně.



6. Některé zvláštnosti a příležitosti

Vše výše uvedené vychází ze zkušenosti, kdy především v kvartérních náplavech jsou zpravidla pro jednotlivé rodinné domky poměrně snadno i na relativně malých pozemcích umisťovány, budovány a provozovány jímací objekty, kdy pro provoz 8 – 10 kW čerpadla je zapotřebí max. 0,5 l/s podzemní vody. To je množství v kvartérních štěrkopískových kolektorech snadno jímatelné a zasakovatelné, a proto stále častěji využívané.

Ale uvědomme si, že i v běžném vodárenském provozu vodu ve značných množstvích čerpáme a dále pouštíme do spotřebiště, kde se potom tato zpravidla prostřednictvím kanalizace dostává do říční sítě. Na výtlaku, v místě výměníku tepelného čerpadla, a z něj zase vypustit vodu mírně ochlazenou a s mírně zmenšeným tlakem do vodovodního systému. Odzkoušeli jsme, voda teče výhradně uzavřeným systémem v daném úseku nerezovým, a vše za souhlasu orgánu hygienické služby funguje. A to nemluvě o vodě ve vodojemech, kde si lze vodu odčerpat, pustit do strojovny tepelného čerpadla, kde je výměník a vrátit ji potom mírně ochlazenou zpět. Prostě tento energetický potenciál podzemní vody se mně jeví neuvěřitelně snadno využitelný.

Je ještě jedna okolnost, která využití podzemní vody k využití jejího tepla prostřednictvím tepelných čerpadel brání, a tou je jakost vody, především přítomnost železa a manganu, což je v kvartérních štěrkopískových kolektorech běžná složka. Dnes se tento problém řeší předřadnými výměníky, které nekolizně slouží řadu let.

7. Závěr

Cílem příspěvku je podělit se s hydrogeologickou veřejností o některé nápady a poznatky z praxe, kdy využití energetického potenciálu podzemní vody prostřednictvím tepelných čerpadel systému voda x voda je relativně snadné, efektivní, ale dosud z nejrůznějších důvodů málo využívané. Obchodně řečeno pro hydrogeology i zákazníky: peníze leží na chodníku….

MATERIÁLOVÉ STANDARDY PRO DLOUHOU ŽIVOTNOST GEOTERMÁLNÍCH VRTŮ

MATERIAL STANDARDS FOR LONG SERVICE LIFE OF BOREHOLE HEAT EXCHANGERS

Milan Trs[1]

[1]*GEROtop spol. s r.o., Kateřinská 589, 463 03 Stráž nad Nisou – Liberec, e-mail: m.trs@gerotop.cz*

Abstrakt: Geotermální vrt s uzavřeným okruhem je podzemní stavba s obtížnou, zpravidla ekonomicky nereálnou opravitelností. Jeho dlouhodobá funkce proto závisí na souběhu hydrogeologicky vhodného návrhu, materiálové odolnosti sondy, těsnosti spojů, kvalitě injektáže a průkazné kontrole provedení. Příspěvek shrnuje požadavky na potrubí z PE 100-RC, továrně vyrobenou patu sondy, systémovou kompatibilitu komponentů a volbu tlakové i teplotní řady. Na příkladu systému GEROtherm jsou popsána řešení VARIO pro snížení hydraulických ztrát, FLUX pro hlubší vrty a vysoká tlaková zatížení, RT pro zvýšené provozní teploty a REX pro prostředí s rizikem difuze geogenních plynů. Samostatná pozornost je věnována injektážní směsi jako prvku tepelného přenosu a hydrogeologického těsnění. Závěrem je navržen soubor kontrolních dokladů, který umožňuje převést deklarovanou kvalitu materiálu do ověřitelné kvality hotového vrtu.

Abstract: A closed-loop borehole heat exchanger is an underground structure that is difficult and usually uneconomical to repair. Its long-term performance therefore depends on a combination of hydrogeologically appropriate design, probe material resistance, leak-tight joints, grout quality and documented construction control. This paper summarises requirements for PE 100-RC pipes, factory-made probe feet, system compatibility and the selection of pressure and temperature classes. Using the GEROtherm system as an example, it describes VARIO for reduced hydraulic losses, FLUX for deeper boreholes and high pressure loads, RT for elevated operating temperatures, and REX for geological settings where diffusion of geogenic gases is a concern. Particular attention is paid to grout as both a heat-transfer medium and a hydrogeological seal. Finally, a set of quality records is proposed to translate declared material properties into verifiable quality of the completed borehole heat exchanger.

Klíčová slova: geotermální vrt, vrtný tepelný výměník, PE 100-RC, injektáž, životnost

Key words: geothermal borehole, borehole heat exchanger, PE 100-RC, grouting, service life

1. Úvod

U geotermálních vrtů pro tepelná čerpadla se často hodnotí zejména hloubka, měrný tepelný výkon nebo cena jednoho metru. Z hlediska dlouhodobého rizika je však stejně podstatné, že sonda a těsnicí výplň zůstávají po dokončení trvale v horninovém prostředí. Po zaplnění mezikruží nelze poškozené potrubí běžně vyjmout a nahradit; případná netěsnost může současně znamenat ztrátu funkce zdroje, únik teplonosné kapaliny i vytvoření nežádoucí hydraulické komunikace mezi zvodněmi.

Evropská norma, v České republice zavedená jako ČSN EN 17522:2023, chápe vrtný tepelný výměník jako systém zahrnující vlastní vrt a sondu, horizontální potrubí, rozdělovač a navazující technologii. Tento systémový pohled je pro materiálový standard zásadní: špičková trubka sama o sobě nevykompenzuje nevhodnou patu sondy, improvizovaný spoj, chybnou volbu tlakové řady nebo nespojitě provedenou injektáž (CEN, 2023).

Cílem příspěvku je formulovat praktická kritéria, podle nichž lze kvalitu výstroje a dokončení vrtu doložit ještě předtím, než se komponenty stanou nepřístupnými. Produkty HakaGerodur systému GEROtherm jsou použity jako konkrétní příklad technicky provázané produktové řady; nejde však o náhradu geologického posouzení, výpočtu tlakových poměrů ani kontroly realizace.

2. Životnost jako vlastnost celého systému

2.1 Hydrogeologická funkce vrtu

Vrt protíná prostředí s různou propustností, chemismem a tlakovými poměry. Pokud zastihne více zvodní, musí být zabráněno jejich hydraulickému propojení. ČSN EN 17522:2023 výslovně požaduje posouzení artéských podmínek, chemismu podzemní vody, výskytu plynů, krasových jevů, nestabilního podloží a rizika promrzání. Materiálová specifikace proto musí vycházet z hydrogeologického modelu lokality a z předpokládaného provozního režimu, nikoli pouze z hloubky vrtu (CEN, 2023).

Dlouhá životnost znamená současné zachování tří funkcí: tlakové těsnosti okruhu, tepelného kontaktu mezi sondou a horninou a svislé těsnicí schopnosti výplně. Porucha kterékoli z nich může znehodnotit celý vrt, i když ostatní komponenty zůstanou mechanicky neporušené.

2.2 Deklarace materiálu versus průkazná kvalita

Pro zadání stavby nestačí obecný požadavek „sonda PE“. Je vhodné určit minimálně materiálovou třídu, rozměr a SDR, dovolený tlak při referenční teplotě, teplotní rozsah, způsob výroby paty, systém certifikace, dohledatelnost výrobku a tlakové zkoušky. Součástí dokumentace by měl být výrobní certifikát, identifikace šarže a sériového čísla, protokol o tlakové zkoušce a záznamy o spojování.

Předpoklad životnosti přesahující 100 let, uváděný pro kvalitní tlakové potrubí PE 100-RC, je výsledkem standardizovaných dlouhodobých zkoušek a extrapolace. Není to bezpodmínečná záruka konkrétního vrtu. Skutečnou životnost ovlivňuje kombinace vnitřního tlaku, teploty, doby zatížení, poškození při instalaci, kvality svarů a chemického prostředí. Právě proto má význam nezávislý výrobní dohled a ověřování každé dodávky, nikoli pouze obchodní označení materiálu.

3. Potrubí, pata sondy a spoje

3.1 PE 100-RC a odolnost proti pomalému růstu trhlin

Polyetylen PE 100-RC zachovává výhody PE 100 – korozní odolnost, pružnost a svařitelnost – a současně vykazuje zvýšenou odolnost proti pomalému růstu trhlin. To je důležité při zavádění sondy, kdy mohou vrypy, bodové zatížení od úlomků horniny a lokální deformace působit jako iniciační místa poruchy. Zkoušky bodového zatížení a FNCT simulují právě dlouhodobé chování materiálu při koncentraci napětí. Historicky byly tyto požadavky formulovány v PAS 1075; dokument byl sice formálně stažen, jeho podstatné požadavky zůstávají používány v certifikačních schématech a PE 100-RC byl nově začleněn také do evropské řady EN 12201 (DIN CERTCO, 2026; TEPPFA, 2024).

Pro geotermální sondu je důležité, aby odolnost proti trhlinám nebyla pouze vlastností vstupního granulátu. Musí být zachována stabilním výrobním procesem, geometrií trubky, zpracováním taveniny a kontrolou hotového výrobku. Systém GEROtherm používá PE 100-RC pro trubky i konstrukčně zesílenou patu; výrobní dohled a certifikace SKZ podle HR 3.26 vytvářejí průkaznější základ než samostatné prohlášení dodavatele (HakaGerodur, 2026a).

3.2 Továrně vyrobená pata a omezení svarů na stavbě

Pata sondy je nejhlouběji uloženým a nejhůře opravitelným bodem okruhu. Má odolat vnitřnímu tlaku, vnějšímu tlaku při injektáži, tahovému zatížení při spouštění a případnému boulení v dolní části vrtu. Tovární výroba v kontrolovaných podmínkách, tlaková zkouška a jednoznačné výrobní označení snižují počet nekontrolovaných proměnných. Dodání sondy v celé délce navinuté na cívce současně eliminuje svařování vratného oblouku na stavbě, kde kvalitu ovlivňuje počasí, čistota, obsluha a dostupné zařízení (GEROtop, 2026a).

Ani systémová sonda však neodstraňuje potřebu správných spojů nad vrtem. Elektrotvarovkové nebo tupé svařování musí provádět kvalifikovaná obsluha podle schváleného postupu, s očištěním, oškrábáním a fixací potrubí. Každý spoj má být dohledatelný. Redukce, Y-kusy, přechody a rozdělovače je vhodné posuzovat jako hydraulický i mechanický celek; improvizované tvarovky mohou zvýšit tlakovou ztrátu a vytvořit další poruchová místa.

4. Volba konstrukce podle tlaku, teploty a geologie

Jednotný typ sondy není optimální pro všechny hloubky a provozní režimy. Rozhodující je výpočet nejvyššího vnitřního a vnějšího tlaku v průběhu instalace, injektáže, tlakové zkoušky i provozu. S rostoucí hloubkou se zvyšuje statický tlak sloupce kapaliny, zatímco během injektáže může na prázdnou nebo nedostatečně natlakovanou sondu působit významný vnější tlak. Teplotní zatížení zase mění dovolený tlak a dlouhodobou pevnost polymeru.

Tab. 1 Konstrukční varianty geotermálních sond GEROtherm
Tab. 1 Design variants of GEROtherm borehole heat exchangers

Řešení	Materiál a konstrukční charakteristika	Typická návrhová výhoda
DUPLEX	Dvojitá U-sonda z PE 100-RC; systémová tovární pata.	Standardní vrty, pokud vyhoví tlaková a hydraulická bilance.
VARIO	Proměnná tloušťka stěny při zachování vnějšího průměru; PN 16, PN 20 nebo PN 25 podle rozměru.	Nižší hydraulická ztráta než u konstantní silné stěny a vyšší odolnost proti vnějšímu tlaku v dolní části.
FLUX	Kónická trubka PE 100-RC s konstrukčními prvky z PA12; rozměry 43 a 53 mm; až PN 32, resp. PN 38 při 20 °C.	Hlubší vrty a vysoká tlaková zatížení při současné optimalizaci tlakových ztrát.
RT	PE 100-RT-RC se zvýšenou teplotní odolností; varianty DUPLEX-RT, VARIO-RT a FLUX-RT.	Regenerace, ukládání přebytků tepla a jiné režimy se zvýšenou teplotou; krátkodobě až +95 °C podle tlaku a teplotního profilu.
REX	Vícevrstvé provedení s integrovanou difuzní bariérou a ochrannou vrstvou; bariérově řešená je i pata.	Lokality s rizikem difuze geogenních plynů do okruhu a následného odplyňování v technologii.

4.1 VARIO a FLUX: tlaková bezpečnost bez zbytečné hydraulické penalizace

U běžné trubky s konstantní tloušťkou stěny vede vyšší tlaková řada ke zmenšení vnitřního průměru po celé délce a k růstu tlakové ztráty. VARIO používá proměnnou tloušťku stěny: směrem do hloubky se zvyšuje odolnost proti tlakovému namáhání, zatímco v horní části zůstává příznivější průtočný profil. Podle průměru je výrobní řada nabízena až do PN 25 při 20 °C. Další výhodou je zvýšená odolnost proti boulení ve spodní části sondy, aniž by se zvětšil diagonální rozměr proti odpovídající sondě DUPLEX (HakaGerodur, 2026b).

FLUX posouvá stejný konstrukční princip do vyšších tlakových tříd. Pro průměr 43 mm je uváděna odolnost do PN 32 a pro 53 mm do PN 38 při 20 °C. Řešení je určeno zejména pro hlubší vrty a vysoké tlaky při injektáži. V konkrétním projektu však nesmí být jmenovitá tlaková třída zaměněna za dovolený provozní tlak za všech teplot; vždy se posuzuje celý zatěžovací stav a nejslabší prvek okruhu (HakaGerodur, 2026c).

4.2 GEROtherm RT: zvýšené teploty a regenerace podloží

Klasický nízkoteplotní odběr tepla zpravidla probíhá hluboko pod teplotními limity PE 100-RC. Situace se mění při aktivní regeneraci, solárním dobíjení, využití odpadního tepla nebo u vrtových zásobníků, kde může být do podloží přiváděna kapalina o teplotě nad 25 °C. Dlouhodobě zvýšená teplota urychluje teplotně podmíněné stárnutí polymeru a snižuje dovolené tlakové zatížení.

Materiál PE 100-RT-RC kombinuje odolnost proti pomalému růstu trhlin s vyšší teplotní odolností. GEROtherm RT je dostupný v konstrukcích DUPLEX, VARIO a FLUX; výrobce uvádí krátkodobou maximální teplotu +95 °C. Tuto hodnotu je nutné interpretovat spolu s vnitřním tlakem a ročním časově-teplotním profilem podle pravidla kumulace poškození, nikoli jako trvalou univerzální provozní teplotu. Výhodou je zachování čistě polymerní, korozně odolné konstrukce a kompatibility s montážním systémem (HakaGerodur, 2023a).

4.3 GEROtherm REX: difuzní bariéra v plynujících horninách

ČSN EN 17522:2023 upozorňuje, že geogenní plyny mohou vznikat nebo se akumulovat například nad uhlonosnými, rašelinnými, uhlovodíkovými či vulkanickými strukturami. Kromě bezpečnostního rizika při vrtání může plyn, například CO_2, difundovat stěnou běžné PE-HD sondy do teplonosné kapaliny a narušovat provoz tepelného čerpadla (CEN, 2023).

GEROtherm REX řeší tento mechanismus integrovanou difuzní bariérou v trubce, mechanicky odolnou ochrannou vrstvou a bariérovou úpravou paty sondy. Zkoušky uváděné výrobcem prokázaly u potrubí pod mezí detekce permeace a u opatřené paty přibližně desetkrát nižší permeaci než u neopatřeného provedení. REX proto představuje cílené opatření v lokalitách, kde hydrogeologický průzkum identifikuje riziko plynů; nenahrazuje však protierupční, ventilační ani těsnicí opatření během vrtání (HakaGerodur, 2023b).

5. Injektážní směs jako tepelný a hydrogeologický prvek

Výplň mezikruží má dvě rovnocenné funkce. Přenáší teplo mezi potrubím a horninou a současně obnovuje přerušené těsnicí vrstvy. Směs se proto volí podle tepelné vodivosti, sedimentační stability, objemové stálosti, hydraulické vodivosti, odolnosti proti chemismu podzemní vody a proti očekávaným teplotním cyklům. ČSN EN

17522:2023 požaduje přizpůsobit těsnicí výplň skutečným fyzikálně-chemickým podmínkám a zachovat její vlastnosti i při záporných teplotách vratné kapaliny (CEN, 2023).
Laboratorní katalogová hodnota tepelné vodivosti sama o sobě nevypovídá o hotovém vrtu. Terénní studie Albers et al. (2025) prokázala, že interakce směsi s horninou, filtrace záměsové vody a technologie přípravy mohou významně změnit vlastnosti výplně oproti laboratorním vzorkům. Autoři současně upozorňují na možnost rozdílů mezi jednotlivými záměsmi připravovanými na stavbě. Z toho plyne potřeba kontrolovat vodní součinitel, dobu a intenzitu míchání, hustotu čerstvé směsi a spotřebovaný objem.
Injektáž se obvykle provádí od dna vzhůru samostatným potrubím tak, aby vytlačovala vrtnou kapalinu a nevytvářela dutiny. V členité geologii, krasu nebo při ztrátách směsi může být nutný etapový postup a zvláštní receptura. Provoz pod bodem mrazu musí respektovat nejen teplotu teplonosné kapaliny, ale i možné změny kontaktu potrubí a výplně. Experiment Kupfernagel et al. (2021) ukázal, že teplotní změny a cykly zmrazování a rozmrazování mohou zvýšit hydraulickou vodivost systému trubka–výplň–hornina; provozní limity jsou tedy součástí hydrogeologické ochrany.

6. Kontrola kvality od projektu po předání

Materiálový standard má smysl pouze tehdy, pokud je převzat do projektové dokumentace, objednávky, montážního postupu a předávací dokumentace. Doporučené minimum uvádí tab. 2. Kontrola má být nastavena před zahájením vrtání, protože po injektáži již nelze většinu znaků ověřit.

Tab. 2 Doporučené kontrolní body a doklady
Tab. 2 Recommended quality checkpoints and records

Fáze	Kontrolní bod	Doklad
Návrh	Geologie, zvodně, chemismus, plyny, provozní teploty, tlakové poměry a riziko mrazu.	Hydrogeologický posudek, výpočet tlaků a materiálová specifikace.
Dodávka sondy	Materiál, rozměr, SDR/PN, délka, tovární pata, neporušenost obalu a návinu.	Výrobní certifikát EN 10204 2.2, sériové číslo, šarže, protokol výrobní zkoušky.
Před spuštěním	Vizuální kontrola, průchodnost, tlaková těsnost a vhodný instalační systém.	Stavební deník, identifikace sondy, záznam tlakové zkoušky.
Spoje	Kompatibilní tvarovky, čistota, oškrábání, fixace a kvalifikovaná obsluha.	Svařovací protokoly a identifikace pracovníka i zařízení.
Injektáž	Receptura, záměsová voda, hustota, míchání, postup od dna, tlak a skutečná spotřeba.	Injektážní protokol po záměsích, bilance objemu a záznam mimořádností.
Předání	Těsnost celého okruhu, průtoky, odvzdušnění, koncentrace a vlastnosti kapaliny.	Závěrečný tlakový protokol, dokumentace skutečného provedení a provozní limity.

Systémový přístup GEROtherm, který v České republice dlouhodobě uplatňuje společnost GEROtop, spojuje továrně připravené sondy, kompatibilní instalační příslušenství, spojovací prvky a doložené tlakové parametry. Jeho přínos není v samotném názvu výrobku, ale ve snížení počtu neověřených rozhraní. Pro investora a hydrogeologa zůstává rozhodující, zda projektant správně zvolil variantu a zda realizační firma doložila skutečné provedení.
Při hodnocení nabídek je proto vhodnější porovnávat úplnost technického průkazu než pouze cenu za metr sondy. Rozdíl v ceně nepřístupné části vrtu bývá malý ve vztahu k nákladům na celý zdroj, zatímco důsledky poruchy mohou zahrnovat nový vrt, zásah do hotových ploch a riziko pro podzemní vody.

7. Závěr

Dlouhá životnost geotermálního vrtu vzniká kombinací vhodného hydrogeologického návrhu, certifikovaného materiálu, konstrukčně bezpečné sondy, kompatibilních spojů, správné injektáže a dokumentované kontroly. PE 100-RC představuje důležitý standard odolnosti proti pomalému růstu trhlin, ale jeho označení nelze oddělit od výrobního dohledu a podmínek konkrétní instalace.
Varianty VARIO a FLUX umožňují přizpůsobit tlakovou odolnost a hydrauliku hloubce vrtu; RT reaguje na rostoucí význam regenerace a ukládání tepla při vyšších teplotách; REX doplňuje systém o difuzní ochranu pro geologická prostředí s výskytem plynů. Výběr musí být vždy odůvodněn výpočtem a hydrogeologickým rizikem. Pro odbornou praxi je klíčové požadovat nikoli obecné tvrzení o kvalitě, ale dohledatelný soubor certifikátů, zkoušek a realizačních protokolů. Teprve tento řetězec dává deklarované životnosti technický obsah.

Seznam literatury

Albers A., Huttenloch P., Reduth Y., Zorn R., Steger H., Blum P., 2025: In-situ thermal properties of grouting materials in borehole heat exchangers. – Geothermal Energy 13, 23. DOI: 10.1186/s40517-025-00347-4.

CEN, 2023: ČSN EN 17522:2023 (13 8500) Studny a výměníky tepla ve vrtech; identická s EN 17522:2023 Design and construction of backfilled and grouted borehole heat exchangers. – European Committee for Standardization. Brussels.

DIN CERTCO, 2026: Pressure pipes made of PE 100-RC according to PAS 1075; informace o stažení PAS 1075 a návaznosti certifikačního schématu. – TÜV Rheinland. Dostupné z: https://www.dincertco.de/ (cit. 20. 8. 2026).

GEROtop, 2026a: Vrt pro tepelné čerpadlo a jeho vystrojení. – GEROtop spol. s r.o. Dostupné z: https://www.gerotop.cz/vystrojeni-geotermalniho-vrtu (cit. 20. 8. 2026).

GEROtop, 2026b: Inovativní plast pro zemní plošné kolektory tepelných čerpadel. – GEROtop spol. s r.o. Dostupné z: https://www.gerotop.cz/inovativni-plast-pro-zemni-kolektory (cit. 20. 8. 2026).

HakaGerodur, 2023a: GEROtherm®-RT – Geothermal probe for higher temperature and stress crack resistance. – HakaGerodur AG. Benken.

HakaGerodur, 2023b: GEROtherm® REX – Complete diffusion-tight geothermal probe with protective layer. – HakaGerodur AG. Benken.

HakaGerodur, 2026a: GEROtherm® geothermal systems – products and certificates. – HakaGerodur AG. Dostupné z: https://www.hakagerodur.ch/en/gs-products/ (cit. 20. 8. 2026).

HakaGerodur, 2026b: GEROtherm® VARIO – The conical, pressure loss-optimised geothermal probe. – HakaGerodur AG. Dostupné z: https://www.hakagerodur.ch/en/gerotherm-vario/ (cit. 20. 8. 2026).

HakaGerodur, 2026c: GEROtherm® FLUX – The conical, safety- and pressure loss-optimised geothermal probe. – Gerodur MPM Kunststoffverarbeitung GmbH & Co. KG. Dostupné z: https://www.gerodur.de/en/gerotherm-flux/ (cit. 20. 8. 2026).

Kupfernagel J.-H., Hesse J. C., Schedel M., Welsch B., Anbergen H., Müller L., Sass I., 2021: Impact of operational temperature changes and freeze-thaw cycles on the hydraulic conductivity of borehole heat exchangers. – Geothermal Energy 9, 24. DOI: 10.1186/s40517-021-00206-y.

TEPPFA, 2024: More benefits with crack-resistant PE 100-RC pipes. – The European Plastic Pipes and Fittings Association. Dostupné z: https://www.teppfa.eu/latest-news/more-benefits-with-crack-resistant-pe100-rc-pipes/ (cit. 20. 8. 2026).

VDI, 2019: VDI 4640 Blatt 2 Thermal use of the underground – Ground source heat pump systems. – Verein Deutscher Ingenieure. Düsseldorf.

Sekce 8

Inženýrskogeologický průzkum pro pozemní a liniové stavby

D1 - DÁLNIČNÍ MOST ŠMEJKALKA, BUDOVÁNÍ PRACOVNÍCH PLOŠIN PRO BOURACÍ TECHNIKU

D1 - ŠMEJKALKA HIGHWAY BRIDGE, CONSTRUCTION OF WORK PLATFORMS FOR DEMOLITION MACHINERY

Martin Jech[1], Filip Olejár[2]

[1] SUDOP PRAHA a.s., Olšanská 2643/1a, 130 00 Praha 3, e-mail: martin.jech@sudop.cz
[2] SUDOP PRAHA a.s., Olšanská 2643/1a, 130 00 Praha 3, e-mail: filip.olejar@sudop.cz

Abstrakt: Příspěvek představuje návrh a realizaci pracovních plošin pro bourací techniku při rekonstrukci mostu Šmejkalka na dálnici D1. Plošiny, situované ve strmých svazích v bezprostřední blízkosti mostní konstrukce a stacionárních věžových jeřábů, byly navrženy jako řízené násypy z betonového recyklátu a štěrkodrtí s využitím geomříží a betonových prvků pro stabilizaci líce. Návrh zohledňoval rozdílné geologické a prostorové podmínky obou stran mostu, dostupnost recyklovaného materiálu, požadavky na ochranu základů jeřábů i bezpečný přístup a manipulaci bourací techniky. Geometrie násypových těles a způsob jejich vyztužení byly ověřeny geotechnickými výpočty, na jejichž základě byla upravována četnost geomříží a konfigurace paty násypů. Kvalita provedení byla kontrolována statickými zatěžovacími zkouškami jednotlivých vrstev a laboratorními zkouškami betonového recyklátu. Realizace dokládá možnosti účelného využití materiálu z demolované mostní konstrukce při budování dočasných geotechnických konstrukcí v náročných terénních podmínkách.

Abstract: This paper presents the design and construction of working platforms for demolition machinery during the reconstruction of the Šmejkalka Bridge on the D1 motorway. Located on steep slopes in the immediate vicinity of the bridge structure and stationary tower cranes, the platforms were designed as engineered fills constructed from recycled concrete aggregate and crushed stone, reinforced with geogrids and concrete elements for face stabilization. The design reflected the different geological and spatial conditions on either side of the bridge, the availability of recycled materials, the need to prevent any adverse effects on the crane foundations, and the requirements for safe access and manoeuvring of the demolition machinery. The geometry and reinforcement of the embankments were verified by geotechnical analyses, which led to adjustments in geogrid spacing and toe configuration. Construction quality was assessed by static plate load tests performed on individual fill layers and by laboratory testing of recycled concrete aggregate samples. The project demonstrates the effective reuse of material from the demolished bridge structure in temporary geotechnical constructions under challenging terrain conditions.

Klíčová slova: násyp, plošina, stavební práce, dálniční most, statická zatěžovací zkouška, geotechnický výpočet

Key words: embankment, platform, construction work, highway bridge, static load test, geotechnical analysis

1. Úvod

Na základě objednávky společnosti Pavel Švestka, s.r.o. jsme v roce 2025 a 2026 zpracovali návrh na zhotovení pracovních plošin pro bourací techniku na stavbě Rekonstrukce mostu Šmejkalka na dálnici D1, které byly situovány v prostoru strmých svahů přilehlých ke konstrukci mostu. Pracovní plošiny byly navrženy a konstruovány jako řízené násypy z betonových recyklátů a štěrkovitých zemin s využitím geosyntetik. Požadavkem bylo maximální využití betonových recyklátů, získaných demolicí původní mostní konstrukce, které budou před začátkem demoličních prací, resp. vytvoření zásoby recyklovaných materiálů, doplněny o dovezené štěrkodrtě.

2. Postup prací

Výstavba pracovních plošin započala na severovýchodní straně mostu (ve směru na Prahu) kde již byly umístěny dva stacionární věžové jeřáby, byla jednoznačnou podmínkou pro budování násypů eliminace jakýchkoli vlivů na jejich založení. Na brněnské straně mostu, plošině číslo 1, práce začaly odtěžením kvartérních zemin na skalní podloží (v tomto prostoru bylo tvořeno pevnými granodiority), jehož povrch byl následně geodeticky zaměřen a byly zpracovány schematické profily, které byly spolu s upřesněním požadované úrovně povrchu plošiny, použity pro návrh násypového tělesa. Z důvodu výše uvedených požadavků na eliminaci vlivů na založení jeřábových konstrukcí, bylo nutno lícovou stranu vybudovat ve sklonu cca 50° a proto byly k vyztužení líce násypu použity betonové segmenty vhodných tvarů a rozměrů. Násyp byl v horní polovině násypu ve čtyřech

úrovních vyztužen geomříží. Součástí prací byl návrh přístupové cesty, kterou bylo nutno konstruovat tak, aby jednak vyhověla požadavku na maximální svahovou dostupnost dané techniky, a rovněž ve všech sledovaných směrech poskytovala dostatek prostoru pro její další manipulaci.

Obr. 1 Plošina č. 1 – pohled shora
Fig. 1 Platform no. 1 – top view

Obr. 2 Plošina č. 1 – pohled zdola
Fig. 2 Platform no. 1 – bottom view

V případě plošiny číslo 2 (pražské straně) byla situace odlišná. Výrazně strmější svah byl tvořen ve většině zcela až silně zvětralými granodiority a prostor pro vybudování násypu omezenější než v místě plošiny číslo 1. Navíc po dokončení plošiny č.1 nebyl v dané čase k dispozici dostatek betonového recyklátu a násyp proto bylo potřeba vybudovat z dovezených zemin (štěrkodrtí frakcí 0/125, 0/63 a 0/32). Stejně jako u plošiny č. 1 byly v horních úrovních násypu použity geomříže, vhodně agregované s příslušnou frakcí štěrkodrti. Při stabilizaci líce násypu, především kolem jeřábové konstrukce, bylo v tomto případě (při sklonu cca 65º) ve větším rozsahu použito betonových prvků, které byly po demontáži původní mostovky, k dispozici v různých tvarech a rozměrech.

Obr. 3 Plošina č. 2 – v době budování
Fig. 3 Platform no. 2 – during construction works

Obr. 4 Plošina č. 2 – finální stav
Fig. 4 Platform no. 2 – final state

3. Ověření navrženého řešení

Navržené modely násypových těles byly podrobeny výpočtům stability, jejichž výsledky v některých případech iniciovaly četnější aplikaci geomříží, jindy úpravu paty násypu (rozšíření přitěžovací lavice v případě plošiny č.1). Na vrstvách budovaného násypu byly podle KZP prováděny statické zatěžovací zkoušky a na odebraných vzorcích betonového recyklátu byly provedeny laboratorní zkoušky.

4. Závěr

Ve výše uvedeném textu je řešen postup prací při budování pracovních plošin pro demoliční techniku na stavbě dálničního mostu Šmejkalka na dálnici D1. Text popisuje jednotlivá úskalí při průzkumných pracích pro specifické potřeby založení násypů pro velmi těžkou stavební techniku v omezených prostorových podmínkách úzkého údolí.

GEOTECHNICKÉ ASPEKTY ZALOŽENÍ ESTAKÁDY NA SILNICI I/38 V ÚZEMÍ S HISTORICKOU DŮLNÍ ČINNOSTÍ

GEOTECHNICAL CHALLENGES IN THE FOUNDATION DESIGN OF AN I/38 ROAD VIADUCT IN A FORMER MINING AREA

Hippolyte Zoglobossou[1], Barbora Hladíková[2], Jan Kardinál[3]

[1]GeoTec-GS, a. s., Janáčkova 1194/12, 702 00 Ostrava, e-mail: zoglobossou@geotec-gs.cz
[2]GeoTec-GS, a. s., 8, Legionářská 1085, 779 00 Olomouc, e-mail: hladikova@geotec-gs.cz
[3]GeoTec-GS, a. s., 8, Legionářská 1085, 779 00 Olomouc, e-mail: kardinal@geotec-gs.cz

Abstrakt: Příspěvek se zabývá geotechnickým posouzením základových poměrů estakády navrhované v rámci přeložky silnice I/38 mezi Jihlavou a Stonařovem. Vzhledem k očekávanému zatížení konstrukce a složitým geologickým poměrům je uvažováno hlubinné založení mostního objektu. Zájmové území je tvořeno především migmatity a pararulami moldanubika, místy překrytými kvartérními sedimenty malé mocnosti. Vrtný a geofyzikální průzkum prokázal výraznou heterogenitu horninového masivu, tektonické porušení a prostorově proměnlivý stupeň zvětrání. Další komplikaci představují projevy historické hornické činnosti, zejména haldy, pozůstatky důlních děl a možné nezdokumentované šachty. Jejich poloha a rozsah byly zpřesněny kombinací archivní rešerše a geofyzikálního měření. Výsledky průzkumu potvrzují nutnost individuálního posouzení jednotlivých podpěr a podrobného zohlednění místních geologických a geotechnických podmínek při návrhu založení.

Abstract: The paper presents a geotechnical assessment of the foundation conditions for a viaduct proposed as part of the relocation of the I/38 road between Jihlava and Stonařov. Due to the character of the geological environment and the expected construction load, the bridge structure is designed with deep foundations. The area is underlain predominantly by Moldanubian migmatites and gneisses, locally overlain by a thin cover of Quaternary sediments. borehole investigations and geophysical surveys revealed significant heterogeneity of the rock mass, tectonic disruption, and spatial variability in the degree of weathering. A further complication is the presence of historical mining activity, particularly spoil heaps, remnants of mine workings, and potentially undocumented old shafts. Their location and extent were refined through a combination of archival research and geophysical surveying. The investigation results confirm the need for an individual assessment of each viaduct support and for detailed consideration of the local geological and geotechnical conditions in the foundation design.

Klíčová slova:

inženýrskogeologický průzkum, geofyzikální průzkum, silniční estakáda, hlubinné založení, historická důlní činnost, poddolované území

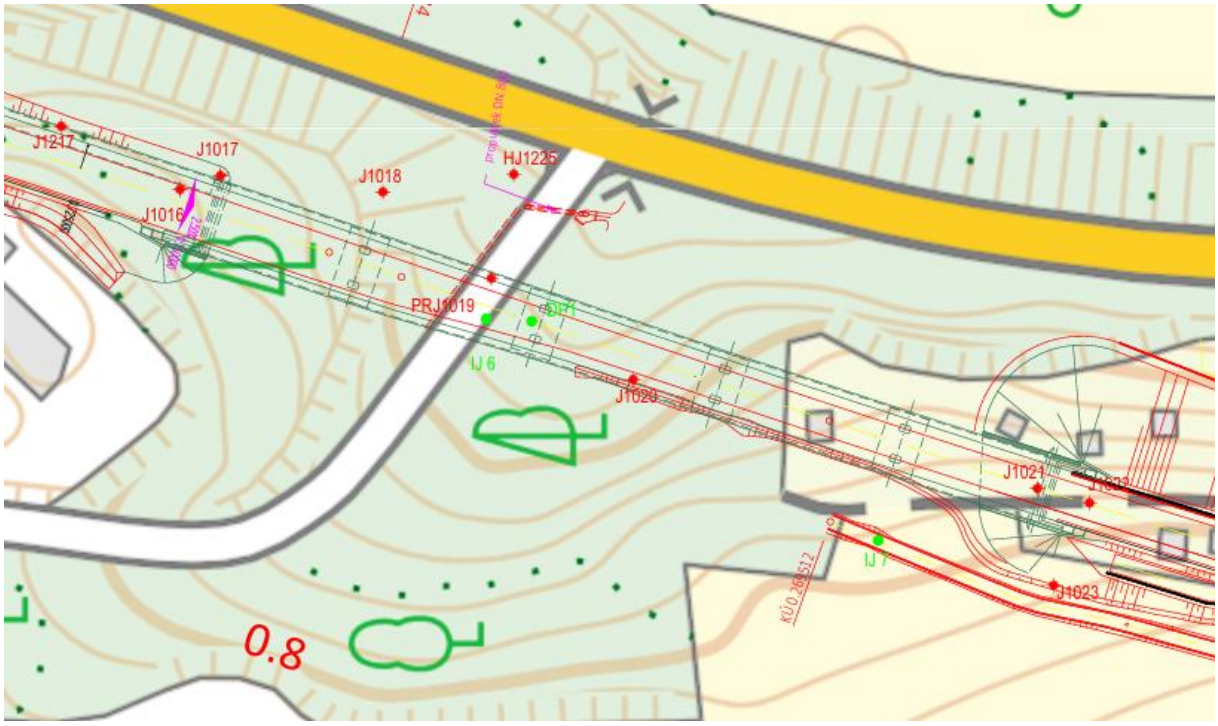
Key words:

geological survey, geophysical survey, road viaduct, deep foundations, historical mining activity, undermined area

1. Úvod

Přeložka silnice I/38 v úseku Jihlava–Stonařov představuje významnou dopravní stavbu v Kraji Vysočina. Jejím cílem je odvést tranzitní dopravu mimo zastavěná území dotčených obcí, zvýšit bezpečnost provozu a zlepšit plynulost dopravy na komunikaci regionálního i nadregionálního významu. Současně má přeložka přispět ke snížení dopravní a emisní zátěže sídel podél stávající trasy silnice I/38.

Mostní objekt SO 202 patří k významným objektům stavby I/38 a je situován v extravilánu obce Rančířov. Objekt se nachází v území s doloženou historickou těžbou stříbrných rud, kde nelze vyloučit výskyt starých důlních děl, zavalených důlních prostor a šachet ani jejich sekundárních projevů na povrchu (Růžička, 2024). Tyto podmínky představují specifické geotechnické riziko zejména z hlediska návrhu založení, dlouhodobé stability spodní stavby a omezení nerovnoměrných deformací. Cílem článku je zasadit výsledky dosavadního geotechnického a geofyzikálního průzkumu do kontextu návrhu založení mostního objektu a upozornit na opatření nezbytná při projektování a realizaci stavby v poddolovaném území.



Obr. 1 Schematická situace projektovaného objektu
Fig. 1 Schematic plan of the projected viaduct

2. Stručná charakteristika stavby a mostního objektu SO 202

Přeložka silnice I/38 je vedena západně od stávající komunikace a postupně obchází obce Rančířov, Čížov, Vílanec, Beranovec, Suchá, Prostředkovice a Stonařov. Mostní objekt SO 202 (viz obr. 1) se nachází v úvodní části trasy přibližně mezi km 0,757-0,950. Objekt zajišťuje přemostění dvou větví mimoúrovňové křižovatky, účelové komunikace a koryta bezejmenného vodního toku.

Nosná konstrukce je navržena jako spojitý nosník o čtyřech polích. V příčném směru se jedná o dvoutrámovou konstrukci z dodatečně předpjatého betonu. Spodní stavbu tvoří železobetonové krajní opěry a mezilehlé pilíře. S ohledem na geologické a geotechnické poměry lokality, požadavky na únosnost a možné deformace horninového masivu je založení všech podpěr navrženo jako hlubinné, na vrtaných pilotách vetknutých do únosnějších poloh předkvartérního skalního podloží.

3. Stručné geologické a důlní poměry zájmového území

Kvartérní pokryv je v prostoru mostního objektu SO 202 vyvinut pouze omezeně. Tvoří jej převážně fluviální až deluviofluviální sedimenty, jejichž mocnost zpravidla nepřesahuje 1,5 m. V některých úsecích kvartérní pokryv zcela chybí a předkvartérní podloží vystupuje bezprostředně pod humózními půdami. Ojediněle jsou přítomny antropogenní navážky o mocnosti až 3,0 m.

Předkvartérní podloží je tvořeno metamorfovanými horninami. V přípovrchové zóně jsou horniny silně až zcela zvětralé tř. R5-R6 a s hloubkou přecházejí do mírně zvětralých až navětralých poloh R4-R3. Z hlediska návrhu založení je proto rozhodující nejen hloubka dosažení únosnějších horninových poloh, ale také stupeň jejich tektonického porušení, zvětrání a případného ovlivnění historickou důlní činností.

Do prostoru plánované trasy zasahuje poddolované území č. 2906, v němž jsou evidovány tři historické těžební šachty. Dvě z nich, Česká jáma a jáma Tří králů, se nacházejí přímo v trase přeložky nebo v její bezprostřední blízkosti. Třetí šachta leží západně od plánované komunikace, avšak stále v území relevantním pro hodnocení geotechnických rizik. U dvou uvedených šachet jsou doloženy projevy částečných propadů, přičemž informace o způsobu jejich likvidace nejsou k dispozici. Důsledky historické těžby jsou v území patrné také na současném povrchu terénu, zejména v podobě lokálních propadů, terénních depresí a pinek (obr. 2). Rudní mineralizace v zájmovém území je převážně vázána na křemenné žilné struktury, které představují hlavní nositele zrudnění. Dominantní složku zrudnění jsou sulfidy, zejména galenit, sfalerit, tetraedrit, chalkopyrit, pyrargyrit apod. (Malý a Vávra, 1998).

Obr. 2 Povrchový projev historické důlní činnosti patrný v terénu
Fig. 2 Surface evidence of historical mining activity

4. Metodika geotechnického a geofyzikálního průzkumu

Za účelem ověření základových poměrů a rizik spojených s historickým poddolováním byl v prostoru mostního objektu SO 202 proveden podrobný geotechnický průzkum. Jeho součástí bylo celkem 11 ks vrtných sond,

které umožnily ověřit litologickou skladbu, mocnost kvartérních sedimentů, charakter zvětralinového pláště a hloubkový průběh poloskalního a skalního podloží.

Vrtný průzkum byl doplněn cíleným geofyzikálním průzkumem zejména v lokalitách potenciálně ovlivněných historickou důlní činností. K identifikaci možných podzemních anomálií byla využita kombinace tří metod: mikrogravimetrie, mělké refrakční seismiky a multielektrodové odporové tomografie. Jednotlivé metody reagují na odlišné fyzikální vlastnosti horninového prostředí, jejich kombinace proto umožňuje zvýšit spolehlivost interpretace. Mikrogravimetrie byla využita zejména k identifikaci oblastí s deficitem hmoty, které mohou souviset s dutinami, starými šachtami, štolami nebo rozvolněnými zónami. Mělká refrakční seismika (MRS) poskytla informace o rychlostním členění horninového prostředí a průběhu rozhraní mezi méně kompaktními a kompaktnějšími polohami. Multielektrodová odporová tomografie umožnila vyhodnotit odporové kontrasty související s litologickou proměnlivostí, zvodněním, porušením horninového masivu nebo antropogenními zásahy.
Interpretace geofyzikálních dat zohledňovala heterogenitu horninového prostředí, proměnlivou mocnost pokryvných útvarů, tektonické porušení i možné litologické změny. Tyto faktory mohou vyvolávat anomálie, které nemusí jednoznačně souviset s přítomností důlních děl. Výsledky geofyzikálního průzkumu je proto nutné, pokud možno, ověřovat přímými průzkumnými metodami.

5. Interpretace výsledků průzkumu a identifikované anomálie

Geofyzikální průzkum identifikoval několik lokalit, v nichž lze na základě zjištěných anomálií předpokládat možný výskyt reliktů starých důlních děl nebo souvisejících poruch horninového prostředí. Přehled vybraných lokalit situovaných v trase silnice I/38 nebo v jejím bezprostředním okolí je uveden v následující tabulce 1.

Tab. 2 Přehled odhadovaných pozic s výskytem důlních děl
Tab. 2 Overview of estimated mine affected locations

Y	X	KATASTRÁLNÍ ÚZEMÍ	PARCELNÍ ČÍSLO
670055,07	1132920,20	Rančířov	340/21
670068,36	1132915,81	Rančířov	340/21
670044.84	1132830.37	Rančířov	340/1
670022.92	1132840.03	Rančířov	340/1
669873,83	1132445,69	Jihlava	5589
669880,03	1132437,85	Jihlava	5589
669949,56	1132587,65	Jihlava	5571
669960,43	1132582,57	Jihlava	5571

Z hlediska návrhu estakády bylo nejvýznamnější zjištění identifikováno v prostoru mezi pilíři P3 a P4. Gravimetrická měření zde prokázala anomálie, které mohou indikovat přítomnost starého důlního díla, například šachty, nebo rozvolněné zóny související s historickou těžbou. Vzhledem k poloze anomálie ve vztahu k podpěrám mostu je tento úsek považován za nejkritičtější část objektu SO 202.

Historické poddolování může v zájmovém území vést ke dvěma základním typům nepříznivých geotechnických jevů. Přímé rozvolňovací procesy mohou způsobit náhlé lokální propady nad starými důlními díly. Nepřímé rozvolňovací procesy se naopak projevují pozvolnými, plošně spojitými deformacemi terénu, často ve formě kruhových až eliptických poklesových depresí. V oblasti rančířovských žil jsou tyto tvary místy patrné, jejich interpretaci však komplikují pozdější terénní úpravy, původní morfologie terénu a relikty historických zemních prací.

Je třeba zdůraznit, že geofyzikální anomálie představují interpretační výstup, nikoli přímý důkaz existence důlního díla. Přesnost jejich lokalizace a interpretace je ovlivněna geologickou stavbou, variabilitou hustoty hornin, stupněm zvětrání, tektonickým porušením i antropogenními zásahy. Výsledky geofyzikálního průzkumu je proto nutné ověřit cílenými doplňujícími vrty, případně dalšími průzkumnými metodami.

6. Dopady zjištění na návrh založení objektu

Zjištěné projevy historického poddolování a potenciální podzemní anomálie mají přímý vliv na návrh založení mostního objektu. Hlubinné založení na vrtaných pilotách představuje v daných podmínkách vhodné řešení, neboť umožňuje přenos zatížení do hlubších a únosnějších poloh horninového masivu. Současně je však nutné zajistit, aby piloty nebyly ukončeny v rozvolněných, dutinových nebo jinak geotechnicky nevhodných zónách.

V prostoru mezi pilíři P3 a P4 je nezbytné provést cílený doplňující inženýrskogeologický průzkum. Ověřovací vrty by měly zpřesnit polohu, hloubkový rozsah a charakter identifikované anomálie a umožnit posouzení, zda souvisí s historickým důlním dílem, rozvolněnou zónou, tektonickou poruchou nebo litologickou změnou. Na základě výsledků průzkumu lze následně upravit délku a uspořádání pilot, případně navrhnout lokální sanační opatření. Při návrhu konstrukce je vhodné zohlednit také možnost omezených deformací podloží. Konstrukční řešení mostu by mělo umožnit bezpečné přenesení účinků případných nerovnoměrných sedání a lokálních deformací. Z tohoto hlediska je důležité zejména vhodné řešení dilatačních konstrukcí a napojení mostu na přilehlé násypy a komunikace.

7. Doporučený postup během výstavby

Během realizace stavby je nezbytné zajistit průběžný geotechnický dohled. Dohled by měl zahrnovat kontrolu výkopů a základových spár, dokumentaci skutečně zastižených geologických poměrů, sledování změn horninového prostředí a vyhodnocení případných anomálií.
Za rozhodující opatření lze považovat zejména:

- průběžnou kontrolu výkopů a základových spár;
- dokumentaci změn litologie, stupně zvětrání a porušení horninového masivu;
- identifikaci reliktů starých důlních děl, dutin, navážek a rozvolněných zón;
- bezodkladné přizvání specialisty při zjištění nestandardních geologických poměrů;
- provedení cílených ověřovacích vrtů v místech identifikovaných geofyzikálních anomálií;
- návrh sanačních opatření v případě potvrzení dutin nebo rozvolněných zón.

V případě potvrzení existence dutin nebo reliktů důlních děl je nutné zvolit sanační postup s ohledem na jejich rozsah, hloubku, stabilitu a vztah k navrženým základovým prvkům. V úvahu přichází zejména výplň dutin vhodnou směsí, injektáž rozvolněných zón, lokální úprava návrhu pilot nebo kombinace těchto opatření.

8. Závěr

Mostní objekt SO 202 na přeložce silnice I/38 v úseku Jihlava-Stonařov je situovaný v území s historickou důlní činností a souvisejícími riziky. Přítomnost evidovaného poddolovaného území, historických šachet a geofyzikálně identifikovaných anomálií vyžaduje zvýšenou pozornost při návrhu založení i při realizaci stavby. Kombinace vrtného a geofyzikálního průzkumu umožnila identifikovat potenciálně rizikové lokality a vymezit jako nejkritičtější prostor mezi pilíři P3 a P4. Zjištěné anomálie však musí být dále ověřeny přímými průzkumnými metodami. Teprve na základě výsledků doplňujících vrtů bude možné spolehlivě posoudit jejich charakter a navrhnout konečná geotechnická a případná sanační opatření.
Pro bezpečnou realizaci a dlouhodobou spolehlivost mostního objektu je zásadní koordinace projektového návrhu, doplňujícího průzkumu, geotechnického dohledu a operativního rozhodování během výstavby. Tento přístup umožňuje minimalizovat riziko nerovnoměrných deformací, lokálních propadů a dalších nepříznivých projevů historického poddolování.

Seznam literatury

Bouška M., 2018: *Jihlava - Stonařov, silnice I/38 - předběžný geotechnický průzkum*. – GeoTec-GS, a. s.
Dušek L., 2021: *I/38 Jihlava - Stonařov, DÚR, IČ, mostní objekt SO 202*. – PRAGOPROJEKT, a. s.
Malý K., Vávra V., 1998: *Ryzí stříbro z jihlavského rudního revíru*. –Acta mus. Moraviae, Sci. Geol., str. 49-52
Nikl P., Alemán M., Gürtler R., Chalupník T., 2025: *Jihlava - Stonařov, I/38, podrobný GTP a HGM, geofyzikální průzkum*. – GEONIKA, s.r.o.
Růžička J., 2024: *I/38 Jihlava – Stonařov, baňský posudek*

PRŮZKUM NESTABILNÍHO ŽELEZNIČNÍHO NÁSPU TRATI MOSTY U JABLUNKOVA – ST. HRANICE SR, V KM 286,623 – 287,276

INVESTIGATION OF THE UNSTABLE RAILWAY EMBANKMENT ON THE LINE MOSTY U JABLUNKOVA – SLOVAK STATE BORDER, AT KM 286.623 – 287.276

Ing. Daniela Lampová[1], Ing. Ondřej Lubojacký[2]

[1]*GeoTec-GS, a.s., Janáčkova 1194/12, 702 00 Ostrava, lampova@geotec-gs.cz*
[2]*GeoTec-GS, a.s., Janáčkova 1194/12, 702 00 Ostrava, lubojacky@geotec-gs.cz*

Abstrakt: Příspěvek prezentuje výsledky podrobného inženýrskogeologického průzkumu realizovaného v úseku železniční trati Mosty u Jablunkova – státní hranice SR (km 286,623–287,276), kde dochází k dlouhodobým deformacím železničního spodku. Cílem průzkumu bylo objasnit geologickou stavbu náspu a jeho podloží, identifikovat příčiny nestability a navrhnout vhodná sanační opatření. Na základě komplexního vyhodnocení byla stabilita železničního spodku hodnocena jako negativně ovlivněna kombinací nepříznivých geologických a hydrogeologických podmínek, zejména přítomností vodou nasycených jemnozrnných zemin v podloží a absencí účinné drenážní vrstvy. Jako vhodné sanační řešení bylo navrženo zlepšení základových poměrů pomocí efektivního odvodnění území v kombinaci s dalšími technickými opatřeními.

Abstract: The paper presents the results of a detailed engineering geological survey carried out in the section of the railway line Mosty u Jablunkova – Slovakia state border (km 286,623-287,276), where long-term deformations of the railway substructure occur. The objective of the survey was to clarify the geological structure of the embankment and its bedrock, identify the causes of instability and propose appropriate remedial measures. Based on a comprehensive evaluation, the stability of the railway substructure was assessed as negatively affected by a combination of adverse geological and hydrogeological conditions, particularly the presence of water-saturated fine-grained soils in the subsoil and the absence of an effective drainage layer. The proposed remediation solution involves improving the foundation conditions through effective drainage of the area, combined with other technical measures.

Klíčová slova: deformace, nestability, proudění, odvodnění, tektonická porucha

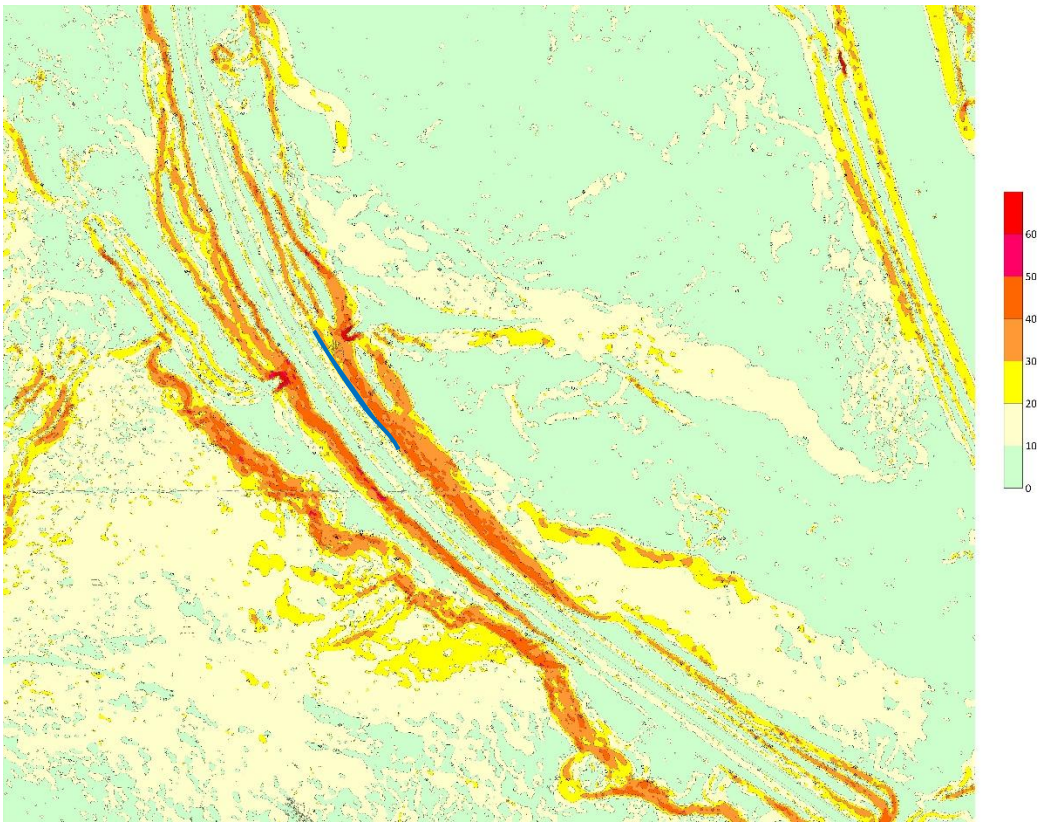
Key words: deformation, instability, water flow, drainage, tectonic fault

1. Úvod

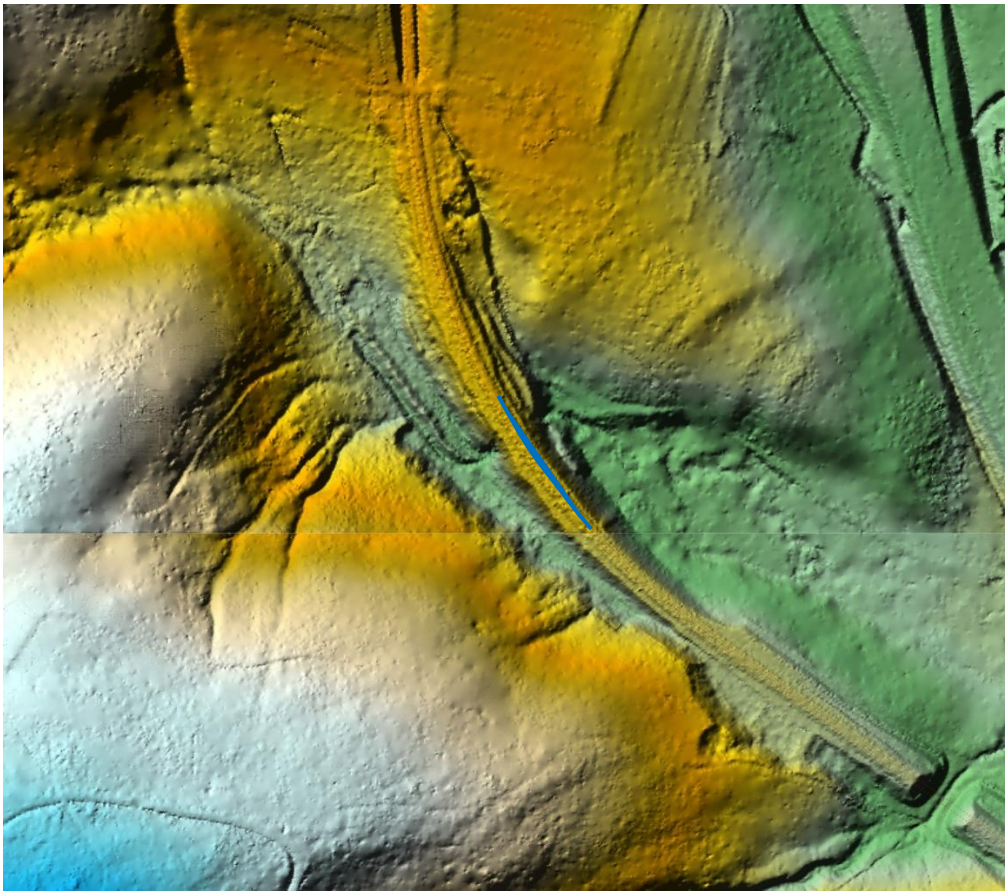
Příspěvek prezentuje výsledky podrobného inženýrskogeologického průzkumu realizovaného v úseku železniční trati Mosty u Jablunkova – státní hranice SR (km 286,623–287,276), kde dochází k dlouhodobým deformacím železničního spodku. V řešeném úseku byla pozorována zejména nerovnoměrná sedání a směrové posuny koleje, které dosahují v posledních letech významných hodnot. Cílem průzkumu bylo objasnit geologickou stavbu náspu a jeho podloží, identifikovat příčiny nestability a navrhnout vhodná sanační opatření.

2. Inženýrskogeologický průzkum

Průzkumné práce zahrnovaly realizaci jádrových vrtů, dynamických penetračních zkoušek, presiometrických měření, laboratorních analýz a geofyzikálního průzkumu metodou multielektrodové odporové tomografie. Výsledky potvrdily značnou nehomogenitu železničního náspu, tvořeného střídáním propustných a nepropustných vrstev, převážně jílovito-štěrkovitého charakteru, s lokálním výskytem zavěšené zvodně. Podloží náspu je v části úseku tvořeno měkkými až tuhými deluvuio-fluviálními a deluviálními jílovitými zeminami se sníženou smykovou pevností, které jsou často nasycené vodou.
Hydrogeologické poměry hrají klíčovou roli ve vzniku deformací. Byla prokázána přítomnost několika úrovní podzemní vody, včetně zvodně v kvartérních sedimentech a v pásmu rozvolnění flyšových hornin, přičemž významný vliv má také infiltrace srážkových vod a jejich akumulace v tělese náspu.
Geofyzikální měření dále indikovala zóny zvýšené vlhkosti a možné proudění vody podél původního terénu, což se přímo promítá do snížení mechanických vlastností zemin.
Obrázky níže znázorňují sklonitost železničního náspu v předmětném úseku ve 2d (obr. 1) a 3D (obr. 2) zobrazení.



Obr. 1 Sklonitosti svahu náspu s vyznačením předmětného úseku
Fig. 1 Embankment slope gradients, with the section in question marked



Obr. 2 Povrch terénu ve 3D zobrazení
Fig. 2 Terrain surface in 3D view

3. Závěr

Na základě komplexního vyhodnocení je stabilita železničního spodku hodnocena jako negativně ovlivněná kombinací nepříznivých geologických a hydrogeologických podmínek, zejména přítomností vodou nasycených jemnozrnných zemin v podloží a absencí účinné drenážní vrstvy. Zásadní vliv na saturaci horninového prostředí má přetok podzemních vod z tektonické poruchy směru ZJZ-VSV, jež protíná zájmové území.
Jako hlavní mechanismus deformací byl identifikován pohyb tělesa náspu po oslabených a vodou saturovaných zeminách podloží. Jako vhodné sanační řešení je navrženo zlepšení základových poměrů pomocí efektivního odvodnění území v kombinaci s dalšími technickými opatřeními.

Seznam literatury

Horák L., 2004: *Optimalizace traťového úseku st. hr. ČR/SR – Mosty u Jablunkova – Bystřice nad Olší*, závěrečná zpráva o geotechnickém a stavebnětechnickém průzkumu. GeoTec-GS, a.s. Praha.
Lampová D., 2025: *Mosty u Jablunkova – Návsí – Bystřice, nestability, IGP,* závěrečná zpráva inženýrskogeologického průzkumu – GeoTec-GS, a.s. Ostrava.

GEOTECHNICKÝ PRŮZKUM SILNICE I/23 PO HRÁZI VODNATÉHO RYBNÍKA

GEOTECHNICAL SURVEY OF ROAD I/23 ALONG THE DAM OF THE VODNATÝ POND

Jakub Ondráček

SG Geotechnika a.s., Mlýnská 425/70, 602 00 Brno, e-mail: jakub.ondracek@geotechnika.cz

Abstrakt: V období října roku 2025 byl proveden předběžný geotechnický průzkum pro rekonstrukci a rozšíření silnice I/23 na hrázi Vodnatého rybníka mezi obcemi Olšany a Ořechov. Cílem předběžného průzkumu bylo zjištění inženýrskogeologických, hydrogeologických a geotechnických poměrů zemin v oblasti aktivní zóny a tělesa násypu hráze stávající komunikace včetně stanovení případné sanace při rozšíření hráze. Ve dvou profilech tělesa hráze byl proveden výpočet stability stávajícího násypu i při rozšíření hráze. Geofyzikální průzkum hráze metodou ERT a MRS. V rámci hydrogeologických prací byl zkoumán kal ze dna Vodnatého rybníka podél stávajícího tělesa hráze pro stanovení kontaminace. V rámci vrtných prací byla změřena hladina podzemní vody, podzemní a rybničné vody byly hodnoceny na agresivní chemické působení na betonové a ocelové konstrukce. Závěrem došlo ke zhodnocení problémových míst zájmového území s ohledem na plánovanou stavbu, přičemž zjištěné poznatky budou sloužit jako podklady pro projekční stupeň TES.

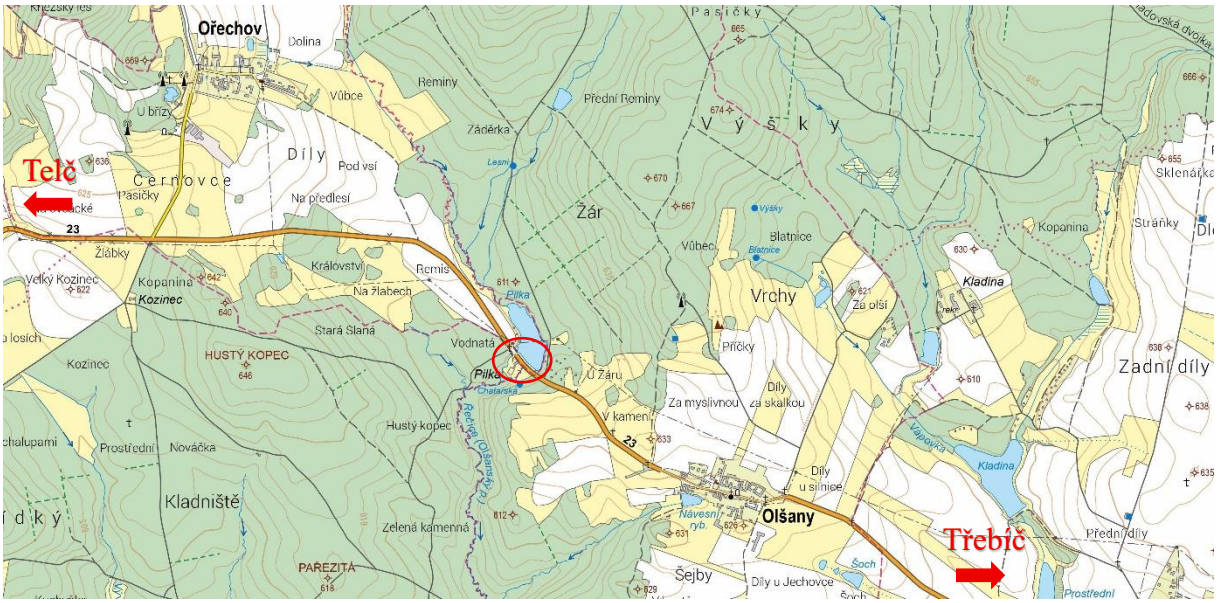
Abstract: In October 2025, a preliminary geotechnical survey was conducted for the reconstruction and widening of State Road I/23 on the Vodnatý Pond dam between the villages of Olšany and Ořechov. The objective of the preliminary survey was to determine the engineering-geological, hydrogeological, and geotechnical conditions of the soil in the active zone and the embankment body of the existing road, including the assessment of any necessary remediation during the dam's expansion. Stability calculations for the existing embankment, both in its current state and following dam widening, were performed at two cross-sections of the dam body. Geophysical surveys of the dam were conducted using the ERT and MRS methods. Sediment from the bottom of Vodnatý Pond along the existing dam body was examined to determine contamination levels. As part of the drilling work, the groundwater level was measured, and the groundwater and pond water were evaluated for aggressive chemical effects on concrete and steel structures. In conclusion, problem areas within the study area were assessed with regard to the planned construction, and the findings will serve as the basis for the TES design phase.

Klíčová slova: geotechnický průzkum, stabilita svahu, kontaminace, hráz rybníka

Key words: geotechnical prospecting, slope stability, contamination, dam of pond

1. Úvod

Na podzim roku 2025 prováděla firma SG geotechnika a.s. předběžný geotechnický průzkum silnice I/23, která protíná hráz Vodnatého rybníka (též Pilka) mezi obcemi Olšany a Ořechov v kraji Vysočina (obr. 1). Cílem prací bylo zjištění inženýrsko-geologických, hydrogeologických a geotechnických poměrů a zhodnocení problémových míst zájmového území s ohledem na plánovanou stavbu. V rámci průzkumných prací bylo zhotoveno celkem 6 průzkumných vrtů, dále byl proveden geofyzikální průzkum, výpočet stability svahu, zjišťována kontaminace sedimentu z rybníka a chemické působení vod na betonové a ocelové konstrukce. Výsledky průzkumu budou sloužit jako podklady pro projekční stupeň TES. S cílem definovat nutné kroky k převedení silnice I/23 po hrázi Vodnatého rybníka v šířkové kategorii S7,5.



Obr. 1 Přehledná situace území
Fig. 1 Overview of the Area

2. Geologické poměry

Z regionálně geologického hlediska náleží zájmové území do Českého masivu budovaného horninami svrchního proterozoika a spodního paleozoika spadající do moldanubické oblasti. Předkvartérní podloží je tvořeno migmatity a silimaniticko-biotitickými pararulami svrchního proterozoika více či méně migmatitizovanými. Tyto pararuly se vyznačují v čerstvém stavu svojí pevností a obtížnou rozpojitelností, ale na vzduchu mohou velmi rychle zvětrávat. Zóna zvětrání dosahuje někdy do značné hloubky a mění se na krátké vzdálenosti. Směrem k povrchu přechází zvětralé pararuly do eluvií, které mají již charakter písčité až hlinité zeminy se zachovalou strukturou horniny, jejich hranice je postupná a těžko ji přesně stanovit. Migmatit je hornina složená ze dvou složek granitové (světlá složka) a rulové (tmavá složka), nejčastěji má podobu páskované ruly, kde se tyto složky střídají v polohách po mm až několika cm. Vyskytují se při okraji granitových intruzí, kde již začíná částečné natavení horniny. V širším okolí lze najít menší tělesa drobnozrnných až střednězrnných granitů, které jsou součástí moldanubického plutonu. Jde o magmatické horniny, které intrudovaly do proterozoických hornin během spodního paleozoika.
Kvartérní pokryvné útvary jsou tvořeny písčitými, jílovitými i hlinitými až štěrkovitými fluviálními sedimenty Olšanského potoka

3. Hydrogeologické poměry

Studovaná lokalita náleží do hydrogeologického rajonu 6540 Krystalinikum v povodí Dyje – západní část. Metamorfity moldanubika, které vytvářejí hydrogeologický masiv, mají intenzivní oběh podzemní vody v přípovrchové zóně rozvolnění a rozpukání hornin zahrnující zvětralinový plášť. Tato zóna dosahuje zpravidla do hloubek prvních desítek metrů. Hladina podzemní vody v krystaliniku bývá volná a probíhá víceméně konformně s povrchem terénu. Krystalinické horniny jsou charakteristické puklinovou pórovitostí, která je pouze v pásmu zvětralin kombinovaná s pórovitostí průlinovou. S hloubkou klesá propustnost horninového prostředí. Obecně závisí zvodnění přípovrchové zóny na charakteru zvětralin a jejich tloušťce, morfologii a množství srážek. Zvodnění hlubší rozpukané zóny závisí především na intenzitě rozpukání a rozevření puklin a charakteru jejich výplně.

4. Průzkumné práce

Ověření inženýrskogeologických a hydrogeologických poměrů zájmového území bylo provedeno s využitím přímých metod, tedy průzkumných vrtů. Počet vrtů a sond a jejich rozmístění bylo navrženo tak, aby bylo možné jejich prostřednictvím získat znalosti o inženýrskogeologických poměrech v zájmové oblasti. V rámci předběžného průzkumu byl v místě stavby proveden také geofyzikální průzkum. Rovněž byl odebrán vzorek typické horniny z odvrtaných sond pro petrografické rozbory, kal z rybníka pro stanovení kontaminace, podzemní a rybničné vody pro chemické působení na betonové a ocelové konstrukce.

4.1 Jádrové vrty

V rámci vrtných prací bylo provedeno v zájmovém území 6 ks průzkumných jádrových vrtů o celkové metráži 57 bm. Čtyři vrty byly umístěny podél návodní strany hráze přímo v silnici I/23, zbylé dva vrty byly situovány pod hrázi rybníka. Průzkumné vrty byly hloubeny soupravami na kolových podvozcích. Hloubení vrtů bylo provedeno technologií nárazovo-točivého vrtání jednoduchou jádrovou TK korunkou o průměru 195, 175 a 156 mm. Pažení ve vrtech bylo prováděno ocelovou pažnicí o průměrech 178 mm.

4.2 Geofyzikální měření

Cílem geofyzikálního průzkumu bylo zpřesnit informace o geologické stavbě dané lokality a identifikovat výrazné tektonické linie či jiné geologické anomálie. Měření bylo provedeno podle požadavků zadávací dokumentace, a to ve třech profilech. Měření proběhlo metodami MRS (mělká refrakční seismika) a ERT (multielektrodová metoda). Profil GF3 byl vedený po návodní straně (podél) hráze rybníka metodami MRS P-vln (celková délka 295 m) a MER/ERT (celkem 375 m). Metodou MRS P-vln byly poté proměřeny i příčné profily GF1 a GF2 (každý profil po 73,5 m). Hloubkový dosah těchto GF metod je cca do 40 m pod terén.

4.3 Geotechnické výpočty

Stabilitní řešení bylo provedeno ve dvou profilech (obr. 2). Stabilita svahu hráze rybníka byla hodnocena dle ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“ a dle ČSN 73 6133 „Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací“. Při posouzení dle ČSN 75 2410 je pro plnou a částečně naplněnou nádrž požadován stupeň stability Fs,min ≥ 1,5. V případě, že smykové plochy nezasahují do podloží a prochází pouze kamenitou sypaninou je možné stupeň bezpečnosti snížit Fs,min ≥ 1,2. Při posouzení dle ČSN 73 6133 je pro násyp z hrubozrnných zemin požadován Fs,min ≥ 1,2 při použití efektivních vrcholových parametrů ve výpočtu. K posouzení stability bylo použito modulu Slope/W a to Morgenstern-Priceovy proužkové metody mezní rovnováhy sil (MMRS), která zohledňuje normálové i smykové meziproužkové síly a výsledný stupeň stability vychází ze silové i momentové rovnováhy. Modelovány byly kruhové smykové plochy s užitím optimalizace tvaru smykové plochy. Výpočet byl proveden v efektivních vrcholových parametrech smykové pevnosti.

První profil vedený vrty JV3 a JV5 splňuje normové požadavky na dlouhodobou stabilitu. Výška svahů hráze se pohybuje okolo 4 m při sklonu horní části 1:1,5. Na vzdušní straně hráze je stabilita se stávající hladinou vody v rybníce rovna hodnotě FS = 2,003 stejně jako s maximální hladinou. U návodního svahu je stabilita se stávající hladinou vody v rybníce FS = 1,727, s maximální hladinou je to FS = 1,728.

Druhý profil vedený vrty JV2 a JV6 JV5 splňuje též normové požadavky na dlouhodobou stabilitu. Výška svahů hráze se pohybuje okolo 5 m při sklonu 1:1,5. Na vzdušní straně hráze je stabilita se stávající hladinou vody v rybníce rovna hodnotě FS = 1,562, s maximální hladinou je to FS = 1,517. U návodního svahu je stabilita se stávající hladinou vody v rybníce FS = 1,756, s maximální hladinou je to FS = 1,819.

Výpočty byly provedeny v efektivních vrcholových parametrech, na koruně hráze bylo aplikováno dopravní zatížení hodnotou 15 kPa. Na základě provedených výpočtů lze uvést, že všechny posuzované stavy u obou profilů vyhoví kritériím daným normami.

4.4 Laboratorní rozbory a zkoušky

V průběhu vrtných prací se odebíraly z vrtů vzorky zemin a hornin. Celkem bylo odebráno 5 ks vzorků podzemních vod, 2 ks vzorků vod z rybníka a 27 ks vzorků zemin a hornin. Z toho bylo provedeno 15 zkoušek pro klasifikační rozbory, 5 zkoušek pro stanovení pevnosti v prostém tlaku, 4 zkoušky v krabicovém smykacím přístroji pro stanovení vrcholové smykové pevnosti, 4 zkoušky pro stanovení stlačitelnosti v edometru. Dále byl proveden petrografický rozbor na jednom vzorku horniny a 2 zkoušky na stanovení kalifornského poměru únosnosti (IBI, CBR).

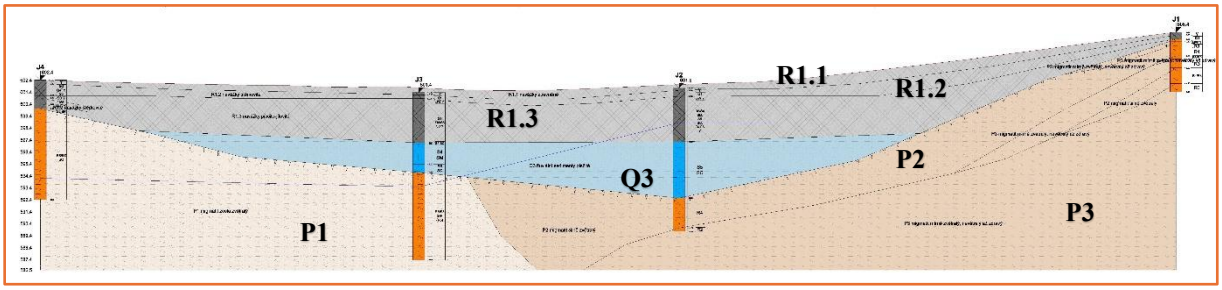
Petrograficky byly horniny popsány jako kataklasticky deformované středně zrnité až hrubozrnné biotit–cordieritické granity, v rámci geologické dokumentace byly horniny souhrnně označeny jako migmatity, což odpovídá i regionální geologické mapě.

Odebrané vody byly hodnoceny na agresivní chemické působení na betonové a ocelové konstrukce dle ČSN EN 206 + A2 a ČSN 03 8375. Odebrané vzorky vod z rybníka spadají do slabě agresivního chemického prostředí na beton a z hlediska agresivity na ocel do stupně IV (velmi vysoká agresivita vody). Odebrané podzemní vody spadají do slabě až středně agresivního chemického prostředí na beton a z hlediska agresivity na ocel do stupně IV (velmi vysoká agresivita vody).

V rámci průzkumu byly odebrány 2 ks kalu ze dna Vodnatého rybníka podél stávajícího tělesa hráze pro stanovení kontaminace pro posouzení možnosti uložení na skládku v rozsahu dle vyhlášky č. 273/2021 Sb. a metodického pokynu ŘSD věci řešení způsobu nakládání s odpady v rámci investiční přípravy staveb (09/2021). Lze konstatovat, že v rámci prací předběžného GTP nebyly zjištěny žádné výrazně kontaminované polohy.

5. Zastižené geologické poměry

Zeminy a skalní horniny, které se vyskytují v trase, byly rozčleněny do 9 geotechnických typů, které zahrnují materiály obdobné geneze a s přibližně stejnými geotechnickými charakteristikami, v zásadě se opírají o statigrafické a genetické hledisko. Z hlediska účelu průzkumu byly zeminy a horniny, zastižené průzkumnými sondami, rozděleny podle stratigrafie: R – navážky, Q – kvartérní zeminy, P – metamorfované horniny proterozoika (migmatity, ruly). V rámci každé skupiny bylo provedeno rozdělení podle jejich vlastností s přihlédnutím na genezi, zrnitostní složení, u hornin podle stáří a geneze a podle stupně zvětrání. Zastižené geotypy jsou zobrazeny v podélném geologickém řezu (obr. 2).



Obr. 2 Podélný geologický řez hrázi v měřítku 1:200/100
Fig. 2 Geological longitudinal section of the dam, scale 1:200/100

Navážky R1.1 a R1.2 jsou tvořeny asfaltovými štěrkovými konstrukčními vrstvy silnice I/23. Navážky R1.3 tvoří samotné těleso hráze rybníka, které je tvořeno eluvií podložních hornin charakteru hlinitých až jílovitých písků až písčitých jílů se štěrkem (R6/S5 SC, S4 SM, F4 CS; S2 SP; R6-R5). Pod hrází jsou uloženy zvodnělé fluviální sedimenty charakteru jílovitých až hlinitých písků (Q3 zeminy S4 SM a S5 SC). Podloží západní části hráze je tvořeno zcela zvětralým migmatitem (P1) charakteru jílovitých písků až štěrků, písku s příměsí jemnozrnné zeminy, písčitých jílů až písčitých hlín; podružně až horniny s velmi nízkou pevností (R6/S5 SC, S4 SM, F4 CS; S2 SP; R6-R5). podloží východní části hráze je budováno silně zvětralými migmatity (P2, horniny pevnosti R4) a mírně zvětralými až navětralými migmatity pevnosti R3 až R2 (P3).

6. Závěr

Na základě provedeného předběžného geotechnického průzkumu lze konstatovat, že geologické, hydrogeologické a geotechnické poměry v prostoru hráze Vodnatého rybníka byly dostatečně ověřeny pro potřeby další projektové přípravy. Průzkum potvrdil geologickou stavbu území tvořenou především migmatity a jejich zvětralinami, překrytými kvartérními sedimenty a navážkami tvořícími vlastní těleso hráze. Stabilitní výpočty realizované ve dvou reprezentativních profilech prokázaly, že stávající těleso hráze vyhovuje požadavkům příslušných norem na dlouhodobou stabilitu, a to jak při současném, tak i maximálním uvažovaném zatížení hladinou vody. Zjištěné hodnoty stupně stability potvrzují dostatečnou bezpečnost konstrukce i při uvažovaném dopravním zatížení. Laboratorní rozbory a geotechnické zkoušky charakterizovaly vlastnosti zemin i hornin a umožnily jejich zařazení do geotechnických typů. Chemické rozbory vod prokázaly slabě až středně agresivní prostředí vůči betonu a vysokou agresivitu vůči oceli, což je nutné zohlednit při návrhu konstrukčních prvků. Současně nebyla zjištěna významná kontaminace sedimentů ze dna rybníka, což příznivě ovlivňuje možnosti nakládání s materiálem při realizaci stavby. Geofyzikální měření doplnila informace o geologické stavbě a pomohla identifikovat případné anomálie v podloží. Vrtné práce spolu s hydrogeologickým hodnocením poskytly přehled o režimu podzemní vody, který je typický pro puklinové prostředí krystalinika.

Seznam literatury

ČSN 73 6133 (736133), 2010: *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*. – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha.

ČSN EN 206+A2 (732403), 2021. *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.* – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha.

ČSN 03 8375 (038375), 1987. *Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi*. – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha.

MÍSAŘ, Z., 1983: *Geologie ČSSR I. Český masív*. – Státní pedagogické nakladatelství. Praha.

ČSN 75 2410 (752410), 2011: *Malé vodní nádrže*. – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha.

EUROKÓD 7 JAKO RÁMEC DOBRÉ PRAXE PRO NÁVRH A REALIZACI PRŮZKUMNÝCH PRACÍ

EUROCODE 7 AS A FRAMEWORK FOR GOOD PRACTICE IN THE DESIGN AND EXECUTION OF SITE INVESTIGATIONS

Ivan Poul

[1]*Projekce iGEO s.r.o., nám. 28. října 1899/11, 602 00 Brno, e-mail: ivan.poul@igeo.cz*

Abstrakt: Článek popisuje možnou spolupráci mezi profesemi (geotechnika, inženýrské geologie) pomocí společně užívané normy ČSN EN 1997-2. Text je zaměřen na diskusi a popis přírodního prostředí, mechanické testování v terénu a v laboratoři a vyhodnocení dat tak, aby byly plně využitelné pro projektování staveb.

Abstract: The article describes possible cooperation between the professions of geotechnical engineering and engineering geology through the jointly used standard EN 1997-2. The text focuses on the discussion and description of the natural environment, mechanical testing in the field and laboratory, and the evaluation of data to ensure their full applicability for geotechnical/structural design.

Klíčová slova: Eurokód 7, geotechnika, mechanika zemin, terénní testování, zakládání, spolupráce

Key words: Eurocode 7, geotechnical engineering, soil mechanics, field testing, foundation design, cooperation

1. Úvod

Česká inženýrská geologie vyrůstá z tradice, v níž se poznání geologického prostředí přirozeně prolínalo s technickými otázkami hornictví a těžby, výstavby a původně se tato věda jmenovala stavební geologie. To umožňovalo uvažovat o stavbě a horninovém prostředí jako o jednom propojeném problému. V současné praxi však už není možné spoléhat pouze na neformálně sdílené porozumění mezi geologem a projektantem. Je nutné pojmenovat rozhraní mezi inženýrskou geologií a geotechnikou, zejména kvůli vymezení odborné odpovědnosti, zadávání veřejných zakázek a očekávání objednatelů vůči výstupům průzkumných prací.

Je přitom nutné zabránit tomu, aby se s přesnějším vymezením odpovědnosti ztratila návaznost a komunikace mezi oběma obory. Smyslem není oddělit inženýrskou geologii od geotechniky, ale lépe popsat, jak se poznání horninového prostředí převádí do technicky použitelných podkladů pro návrh stavby. Právě zde mohou být Eurokód 7 (ČSN EN 1997-2, díle jen EC7-2) a současné technické standardy užitečné: poskytují rámec pro zadávání, provádění a vyhodnocování průzkumných prací ve vztahu k účelu stavby.

Nynější inženýrská geologie vznikla transformací z „buržoazní“ stavební geologie v 50. letech. Stejně jako dříve čerpá z poznatků základního geologického výzkumu, ale sama o sobě není čistou vědou v akademickém smyslu. Je to aplikovaná disciplína, jejímž základním úkolem není poznávat horninové prostředí samo o sobě, ale posoudit jeho význam pro konkrétní lidskou činnost – nejčastěji pro stavbu. To nevylučuje vědeckou hodnotu inženýrskogeologických poznatků; výsledky průzkumných prací mohou zpětně doplňovat geologické poznání. Základní směr je však jiný: od poznání prostředí k rozhodnutí, jak s tímto prostředím bezpečně a hospodárně pracovat.

Právě proto je u inženýrskogeologického průzkumu rozhodující účel. Průzkum není výzkum. Výzkum se může ptát široce: jaké je horninové prostředí a jak vzniklo? Průzkum se musí ptát cíleněji: co z tohoto prostředí je podstatné pro konkrétní stavbu, jaká nejistota může ovlivnit návrh a jakými metodami ji lze snížit. Bez této vazby na účel stavby se průzkum může změnit v popis prostředí bez jasné technické použitelnosti.

Tento příspěvek je ohlédnutím za dosavadní praxí a jejím kritickým zhodnocením. Soustředí se především na to, jak průzkum zadáváme, jak volíme metody a zda jeho výstupy skutečně odpovídají účelu, pro který jsou pořizovány. Druhá generace Eurokódů má v českém prostředí začít tvořit účinný normový rámec od října 2027; Eurokód 7 (2gen) rozdělený na 3 díly se v této generaci průzkumnými pracemi zabývá podrobněji a může přispět k přesnějšímu pojmenování některých zde probíraných otázek. Podstatná část problému je však přítomná už v současné praxi.

2. Zjednodušení přirozené variability horninového prostředí pro návrh

Geotechnický nebo statický návrh nemůže pracovat s horninovým prostředím v celé jeho přirozené složitosti. Základová půda, horninový masiv, navážka ani násyp nejsou výrobky s garantovanými vlastnostmi. Stavební inženýři jsou zvyklí pracovat s materiály, jejichž vlastnosti jsou ověřené a do značné míry předvídatelné (například s betonem, ocelí nebo kamenivem určité frakce). Zeminy a horniny jsou jiné. Jejich vlastnosti jsou výsledkem vzniku a následného vývoje: sedimentace, diageneze, zvětrání, tektonického porušení, svahových procesů, ledovcových vlivů, antropogenních zásahů nebo dlouhodobých změn vodního režimu.

Právě proto nestačí základovou půdu pouze popsat. Pro návrh stavby je nutné rozlišit, které části přirozené variability horninového prostředí jsou pro daný záměr rozhodující a které lze přiměřeně zjednodušit. Jiný typ informace je potřebný pro mělké založení jednoduchého objektu, jiný pro pilotové založení, hlubokou stavební jámu, násyp na měkkých sedimentech nebo stavbu ve svahu. Každé z těchto zadání klade jiné otázky, například kde jsou rozhodující rozhraní, jaké jsou přetvárné a pevnostní vlastnosti prostředí, jak se může změnit napjatostní stav, vodní režim nebo stabilita území.

V tomto spočívá klíčová role inženýrského geologa: z geologické stavby území, proběhnuvšího geologického vývoje vybrat to, co je pro plánovanou konstrukci rozhodující. Musí umět říct, kde je prostředí dostatečně známé, kde je nejistota pro návrh ještě přijatelná a kde je naopak nutné ji cíleně snížit vhodnou metodou, jiným typem sondy, polní zkouškou, laboratorním programem nebo monitoringem. Potkává se zde přírodovědné a technické myšlení.

V českém prostředí je tato otázka o to naléhavější, že máme velmi dobré výchozí podklady: kvalitní geologické mapy (jedny z nejlepších na světě), hustou síť archivních průzkumných vrtů a relativně snadný přístup k archivním údajům. Nový průzkum by proto neměl sloužit jen k potvrzení očekávané stratigrafie. Už při jeho plánování by měla existovat pracovní představa o geologickém modelu, předběžná úvaha o způsobu založení nebo jiném zásahu do horninového prostředí a jasně formulované otázky, které má průzkum zodpovědět. Pokud tyto otázky chybí už na začátku, průzkum se snadno zredukuje na mechanicky sestavený soubor položek soutěžený jen optikou nejnižší ceny. Poté je výsledkem zpráva, která je po formální stránce bezchybná, ale pro návrh stavby neposkytuje odpovědi.

3. Kombinace metod podle účelu průzkumu a vlastností prostředí

Skladba průzkumných metod se odvíjí od dvou základních otázek: jaké informace jsou potřebné pro navazující projektování stavby a jaké metody jsou v daném horninovém prostředí skutečně použitelné. Projektanta je proto nutné se ptát, jakým způsobem bude konstrukci navrhovat a jaké podklady k tomu potřebuje (jaký geotechnický model je třeba vytvořit). Současně je třeba vycházet z geologické stavby lokality, protože ne každá metoda poskytuje ve všech typech zemin a hornin spolehlivý výsledek.

Neexistuje univerzální metoda ani univerzální rozsah průzkumných prací použitelný pro každý záměr. Vrt, CPT, DPH, vrtulková zkouška, geofyzika nebo laboratorní zkouška mají smysl tehdy, pokud dokážou dodat požadovaný typ informace, například o stratigrafii, ulehlosti, konzistenci, pevnosti, stlačitelnosti, propustnosti nebo režimu podzemní vody, a současně jsou v daném prostředí proveditelné tak, aby získaná data nebyla zásadně zkreslená. Metoda, která je pro určitý typ úlohy a prostředí vhodná, může být v jiných podmínkách málo vypovídající nebo prakticky nepoužitelná.

Význam vhodné volby metod je dobře patrný na jednoduchých praktických příkladech. Z nesoudržného štěrku nelze běžně odebrat neporušený vzorek. Pevné jíly mohou komplikovat provedení dynamické penetrace ulpíváním zeminy na soutyčí a zkreslením naměřeného odporu. CPT nemusí překonat ulehlý hrubozrnný štěrk a snadno se zastaví o navětralou skálu. Vrtná technologie vhodná pro zeminy není vhodná pro skalní horninu, neboť nezíská použitelné vzroky ale drť. Tyto příklady nejsou provozní detaily, ale připomínka, že návrh průzkumu je odborná činnost. Dobrý průzkumný program nevzniká poskládáním obvyklých a dostupných položek, ale výběrem metod, které ve vzájemné kombinaci odpovídají geologickému modelu, typu konstrukce, návrhové metodě a otázkám, na které má průzkum odpovědět (viz tab. 2.1 EC7-2).

Další otázkou je hloubka sond. Nemá se odvíjet od toho, co je obvyklé nebo technicky nejjednodušší, ale od očekávané změny napětí v podloží, tvaru konstrukce, způsobu založení a vlastností základové půdy. Stejně tak se volba metod nemá řídit tím, co je snadno dostupné nebo ekonomicky výhodné, ale tím, jaké nejistoty je třeba pro

daný návrh snížit (hloubky sond viz EC7-2 příloha B). Náklady jsou součástí zadání, neměly by však nahradit odborný úsudek ani vést k průzkumu, který je pro dané prostředí nebo navazující návrh fakticky nepoužitelný.

4. Česká praxe navrhování a provádění průzkumných prací

V české praxi byla tradičně silná osa vrt – popis – vzorek – klasifikační zkouška (očekávané geologické práce). Problém nastává tehdy, pokud se tento postup stane automatickým standardem i tam, kde charakter stavby a prostředí vyžaduje odlišnou kombinaci metod. Eurokód 7-2 posiluje návrhově orientované pojetí průzkumu, v němž mají význam také polní zkoušky poskytující kvantitativní nebo spojitá data o chování horninového prostředí (viz přílohy EC7-2). Neznamená to opuštění kvalitativního geologického popisu, ale jeho doplnění o měřitelné údaje.

Ani kvantitativní metody však nejsou bez interpretace. CPT_u (CPTM) je pro to dobrý příklad: prvotní záznam dat je zdánlivě objektivnější a spojitější než popis vrtu, ale převod na typ zeminy a její parametry je korelační a musí být čten v geologickém kontextu. Jinak se pouze nahradí subjektivita popisu subjektivitou interpretace. Přiměřené je proto používat jednotlivé metody jako vzájemně se doplňující zdroje poznání: popis, dostupné podklady z map, vrty, polní zkoušky, laboratorní zkoušky, geofyziku a monitoring.

Příkladem může být terénní vrtulková zkouška. Nejde o novou nebo experimentální metodu, ale o dlouhodobě používaný způsob stanovení neodvodněné smykové pevnosti jemnozrnných zemin in situ, samostatně zakotvený v EC7-2 a navázaný na EN ISO 22476-9. Přesto bývá v české praxi vnímána jako méně obvyklý prvek průzkumného programu a její zařazení bývá zpochybňováno, pokud se s ní objednatel nebo projektový tým běžně nesetkává. Právě na takových příkladech je vidět, že normově zakotvená metoda nemusí být v praxi samozřejmou součástí úvahy o vhodném průzkumném programu.

5. Od naměřené hodnoty k technicky použitelnému podkladu

Volba vhodné metody je pouze první krok (pro laboratorní analýzy tab. 2.2 a 2.3 EC7-2). Stejně důležité je, jak se s výsledkem zkoušky dále pracuje. Eurokód 7 v tomto směru dobře ukazuje postupné abstrahování od konkrétního měření k hodnotě použitelné pro návrh. Na začátku stojí výsledek zkoušky, tedy naměřený údaj získaný konkrétní metodou v konkrétních podmínkách v souladu s platnou normou. Z něj může být odvozena hodnota vlastnosti zeminy nebo horniny, která již zahrnuje korekce, kalibrace, korelace, zkušenost a geologický kontext. Na další úrovni se stanovuje charakteristická hodnota jako obezřetný odhad hodnoty ovlivňující výskyt mezního stavu. Návrhová hodnota pak vstupuje do výpočtu po uplatnění příslušných bezpečnostních postupů.

Pro inženýrskogeologický průzkum je zásadní rozhraní mezi výsledkem zkoušky a odvozenou hodnotou. Právě zde se ukazuje, že naměřené číslo není samo o sobě vlastností horninového prostředí. Jeho výpovědní hodnota závisí na způsobu odběru nebo provedení zkoušky, na typu zeminy či horniny, na porušení vzorku, měřítku zkoušky, drenážních podmínkách, geologické stavbě a srovnatelné zkušenosti. Interpretace výsledků je nezbytným krokem mezi pouhým měřením a zaznamenáváním dat a technicky použitelným podkladem.

6. Data ze zkoušek nejsou bez kontextu úplná

Inženýrský geolog rozumí přírodním podmínkám. Umí číst, co se v krajině dělo, a odhadnout, co se v ní může dít dál. Vychází ze znalosti geologického vývoje, geomorfologie, hydrogeologie a procesů, které utvářely současné horninové prostředí. Mocná vrstva holocenních fluviálních sedimentů není pouze stratigrafická informace; může upozorňovat na záplavové riziko, vysokou stlačitelnost, proměnlivý režim podzemní vody nebo problematické zakládání. Svah není jen morfologický tvar, ale systém, který může reagovat na přitížení, odvodnění, vsakování, erozi nebo změnu využití území.

Stejně důležité je uvažovat opačným směrem: nejen jak prostředí ovlivní stavbu, ale i jak budoucí konstrukce ovlivní prostředí. Stavba se dvěma suterény může změnit proudění podzemní vody a lokálně zvýšit hydraulické gradienty; v nepříznivých podmínkách může dojít k vynášení jemnozrnných částic a k následným deformacím nebo propadání zemin. Přitížení koruny svahu silničním násypem nebo těžkou stavbou může aktivovat svahový pohyb. Vsakování dešťové vody do podloží v místě zástavby může změnit režim nasycení a stabilitu zemin. To nejsou okrajové poznámky ani formální úvod průzkumné zprávy. Jde o přírodovědnou část inženýrskogeologické interpretace, bez níž nelze správně pochopit význam jednotlivých dat ze sond a zkoušek.

Širší geologický kontext nemá být v závěrečné zprávě samoúčelným popisem prostředí v celé jeho složitosti (od vzniku Země, přes dinosaury až po lovce mamutů). Je nástrojem výběru toho, co je pro stavbu podstatné. Pomáhá rozhodnout, která data jsou významná, které nejistoty mohou ovlivnit návrh a kde by mechanické zjednodušení prostředí mohlo být zavádějící. Úkolem zprávy není pouze zaznamenat, co bylo zastiženo terénními pracemi, měřením a laboratorními zkouškami, ale vysvětlit, co zastižené prostředí znamená pro plánovanou stavbu, její realizaci a dlouhodobé fungování.

7. Komu patří mechanika zemin a hornin?

Kam vlastně spadají technické normy a testování mechanických vlastností základové půdy? Je to ještě popis přírodního prostředí, nebo už technická disciplína? Tato otázka je nepohodlná, ale nelze se jí vyhnout (mechanika zemin a hornin mapř. není předmětem zkoušky odborné způsobilosti podle vyhl. č. 206/2001 Sb., současně není požadovaná ani státní zkouška nebo jiná zkouška podobného zaměření absolvovaná během studia na VŠ). Mechanika zemin a hornin je technické zkoumání vlastností přírodních materiálů. Nedá se jednoduše přiřadit jen jedné profesi. Geotechnický návrh s mechanickými vlastnostmi zemin a hornin pracuje jako s technickými parametry, k jejich proměnlivosti je však nutné přistupovat v přírodovědném kontextu nebo matematicky a v souladu s EC7-2 odst. 2.4.2.4.

Inženýrský geolog nemusí umět počítat únosnost pilot. Potřebuje ale vědět, jaké vlastnosti se do takového výpočtu zadávají, pokud je objednávka na průzkum stavby založené na pilotách (pro mezní stavy). Bavíme se o stlačitelnosti, smykové pevnosti, konzistenci, ulehlosti a objemové tíze. Eurokód 7 dává návod, jakými typy zkoušek se k těmto hodnotám lze dostat a jak s nimi dále pracovat.

U hornin je hranice mezi popisem přírodního prostředí a technickým hodnocením obzvlášť dobře vidět. Orientace, rozevření a četnost puklin jsou popisem horninového prostředí. Jakmile ale popisujeme drsnost puklin, výplň, přítomnost vody, pevnost bloků, zvětrání nebo použitelnost klasifikací horninového masivu, pohybujeme se už v prostoru technických metodik a norem, jejichž cílem je popsat prostředí se zřetelem k jeho mechanickému chování. Geologický zákon a prováděcí vyhlášky tento technický rozměr výslovně nerozpracovávají. Právě proto není znalost technických norem, včetně metodiky interpretace a vyhodnocení polních zkoušek podle EC7-2 kap. 4, pro inženýrského geologa vnějším doplňkem, ale podmínkou toho, aby jeho popis prostředí mohl být technicky správně interpretován.

8. Spor o názvosloví

Česká debata o inženýrskogeologickém a geotechnickém průzkumu se často redukuje na spor o názvosloví. Ve skutečnosti však nejde pouze o terminologii. Podstatná je otázka, jak má být rozdělena odborná odpovědnost mezi průzkum a návrh průzkumu (typy a délky sond, odběry vzroků a analýzy) a kdo má formulovat technický význam výsledků průzkumných prací. Potkává se zde pojetí geotechnického návrhu podle Eurokódu 7, samostatný právní režim geologických prací a praktická potřeba objednatele získat použitelný podklad pro rozhodování.

Není možné, aby geolog přebíral odpovědnost za návrhové rozhodnutí projektanta. Projektant však potřebuje interpretovaný podklad, ze kterého může vytvořit geotechnický model, zvolit parametry a provést návrh.

Neochota k interpretaci ze strany geologa mnohdy vychází z nedostatku odbornosti, snahy se vyhnout zodpovědnosti ale také z obavy, že interpretace bude chápána jako krok k návrhovému rozhodnutí. Tato obava je pochopitelná zejména tam, kde není jasně nastavena hranice mezi odpovědností autora průzkumu a odpovědností projektanta. Řešením však nemůže být rezignace na interpretaci a pouhé předání naměřených dat (např. počet úderů dynamické penetrace, hodnoty q_c a f_s z výsledů statické penetrace). Řešením je interpretaci provádět otevřeně: uvést, z čeho vychází, jaké předpoklady používá, jaké má limity, jaké alternativy připouští a které nejistoty zůstávají pro návrh podstatné. Pokud daný řešitel neumí vyhodnocovat složité mechanické analýzy, může si najmout experta jehož závěrečnou zprávu umístí do příloh (viz vyhl. 369/2004 Sb.). Mechanické vlastnosti od jednotlivých expertů mohou být statisticky zpracovány díky možným znalostem matematiky zpracovatele nebo moderního využití AI.

Pokud se geologové budou držet tvrzení, že jejich úkolem je pouze popsat přírodní prostředí a dodat data, vzdávají se důležité části své práce. Takto předané výsledky jsou pro projektanta obtížně použitelné. K požadovanému výsledku však nelze dojít ani bez jasného zadání, sdělení návrhového záměru a spolupráce projektanta s autorem průzkumu. Pokud potřebné podklady chybí, je nutné se doptat objednatele, projektanta nebo osoby odpovědné za zadání průzkumu.

Spor o vztah inženýrskogeologického a geotechnického modelu je důležitý, ale neměl by zastínit podstatnější otázku: jak odborně zjednodušit přírodní prostředí, tak, aby nebyla ztracena geologická podstata problému a současně vznikl podklad použitelný pro návrh. Modely jsou totiž dva: jeden je 3D rozložení vrstev, jejich zvětrání, přítomnost zlomů, saturace vodou volná hladina podzemní vody… a model numerický, který jednotlivým vrstvám dává mechanické a fyzikální vlastnosti. Nemůžeme zde rozhodnout, kde přesně má končit odpovědnost geologa a začínat odpovědnost projektanta. Je však zřejmé, že mezi výsledkem průzkumné práce a návrhovým rozhodnutím existuje nezbytný interpretační krok. Právě tento krok je pro inženýrskou geologii klíčový.

9. Závěr

Pokud se budou geologové k aplikovaným metodikám a technickým postupům stavět zdrženlivě a zůstanou především u popisu přírodního prostředí, v němž jediným numerickým zhodnocením základové půdy bývá převzatá tabulková hodnota (ze 16 roků zrušené normy ČSN 73 1001 pro plošné zakládání), mohou se postupně ocitnout v profesně slabé pozici. Při dalším vývoji legislativy a technických standardů může být rozhodování o technickém významu průzkumných dat přesunuto mimo inženýrskou geologii a její výstupy se pro projektanty stanou snadno nahraditelnými.

Eurokód 7 proto není vhodné vnímat jako ohrožení oboru, ale jako metodický rámec, který pomáhá porozumět testování zemin a hornin, práci s odvozenými hodnotami a převodu geologického poznání do podkladů použitelných pro návrh. Symbolická shoda výročí spojovaných s Quidem Zárubou a Karlem Terzaghim připomíná, že porozumění geologickému prostředí a jeho technické zjednodušení pro návrh stavby nejsou dvě oddělené oblasti, ale dvě strany téhož problému.

Právě zde může inženýrská geologie posílit svoji roli: ne tím, že se vzdá své geologické podstaty, ale tím, že ji dokáže uplatnit v technickém rozhodování o stavbě.

Poděkování: Příspěvek byl připraven ve spolupráci s mojí manželkou Mgr. Magdou Poulovou, MSc.

Seznam literatury

ČSN 73 1001 – Zakládání staveb – Základová půda pod plošnými základy (*Norma byla v roce 2010 zrušena a nahrazena koncepcí Eurokódů, zejména ČSN EN 1997-1 a ČSN EN 1997-2.*)
ČSN EN 1997-2 – Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy (*Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing)*
ČSN EN ISO 22476-9 – Geotechnický průzkum a zkoušení – Terénní zkoušky – Část 9: Zkouška vrtulkovou sondou (*Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 9: Field vane test*)

Vyhláška č. 206/2001 Sb., Vyhláška Ministerstva životního prostředí o osvědčení odborné způsobilosti projektovat, provádět a vyhodnocovat geologické práce.
Vyhláška č. 368/2004 Sb., o geologické dokumentaci
Vyhláška č. 369/2004 Sb. Vyhláška o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek

ZÁSADNÍ VLIV KONSTRUKCE VRTU NA MOŽNOSTI KAROTÁŽNÍCH METOD V RÁMCI IG PRŮZKUMŮ

THE FUNDAMENTAL INFLUENCE OF BOREHOLE CONSTRUCTION ON THE CAPABILITIES OF LOGGING METHODS IN ENGINEERING GEOLOGICAL INVESTIGATION

Martin Procházka

SG Geotechnika a.s., Geologická 4, 152 00 Praha 5, e-mail: martin.prochazka@geotechnika.cz

Abstrakt: Karotáž se v několika posledních letech stále častěji uplatňuje jako součást inženýrskogeologických průzkumů. Některé karotážní metody mohou ale být výrazně ovlivněny nevhodně zvolenou konstrukcí nebo nekvalitním provedením vrtu. Týká se to právě především metod, které jsou využívány pro zjišťování mechanických vlastností zastižených hornin, jejich měrné objemové hmotnosti, detekci puklin a jejich prostorové orientace a sledování struktury horniny. S nevhodnou konstrukcí vrtů, která může mít významný vliv na kvalitu našich výsledků, se setkáváme v rámci IG průzkumů dosud bohužel často. Proto je vhodné před zahájením zakázky projednat s odpovědným geologem, co se v konkrétním případě od karotáže očekává, a tomu, pokud možno přizpůsobit konstrukci vrtů.

Abstract: In recent years, borehole logging has been increasingly employed as part of engineering-geological investigations. However, certain logging methods can be significantly affected by an unsuitable borehole design or poor-quality borehole construction. This applies particularly to methods used to determine the mechanical properties and bulk density of the encountered rock, detect fractures and their spatial orientation, and analyze rock structure. Unfortunately, unsuitable borehole designs—which can have a significant impact on the quality of results—are still frequently encountered in engineering-geological investigations. Therefore, before commencing a project, it is advisable to discuss the specific expectations for the logging with the responsible geologist and, whenever possible, adapt the borehole design accordingly.
.

Klíčová slova: fyzikální podstata karotážních metod, konstrukce vrtů, limity karotáže

Key words: physical principles of well-logging methods, borehole construction, limitations of well logging

1. Úvod

Karotáž je soubor geofyzikálních metod sledujících určitý fyzikální parametr s definovaným dosahem. Tyto fyzikální parametry pro konkrétní metody mohou být nepříznivě ovlivněny samotnou existencí výstroje a jejím materiálem, přítomností obsypu, cementace. Ale zásadní vliv na měřené veličiny může mít také přítomnost nebo naopak absence vody ve vrtu, míra jejího mechanického zakalení, vrtný průměr, technologie vrtání (nárazové vrtání / vrtání na jádro), rozdíl mezi průměrem vrtu a průměrem vložených pažnic, perforace, kvalita vyčištění vrtu a podobně. Na některé metody však naopak vlastní konstrukce vrtu zásadní vliv nemá. Cílem tohoto příspěvku má být proto seznámit odbornou veřejnost s možnostmi karotáže v různých situacích ve vrtech s rozdílnou konstrukcí.

2. Limity karotážních metod

V posledních několika letech doznala karotáž výrazného uplatnění na projektech IG průzkumu. K oblibě karotáže přispělo v nemalé míře zařazení optického a akustického skeneru do standardního komplexu karotážních metod. Optický skener jsme zařadili do komplexu metod v roce 2020, oblibu si tato metoda našla hned krátce po svém uvedení na trh. Možnosti obou typů skenerů, stejně tak to platí prakticky o všech karotážních metodách, jsou ale podmíněny jejich fyzikálními principy. Proto je před zahájením zakázky potřeba projednat konstrukci vrtů, průměry, způsob výstroje a podobně, aby mohly být úspěšně aplikovány ty karotážní metody, které jsou požadovány a od nichž jsou očekávány kvalitní a relevantní výsledky.

2.1. Optický a akustický skener

Optický skener, který snímá obraz stěny vrtu orientovaný podle světových stran, je založen na optickém principu, tedy na stejném jako vrtné kamery. Podmínkou úspěšného měření je proto absence jakékoliv výstroje (měření je

možné pouze v nevystrojených vrtech), v úsecích pod hladinou pak čistá voda. Svoji roli hraje i průměr vrtu, protože ve větších průměrech je i ve slabě zakalené vody kvalita obrazu snížena.
Akustický skener sloužící pro detekci puklin a jejich prostorové orientace je založen na odrazu seismického paprsku od stěny horniny. K přenosu seismického signálu je podmínkou voda. To znamená, že na rozdíl od skeneru optického akustický skener nelze aplikovat v úsecích nad hladinou. A naopak ve vrtech vystrojených tenkostěnnou plastovou trubkou není měření vyloučeno, i když rozlišovací schopnost metody je v takovém případě poněkud snížena. Plastové trubky se vkládají do vrtů s nestabilní horninou. Podobně jako v případě skeneru optického hraje významnou roli také průměr vrtu. Ve větších průměrech (nad cca 100 mm) se kvalita měření významně snižuje.
Zásadní podmínkou pro úspěšné měření je v ose vrtu dobře vycentrovaná sonda. Nezřídka se bohužel setkáváme s případy, kdy sondu vycentrovat uprostřed vrtného stvolu nelze. Setkáváme se s případy, kdy vrtné osádky používají vrtný průměr přes 150 mm a do takových vrtů vkládají PVC trubky o průměru 60 nebo 80 mm. Samozřejmě nevycentrované. V takových vrtech měření akustickým skenerem v podstatě pozbývá smysl. A konečně další překážkou pro úspěšné měření je jakákoliv ocelová výstroj, ale i výstroj silnostěnná nekovová.
Pro oba typy skenerů, zvláště pak pro skener akustický platí, že lepších výsledků se dosáhne ve vrtech hloubených jádrovou technologií (hladké stěny) než ve vrtech hloubených technologií nárazovou, v nichž dochází k rozptylu dopadajícího paprsku na nerovnostech stěny vrtu. V žádném případě nelze měření provádět ve vrtech s jakýmkoliv zaplášťovým materiálem jako je obsyp, jílové těsnění, cement a podobně, protože signál se rozptýlí na těchto materiálech a ke stěně horniny nedorazí.

2.2. Základní metody pro zjišťování mechanických parametrů hornin in situ

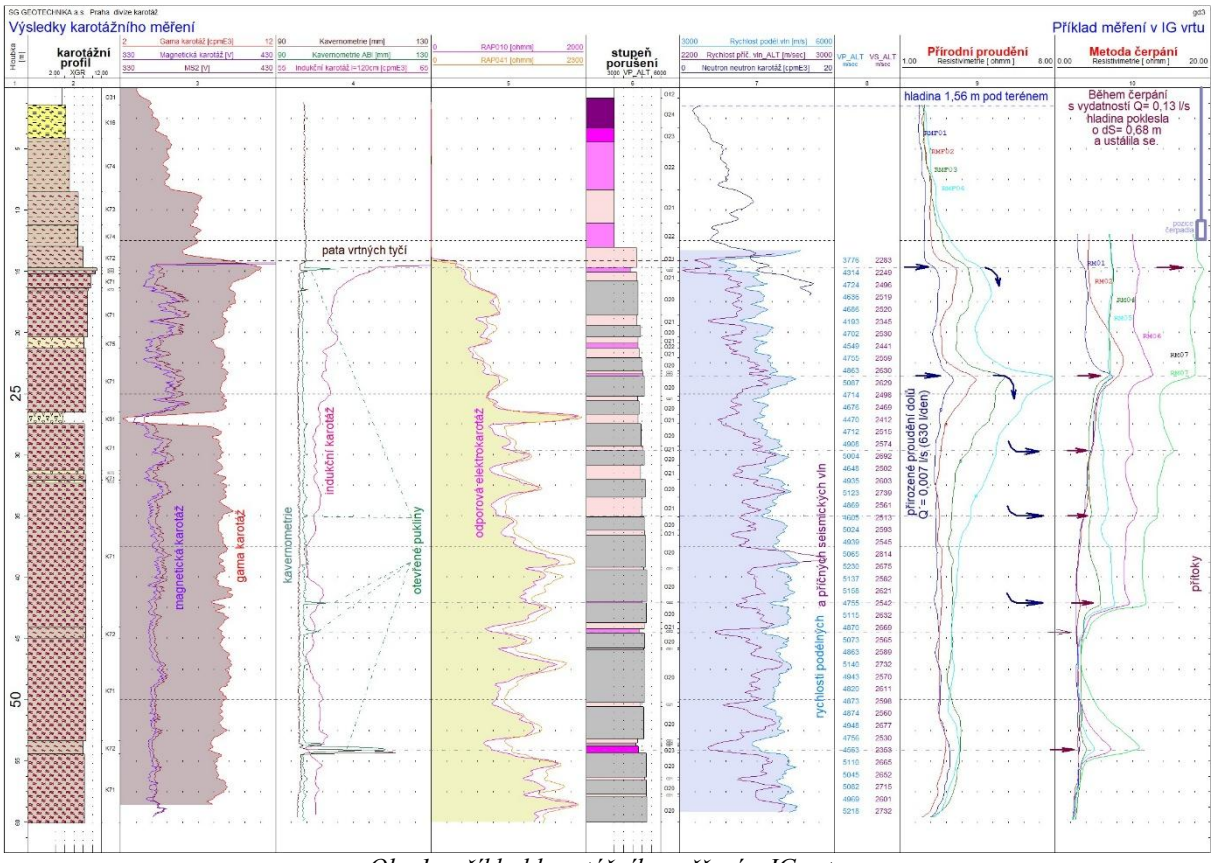
Mezi další metody pravidelně využívané ve vrtech v rámci IG průzkumů patří akustická karotáž s úplným vlnovým obrazem a gama gama karotáž v hustotní modifikaci. Obě metody jsou používány pro výpočty mechanických parametrů (elastických mechanických parametrů) hornin in situ.
Vzhledem k podobnému fyzikálnímu principu jsou limity pro akustickou vlnovou karotáž (měří rychlosti podélné a příčné seismické vlny) obdobné jako u druhé akustické metody, kterou je výše zmíněný akustický skener. S tím rozdílem, že tloušťka plastové výstroje není limitující. Co ale limitující je, jsou rychlosti šíření seismické vlny v hornině. Pokud je v měkkých sedimentárních nebo zcela alterovaných metamorfovaných/ vyvřelých horninách rychlost šíření nižší nebo blízká rychlosti šíření seismické vlny v materiálu PVC pažnice, informaci o rychlosti šíření v takové hornině ve vrtu s výstrojí nezískáme. To proto, že software sleduje první nasazení podélné vlny a první nasazení vlny příčné. Pokud je rychlost šíření seismické vlny v hornině nižší než v pažnici, potom první vlna, která přichází ke snímači, je vlna z pažnice, a nikoliv z horniny. V nevystrojeném vrtu tento limitující faktor roli nehraje.
Co se týká gama gama karotáže (slouží pro měření měrné objemové hmotnosti horniny, která vstupuje do výpočtu mechanických modulů), jsou její omezení dvojího druhu. Prvním a hlavním je omezení bezpečnostní. Pro měření je používán izotopický zdroj gama gama záření ^{137}Cs, který se před zapuštěním sondy do vrtu vkládá do speciálního prostoru u jejího spodního konce. Během měření je sonda přitlačována ke stěně vrtu výsuvným ramenem, aby byl zajištěn kontakt mezi sondou a horninou. Měření se zářičem v maloprůměrových IG vrtech však bývá zpravidla rizikové, a proto do vrtů bývá před karotážním měřením zapuštěno pracovní pažení. Kontakt mezi horninou a sondou v nevycentrovaných pažnicích není pak zprostředkován, měření je zatíženo chybou. Oprava na vliv pažnice možná je, ale oprava na nahodilou pozici nevycentrované výstroje ve vrtném stvolu možná není. Metoda bývá někdy z bezpečnostních důvodů měřena ve vrtných tyčích před jejich vytěžením. Ocel ani jiné materiály používané ve vrtech pro gama kvanta překážku nepředstavují. Kvantitativní vyhodnocení měrné objemové hmotnosti horniny (hustoty) je limitováno výstrojí. Ve vystrojených vrtech s obsypem, cementací a jinými zaplášťovými materiály výpočet hustoty možný není. Metoda se však v takových případech používá běžně pro kontrolu cementace či přítomnosti obsypu anebo k detekci kaveren vně výstroje. Měření je možno realizovat i v úsecích nad hladinou vody.

2.3. Metody pro zjišťování hydrogeologických parametrů, přítoků vody do vrtů

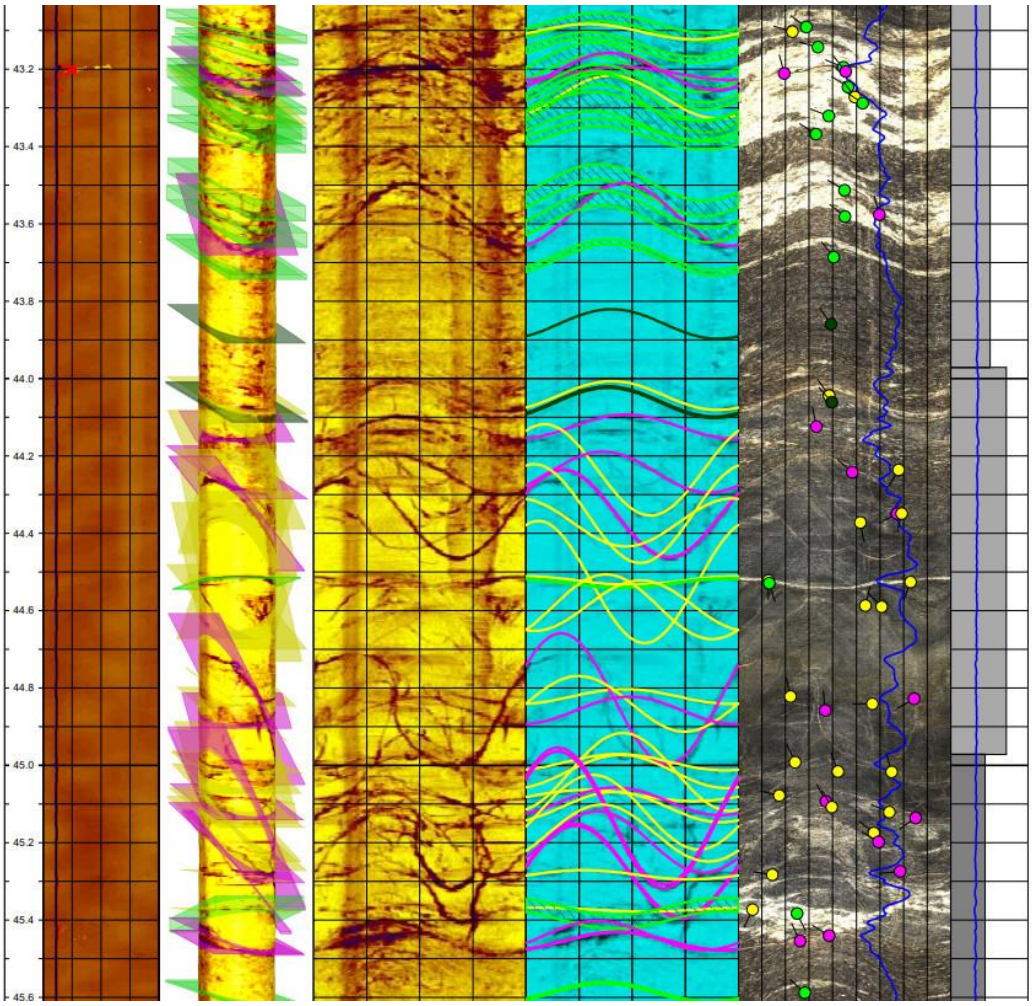
Běžnou metodou pro zjišťování přirozeného proudění a pro zjišťování přítoků vody je rezistivimetrie v aplikaci metody ředění označené kapaliny a v aplikaci metody čerpání označené kapaliny, někdy doplněná o fotometrii (měří zakalení vody- tam, kde nedochází k žádnému proudění, zůstává voda zakalená i delší dobu po vrtání) a ve speciálních případech o metodu měření fyzikálně chemických vlastností vody (pH, redox, rozpuštěný kyslík, konduktivita). Ve vrtech hlubších než cca 25 m je užitečné doplnit měření o termometrii (anomálie na teplotní křivce bývají indikátorem přítoků).
Pro všechny tyto metody platí stejná podmínka: pažnice, pokud je vrt vystrojen, musí být s perforací. Na materiálu výstroje přitom nezáleží. Stejně kvalitní výsledky dostaneme ve vrtech bez výstroje jako ve vrtech s výstrojí plastovou, ocelovou, z tvrzené překližky, kameniny… V případě použití výplachu bývají přítoky výplachem utěsněny, zjišťování přítoků se odsune na dobu po vyčištění vrtu.

2.4. Další karotážní metody používané v rámci IG průzkumu ve vrtech

Metoda pro zjišťování prostorového průběhu vrtu-inklinometrie je použitelná ve všech vrtech včetně horizontálních. Je aplikována ve vrtech různých konstrukcí. Jediným omezením je, že směr odklonu nezjistíme v ocelové magnetické výstroji a ve vrtných tyčích. Úhel odklonu však měřit lze i tam.
Metodou pro zjišťování průměru vrtu, otevřených puklin a nerovností stěny horniny je kavernometrie. Je použitelná ve všech vrtech různých konstrukcí, ve vrtech s výstrojí však pozbývá její použití většinou smysl, neboť není zprostředkován kontakt ramen sondy s horninou.
Pro elektromagnetické metody: magnetickou karotáž a indukční karotáž není překážkou plastová ani jakákoliv nekovová výstroj. Měření je možné provádět i v úsecích nad hladinou vody.
Odporová elektrokarotáž slouží zpravidla ke zjištění míry porušení horniny, používá se spolu s metodami gama karotáž, neutron neutron karotáž a elektromagnetickými metodami také pro interpretaci litologie na základě typických fyzikálních vlastností zastižených hornin. Odporovou elektrokarotáž nelze použít v kovových pažnicích a také v plných pažnicích jakýkoliv materiálů. V nekovových pažnicích s perforací metodu použít lze. Měření je ale možné provádět pouze v úseku pod hladinou vody.
Gama karotáž slouží jako jedna z metod k detailnímu členění litologického profilu vrtu. Pro tuto metodu nejsou žádná omezení, lze ji použít ve všech vrtech různých konstrukcí s různým typem výstroje i nevystrojených, pod i nad hladinou podzemní vody.
Pro metodu neutron neutron karotáž (pro zjišťování stupně porušení horniny, členění litologických typů) je hlavním omezujícím faktorem podobně jako pro metodu gama gama karotáž bezpečnostní riziko. Při měření je v sondě umístěn izotopický zdroj neutronů ^{241}Am-Be, a proto je většina měření realizována v pracovních PVC trubkách nebo ve vrtech s výstrojí. Na rozdíl od gama gama karotáže ale nemá přítomnost výstroje žádný negativní vliv na kvalitu měření. Měření je možno provádět v úsecích pod hladinou i v úsecích nad ní.
Měření v IG vrtech bývá v některých vrtech doplněno televizní prohlídkou kamerou malého průměru. Jediným limitujícím faktorem pro úspěšnou aplikaci metody je zakalení vody ve vrtu.



Obr.1 příklad karotážního měření v IG vrtu



Obr.2 příklad kombinace měření akustickým a optickým skenerem

3. Nejčastější problémy

V každodenní praxi se setkáváme s vrty nejrůznějších konstrukcí, o různých hloubkách, různého stáří, s vrty s termální a minerální vodou. Rovněž účel karotážního měření a jemu přizpůsobená optimální karotážní metodika se liší případ od případu. Jen za dobu mého působení v karotáži se počet karotážních měření vrtů na tuzemských a zahraničních zakázkách provedených v našem středisku přiblížil hranici 10 000. Je proto zřejmé, že jsme se podíleli a podílíme na úkolech s velmi širokou problematikou.
Zcela pochopitelně proto občas narážíme na výzvy, s nimiž se musíme vyrovnat. Mezi ně patří problém pro karotáž nevhodné konstrukce vrtů. Na správnou konstrukci vrtu jsou zvláště citlivé metody, které se běžně používají na zakázkách inženýrskogeologického průzkumu. Mezi ně patří oba skenery, sloužící pro detekci puklin, jejich prostorové orientace a pro sestavení reálného obrazu orientovaného vrtného jádra, metoda gama gama karotáž a akustická karotáž s registrací úplného vlnového obrazu (pro zjišťování rychlostí šíření seismických vln a pro výpočty mechanických parametrů). Jak už bylo zmíněno, setkáváme se s případy, kdy vrtné osádky používají vrtný průměr přes 150 mm a do takových vrtů vkládají PVC trubky o průměru 60 nebo 80 mm. Samozřejmě nevycentrované. V takových vrtech měření akustickým skenerem v podstatě pozbývá smysl. Rozdíl mezi vrtným průměrem a průměrem pracovních pažnic musí být minimální.
I v takových vrtech se ale lze pokusit o vytěžení kolony pracovních trubek a o změření optického skeneru. A tady se setkáváme s dalším problémem: jednotlivé trubky musí být řádně spojeny. Jestliže tomu tak není, během těžení kolony se rozpojí a většina jich zpravidla zůstane ve vrtu.
Pokud jsou do komplexu metod zařazeny metody elektromagnetické (indukční a magnetická karotáž), nesmí být při spojování trubek použit magnetický materiál. Jeho přítomnost ve vrtu (byť by se jednalo pouze o nýty) přehluší užitečný signál přicházející z horniny.
Stává se, že použité nýty jsou dlouhé a zasahují do vnitřního prostoru. Při měření pak dochází k zachytávání sond o ně, což v extrémních případech může způsobit přetržení kabelu a ztrátu sondy ve vrtu.

Obsyp je pro oba skenery nepřípustný. Ale ve vrtech vystrojených jako HG s obsypem je běžně prováděno měření pro zjišťování přítoků, míry porušení horniny a geologické stavby.
Vážným problémem zůstává kvalita čištění. Nezřídka se stává, že podstatná část vrtu je zanesena postupně houstnoucím bahnem. Několikrát v průběhu roku se setkáváme s podobnými případy, kdy například vrt o hloubce 30 m je pro karotáž průchodný do 22 m, a přitom poslední metry se sondy noří do postupně houstnoucího kalu. V kalu jsou skenery nepoužitelné.

Během praxe jsme se setkali s případy, kdy karotáž nebyla schopna poskytnout některá relevantní data, přestože konstrukce vrtu byla pro ni příznivá. Z fyzikálního principu karotážních metod vyplývá, že v úseku nad hladinou karotáž nemůže poskytnout údaje o mechanických vlastnostech zastižených hornin. Údaje o puklinách v úseku nad hladinou jsou dodávány jen ze záznamu optického skeneru., případně nepřímo na základě kavernometrie a metody gama gama karotáž.
V úseku pod hladinou ve vrtech s PVC pažnicemi není karotáž schopna poskytnout údaje o rychlostech seismických vln tam, kde je hornina alterovaná natolik (nebo kde byly zastiženy málo zpevněné sedimenty), že rychlosti šíření seismických vln jsou v ní nižší než v PVC. Po odpažení (v případě, že se stěny horniny udrží a nezavalí vrt) měření rychlostí možné je. S extrémně nízkými rychlostmi šíření seismických vln se běžně setkáváme v kvartérních sedimentech i v sedimentech některých terciérních pánví. Vrtáno je tam zpravidla s použitím výplachu. Stěny horniny pak drží a zjištění rychlostí šíření podélné i příčné seismické vlny není pro karotáž v otevřeném vrtu problém.

4. Závěr

Cílem příspěvku bylo upozornit na některá rizika karotážního měření zvláště ve vrtech v rámci IG průzkumu, s nimiž se setkáváme během naší praxe.
Použití karotážních metod je dáno jejich fyzikální podstatou, z které vyplývají i limity jednotlivých metod pro měření v různých podmínkách.
I tam, kde by se některé náročnější metody použít daly, narážíme občas na nevhodnou konstrukci vrtu, někdy i na ne zcela dokonalou práci vrtné posádky. I malá „nekvalita“ může mít závažný dopad na možnosti a úroveň karotážních záznamů.
Před zahájením zakázky je vhodné projednat s odpovědným geologem, co se v konkrétním případě od karotáže očekává, na základě toho navrhnout optimální soubor metod a tomu, pokud možno, přizpůsobit konstrukci vrtů.

INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM PRO ZALOŽENÍ DVORECKÉHO MOSTU V PRAZE

ENGINEERING GEOLOGICAL INVESTIGATION FOR THE FOUNDATION DESIGN OF THE DVORECKÝ BRIDGE IN PRAGUE

Jiří Rout, Marián Kollár, Jiří Nedvěd

SG Geotechnika a.s., Geologická 4, 152 00 Praha 5,
e-mail: jiri.rout@geotechnika.cz, marian.kollar@geotechnika.cz, jiri.nedved@geotechnika.cz

Abstrakt: Příspěvek se zabývá realizací inženýrskogeologických průzkumů provedených v rámci přípravy stavby Dvoreckého mostu v Praze. Pozornost je zaměřena zejména na podrobný inženýrskogeologický průzkum realizovaný pro zpracování projektové dokumentace stavby a na doplňující průzkumné práce prováděné v průběhu výstavby.
V příspěvku je popsán program a rozsah provedených průzkumných prací, i zastižené inženýrskogeologické poměry. Hlavní pozornost je věnována zastiženému tektonickému porušení masivu v prostoru pilíře P4, které mělo významný dopad na realizaci stavby. Příspěvek zdůrazňuje význam principu etapovitosti při provádění inženýrskogeologického průzkumu u náročných staveb ve složitém geologickém prostředí.

Abstract: This paper presents the engineering geological investigations carried out during the preparation and construction of the Dvorecký Bridge in Prague. Particular attention is devoted to the detailed engineering geological investigation performed for the design stage of the project and to supplementary investigations undertaken during construction.
The paper outlines the scope of the investigation programme and the engineering geological conditions encountered at the site. The main focus is placed on a tectonically disturbed zone identified in the area of Pier P4, which had a significant impact on the construction process. The paper highlights the importance of the staged approach to engineering geological investigations for complex structures located in geologically challenging environments.

Klíčová slova: Dvorecký most, inženýrskogeologický průzkum, tektonické porušení, zakládání

Key words: Dvorecký Bridge, engineering geological investigation, tectonically disturbed zone, foundation design

1. Úvod – základní informace a charakteristika stavby

Dvorecký most zprovozněný v letošním roce propojuje zlíchovské a podolské nábřeží a představuje významnou součást systému městské hromadné dopravy, pěší a cyklistické infrastruktury. Mostní objekt o délce přibližně 336 m je tvořen dvěma opěrami a pěti pilíři, přičemž dva pilíře jsou založeny přímo v řečišti Vltavy. Založení všech podpěr je provedeno na pilotách vetknutých do předkvartérního podloží.
Součástí projektové přípravy bylo několik etap IG průzkumů. Autoři tohoto příspěvku realizovali poslední etapy průzkumů, konkrétně podrobný a navazující doplňující průzkum, na něž je zaměřena hlavní pozornost.
V průběhu výstavby byly na opěrách i většině pilířů zastiženy předpokládané poměry s výjimkou pilíře P4 situovaného v řečišti u zlíchovského nábřeží. Zde byla již v rámci podrobného průzkumu identifikována výrazná tektonická porucha, ale skutečné geotechnické poměry zastižené při výstavbě se ukázaly být komplikovanější, než bylo možné v rámci projektové přípravy předpokládat.
Zakládání tohoto pilíře si tak vyžádalo přerušení stavebních prací, detailní doplňující průzkum a úpravu projektu založení.
Příspěvek shrnuje jednotlivé etapy inženýrskogeologického průzkumu, charakterizuje geologické a geotechnické poměry v trase mostu a zaměřuje se zejména na zkušenosti získané při řešení komplikovaných základových poměrů v prostoru pilíře P4.

2. Geologická stavba území

Z regionálně geologického hlediska náleží území Dvoreckého mostu k barrandienskému paleozoiku. Předkvartérní podloží je tvořeno horninami svrchního ordoviku a spodního siluru, zejména horninami kosovského a liteňského souvrství, překrytými terasovými sedimenty Vltavy a lokálně antropogenními navážkami.

Hydrogeologické poměry jsou ovlivněny především průlinově dobře propustnými kvartérními sedimenty hydraulicky spojenými s hladinou Vltavy. Horniny předkvartérního podloží pak vykazují řádově nižší puklinovou propustnost.
Charakteristickým rysem zájmového území je výrazné tektonické porušení horninového masivu. Již podrobný průzkum potvrdil existenci významné poruchové zóny probíhající napříč řečištěm Vltavy, nejvýrazněji v prostoru pilíře P4. Geofyzikální měření zároveň ukázala, že geologická stavba v řečišti je podstatně složitější a méně homogenní, než by odpovídalo jednoduchému vrstevnímu modelu.
V prostoru pilíře P4 průzkumy prokázaly, že pilíř je situován v oblasti kontaktu hornin kosovského a liteňského souvrství, doprovázeného tektonickým porušením a výskytem minetové intruze. Horninový masiv je zde výrazně nehomogenní a vyznačuje se střídáním hornin s velmi rozdílnými geotechnickými vlastnostmi. Celkově tak zájmové území představuje příklad geologicky komplikovaného prostředí barrandienského paleozoika s výraznou prostorovou proměnlivostí vlastností horninového masivu, která je vázána na průběh a vliv tektonických struktur.

3. Provedené průzkumy

Realizace IG průzkumů pro projekt Dvoreckého mostu začala v roce 2016 zpracováním archivní rešerše a navazujícího projektu podrobného průzkumu č. 1. Ten byl zpracován i přesto, že nebyla známa poloha jednotlivých pilířů a vrty v řečišti z této etapy prací (realizace 2018) jsou tak mimo stávající pilíře. Projektant DSP si proto vyžádal zpracování podrobného IGP č. 2 a zadal zpracování projektu tohoto průzkumu. Vlastní podrobný průzkum realizovali autoři příspěvku v roce 2020. V průběhu stavby v roce 2023 na něj navázali doplňujícím průzkumem pro pilíř P4. Součástí provedených průzkumů byla i řada účelově zaměřených menších průzkumů pro dílčí objekty, kterým v příspěvku nevěnujeme pozornost.

4. Rozsah podrobného a doplňujícího průzkumu

Podrobný geotechnický průzkum zahrnoval vrtné práce, geofyzikální měření, karotážní měření, presiometrické zkoušky, laboratorní zkoušky a inženýrskogeologické vyhodnocení.
V rámci mostního objektu bylo provedeno deset vrtů o hloubkách přibližně 23 až 30 m, realizovaných ze břehu i z vodní hladiny. V ploše jednotlivých podpěr tak byly realizovány 1 až 2 nové vrty a spolu s archivními vrty byly v každé podpěře aspoň 2 vrty. Součástí průzkumu byly rovněž presiometrické zkoušky pro stanovení přetvárných vlastností horninového prostředí a laboratorní zkoušky zemin, hornin a podzemní vody.
Významnou součást průzkumu představovala geofyzikální měření. V řečišti byly provedeny profily elektrické odporové tomografie (ERT), které přispěly k identifikaci tektonicky porušených zón a zpřesnění geologické stavby pod dnem Vltavy. Ve vybraných vrtech byla dále realizována karotážní měření.
Takto navržený a provedený průzkum poskytl dostatečné podklady pro projekt většiny objektů, výjimku však představoval pilíř P4, kde byla zastižena výrazná tektonická porucha.
Doplňující průzkum v prostoru pilíře P4, realizovaný v průběhu výstavby, zahrnoval realizaci 5 jádrových vrtů z pontonu, karotážního měření, laboratorních zkoušek hornin a nově bylo do programu prací zařazeno měření seismické tomografie mezi vrty. Ta umožnila zpřesnit interpretační model horninového masivu a významně přispěla k vymezení jednotlivých geotechnických typů v prostoru zakládání pilíře P4. Kombinace vrtných a geofyzikálních metod tak poskytla podrobnější obraz horninového prostředí, než jakého by bylo možné dosáhnout pouze přímými metodami.

5. Zjištění komplikovaných poměrů v oblasti P4

Přestože podrobný geotechnický průzkum identifikoval v prostoru pilíře P4 geologicky komplikované území s výskytem významné tektonické poruchové zóny, skutečné podmínky zastižené během realizace založení se ukázaly být složitější, než bylo možné na základě dostupných podkladů předpokládat.
Problémy se projevily zejména při vrtání velkoprůměrových pilot, kdy byly zastiženy horniny s výrazně proměnlivými geotechnickými vlastnostmi a lokálně velmi obtížnou vrtatelností. Ukázalo se, že geologická stavba v prostoru pilíře je výrazně nehomogenní a že interpolace mezi vrty provedenými v rámci podrobného průzkumu není pro spolehlivý návrh založení dostačující.
S ohledem na význam pilíře P4 pro celou mostní konstrukci a na zastižené komplikace bylo rozhodnuto o přerušení prací a realizaci doplňujícího inženýrskogeologického průzkumu zaměřeného na detailní ověření geologické stavby přímo v ploše zakládání pilíře. Hlavním cílem bylo zpřesnění geologického modelu, ověření prostorového rozsahu tektonicky porušených hornin a získání podkladů pro úpravu návrhu založení i technologie provádění.
Tato situace názorně ukázala omezení možnosti běžné interpolace geologických poměrů v prostředí výrazně tektonicky porušeného masivu a zároveň zdůraznila význam etapovitého přístupu k inženýrskogeologickému průzkumu. U geologicky komplikovaných staveb je vhodné již v průběhu projektové přípravy průběžně vyhodnocovat míru geologické nejistoty a v odůvodněných případech počítat s realizací navazujících

průzkumných prací. Včasné doplnění průzkumu a zpřesnění geologického modelu mohou významně přispět ke snížení technických, časových i ekonomických rizik spojených s následnou realizací stavby.

6. Doplňující průzkum pro pilíř P4

Doplňující inženýrskogeologický průzkum byl realizován s cílem zpřesnit geologický model v prostoru pilíře P4 a ověřit skutečné základové poměry zastižené během realizace hlubinného založení. Průzkum navázal na výsledky podrobné etapy a byl zaměřen zejména na detailní charakteristiku horninového prostředí v ploše zakládání pilíře a jeho nejbližším okolí.
Výsledky průzkumu potvrdily, že pilíř P4 je situován v geologicky mimořádně komplikované části staveniště na kontaktu hornin kosovského a liteňského souvrství. Toto rozhraní je výrazně tektonicky porušené a lokálně doprovázené výskytem minetové intruze. Geologická stavba se zde vyznačuje značnou prostorovou proměnlivostí a střídáním hornin s výrazně rozdílnými geotechnickými vlastnostmi.
V nadloží skalního podloží byly zastiženy terasové štěrky Vltavy. Bezprostředně pod nimi se v prostoru pilíře nachází souvislá poloha tektonicky porušených vápnitých břidlic liteňského souvrství, která je podložena nehomogenním komplexem hornin kosovského souvrství tvořeným střídáním pevných křemenců, břidlic a tektonicky porušených partií. Celou stavbu masivu pak komplikuje intruze pevné minety, která byla zastižena pod částí pilíře. Doplňující průzkum zároveň potvrdil výrazně ukloněnou stavbu horninového masivu, která se významně promítá do prostorového uspořádání jednotlivých horninových typů.
Velký přínos průzkumu představovala aplikace seismické tomografie mezi vrty, která umožnila zpřesnit interpretaci geologické stavby mezi jednotlivými sondami. Ve spojení s vrtnými a karotážními daty poskytla podrobnější obraz rozdělení horninového masivu a umožnila lépe vymezit oblasti se zhoršenými geotechnickými vlastnostmi.
Doplňující průzkum prokázal, že horninové prostředí v prostoru pilíře P4 je výrazně nehomogenní a složitější, než naznačovaly výsledky předchozí etapy průzkumu. Současně však použitá metodika průzkumu umožnila zpřesnit charakteristiku horninového masivu včetně úpravy geotechnických parametrů pro návrh založení.
Na základě výsledků doplňujícího průzkumu projektant přepracoval návrh založení pilíře a upravil délky jednotlivých pilot. Cílem této úpravy bylo zajistit spolehlivé přenesení zatížení do horninového prostředí i v úseku ovlivněném hlavní tektonickou poruchovou zónou. Délky pilot v ploše pilíře tak nejsou ve výsledku jednotné, ale v zóně největšího tektonického porušení masivu jsou piloty prodlouženy.

7. Závěr a hlavní poznatky

Inženýrskogeologický průzkum Dvoreckého mostu představuje příklad průzkumu významné dopravní stavby realizované ve složitém geologickém prostředí tektonicky porušeného barrandienského paleozoika. Podrobný průzkum poskytl základní informace o geologické stavbě, hydrogeologických poměrech i geotechnických vlastnostech horninového prostředí v trase mostu a zajistil podklady pro návrh založení jednotlivých opěr a pilířů.
Významným přínosem se ukázalo propojení klasických vrtných metod s geofyzikálními měřeními. Zatímco geofyzikální práce provedené v rámci podrobného průzkumu přispěly k identifikaci poruchových zón v širším území, doplňující seismická tomografie umožnila podrobnější interpretaci horninového prostředí přímo v prostoru zakládání pilíře P4.
Situace na pilíři P4 ukázala, že ani poměrně podrobný průzkum, který je v běžných podmínkách dostatečný, nemusí v geologicky komplikovaném prostředí postihnout všechny významné anomálie. Přestože byly v rámci podrobného průzkumu realizovány pro každý pilíř dva průzkumné vrty, skutečné podmínky zastižené během výstavby si na tomto pilíři vyžádaly doplnění průzkumných prací, zpřesnění inženýrskogeologického modelu, aktualizaci doporučení pro návrh založení a úpravu projektového řešení.
Získané zkušenosti zároveň potvrzují, že u geologicky složitých staveb je vedle odpovídajícího rozsahu průzkumu nezbytné také průběžně vyhodnocovat nově získané poznatky a být připraven v odůvodněných případech včas doplnit další průzkumné práce. Včasná identifikace geologických rizik a jejich zohlednění při návrhu a realizaci stavby představují jeden z důležitých předpokladů úspěšného zvládnutí geotechnicky náročných projektů.

HISTORIE IG PRŮZKUMŮ PRO PŘÍPRAVU PLAVEBNÍHO STUPNĚ DĚČÍN

Mgr. Jiří Rout

E-mail: Jiri.Rout@geotechnika.cz
SG Geotechnika a.s., Geologická 4, 152 00 Praha 5

Další autoři: RNDr. Jiří Nedvěd

Abstrakt:
Příspěvek shrnuje historii inženýrskogeologických průzkumů realizovaných v rámci přípravy projektu plavebního stupně Děčín na dolním toku Labe. Hlavní pozornost je věnována podrobnému inženýrskogeologickému průzkumu, jehož původně plánovaná doba realizace v řádu několika měsíců se v důsledku nesouhlasných stanovisek orgánů ochrany přírody a krajiny protáhla na více než deset let.

V příspěvku je přiblížen program průzkumných prací a jejich časová posloupnost v kontextu postupného povolování geologických prací v území. Zvláštní pozornost je věnována využití povrchového geofyzikálního měření z vodní hladiny, které umožnilo identifikaci hlavních geologických struktur v horninovém podloží a bylo klíčové pro optimalizaci návrhu situování administrativně i technicky náročných vrtů v řečišti Labe.

Dále jsou shrnuty zjištěné inženýrskogeologické poměry v prostoru připravované stavby a přiblížena je méně známá geologická stavba v oblasti tektonického okna v labském údolí. Závěrem příspěvek poukazuje na skutečnost, jak administrativní a povolovací procesy mohou zásadně ovlivnit nejen časový průběh inženýrskogeologických průzkumů, ale i vlastní přípravy staveb.

I/27 ŽIŽELICE – DOPLŇKOVÝ GTP

I/27 ŽIŽELICE – SUPPLEMENTARY GTP

Mgr. Petr Stöhr

SG Geotechnika a.s., Geologická 988/4, 152 00 Praha 5, e-mail: petr.stohr@geotechnika.cz

Abstrakt: Silnice I/27 je důležitou spojnicí mezi severozápadními Čechami a Plzeňskem, která vedla skrze obec Žiželice. Stavba tohoto díla byla plánovaná již mnoho desetiletí, avšak díky různým vlivům se budování odkládalo. Nově vybudovaný obchvat a přemostění pak zcela odvedl veškerou dopravu mimo obec. Tento projekt byl spojen zejména s nebezpečím aktivace sesuvů, čemuž sloužila síť monitoringu, aby se tyto jevy zachytily a v průběhu představební etapy monitoringu se určila míra nebezpečí. Zároveň doplňkový geotechnický průzkum dodal upřesňující informace pro projekční kancelář stavby.

Abstract: Road I/27 is an important connection between northwestern Bohemia and the Pilsen Region, which formerly ran through the municipality of Žiželice. The construction of this project had been planned for many decades, but its implementation was repeatedly postponed due to various factors. The newly constructed bypass and bridge have now completely diverted all traffic away from the municipality. The project was associated primarily with the risk of landslide activation. A monitoring network was therefore established to detect such phenomena and, during the pre-construction monitoring phase, to assess the level of risk. At the same time, the supplementary geotechnical investigation provided more detailed information for the project design team.

Klíčová slova: Žiželice, terciér, geotechnický průzkum, jíly, písky, uhelné jíly, sesuv, podzemní voda

Key words: Žiželice, tertiary, geotechnical investigation, clays, sands, coal clays, landslide, groundwater

1. Úvod

Práce na obchvatu a přemostění obce Žiželice započaly doplňkovým geotechnickým průzkumem a vybudování monitorovací sítě v červenci 2022. Úspěšné dokončení projektu nastalo v březnu 2026 (komunikace i most byly uvedeny do předčasného provozu již v prosinci 2025). Text níže pak zmiňuje stručné shrnutí jak prováděných prací, tak i zjištěných rizik a výsledků geotechnického průzkumu.

2. Geologie území

Z regionálně geologického hlediska se zájmové území nachází v oblasti podkrušnohorských pánví terciérního stáří, konkrétně v neproduktivní části žatecké delty. Geologická stavba území je tvořena nepravidelným střídáním jílů, uhelných jílů, vložek uhlí a písků, které se vyskytují v proměnlivých mocnostech. Na terciérní souvrství nasedají kvartérní sedimenty, zastoupené především písky až štěrky a sprašemi. Tato geologická skladba má významný vliv na sesuvné pohyby území, které probíhaly v menších či rozsáhlejších měřítkách. První rozsáhlejší sesuv je zaznamenán z roku 1941, který poničil několik budov. Poslední rozsáhlý sesuv se aktivoval v druhé polovině roku 2023 u místní kaple mimo oblast stavby.

Snímek č. 1 Pohled na sesuv z roku 1941 (fotografie poskytnuta místním pamětníkem)

3. Doplňkový geotechnický průzkum a vybudování monitorovací sítě

Přípravy pro práce započaly v červenci 2022 prvotní pochůzkou a vytyčením jak míst pro plánované vrty, tak i pro body geodetického monitoringu. Stavba však byla vedena režimem Design and Build a po zahájení prací byl pozměněn projekt mostního objektu, kdy se omezil počet podpěr. V původním projektu byly u každé mostní podpěry a opěry plánované dvojice hydrogeologických vrtů do první a druhé terciérní zvodně. Po změně počtu podpěr však nedávalo smysl v těchto místech vrty provádět a po projednání bylo rozhodnuto, že se tyto vrty převedou na průzkumné vrty pro nové pilíře a pilotové stěny. Následně díky silné náletové vegetaci probíhalo kácení, jak za pomocí motorových pil, tak i těžké pásové techniky. Proběhlo vybudování i nájezdových cest a plošin pro vrtnou techniku.

Samotné vrtné práce byly zahájeny počátkem října 2022. Koncem listopadu byla splněna první etapa vrtných prací a ihned následovala druhá etapa trvající do dubna 2023. Celkem bylo odvrtáno 23 inklinometrických vrtů, 32 hydrogeologických vrtů a 32 vrtaných či kopaných geodetických bodů. Společně s těmito vrty bylo provedeno 17 jádrových vrtů pro ověření podloží pro založení mostních pilířů, opěr a pro založení pilotových zdí. Celkem se odvrtalo 1898 m. Ihned po vystrojení byly hydrogeologické vrty společně s vybranými studnami v obci byly osazeny dataloggery, které po osmi hodinách zasílaly hodnoty do databáze a bylo tak možné nepřetržité sledování podzemních vod v sesuvné oblasti. Veškeré vrtné jádro bylo popsáno a fotograficky zadokumentováno. Vybrané zeminy se ovzorkovaly a byly podrobeny laboratorním rozborům. Veškeré vrty byly podrobeny karotáži za využití maximálního možného spektra metod. Jádrové vrty byly vystrojeny dočasnými pažnicemi a po karotáži se pažnice odstranily, od spodní části vrtu se provedla injektáž cemento-jílovou směsí, aby se zabránilo propojení zvodní. Z povrchových prací se provedlo geofyzikální měření (ERT), které s kombinací údajů vrtného průzkumu a karotáže ujasnilo situaci podloží. Oblast také byla osondována pedologickou sondýrkou pro ujasnění mocností ornice a její následnou skrývku. Podstatná byla taktéž rekognoskace bližšího okolí stavby, kdy se pochůzky

zaměřily na vyhledání veškerých pramenišť, případně zadokumentování drobnějších zátrhů ve svazích (do velikosti prvních metrů).

Snímek č. 2 Pohled na vybudovaný systém monitoringu u budoucí mostní opěry (inklinometrický vrt, dva hydrologické vrty do první a druhé terciérní zvodně a geodetický bod)

4. Výsledky

Z výše provedených prací vyplynula značná geologická složitost území, která je charakteristická chaotickým střídáním terciérních jílů, písků a uhelných jílů. Díky zeminám tvořící tuto oblast a sklonu terénu byla zaznamenána řada několikageneračních sesuvů sahající do hloubky až 7 m. Na bázi údolí se vyskytují v hloubkách od 18 m níže tlakové, zvodnělé písky. Z hydrogeologického hlediska byly ověřeny tlakové zvodně, kdy rozdíl naražené a ustálené hladiny podzemní vody dosáhl až 9 m. Ze žádného vrtu nebyl zaznamenán přetok těchto vod. Ze všech hydrogeologických vrtů byly odebrány dynamickým odběrem vzorky podzemních vod k chemickým rozborům. Tyto rozbory ukázaly taktéž na další značnou komplexnost a to, že v oblasti byly zachyceny podzemní vody neagresivní až vysoce agresivní. Díky tomuto zjištění byla upravena cementová směs pro pilotová založení.

5. Závěr

Doplňkový geotechnický průzkum spolu s vybudováním monitorovací sítě ukázal na značnou složitost území jak z pohledu geotechnického, tak i hydrogeologického. S těmito údaji musel jak investor, projektant stavby, zhotovitel a tým monitoringu počítat a byla nastolena spolupráce, kdy se zmíněné subjekty kontaktovali navzájem i při drobnějších problémech, aby nedošlo vlivem složitosti výstavby v sesuvném území jakýmkoliv škodám. Díky takto navrhnutému systému poté proběhla stavba bez vážnějších problémů.

Seznam literatury

Misař Z., Dudek A., Havlena V., Weiss J. (1983): *Regionální geologie ČSSR* I. Český masív, SPN Praha

Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Straník Z. (2011): *Geologická minulost České republiky*, Vyd. 1, Academia Praha, 436 s.

SG Geotechnika, a.s (5/2015): *Projekt doplňkového geotechnického průzkumu pro stavbu I/27 Žíželice obchvat a přemostění*

SG Geotechnika, a.s (9/2017): *Projekt monitoringu I/27 Žíželice obchvat a přemostění*

Geofos, s.r.o (2023): *Doplňkový průzkum I/27 Žíželice obchvat a přemostění*

KLASIFIKACE TĚŽITELNOSTI PODLE IGP A SKUTEČNOST ZJIŠTĚNÁ NA STAVBĚ

Jiří Tomášek [1]

[1] *4G consite s.r.o. – jiri.tomasek@4gconsite.com*

ÚVOD

Cílem přednášky je upozornit na v mnohých případech chybný způsob hodnocení těžitelnosti na základě vrtného průzkumu. Tato skutečnost se následně projevuje při otevření těžební – stavební jámy, případně zářezu při vlastní realizaci a tím vznikají nepředpokládané náklady zvyšující cenu stavebních prací nebo komplikace mezi investorem a zhotovitelem.
Na několika případech bude upozorněno na základní nedostatky a doporučen přístup pro hodnocení těžitelnosti.

ZÁKLADNÍ PŘEDPISY PRO KLASIFIKACI TĚŽITELNOSTI

V prostředí předpisové základny používané v České republice se využívá v tuto chvíli jediná klasifikace uvedená v ČSN 73 6133 resp. ČSN P 73 1005. Vzhledem k existenci starší klasifikace těžitelnosti bude provedeno jednoduché porovnání s již neplatnou klasifikací, která se ještě v některých případech objevuje v projektech a rozpočtech.
Současně je v EU pro klasifikaci těžitelnosti platná sada norem pro zemní práce ČSN EN 16907 část 1-7.

PRAKTICKÉ PŘÍKLADY KLASIFIKACE V PRŮZKUMECH A POROVNÁNÍ SE ZASTIŽENOU SKUTEČNOSTÍ

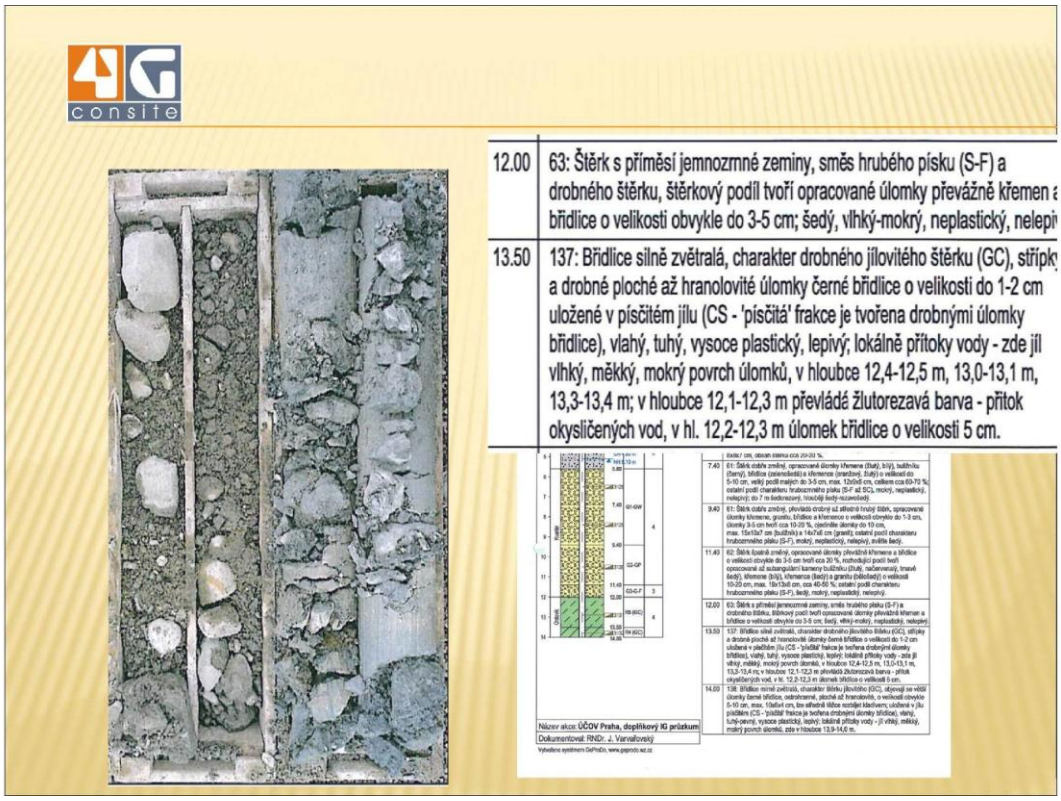
Výsledky vrtného průzkumu v závislosti na použité vrtné technologii pro geologa zkreslují skutečnost nutnou podle předpisů pro určení klasifikace. Jedná se zejména o rozpukání, případně i o vlastní pevnost horniny v prostém tlaku.

ZÁVĚR

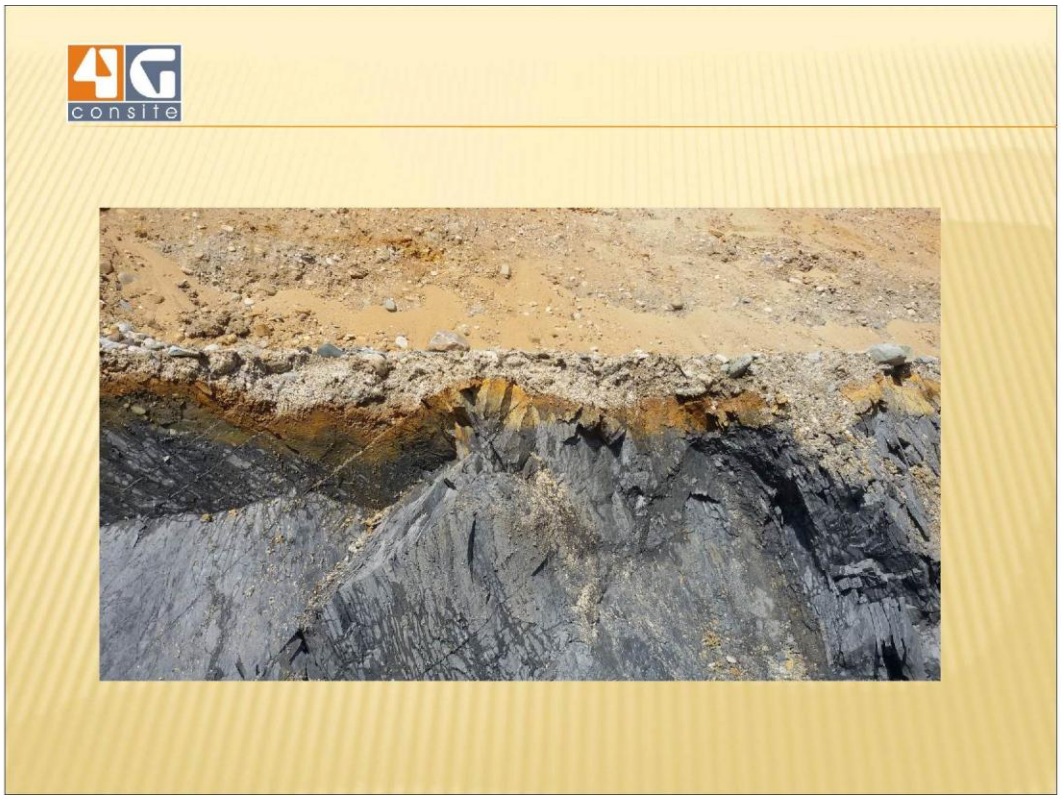
Podle uvedených příkladů bude doporučeno jak postupovat při klasifikaci těžitelnosti, která závisí jak bylo uvedeno výše na technologii sondáže a současně i na petrografické charakteristice hornin.

LITERATURA

Platná normová základna
Aktuální platné resortní předpisy
Podklady z archivů autorů



Obr.č.1 – vrtný profil sloužící ke klasifikaci



Obr.č.2 – skutečný profil zářezu v místě vrtu

PŘÍPRAVA VYSOKORYCHLOSTNÍCH TRATÍ V ČR – ZAJIŠTĚNÍ GEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU OČIMA INVESTORA

PREPARING HIGH-SPEED RAIL LINES IN THE CZECH REPUBLIC – ORGANISING GEOLOGICAL SURVEYS FROM THE INVESTOR'S PERSPECTIVE

Nikola Vacková[1], Martin Švehlík[2]

[1]*Správa železnic, státní organizace, Stavební správa vysokorychlostních tratí, V Celnici 1028/10, 110 00 Praha 1 Nové Město, e-mail: vackovan@spravazeleznic.cz*
[2]*Správa železnic, státní organizace, Stavební správa vysokorychlostních tratí, V Celnici 1028/10, 110 00 Praha 1 Nové Město, e-mail: Svehlik@spravazeleznic.cz*

Abstrakt:
Příprava páteřní sítě vysokorychlostních tratí (dále jen VRT) v České republice probíhá v souladu s dlouhodobými strategickými cíli státu a Evropské unie. Správa železnic v rámci rozvoje systému rychlých železničních spojení systematicky pokračuje v přípravě vybraných úseků, přičemž zásadní důraz je kladen na dokončování klíčových průzkumných prací v terénu, postup v procesech EIA, územní a majetkoprávní přípravu a na zpřesňování projektové dokumentace. Rozvoj základní sítě VRT vychází z Programového prohlášení vlády a Hospodářské strategie Česko: Země pro budoucnost 2.0, která předpokládá realizaci hlavní osy Drážďany – Praha – Brno – Rakvice/Přerov – Ostrava do roku 2040, a je úzce provázán s evropskou politikou TEN-T.

Klíčovou součástí přípravy VRT jsou rozsáhlé inženýrsko-geologické a hydrogeologické průzkumy, jejichž cílem je včasná identifikace geologických rizik a vytvoření spolehlivého podkladu pro návrh technicky a ekonomicky optimalizovaných řešení. Příspěvek se zaměřuje na specifika přípravy, zadávání a koordinace geologických průzkumů z pohledu objednatele, zejména na správné vymezení cílů průzkumu v jednotlivých stupních projektové přípravy, etapizaci prací v dlouhých liniových stavbách a provázání průzkumů s návrhem tunelových objektů, hlubokých zářezů, mostních konstrukcí a zakládání staveb. Diskutovány jsou rovněž zkušenosti s řízením geologických nejistot, vyhodnocováním a interpretací výsledků průzkumů, jejich využitím v procesu EIA a jejich rolí při strategickém rozhodování investora v raných fázích přípravy staveb VRT.

Abstract:
Preparations for the backbone network of high-speed rail lines (hereinafter referred to as 'VRT') in the Czech Republic are proceeding in line with the long-term strategic objectives of the state and the European Union. As part of the development of the high-speed rail network, the Railway Administration is systematically continuing with the preparation of selected sections, with a strong emphasis on completing key field surveys, progressing through EIA procedures, carrying out land-use and property rights preparations, and refining the project documentation. The development of the core high-speed rail network is based on the Government's Policy Statement and the Economic Strategy 'Czech Republic: A Country for the Future 2.0', which envisages the completion of the main Dresden–Prague–Brno–Rakvice/Přerov–Ostrava axis by 2040, and is closely linked to the European TEN-T policy.

A key component of deep drilling preparation is extensive engineering-geological and hydrogeological surveys, the aim of which is the early identification of geological risks and the creation of a reliable basis for the design of technically and economically optimised solutions. This paper focuses on the specifics of preparing, commissioning and coordinating geological surveys from the client's perspective, in particular on the correct definition of survey objectives at the various stages of project preparation, the phasing of works in long linear structures, and the integration of surveys with the design of tunnel structures, deep cuttings, bridge structures and foundation works. It also discusses experience with managing geological uncertainties, the evaluation and interpretation of survey results, their use in the EIA process, and their role in the investor's strategic decision-making during the early stages of high-speed rail project preparation.

Klíčová slova:
vysokorychlostní tratě, geologický průzkum, investor, geotechnická rizika, referenční požadavky, kvalifikace dodavatelů, tunelové stavby, hydrogeologický monitoring

Key words:
high-speed rail lines, geological survey, investor, geotechnical risks, specification requirements, contractor qualification, tunnel construction, hydrogeological monitoring

1. VRT a proč vznikají

Vysokorychlostní tratě (VRT) představují jeden z nejvýznamnějších infrastrukturních projektů současné České republiky. Jejich příprava je součástí dlouhodobé dopravní politiky státu a současně navazuje na evropské snahy o vytvoření propojené sítě vysokorychlostní železnice. Hlavním cílem projektu je vybudování kapacitní, spolehlivé a konkurenceschopné železniční infrastruktury, která umožní významné zkrácení cestovních dob mezi hlavními metropolitními oblastmi České republiky i jejich kvalitnější propojení s okolními státy. Současně přispěje k navýšení kapacity stávající železniční sítě pro regionální a nákladní dopravu.

2. Strategie VRT

Rozvoj VRT vychází z aktuálních strategických dokumentů České republiky. Programové prohlášení vlády deklaruje pokračování přípravy jednotlivých úseků VRT v návaznosti na finanční možnosti Státního fondu dopravní infrastruktury. Na něj navazuje Hospodářská strategie Česko: Země pro budoucnost 2.0, která stanovuje ambici dokončit do roku 2040 základní síť VRT v ose Drážďany – Praha – Brno – Rakvice/Přerov – Ostrava.
Národní cíle jsou zároveň úzce propojeny s evropskou dopravní politikou. Významným milníkem se stalo přijetí nového nařízení TEN-T v roce 2024, které vytvořilo rámec pro rozvoj evropské sítě vysokorychlostních železnic. Evropská komise následně v roce 2025 představila Akční plán pro vysokorychlostní železnici, jehož cílem je urychlené budování propojené evropské železniční sítě do roku 2040. Předpokládá se rovněž vytvoření nových finančních mechanismů a koordinace investic na nadnárodní úrovni. České projekty VRT proto nejsou izolovanými stavbami, ale představují součást budoucích evropských dopravních koridorů.
Významným principem českého konceptu VRT je propojení nových vysokorychlostních tratí se stávající železniční sítí. Jednotlivé úseky jsou navrhovány tak, aby přinášely přínosy již od okamžiku jejich uvedení do provozu, a to nejen pro vysokorychlostní dopravu, ale i pro regionální a dálkové vlakové spoje. Díky konceptu sdíleného provozu není nezbytné budovat zcela nový vozidlový park, což umožňuje efektivnější využití investic a rychlejší implementaci nových spojení.

3. Aktuální stav přípravy VRT v ČR

Příprava sítě VRT v České republice probíhá postupně po jednotlivých ramenech a stavebních úsecích. Mezi prioritní projekty patří zejména VRT Moravská brána, VRT Jižní Morava, VRT Polabí, VRT Střední Čechy, VRT Praha, VRT Podřipsko a navazující úseky směrem na Ústí nad Labem a státní hranici se Spolkovou republikou Německo včetně Krušnohorského tunelu. Harmonogram přípravy předpokládá postupné uvádění prvních úseků do výstavby již v závěru tohoto desetiletí a následné rozšiřování sítě v dalších etapách až do roku 2040.
Zásadní pozornost je věnována také mezinárodnímu propojení. Nejvýznamnějším přeshraničním projektem je připravovaný Krušnohorský tunel, který bude součástí spojení mezi Českou republikou a Německem. Tunel o předpokládané délce přibližně 30 km je připravován ve spolupráci Správy železnic a německého správce infrastruktury DB InfraGO AG. Projekt již postoupil do další fáze procesu EIA a připravuje se mezistátní smlouva o společné přípravě, výstavbě a provozu. Po dokončení vznikne nové kapacitní železniční spojení umožňující významné posílení osobní i nákladní dopravy mezi Českou republikou a západní Evropou.
Úspěch projektu VRT je podmíněn nejen technickou přípravou, ale také efektivní komunikací s dotčeným územím. Správa železnic proto využívá moderní digitální nástroje založené na geografických informačních systémech. Prostřednictvím mapového portálu VRT jsou veřejnosti zpřístupňovány informace o vedení tras, technickém řešení jednotlivých úseků, hlukových studiích nebo průběhu veřejných projednání. Součástí systému jsou rovněž nástroje umožňující podávání připomínek a zaznamenávání místních podnětů formou tzv. pocitových map. Tento přístup přispívá k transparentnosti přípravy a umožňuje včasné zapracování relevantních připomínek do projektové přípravy.

4. Průzkumy pro VRT

Rozsah přípravy VRT vyžaduje koordinaci celé řady odborných činností. Kromě projektových prací jsou realizovány geodetické, přírodovědné, archeologické, hydrogeologické a inženýrskogeologické průzkumy, které vytvářejí nezbytný podklad pro další stupně přípravy staveb. Zkušenosti z dosavadní přípravy potvrzují, že včasná identifikace technických a environmentálních rizik významně snižuje nejistoty v dalších fázích projektové přípravy a přispívá k optimalizaci budoucích investičních nákladů.
Právě systematická příprava průzkumných prací, jejich rozsah, etapizace a využití výsledků při návrhu technického řešení představují jeden z klíčových faktorů úspěšné přípravy VRT. V následující části příspěvku

jsou proto podrobněji popsány zkušenosti investora s organizací a řízením inženýrskogeologických a hydrogeologických průzkumů na vybraných úsecích sítě VRT v České republice.

5. Specifika VRT ve vztahu ke geologickým průzkumům

Přestože jsou VRT z pohledu geologických prací rovněž liniovými dopravními stavbami, vykazují oproti konvenční železniční infrastruktuře několik významných specifik. Především se jedná o rozsáhlé stavby s vysokým podílem technicky náročných objektů, jako jsou dlouhé tunely, rozsáhlé mosty a estakády, hluboké zářezy nebo vysoké násypy. Geologické podmínky tak často ovlivňují nejen návrh jednotlivých objektů, ale již samotné trasování budoucí trati.
Na rozdíl od modernizací stávajících železničních koridorů probíhá většina tras VRT dosud nezastavěným územím, kde často chybí dostatečné množství archivních geologických podkladů. Významně proto roste role předběžných průzkumů a postupného zpřesňování geologického modelu v jednotlivých fázích přípravy.
Dalším rozdílem je důraz na včasnou identifikaci geologických rizik. Vzhledem k rozsahu staveb a předpokládaným investičním nákladům může mít pozdě odhalená geologická komplikace zásadní dopad na technické řešení i ekonomiku projektu. Z pohledu investora proto nejsou geologické průzkumy pouze podkladem pro návrh stavebních objektů, ale především nástrojem pro řízení rizik v průběhu celé projektové přípravy.
Příprava geologických průzkumů na VRT je založena na postupném zpřesňování poznání území v návaznosti na vývoj projektového řešení. Základními stupni jsou předběžný inženýrskogeologický průzkum, sloužící primárně k identifikaci geologických a hydrogeologických rizik v koridoru stavby, a následný podrobný průzkum poskytující podklady zejména pro detailní návrh jednotlivých stavebních objektů. V případě potřeby jsou jednotlivé etapy doplňovány cílenými doplňkovými průzkumy zaměřenými na ověření specifických geotechnických nebo hydrogeologických podmínek v technicky náročných úsecích stavby.

6. Co od geologického průzkumu očekává investor?

Z pohledu investora není cílem geologického průzkumu realizovat co největší počet vrtů ani získat maximální množství dat. Hlavním účelem průzkumu je poskytnout spolehlivé podklady pro rozhodování v jednotlivých stupních projektové přípravy. Geologický průzkum musí umožnit identifikaci klíčových geotechnických a hydrogeologických rizik, ověřit realizovatelnost navrženého technického řešení a vytvořit podklady pro návrh tunelů, mostních objektů, zemního tělesa i zakládání staveb. Investor současně očekává, že zhotovitel průzkumu upozorní na zjištěná rizika a nejistoty, včetně jejich možných dopadů na technické řešení, harmonogram nebo ekonomiku projektu. Nepostradatelnou součástí kvalitně provedeného průzkumu jsou proto také odborná doporučení pro navazující projektovou přípravu, případně návrh doplňujících průzkumných prací nezbytných k ověření identifikovaných rizik.
Informace získané z geologických průzkumů tak představují jeden ze základních nástrojů pro řízení rizik v průběhu celé přípravy vysokorychlostních tratí.

7. Jak a proč nastavujeme soutěžní podmínky?

Investor nemůže přímo ovlivnit, který z uchazečů veřejnou zakázku získá. Prostřednictvím zadávacích podmínek však stanovuje minimální úroveň odbornosti, zkušeností a kvalifikace, kterou považuje za nezbytnou pro řádné splnění předmětu zakázky. Klíčovým bodem, avšak často oříškem je naleznutí rovnováhy mezi otevřenou hospodářskou soutěží a požadavkem na dostatečnou odbornou úroveň zhotovitele.
Požadavky na kvalifikaci zpravidla přímo souvisí s předmětem veřejné zakázky a odpovídají její složitosti, rozsahu a technické náročnosti. Z pohledu investora proto není rozhodující pouze počet realizovaných zakázek, ale skutečnost, zda uchazeč prokáže zkušenosti s činnostmi obdobného charakteru, které budou předmětem plnění připravované zakázky. U geologických průzkumů pro VRT se tak jedná například o zkušenosti s průzkumy rozsáhlých liniových staveb, geotechnicky náročných objektů nebo staveb zasazených do složitých hydrogeologických poměrů.
Stejný princip je uplatňován také při požadavcích na odborný personál. Investor požaduje taková oprávnění, autorizace a odbornou způsobilost, které budou nezbytné pro řádné plnění konkrétní zakázky. Cílem není omezovat okruh potenciálních dodavatelů, ale ověřit, že navržený realizační tým disponuje odborností potřebnou pro řešení předpokládaných geotechnických, hydrogeologických a inženýrskogeologických úloh.
Kvalifikační požadavky proto nepředstavují nástroj k omezení hospodářské soutěže, ale prostředek k ověření schopnosti uchazeče úspěšně realizovat požadované práce a poskytovat investorovi podklady potřebné pro kvalifikované rozhodování v dalších fázích projektové přípravy. Současně musí být každý požadavek přiměřený,

objektivně odůvodnitelný a obhajitelný ve vztahu k předmětu plnění, což je základní princip uplatňovaný při přezkumu zadávacích podmínek.

8. Zkušenosti z dosavadních zakázek VRT

Dosavadní zkušenosti z přípravy a realizace geologických průzkumů pro vysokorychlostní tratě ukazují, že významnou roli nehraje pouze odborné provedení průzkumných prací, ale také správné nastavení zadávacích a smluvních podmínek. Jedním z opakovaně řešených témat je například volba režimu veřejné zakázky. Geologické průzkumy zpravidla zahrnují jak stavební práce, zejména vrtné činnosti, tak odborné služby spočívající ve vyhodnocení výsledků a zpracování závěrečných výstupů. Správné určení povahy veřejné zakázky proto nemusí být vždy jednoznačné a může mít zásadní vliv na průběh zadávacího řízení.
Cenné zkušenosti byly získány například při přípravě a realizaci předběžného inženýrskogeologického průzkumu pro Krušnohorský tunel. Vzhledem k významu stavby a vysokým nárokům na kvalitu geologických podkladů byl pro vrtné práce požadován výnos vrtného jádra o minimálním průměru 100 mm. Přestože se jedná o požadavek, který není v podmínkách České republiky běžný, u významných tunelových staveb v zahraničí představuje standardní postup umožňující získání kvalitnějších podkladů pro geologické a geotechnické hodnocení horninového prostředí.
Významným přínosem dosavadních zakázek jsou rovněž zkušenosti získané během samotné realizace průzkumných prací. V případě hlubokých průzkumných vrtů se například ukázalo, že pro zajištění jejich plynulé a bezpečné realizace je nutné již v přípravné fázi uvažovat s nepřetržitým provozem vrtných prací. Současně se potvrdila potřeba věnovat zvýšenou pozornost souvisejícím požadavkům na ochranu veřejného zdraví a životního prostředí, zejména problematice hlukové zátěže v okolí vrtných pracovišť. Do budoucna tak bude vhodné již ve fázi projektové přípravy důsledně posuzovat potřebu mobilních protihlukových opatření, případně dalších souvisejících povolení a správních postupů. Dosavadní zkušenosti potvrzují, že právě včasná identifikace těchto požadavků může významně přispět k hladkému průběhu realizace geologického průzkumu.

9. Budoucí směřování geologických průzkumů pro VRT

Zkušenosti získané při přípravě jednotlivých úseků vysokorychlostních tratí umožňují formulovat několik základních principů, které budou určovat další směřování geologických průzkumů. Jedním z nich je zachování otevřené hospodářské soutěže, transparentního zadávání veřejných zakázek a aktivního využívání předběžných tržních konzultací. Tyto nástroje umožňují investorovi získat zpětnou vazbu od odborné veřejnosti a současně přispívají k efektivnímu nastavení zadávacích podmínek.
Z technického hlediska je cílem zajistit pro každý úsek VRT odpovídající rozsah geologického poznání prostřednictvím předběžného a následně podrobného inženýrskogeologického průzkumu. Důležitou součástí přípravy bude rovněž dlouhodobý monitoring podzemních a povrchových vod, který by měl probíhat před zahájením výstavby, během realizace stavby i po jejím dokončení. Takový přístup umožní lépe vyhodnotit výchozí stav území a případné vlivy stavebních prací na vodní režim dotčeného území.
S rostoucím významem monitorovacích prací poroste také potřeba systematického řešení majetkoprávních vztahů souvisejících s provozem hydrogeologických a inklinometrických vrtů. Dlouhodobě využívané monitorovací objekty je nezbytné evidovat, spravovat a majetkoprávně zajistit tak, aby mohla být kontinuita monitoringu zachována po celou dobu přípravy a realizace stavby.
V případě významných tunelových staveb lze současně očekávat rostoucí důraz na kvalitu získávaných geologických podkladů, včetně požadavků na odběr vrtných jader větších průměrů. Cílem těchto opatření není zvyšování rozsahu průzkumných prací, ale získání kvalitnějších dat umožňujících přesnější geologickou interpretaci a spolehlivější návrh technického řešení.
Budoucnost geologických průzkumů pro VRT tak nebude spočívat pouze ve zvyšování objemu průzkumných prací, ale především ve zvyšování kvality geologických podkladů, jejich dlouhodobé využitelnosti a schopnosti včas identifikovat rizika ovlivňující přípravu a realizaci staveb.

Sekce 9

Inženýrskogeologický průzkum pro podzemní stavby

O čem je kniha “Geofyzika pro podzemní stavitelství”?

What is the book Geophysics for Underground Construction about?

Pavel Bláha

důchodce, Praha 10, Švehlova 26, babel@email.cz

Abstrakt: Kniha popisuje možnosti použití geofyzikálních metod pro průzkum podzemních staveb. Text i příklady v knize ukazují, že je možné použít širokou škálu geofyzikálních metod od běžných (seismiky, odporové metody, karotážní měření) až po metody méně obvyklé (magnetotelurika, letecká magnetika). Samostatné kapitoly jsou věnovány rozboru fyzikálních vlastností a komplexní interpretaci naměřených hodnot. Kniha ukazuje i důležitost geologické a geotechnické interpretace geofyzikálních měření pomoci společné interpretace inženýrských geologů, geotechniků a geofyziků.

Abstract: The book describes the application of geophysical methods to the investigation and construction of underground engineering works. Both the text and the case studies demonstrate that a wide range of geophysical techniques can be employed, from conventional methods (such as seismic surveys, electrical resistivity methods, and borehole logging) to less commonly used techniques (including magnetotellurics and airborne magnetic surveys). Separate chapters are devoted to the analysis of the physical properties of rocks and soils and to the integrated interpretation of geophysical data. The book also emphasizes the importance of combining geological, geotechnical, and geophysical information through the joint interpretation of measurements by engineering geologists, geotechnical engineers, and geophysicists.

Klíčová slova: geofyzikální metody, podzemní stavitelství, komplexní interpretace. geologické zhodnocení

Key words: geophysical methods; underground engineering; integrated interpretation; geological assessment

1. Úvod

Kniha vznikla jako odezva na rozvíjející se používání geofyzikálních metod jak při průzkumu z povrchu, tak i při měření v podzemí. Zásadní úkol jejich nasazení je co nejdokonalejší poznání geologické stavby horninového masivu. Týká se to nejen stádia projektování, ale i v období bezprostředně před začátkem výstavby velkých podzemních inženýrských děl. Další rozsáhlé nasazení geofyziky je i v období stavby podzemního díla, zejména při stavbě tunelů. V tomto případě je úkolem geofyziky doplnit poznání geologické stavby před čelbou tunelu.

Kniha je rozčleněna do následujících deseti kapitol:

1. Úvod
2. Podzemní stavitelství
3. Fyzikální vlastnosti
4. Hornická geofyzika
5. Povrchový geofyzikální průzkum
6. Geofyzikální zkoumání geologické stavby v podzemí
7. Geofyzikální zkoumání napěťo-deformačního stavu horninového masivu
8. Vztahy fyzikálních a geotechnických vlastností horninového masivu
9. Geofyzikální monitoring
10. Závěr

Kniha byla vydána v květnu 2024 v nákladu 500 výtisků.

2. O čem je kniha „Geofyzika pro podzemní stavitelství“

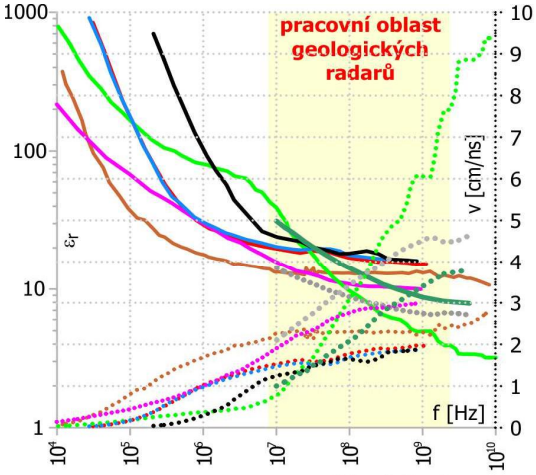
Geofyzika a podzemní stavitelství, nebo aplikovaná geofyzika, tunely a úložiště? Ať to beru z kterékoli stránky, tak jsou to jevy, nebo problematika, nebo fenomén, nebo úkazy, nebo záhady anebo koníček (můj případ) a je to velmi zajímavé téma. V knize jsem se pokusil popsat své zkušenosti za období delší než šedesát let. Překládám nejen své zkušenosti, ale snažil jsem se využít i poznatků, které je možné získat studiem literatury, ať vědeckých článků, nebo „jen“ čtením různých závěrečných zpráv, ať již inženýrskogeologických, geotechnických nebo geofyzikálních. Kniha

je výsledkem práce a zkušeností geofyzika, který byl celý svůj odborný život neustále v kontaktu s vynikajícími českými i zahraničními geology a geofyziky.
Popisovaná publikace je určena zájemcům o problematiku použití geofyzikálních metod při průzkumu do větších hloubek nebo průzkumu v podzemí při stavbě tunelů nebo velkých kaveren. Monografie může dobře sloužit ke vzájemnému pochopení a dorozumění mezi geofyziky, geotechniky, inženýrskými geology, stavebními inženýry a případně i dalšími specialisty, kteří se zajímají o tento obor. Další skupinou, kterou jsem chtěl oslovit, jsou pracovníci organizací, kteří z titulu své funkce se touto problematikou musí zabývat, nebo je pro ně tato problematika zajímavá jako jedna ze stránek soužití člověka s přírodou. Stejně tak může kniha posloužit jako učební text pro studium na vysokých školách.
V úvodu je popsán současný stav problematiky a je konstatováno, že geofyzikální metody při průzkumu pro podzemní stavitelství zaujímají čím dál významnější místo. Je dokumentován i stav v zahraničí. Druhá kapitola je spíše věnována geofyzikům než specialistům z jiných oborů. Uvádím v ní etapy průzkumu pro podzemní stavby a postavení geofyziky v této problematice. V druhé části této kapitoly je ukázáno, jaký je účel, přínos, a jaké výhody přináší aplikace geofyzikálních metod v tomto oboru a jaké jsou možnosti jednotlivých geofyzikálních metod.
Následující kapitola je věnována rozporu fyzikálních vlastností hornin a horninového masivu. Pozornost je věnována zejména těm vlastnostem, které mají významný vliv na geofyzikální měření a výběr geofyzikálních metod. Na konci kapitoly následuje doporučení, jak lze získat co nejlepší představu o fyzikálních vlastnostech hornin a horninového masivu na zájmové lokalitě. Čtvrtá kapitola se věnuje krátkému popisu „hornické geofyziky“, kterou lze pokládat za předchůdkyni oboru, kterému je věnována tato publikace.
Pátá kapitola je první ze zásadních kapitol knihy. Je věnována geofyzikálnímu průzkumu horninového masivu, ve kterém má být podzemní dílo vybudováno, a to průzkumem ze zemského povrchu. Největší pozornost je věnována třem nejdůležitějším metodám, karotážním, seizmickým a geoelektrickým. Netradičně se začíná karotáží, která je v knize de facto považována za přímou metodu průzkumu. V jednotlivých podkapitolách jsou popsány jak klasické metody, tak i metody využívající možnosti, které poskytuje poslední vývoj v přístrojové i zpracovatelské technice. To platí i o přechodu od průzkumu bodového, přes průzkum v rovině (2D) až k průzkumu v prostoru (3D). V závěru kapitoly jsou ukázky možností, které poskytují i „netradiční“ geofyzikální metody. Kapitola je uzavřena rozborem, který popisuje výhody komplexní interpretace geofyzikálních měření.
Šestá kapitola je věnována průzkumu horninového masivu z podzemí, ať již z průzkumných nebo z technických děl. Postup rozboru možností jednotlivých geofyzikálních metody je prakticky totožný, jako při popisu povrchového průzkumu. Zvláštní pozornost je věnována metodě, která podává informace o geologické stavbě horninového masivu a jeho vlastnostem před čelbou raženého podzemního díla. Ukazují se i možnosti geofyzikálních metod při dělení horninového masivu do kvazihomogenních celků a tím získání výhod při možnosti vhodně rozmístit geotechnické zkoušky a testy, případně určit jejich prostorovou platnost.
Sedmá kapitola se věnuje zkoumání horninového masivu těsně za stěnou báňského díla. Prezentuje možnosti geofyzikálních metod při stanovení hranic a určení vlastností jednotlivých zón, které vznikají po vyražení podzemního díla. V této kapitole se popisuje, jak se mění vhodnost jednotlivých geofyzikálních metod při řešení této problematiky, kdy nabírají největší váhu seizmické metody na vysokých frekvencích (někdy nazývané akustické nebo ultrazvukové) a metody radarové. Dále jsou ukázány i možnosti, jak posoudit změny napětí v horninovém masivu, i jak určit místa uvolnění napětí nebo naopak místa jeho koncentrace.
Osmá kapitola je věnována vztahům a vazbám fyzikálních a geomechanických vlastností a možnosti jejich využití při popisu charakteru horninového masivu. Jsou uvedeny příklady, jak je možné z jedné vlastnosti odvodit vlastnost jinou, a jak toho využít k získání znalostí k lepšímu popisu zájmového horninového masivu. Devátá kapitola je věnována geofyzikálnímu monitoringu. Kapitola navrhuje rozdělení takovýchto měření do dvou kategorií, a to do kategorie opakovaných měření, tj. měření s delším časovým odstupem a do spojitého monitoringu, kdy se měření opakují v trvale osazeném měřícím systému s přesně definovaným časovým odstupem (time lapse).
Kniha je ukončena závěrem, který hodnotí možnosti jednotlivých geofyzikálních metod, ale i geofyziky jako celku, při průzkumu a výzkumu horninového masivu při podzemním stavitelství. Je zdůrazňováno, jak důležitý je společný přístup odborníků všech spřízněných oborů při inženýrskogeologické a geotechnické interpretaci geofyzikálního měření. Právě v této skutečnosti byla síla tohoto oboru u nás.
V celé knize jsem se snažil vše ukazovat na konkrétních případech. Kniha tak obsahuje více než tři sta příkladů průzkumu z našich i zahraničních lokalit. Nestanovil jsem si za úkol věnovat se teoretickým rozborům, poučkám a normám, ale vše jsem se snažil dokumentovat na konkrétních příkladech.

3. Ukázka grafické stránky knihy

Celou problematiku použití geofyzikálních metod pro podzemní stavitelství jsem se snažil dokumentovat nejen v textových popisech a rozborech, ale i graficky. Kniha obsahuje 357 obrázků, na kterých jsou ukazovány výsledky různých

geofyzikálního měření, ale zobrazuje i jejich geologickou a geotechnickou interpretaci, a to jak z domova, tak i ze zahraničí. Zde bude ukázáno pět příkladů ze zásadních kapitol knihy. Účelem je ukázat styl obrázků a jejich vypovídací schopnost. K danému příkladu bude vždy doplněn i jeho krátký popis. Z kapitoly o fyzikálních vlastnostech, je to ukázka, jak se mění permitivita a rychlost elektromagnetických vln s jejich frekvencí (obr. 1). Je možné sledovat, že rychlost elektromagnetických vln při radarových měřeních není konstanta, ale že se mění, a v některých případech dost významně, v jednom případě i v násobcích. Ukazuje se, že na to, jak se rychlosti mění, nemá vliv složení horniny a její geneze. V obrázku je to dobře vidět na příkladu jílovitých pískovců. V jednom případě se rychlost v pásmu radarových měření mění cca pětkrát, v druhém případě je změna cca 30 %. Někteří autoři (Belyaeva a kol. 2017 a Shebab a kol. 2017) uvádí, že změny rychlostí mohou být způsobeny polarizací na rozhraní voda-vzduch. Při snížení saturace roztoku na 40–80 % z plné saturace se reálná permitivita v širokém frekvenčním pásmu zvyšuje. Frekvenční pásmo, ve kterém se projevuje vliv tohoto fenoménu na permitivitu, závisí na velikosti částic a koncentraci roztoku a jeho složení. Tento jev však neprobíhá vždy, důvodem může být snížení volnosti orientace vázaných molekul vody v hornině.



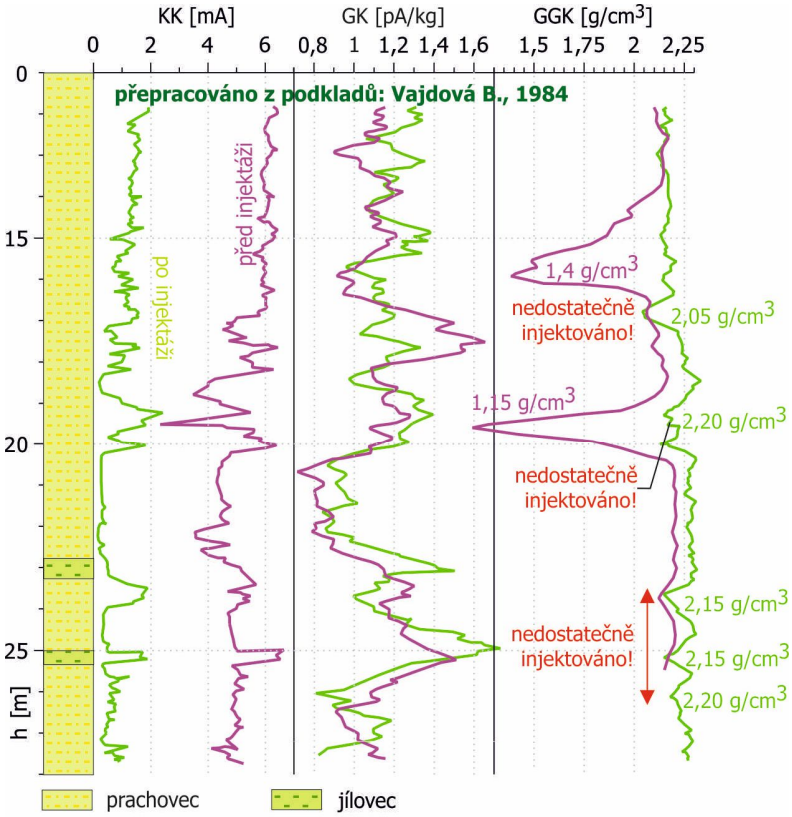
sestaveno a upraveno z:
Belyaeva a kol. 2017 + Shebab a kol. 2017

autor		hornina	n	s
			%	g/l
Belyaeva T. A. a kol. 2017		říční písek	28	17
Belyaeva T. A. a kol. 2017		říční písek	36	0
Belyaeva T. A. a kol. 2017		jílovitý pískovec	6,4	30
Belyaeva T. A. a kol. 2017		říční písek	29	0
Belyaeva T. A. a kol. 2017		jílovitý pískovec	24	0
Belyaeva T. A. a kol. 2017		pískovec	6,5	0
Shebab F. a kol. 2017		křemitý prach	neuváděno	
Shebab F. a kol. 2017		břidlice s uhlovodíky	neuváděno	

Obr. 1 Změny permitivity a emg. rychlosti na frekvenci
Fig. 1. Changes in permittivity and electromagnetic wave velocity with frequency

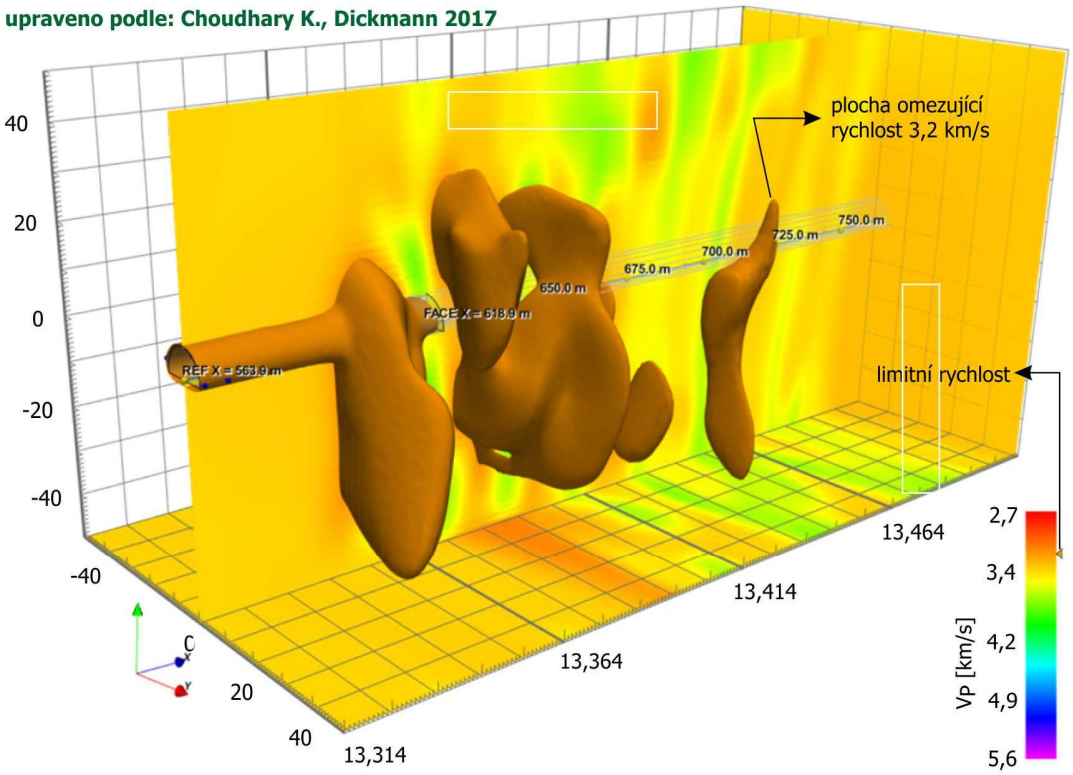
I některé starší aplikace karotážních měření ukazují, jak lze některé fyzikální principy používat využívat v širokém časovém rozpětí. Následující ukázka je z karotážních měření, která byla aplikována v roce 2005. Karotážními metodami je možné kontrolovat i kvalitu injektážních prací, respektive prací jejichž úkolem bylo zlepšit vlastnosti horninového masivu v zájmovém území. Ukázka je z konsolidace flyšového masivu pod TV vysílačem na Lysé hoře (obr. 2). Otevřené trhliny v pískovcích vzniklé ploužením byly pro stavbu televizního vysílače nebezpečné, proto byly zality cementovou směsí s následnou injektáží. Kontrola provedených injektážních prací byla svěřena karotážním měřením. Ke kontrole bylo použito měření GK, GGK a metody klouzavých kontaktů (KK) a to před a po injektáži. Na křivkách GK je zcela jednoznačně patrné, že nepřináší žádný jednoznačný průkazný důkaz o vlivu cementace na horninový masiv v okolí vrtu. Z měření GGK bylo možné vyčíslit vliv injektáže na zlepšení fyzikálních vlastností hornin, konkrétně objemové hmotnosti (Vajdová a kol. 1984). I když tyto práce požadují určité předpoklady pro odhady změn fyzikálních vlastností, mohou dát inženýrskému geologovi a geotechnikovi kvantitativní odhad změn, které v horninovém masívu nastaly po fortifikační injektáži. Výrazný rozdíl je patrný nejen na křivkách "hustotní" karotáže, ale i na křivkách klouzajících kontaktů (Vajdová a kol. 1984). Po injektáži došlo ke snížení anomálií "hustotní" karotáže nebo respektive k jejich úplnému potlačení. V obrázku jsou u jednotlivých anomálií připsány odhadované hodnoty zvýšení objemové hmotnosti z GGK. Je třeba si uvědomit, že výrazné nárůsty objemové hmotnosti, i když jsou vedeny v absolutních jednotkách, nemusejí být zcela správné. Zejména určování objemové hmotnosti ve významných anomálních zónách (například v 19 m) nedává zcela přesné hodnoty. Zvýšení objemové hmotnosti zjištěné v jednotlivých trhlinách dosahuje hodnoty dokonce přes 1,0 gcm^{-3}. I když je tato hodnota orientační, je možné zcela jednoznačně prokázat, že došlo k výraznému zlepšení mechanických vlastností horninového masívu. V místech, kde se zvýšila objemová hmotnost, došlo k obrácení anomálie u křivek klouzavých kontaktů. V místech, kde byly zaznamenány zvýšené hodnoty proudu před fortifikační injektáží, došlo po zainjektování k jeho snížení (viz anomálie v 19 m). To je způsobeno tím, že dřívější vodivá jílovitá výplň trhlin byla nahrazena výplní nevodivou – cementovou. Dalším rozborem karotážních křivek je možné ukázat místa, kde injektováním nebylo dosaženo prakticky žádného zlepšení, tj.

nedošlo k vniknutí injektážní směsi do trhlin. To je vysvětlitelné tím, že trhliny byly zcela zaplněny jílovitou výplní a provozní tlak injektáže byl malý na to, aby původní jílovitá výplň byla z trhlin vytlačena. Tento předpoklad je možné potvrdit stejnými anomáliemi proudu KK před a po injektáži. Ukázkou jsou anomálie ve 23,5 metrech a 25 metrech. Je samozřejmé, že ve skutečnosti mezi oběma typy trhlin mohou existovat přechody a navíc, že existují trhliny, které jsou vyplněny pískovcovou drtí. To všechno komplikuje jednoznačnost interpretace, ale i tak karotážní měření dalo podklady k tomu, že bylo možné prohlásit, že mechanické vlastnosti horninového masívu v podzákladí televizního vysílače byly po injektáži výrazně zlepšeny a byly vyhovující pro stavbu TV vysílače.



Obr. 2 Kontrolní karotážní měření na Lysé hoře
Fig. 2. Control borehole logging measurements at Lysá hora

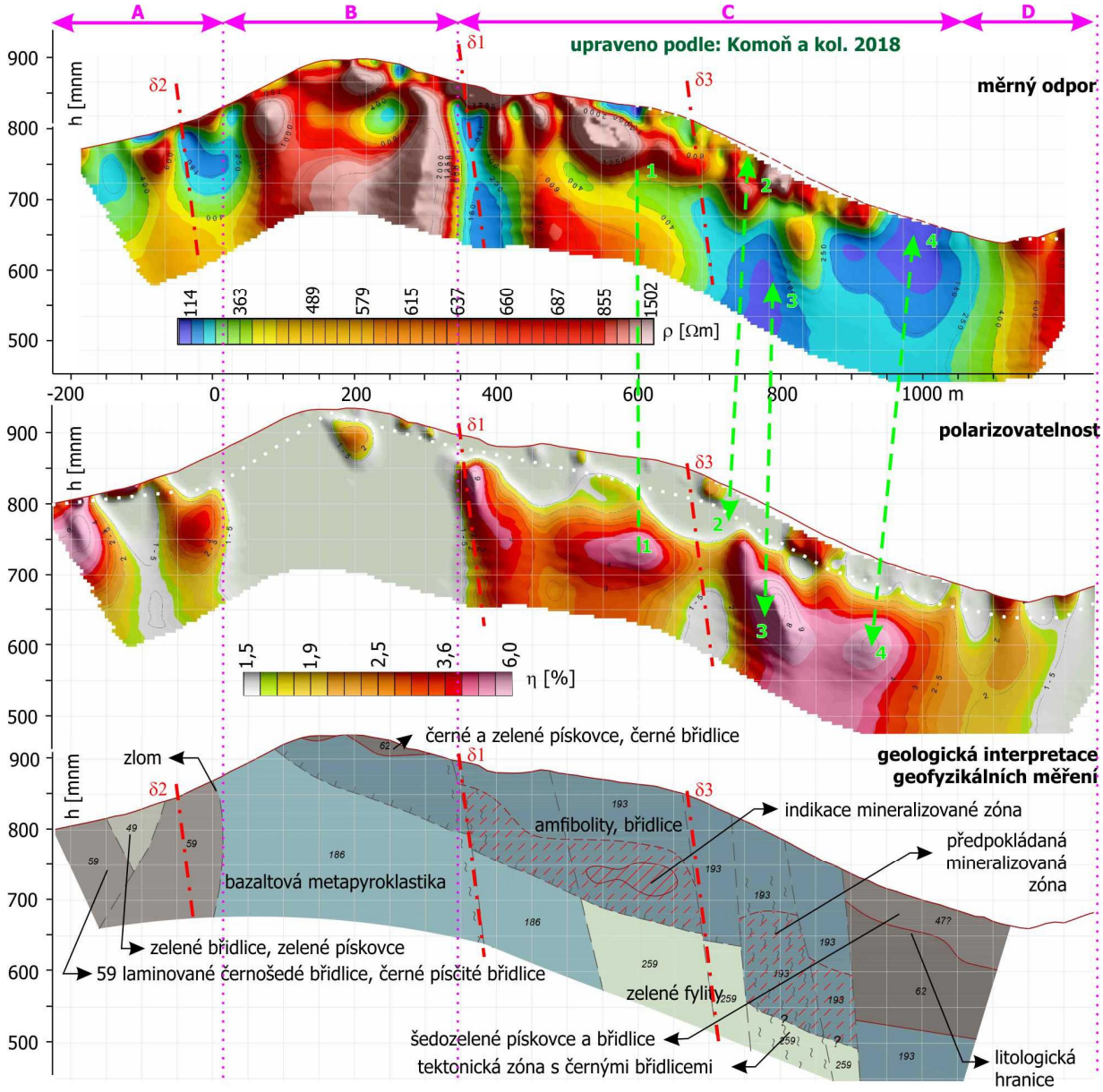
V posledních letech se stále více při ražbě tunelů začíná používat metoda „Tunelová seizmická predikce“ (Tunnel Seismic Prediction - TSP). Metoda je založena na použití principu reflexní seizmiky během ražby tunelu. TSP dokáže poskytnout předpověď o geologické stavbě horninového masivu na vzdálenost sto metrů před čelbou tunelu, v pevných horninách až do 150 metrů. Kromě toho tato metoda poskytuje predikci o významných změnách v horninovém masivu, a to jak před čelbou tunelu, tak i kolem jeho osy. Výsledky hodnocení poskytují 2D nebo 3D grafy předpovídající litologické změny, porušení horninového masivu, jeho oslabené zóny, změny pevnosti hornin, krasové jevy, intenzivně zvodnělé části masivu a případně i další geologické nehomogenity. Metoda se začala používat v devadesátých letech a jedním z jejich propagátorů začala být od roku 1994 švýcarská forma Amberg (The Pioneer TSP 202). Její vývoj zatím končí typem „TSP Impakt“, který již nepotřebuje používání trhavin. Výsledkem měření je určení rychlostí podélných i příčných vln okolo tubusu tunelu včetně prostoru, kterým bude tunel následně procházet. Z rychlostí seizmických vln se pak odvozují potřebné moduly, Poissonovo číslo a prostory oslabených míst horninového masivu. Zpracovatelský program též umožňuje sestavit 3D model rozložení rychlosti podélné i příčné vlny. 3D rozložení rychlosti P-vlny na obrázku 3. Na obrázku je vyznačena již vyražená tunelová trouba a její pokračování dále do horninového masivu a celá proměřená oblast. Máme-li definovanou rychlost, která odpovídá porušeným horninám, pak je možné tyto oblasti v okolí tubusu tunely vyznačit. Přesnou orientaci hranic oslabených zón s libovolně zvolenou rychlostí (v tomto případě 3,2 km/s) lze zkoumat pomocí 3D prohlížeče (obr. 3). Kromě hodnot rychlostí byly na lokalitě určeny i hodnoty objemové hmotnosti, které byly vypočteny empirickým vzorcem s použitím hodnot VP a VS. Odvozené hodnoty objemové hmotnosti pro tento případ leží mezi 2,20 a 2,32 gcm^{-3} (Choudhary a Dickmann 2017). Tyto hodnoty



Obr. 3 Vymezení oblastí s nízkými rychlostmi podélných vln
Fig. 3. Delineation of zones with low P-wave velocities

představují průměrnou objemovou hmotnost v daném horninovém masivu v jeho přirozeném stavu a neměly by být brány jako absolutní.

Další ukázka je z hlubokého geologického průzkumu do velkých hloubek (cca 500 m) vedeného kombinací odporové tomografie a tomografie vyzvané polarizace. U té byl jako parametr vybrán koeficient polarizace. Ukázka je z měření na slovenské lokalitě Dobšiná. Vlastní průzkum těmito metodami nesloužil pro žádnou podzemní stavbu, ale jednalo se o průzkum ložiskový, pro vyhledávání nikl-kobaltových rud. Přesto lze na jeho výsledcích ukázat možnosti, které poskytuje souběžné měření měrného odporu a polarizovatelnosti, a jak mohou být využity i pro průzkumy v podzemním stavitelství. Pokud bude v horninovém masivu poloha nebo blok, který bude mít zvýšený obsah minerálů s elektronovou vodivostí, lze vždy očekávat dobré možnosti v rozeznávání a prostorovém omezení takovýchto typů hornin. Týká se to zejména hornin s vyšším obsahem grafitu. Určité možnosti má tato kombinace metod i při řešení hydrogeologických problémů.
Nejstaršími horninami na lokalitě jsou horniny spodního paleozoika, čedičová pyroklastika, amfibolity, ruly a zelené fylity. Mladší jsou paleozoické horniny dobšinské skupiny karbonského stáří: šedozelené pískovce a břidlice, zelené pískovce, břidlice, černé a šedé pískovce a černé břidlice, laminované černozelenými břidlicemi, černými písčitými břidlicemi a drobami. Celé území je postiženo četnými přesmyky a zlomy. Černé břidlice jsou často postiženy porušením.
Horninový masiv podél profilu P09 lze v horizontální členění rozdělit do čtyř bloků A až D. První blok v metráži -220 až 20 metrů je převážně tvořen horninami Dobšinské skupiny (různě barevnými břidlicemi, pískovci a drobami). Měrné hodnoty těchto hornin se mění od 100 do 700 Ωm a polarizovatelnost se pohybuje okolo 4 %, výjimečně více (Komoň a kol. 2018). Blok B od 20 do 350 metrů, je nápadný svojí nízkou polarizovatelností, která nepřesahuje 2 %. Naopak měrné odpory se mění v mezích od 100 do 900 Ωm. Geologicky odpovídají spodně paleozoickým horninám (čedičovým pyroklastikům, amfibolitům a rulám). Blok C (350 až 1060 metrů) je tvořen obdobnými horninami, přibývají jen ve větších hloubkách zelené fylity. Podle velikosti polarizovatelnosti je možné prohlásit, že v tomto bloku se dá očekávat největší zrudnění (polarizovatelnost 1,5–6 %). Měrné odpory jsou také značně proměnné, prakticky stejně jako v bloku B. Je však nutné konstatovat, že v místech s vysokou polarizovatelností měrný odpor hornin se významně



Obr. 4 Tomografické měření měrného odporu a polarizovatelnosti
Fig. 4 Electrical resistivity and induced polarization tomography

snižuje a jeho hodnoty nad 300 Ωm jsou výjimečné (Komoň a kol. 2018). Je možné vyslovit předpoklad, že u těchto hornin začínají minerály s elektronovou vodivostí vytvářet vodivou síť. Horniny tohoto bloku jsou prakticky stejné jako horniny v bloku B. Poslední blok, blok D, je zřejmě přechodem do „jalových“ hornin, protože do vyšších metráží klesá polarizovatelnost a narůstá měrný odpor. V tomto bloku se v hloubkách do 180 metrů začínají opět objevovat horniny Dobšinské skupiny.

Podle výsledků geofyzikálního měření bylo možné v profilu P09 určit tři porušená místa horninového masivu, v obrázku označená jako δ1, δ2 a δ3 (červené čerchované čáry). Zlom δ1 je charakteristický významným poklesem měrného odporu (pokles až na 120 Ωm) a výrazným zvýšením polarizovatelnosti (až na 5 %). Zlom δ2 má opět snížený měrný odpor, ale prochází na boku zvýšené anomálii polarizovatelnosti. Zlom δ3 leží na okraji nízkoodporové anomálie a prochází dvěma polohami nízké polarizovatelnosti. Další vysvětlovaní odlišných projevů zlomů by bylo bez důkladné znalosti geologických podmínek lokality již spekulativní. Na uvedeném obrázku je i naznačeno spojení čtyř nejvýznamnější anomálií jak měrného odporu, tak i polarizovatelnosti (zelené čáry).

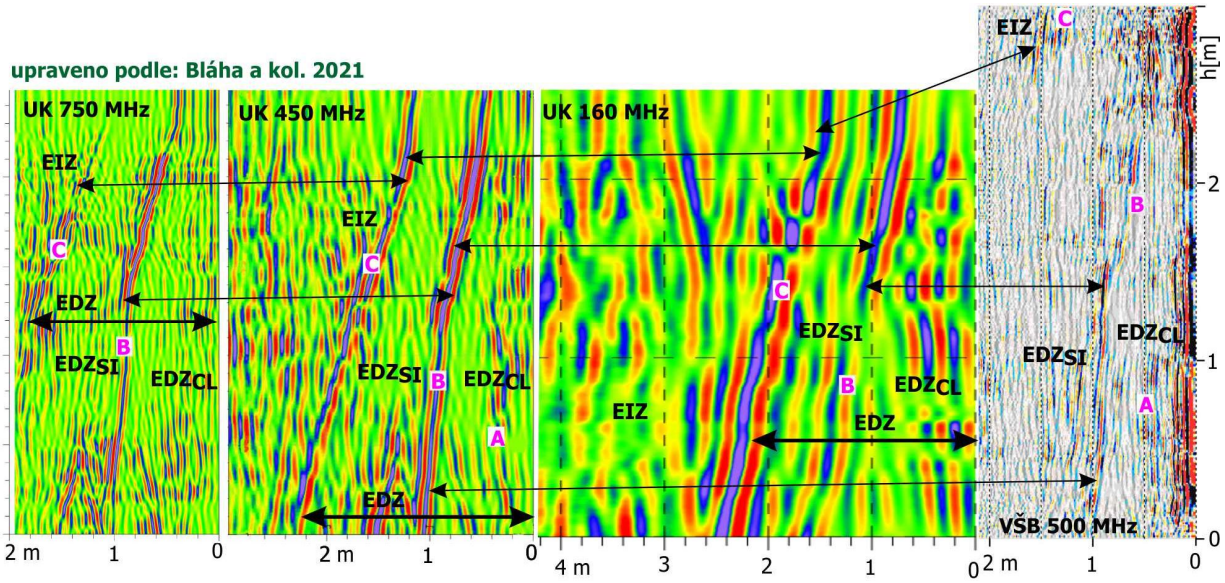
Ve zkoumaném řezu bylo určeno i jedno subhorizontální rozhraní, které v určité míře kopíruje tvar terénu. S největší pravděpodobností zahrnuje vrstvu pokryvných kvartérních zemin a navětralou vrstvu starších hornin. Jeho litologické složení se bude dost významně měnit. K jeho stanovení by však bylo potřebné geofyzikální měření realizovat s menší vzdáleností elektrod a případným doplněním dalšími geofyzikální metodami, s největší pravděpodobností mělkou refrakční seizmikou.

Poslední ukázka je z požití geofyziky pro řešení geotechnických úkolů. Konkrétně se jedná o použití georadaru pro sledování ploch nespojitosti za stěnou důlního díla. Profilová měření byla realizována dvěma aparaturami RAMAC výrobce Mala, které se odlišovaly datem výroby. Starší komplex označovaný jako VŠB se skládal z operačního modulu ProEx, s řídícím počítačem a monitorem Monitor XV11 a stíněnými anténami o frekvencích 100 MHz, 250 MHz a 500 MHz. Novější aparatura MALA GX s kontrolérem a displejem s uhlopříčkou 10,4“ je označovaná jako UK. Tato aparatura byla řízena procesorem 1,6 GHz Intel Atom s operačním systémem Linux. S touto aparaturou byl spojen nový typ antén HDR.

Při grafické interpretaci radargramů nebyl zájmový odraz v počítačové grafice obtažen obvyklou barevnou čárou Tou se totiž částečně zakryje vlastní projev odrazného rozhraní. Použitý způsob zobrazení u radargramů s více frekvencemi spojuje interpretovaná rozhraní šipkou, v případě jednoho záznamu je k rozhraní vedena šipka s popisem mimo odraznou plochu (obr. 5). Výhoda tohoto systému spočívá v tom, že každý, kdo dále s výsledky radarových měření pracuje si může udělat svoji interpretaci, která může s prvotní interpretací souhlasit, nebo interpretátor může dojít k jinému řešení (Bláha a kol. 2021). Tímto způsobem se dá při interpretaci odstranit subjektivní vliv prvního interpretátora.

Měření geologickým radarem ve zkušební komoře ZK-2 na lokalitě Bukov bylo realizováno na svislém profilu ve staničení osm metrů na levé stěně komory. Na obrázku 5 jsou radargramy ze čtyř měření. První z pravé strany je měření s radarem VŠB o frekvenci 500 MHz. Poté následují měření s radarem Mala GX s anténami o frekvencích 160, 450 a 750 MHz.

Ze čtyř radargramů, je i zde patrné, že záznamy na jednotlivých frekvencích se liší a nejpodrobnější záznam je možné získat z antény 750 MHz případně 450 MHz (Bláha a kol. 2021). Na interpretovaných radargramech byla vyčleněna tři rozhraní, reprezentující pravděpodobné diskontinuity ve skalním masivu, označené A až C. Rozhraní A, probíhající na starých radargramech od počvy až do výšky cca 1,5 metru maximálně v hloubce 0,4 m, pravděpodobně reprezentuje hranici uvnitř zóny EDZCL, případně hranici mezi EDZCL a HDZ. Je překvapující, že toto rozhraní bylo novým typem radarové aparatury identifikováno jen na frekvenci 450 MHz. Rozhraní B pravděpodobně dělí zónu EDZ na podzóny EDZCL a EDZSI. Tuto hranici je možné sledovat na všech čtyřech frekvencích. Nejlépe je interpretovatelná na záznamu z antény UK 450 MHz. Na radargramech VŠB 500 MHz, UK 450 MHz a UK 750 MHz leží u počvy ZK-2 v hloubce jeden metr a postupně ke stropu díla se hloubka snižuje na cca 0,5 metru. Zajímavé je přerušení průběžnosti rozhraní na frekvenci 160 MHz ve výšce 1,2 metru. Radarová měření nedala odpověď na otázku, čím je to přerušení způsobeno. Rozhraní C je u počvy ZK-2 v hloubce lehce přes dva metry. Podobně jako u hranice B hloubka hranice C



Obr. 5 Bukov, GPR měření na svislém profilu komory ZK-2

Fig. 5. Bukov: GPR survey along the vertical profile of the ZK-2 chamber

se směrem ke stropu snižuje až na 1,2 až 1,4 metru. Diferenci v určení hloubky na radargramech různých frekvencí

nelze podle dosavadních znalostí spolehlivě vysvětlit. Za hranicí C je již možné interpretovat neporušený horninový masiv označovaný v literatuře jako EIZ.

4. Závěr

Činnost člověka představuje dnes podstatně výraznější zásah do přírodního prostředí, než bylo ještě nedávno myslitelné. Z tohoto důvodu je bezpodmínečně nutné věnovat co nejvyšší pozornost horninovému masivu a jeho poznání. K řešení problémů souvisejících s průzkumem pro podzemní stavitelství lze s výhodou využít i geofyzikální metody. Práce spojené s geofyzikálním měřením jsou samy o sobě šetrné k okolnímu životnímu prostředí. Platí to zejména v případech, kdy není pro buzení seizmických vln použito trhavin. K realizaci geofyzikálního měření není potřebné budovat žádné přístupové cesty, ani upravovat terén pro instalaci těžkých strojů ani nijak jinak zasahovat do přírodního prostředí. A i omezení přímých průzkumných prací při vhodné aplikaci geofyzikálních metod vede i k menšímu poškození přírodního prostředí.

Tato práce popisuje některé aspekty použití geofyzikálních metod. Práce je postavena tak, že možnosti geofyzikálních metod při průzkumu horninového masivu pro podzemní stavitelství jsou posuzovány z hlediska geofyzika. K tomu vede jednak moje profese a jednak i snaha soustředit se hlavně na rozbor možností geofyzikálních metod. Je samozřejmé, že tento přístup je diskutabilní, ale záměrně jsem se snažil ukázat předpoklady nasazení jednotlivých geofyzikálních metod, a teprve následně pak demonstrovalo jejich použití a komplexní řešení.

Kvalita informací získaných z geofyzikálních měření závisí na dobrém projektu geofyzikálního průzkumu a dobré kvalitě měření. Nejpodstatnější je však zkušenost a znalosti geofyzika – interpretátora. Nelze ovšem zapomenout ani na nutnost dobré spolupráce mezi geofyzikem a geotechnikem, inženýrským geologem a ostatními specialisty zkoumání horninového masivu. U nich se též předpokládá lepší znalost geofyziky, než bývá obvyklé a u geofyzika naopak lepší znalost inženýrské geologie a geotechniky. Je totiž nezbytně nutné, aby všichni specialisté našli společnou řeč, a aby jejich spolupráce byla skutečně na vysoké úrovni. Spolupráce specialistů různých oborů je snad nejdůležitější požadavek současné doby. S její absencí se setkáváme nejen u nás, ale i ve světové literatuře.

V problematice aplikace inženýrské geofyziky při výzkumu horninového masivu výzkumné práce nejsou ukončeny a pravděpodobně nikdy nebudou. Zároveň však není možné opominout rozvoj jednotlivých geofyzikálních metod, v tomto případě hlavně metod sondovacích, které ke svému měření potřebují minimální prostor (reflexní seizmika a elektromagnetické sondování).

Velmi důležité je použití geofyzikálních metod při sledování a popisu horninového masivu za stěnou důlního díla. Určování mocnosti EDZ zóny, její změny, změny v napěťo-deformačním stavu horninového masivu v širším okolí báňského díla, si již bez geofyzikálního zkoumání nelze představit. Poněkud omezené je současné použití geofyzikálních metod v monitorování horninového masivu v podzemí. Je však nutné konstatovat, že v současné době se rozbíhají výzkumné práce i v tomto směru.

Zásadní otázkou, která dnes hraje a jistě i v blízké budoucnosti bude hrát významnou roli, je cena informací, které lze získat na základě geofyzikálních měření. Poměrně jednoduchá je možnost aplikace geofyzikálních měření tam, kde výsledky není možné získat jinou cestou (viz metoda TSP). Geofyzikálním měřením je možné získat informace v ploše nebo i v prostoru, kdežto přímými průzkumnými díly jsou informace soustředěny na body či linie. Přesto však je i v tomto ohledu oproti minulým létům ve světě patrný pokrok.

Dnes lze prohlásit, že bez geofyziky nelze kvalitní průzkum horninového masivu pro podzemní stavitelství provést. V neposlední řadě je třeba si uvědomit, že kvalitně provedený geofyzikální průzkum přináší i značné finanční úspory při průzkumu. Na základě dokonalého poznání zkoumané části horninového masivu je možné použít nižších koefcientů bezpečnosti než při řešení, které vychází pouze z odhadů. Za optimální je možné považovat postup, kdy po parametrických geofyzikálních měřeních následuje plošné nasazení povrchových geofyzikálních metod. Po interpretaci a sestavení fyzikálního modelu následuje jeho geotechnické a inženýrskogeologické zhodnocení. Tím je fyzikální model převeden na inženýrskogeologickou představu o masivu. Poté následuje návrh přímých průzkumných prací. V další etapě průzkumných prací jsou vrty karotovány a povrchová geofyzika doplněna o nutná měření vyplývající z průběžného zpracovávání. Právě zde je nezbytně nutná již zmíněná úzká spolupráce specialistů všech oborů. Takový postup geologických průzkumných prací přináší nejen nejlevnější a nejefektivnější průzkum, ale i průzkum s nejvyšším možným ziskem informací.

Poděkování: Některé geofyzikální práce uváděné v tomto článku byly realizovány v podzemním výzkumném pracovišti PVP Bukov. To vybudovala a provozuje Správa úložišť radioaktivních odpadů SÚRAO. Za tuto možnost autor článku konstatuje, že za to patří SÚRAO uznání a dík.

Seznam literatury

Belyaeva T.A., Bobrov P.P., Kroshka E.S., Repin A.V., 2017: Complex Dielectric Permittivity of Saline Soils and Rocks at Frequencies from 10 kHz to 8GHz, Progress In ElectromagneticsResearch Symposium — Spring (PIERS), p. 3046–3051, St Petersburg.

Bláha P., Duras R., Gebauer J., 2021: Rozvoj geotechnických a geofyzikálních metod pro získání 2D a 3D obrazu geologické stavby FV20294, Závěrečná zpráva etapy B, Výzkum použití geofyzikálních metod. Geotest, s. 331, Brno, MS.

Bláha P.: Geofyzika pro podzemní stavitelství, 2024, Geotest a.s., Univerzita Komenského, VŠB-TU, Brno, Bratislava, Ostrava, 357 s.

Choudhary K., Dickmann T., 2017: Perceiving geological risk using Tunnel Seismic Prediction during tunnelling in weak sedimentary rocks, In: INDOROCK, Seventh Indian Rock Conference, 2017.

Komoň J., Kaminsky A., Bartalský B., Kultan V., Hojnoš M., Daniel S., Bašista J., 2018: Dobšiná Zemberg geophysical prospection, Koral, 2018, Spišská Nová Ves, MS.

Shehab F., Myers T.M., Ott H., Dolan S., Dietderich J., and Bayazitoglu Y.: 2017: Uniaxial Complex Relative Permittivity Tensor Measurement of Rocks From 40 Hz to 4.5 GHz, in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 55, no. 2, p. 1125–1139, doi: 10.1109/TGRS.2016.2620078.

Vajdová B. 1984: Karotážní zpráva z vrtu JK-9 Lysá Hora, Geologický průzkum, Ostrava, MS.

PŘEDBĚŽNÝ INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM PRO KRUŠNOHORSKÝ TUNEL

RNDr. Václav Hájek

E-mail: hajek@geotec-gs.cz
Telefon: 737273627
Kontaktní adresa: GeoTec-GS, a.s., Chmelová 2920/6, 106 00 Praha 10

Další autoři: Ing. Jan Gebauer, RNDr. Nikola Vacková, RNDr. Tomáš Svoboda Ph.D., RNDr. Jiří Starý Ph.D., Mgr. Jiří Zmítko

Abstrakt:
Příspěvek prezentuje výsledky inženýrskogeologického průzkumu realizovaného na české straně plánovaného Krušnohorského tunelu, který bude součástí vysokorychlostní trati VRT RS 4 Praha – Drážďany. Předpokládaná celková délka tunelu je 31 km, přičemž cca 12 km se nachází na území České republiky. Oblast Krušných hor je charakteristická složitou geologickou stavbou, výraznou tektonickou porušeností a proměnlivými hydrogeologickými podmínkami, což klade vysoké nároky na kvalitu a rozsah průzkumných prací v rané fázi přípravy.

V rámci etapy předběžného průzkumu bylo realizováno 16 jádrových vrtů, kde nejhlubší vrt dosahoval do hloubky až 546 m. Součástí prací byl také šikmý vrt ve sklonu 45° a délky 285 m, který procházel tektonickým pásmem Krušnohorského zlomu. Dále byl proveden rozsáhlý geofyzikální průzkum zahrnující široké spektrum metod včetně karotáže vrtů a hluboké seismiky. V průběhu vrtných prací byly odebírány vzorky zemin a hornin pro petrografické analýzy, a především pro stanovení mechanických vlastností horninového prostředí.

Cílem příspěvku je prezentovat metodický přístup k realizaci a výsledky předběžného průzkumu se zaměřením na identifikaci klíčových geotechnických rizik ve složitém geologickém prostředí zahrnující úsek Krušnohorského krystalinika i okraj pánevní výplně a oblasti Krušnohorského zlomu.

PRŮBĚŽNÉ VÝSLEDKY I. ETAPY PODROBNÉHO GEOTECHNICKÉHO PRŮZKUMU PRO BEROUNSKÝ TUNEL

INTERIM RESULTS OF PHASE I DETAILED GEOTECHNICAL INVESTIGATION FOR THE BEROUN TUNEL

Petr Pícha[1], Otakar Krásný[1], Petr Mazáč[2], Petr Olišar[2], Tomáš Pašek[1], Jiří Nedvěd[2], Monika Zbořilová[1]

[1]GeoTec-GS, a.s., Chmelová 2920/6, 106 00 Praha 10, e-mail: *picha@geotec-gs.cz*
[2]*SG Geotechnika a.s., Geologická 4, 152 00 Praha 5, e-mail:* petr.mazac@geotechnika.cz

Abstrakt: Novostavba trati Praha-Smíchov – Beroun je součástí III. železničního koridoru v úseku Praha – Plzeň – Cheb. Nejvýznamnější částí novostavby je Berounský tunel, který v délce 25 km protíná morfologicky výrazné území mezi údolími Vltavy v Hlubočepech a Berounky v Berouně. Tento v současnosti nejdelší projektovaný tunel v ČR prochází geologicky velmi složitým územím středočeského Barrandienu. Pro uvedený záměr byl v roce 2023 zahájen podrobný geotechnický průzkum, jehož zhotovitelem je společnost „Beroun GTC+SG“ (GeoTec-GS, a.s., SG Geotechnika a.s.). Příspěvek diskutuje aktuální stav a dílčí výsledky po dokončení I. etapy průzkumu. Geotechnický průzkum pro takto významnou stavbu je tvořen souborem různých druhů průzkumných prací, které v souhrnu mají podat co nejvíce ucelený pohled na inženýrskogeologické, hydrogeologické a geotechnické poměry v trase tunelu a navazujících objektů. Technické práce zahrnují především zhotovení průzkumných vrtů hloubky místy přes 200 metrů. Vrty umožňují provedení dilatometrických a vodních tlakových zkoušek, komplexního souboru karotážních metod a osazení měřidel pórového tlaku. Technické práce jsou doplněny laboratorními zkouškami mechaniky zemin a hornin, včetně souboru speciálních technologických zkoušek. Dále je realizován geofyzikální průzkum pro upřesnění geologické stavby a detekci tektonických poruch a také hydrogeologický průzkum se zaměřením na ověření hydrogeologických vlastností horninového prostředí, významných poruchových zón a posouzení ovlivnění zdrojů podzemní vody v zájmovém území.

Abstract: The new Praha-Smíchov – Beroun railway line forms part of the 3rd Railway Corridor on the Praha – Plzeň – Cheb section. The most significant feature of this new line is the Beroun Tunnel, which spans a length of 25 km and traverses a morphologically distinct area between the Vltava River valley in Hlubočepy and the Berounka River valley in Beroun. Currently the longest planned tunnel in the Czech Republic, it passes through the geologically highly complex terrain of the Central Bohemian Barrandian. In 2023, a detailed geotechnical investigation was launched for the project, carried out by the "Beroun GTC+SG" contractor association (GeoTec-GS, a.s., SG Geotechnika a.s.). This paper discusses the current progress and preliminary results following the completion of Phase I. The geotechnical investigation for an infrastructure project of this magnitude comprises a comprehensive suite of exploratory methods designed to provide an integrated overview of the engineering-geological, hydrogeological, and geotechnical conditions along the tunnel alignment and associated structures. The fieldwork primarily involves core drilling to depths exceeding 200 meters in places. These boreholes enable the execution of dilatometer and water pressure tests, a comprehensive range of borehole geophysical logging methods, and the installation of pore pressure sensors. The field activities are complemented by laboratory soil and rock mechanics testing, including a series of specialized technological tests. Furthermore, geophysical surveys are being conducted to refine the structural geology and detect tectonic faults, alongside a hydrogeological investigation focused on evaluating the hydrogeological properties of the rock mass, identifying major fault zones, and assessing potential impacts on groundwater resources within the area of interest.

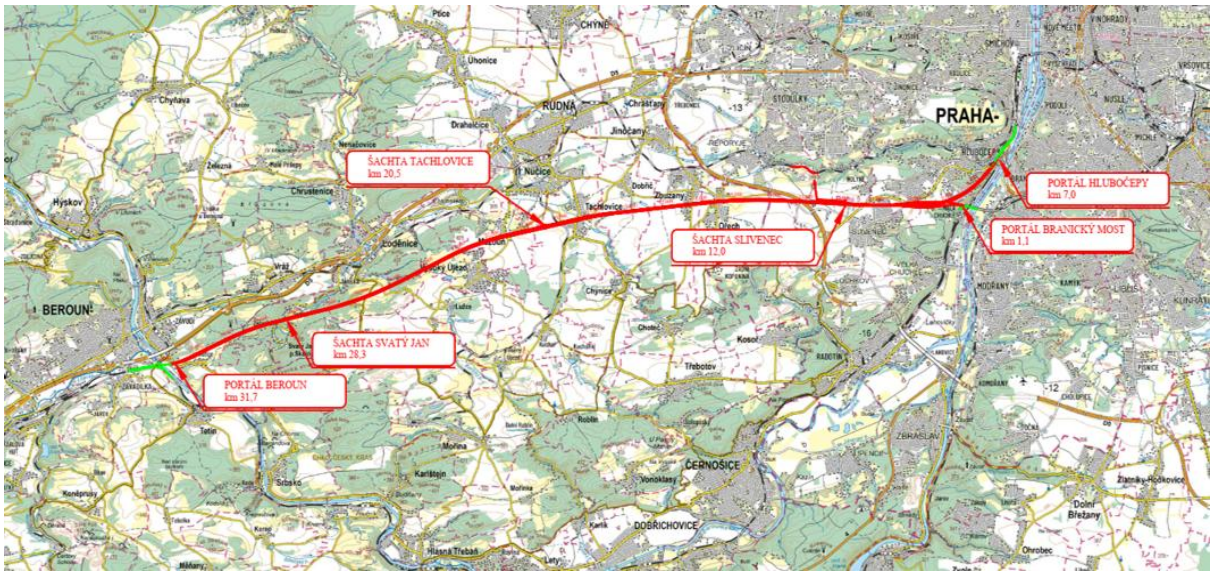
Klíčová slova: tunel, Barrandien, geotechnický průzkum, horninové prostředí, podzemní voda, kras

Key words: tunnel, Barrandien, geotechnical investigation, rock environment, groundwater, karst

1. Úvod

Úsek trati Praha-Smíchov – Beroun je součástí III. železničního koridoru Praha – Plzeň – Cheb (– Nürnberg). Zvýšení kapacity stávající trati vedené údolím Berounky není prakticky realizovatelné s ohledem na morfologii krajiny, požadavky ochrany přírody a výraznou zastavěnost území. Z těchto důvodů bylo navrženo vedení trati v úseku Praha-Smíchov – Beroun ve zcela nové trase, převážnou část tohoto úseku tvoří Berounský tunel. Hlavním účelem navrženého podzemního díla je umožnit železniční trati překonat morfologicky výrazné území mezi údolími Vltavy a Berounky, kde výška elevací v okolí obcí Vysoký Újezd a Svatý Jan pod Skalou dosahuje až 440 m n.m. (vrch Herinky u osady Záhrabská), zatímco údolí řek mají kótu cca 195–215 m n.m.

Navrhovaný tunel začíná v km 7,112 portálem Hlubočepy v blízkosti Barrandovského mostu a pokračuje jihozápadním směrem ke Slivenci. Zde se k hlavní trase připojuje odbočná větev tunelu od žst. Praha-Krč, která začíná portálem u Branického mostu v Malé Chuchli. V oblasti Slivence se hlavní trasa stáčí k západu k obci Ořech, pokračuje na obce Zbuzany, Tachlovice a Vysoký Újezd. Za Vysokým Újezdem od km cca 22,500 je trasa vedena jihozápadním směrem k obci Svatý Jan pod Skalou, kde v km cca 28,300 kříží hluboké údolí říčky Loděnice. Dále tunel pokračuje k JZ na osadu Záhrabská a je ukončen v km 31,749 berounským portálem v části Beroun – Závodí. Na tunel navazuje estakáda přes Berounku směřující přímo do žst. Beroun, kde plánovaný úsek Praha-Smíchov – Beroun končí (obr. 1).



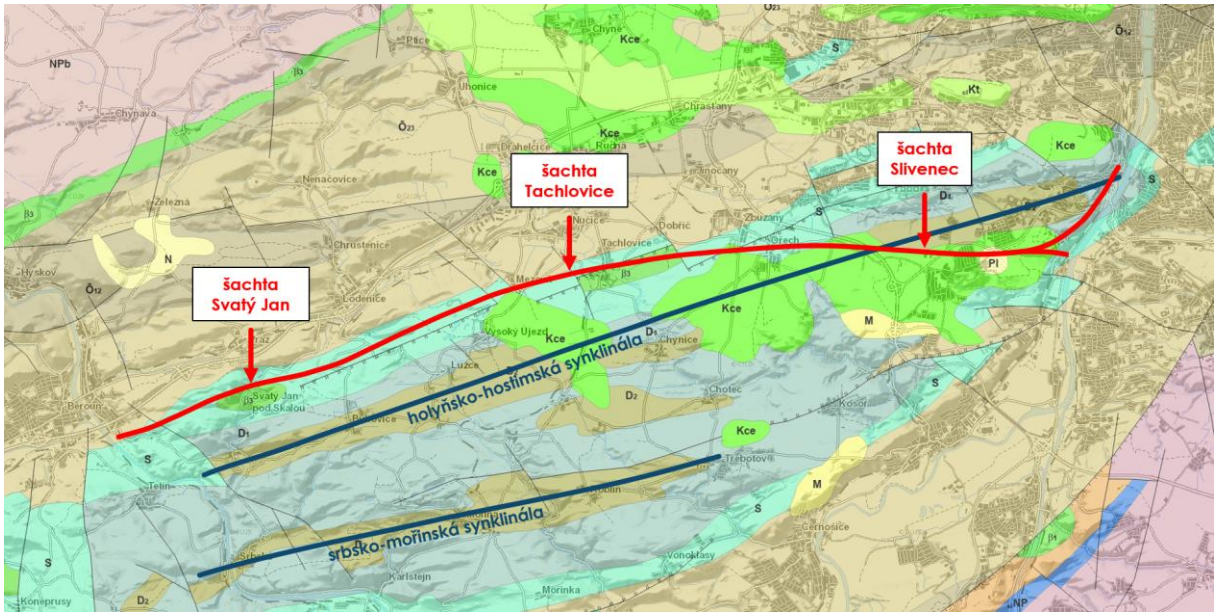
Obr. 1 Přehledná situace trasy Berounského tunelu s vyznačením dílčích objektů.
Fig. 1 Overview situation of the Beroun Tunnel route with marking of individual objects.

Tunel je projektován jako dva jednokolejné ražené tunely s pevnou jízdní dráhou a návrhovou rychlostí 200 km/h, obě tunelové trouby jsou pravidelně spojeny propojkami. Celková délka hlavní trasy dosahuje 24,758 km (pro levý traťový tunel), délka odbočky na Braník je 2,037 km (pro pravý traťový tunel). Tunelová trasa je rozdělena do několika úseků oddělených kavernami s trvalými přístupovými šachtami, část úseků bude ražena konvenčně (NRTM), část razícím strojem TBM. Průměr výrubu traťových tunelů bude podle technologie ražby cca 10,5–11,5 m, v úsecích kaveren a kolejových rozpletů však dosahuje až 21 m. Úvodní úseky tunelů od portálu Hlubočepy a Branický most po kavernu Slivenec budou raženy konvenčně (NRTM), stejně tak i kaverny Slivenec, Tachlovice a Svatý Jan. Úseky traťových tunelů mezi kavernami Slivenec a Tachlovice (km 12,010–19,730), Tachlovice a Sv. Jan (km 21,160–28,290) a Sv. Jan – portál Beroun (km 21,160–31,730) budou raženy strojem TBM. Výška nadloží v trase tunelu dosahuje obvykle 110–130 m, nejnižší je v portálových úsecích a v místě křížení tunelu s údolím Loděnice v obci Sv. Jan p. Skalou (km 28,386), kde dosahuje pouze 25 m. Nejvyšší mocnost nadloží je o 1,3 km dále ve směru na Beroun u osady Záhrabská (km 29,675), kde dosahuje až 185 m.

2. Geologické poměry v trase tunelu

Z geologického hlediska prochází trasa tunelu oblastí staršího paleozoika (Chlupáč, 1992) tvořícího centrální část Barrandienu ve středních Čechách. Paleozoické horniny leží diskordantně na kadomsky zvrásněných horninách proterozoika. Část Barrandienu v úseku mezi Prahou a Berounem představuje jádro pražské pánve, která je tvořena sledem sedimentů a vulkanitů ordovického až středně devonského stáří. Horniny byly poté zvrásněny variským vrásněním do systému jednoduchých antiklinál a synklinál porušených příčnou a podélnou zlomovou tektonikou (Havlíček et al., 1986). Zvrásněné paleozoické horniny jsou částečně překryty platformními sedimenty svrchní křídy. Jedná se o jedno z nejrozmanitějších, ale zároveň z hlediska geologické stavby nejsložitějších území v České republice.
Trasa tunelu prochází při severozápadním křídle středočeského silursko-devonského synklinoria, její vedení je směrově paralelní s osou holyňsko-hostimské synklinály (obr. 2). Celý komplex sedimentárních a vulkanických hornin paleozoika je zvrásněn s generelním směrem vrásových os VSV – ZJZ. V úseku od Hlubočep po Slivenec (km cca 12,0) prochází trasa jihovýchodním křídlem synklinály s úklonem vrstev cca 50–60°k SZ. V oblasti Slivence kříží trasa osu synklinály, za kterou se azimut úklonu otáčí k JV. V úseku od km 12,0 po Beroun prochází trasa severozápadním křídlem synklinály, úklon vrstev dosahuje převážně 30–50° k JV až JJV. Zvrásněný komplex hornin byl následně postižen podélnou zlomovou tektonikou, kdy nejvýraznější strukturou v zájmovém území je

tachlovický přesmyk s úklonem 50–80° a posunem v řádu stovek metrů (obr. 3). V poslední tektonické fázi byla celá oblast postižena velkým množstvím příčných zlomů s převažujícím směrem SZ-JV, popř. SSZ-JJV a úklonem (70–90°). Příčné zlomy vedou k výrazným vertikálním i horizontálním posunům horninových struktur.
Komplex zvrásněných paleozoických hornin je v trase tunelu zastoupen horninami ordovického, silurského a devonského stáří, s ohledem na délku tunelu byla průzkumem zastižena pestrá škála typů hornin. Nejstarší sedimenty patří svrchnímu ordoviku a vyskytují se pouze lokálně v okolí Zbuzan, Tachlovic a Lištice u Berouna. Jsou tvořeny prachovitými břidlicemi a prachovci s polohami světle šedých pískovců a křemenců kosovského souvrství, popř. jílovitými břidlicemi králodvorského souvrství. Silurské horniny tvoří největší část trasy tunelu a vyskytují se v téměř souvislém pásu mezi obcí Ořech a Berounem. Zastižena byla všechna silurská souvrství, ale zcela dominantní podíl trasy je tvořen horninami motolského souvrství (spodní silur). Jedná se o černé prachovité graptolitové břidlice, tufitické břidlice a vápence doplněné mocnými polohami vulkanických hornin (bazalty, hyaloklastity a tufy). Horniny svrchního siluru (kopaninské a požárské souvrství) se vyskytují lokálně na začátku trasy v oblasti pražského Barrandova, v okolí Řeporyjí a Vysokého Újezdu a mají převážně charakter prachovitých a vápnitých břidlic, vápenců s tělesy bazaltů a hyaloklastitů. Především v nejmladším požárském souvrství výrazně narůstá podíl vápenců.



Obr. 2 Orientace tunelu vůči hlavním geologickým strukturám, doplněna trasa tunelu a osy hlavních synklinál.
Fig. 2 Orientation of the tunnel relative to the main geological structures, supplemented with the tunnel route and axes of the main synclines.

Devonské sedimenty tvoří centrální část synklinály a vyskytují se na začátku trasy v úseku od Hlubočep po Řeporyje. Spodní devon je v trase zastoupen lochkovským, pražským a dalejsko-třebotovským souvrstvím, horniny středního devonu náleží k chotečskému a srbskému souvrství. Převážnou část devonských hornin představují různé typy vápenců (vrstevnaté, hlíznaté, popř. masivní mikritické vápence). Výjimku tvoří dalejské vrstvy tvořené vápnitými břidlicemi s následným přechodem do třebotovských vápenců. Závěrečnou fázi sedimentace v pražské pánvi představuje srbské souvrství tvořené mocnou polohou prachovitých až jílovitých břidlic a prachovců s polohami jemnozrnných pískovců (roblínské vrstvy). Paleozoické vápence bývají postiženy krasovými jevy, jedná se především o devonské vápence lochkovského a pražského souvrství. Ojediněle bylo krasovění popsáno také v chotečských vápencích a v silurských vápencích kopaninského a požárského souvrství. Krasové jevy mají v této oblasti charakter tzv. paleokrasu, tedy krasu vzniklého za jiných hydrologických podmínek než v současnosti. Pro Český kras jsou typické nepravidelné labyrintovité dutiny vázané převážně na pukliny, vrstevní nebo zlomové plochy a snadno krasovějící polohy vápenců. Významným fenoménem jsou také krasové jevy, kterými byl postižen původní povrch devonských vápenců (závrty, hluboké deprese a krasové kaňony). Ty byly vyplněny a zcela zakryty během sedimentace v období svrchní křídy.
Paleozoické horniny jsou částečně překryty platformními sedimenty svrchní křídy, souvislý pokryv byl zastižen mezi pražským Barrandovem a Ořechem, lokální výskyty byly zaznamenány u Zbuzan a Vysokého Újezdu. Horniny náleží perucko-korycanskému souvrství, které je tvořeno střídáním slabě zpevněných pískovců a jílovců. V oblasti Slivence byl zastižen unikátní výskyt jílovců a slínovců bělohorského souvrství na bázi s typickou polohou glaukonitických pískovců. Mocnost křídových sedimentů se obvykle pohybuje v rozmezí 10–25 m,

v místě krasových depresí však byly zastiženy křídové sedimenty v mocnosti více než 100 m. Kvartérní pokryv je v trase tunelu zastoupen převážně eolickými a deluviálními zeminami, v malém rozsahu se vyskytují fluviální sedimenty. Celková mocnost kvartérních zemin se obvykle pohybuje v rozmezí 0.5–4 m, ojediněle dosahuje až 12 m (deluviální sutě na úpatí vysokých svahů).

Obr. 3 Zastižení tachlovického přesmyku ve vrtu J30, hloubkový úsek 40–47 m. V nadloží poruchové zóny se nacházejí starší břidlice a křemence kosovského souvrství (ordovik), v podloží byly zastiženy mladší břidlice a bazalty motolského souvrství (silur).

Fig. 3 Encountering the Tachlovice overthrust in borehole J30, depth section 40–47 m. In the hanging wall ofthe fault zone are older shales and quartzites of the Kosov Formation (Ordovician), while younger shales and basalts of the Motol Formation (Silurian) were encountered in the footwall.

Z hydrogeologického hlediska lze v paleozoických horninách vymezit hlavní kolektor podzemní vody, který tvoří devonská „vápencová“ souvrství lochkovské a pražské, omezeně také nadložní zlíchovské. Lokální kolektor představují chotečské vápence. Nadložní devonský izolátor je tvořen břidlicemi dalejsko-třebotovského souvrství, a především břidlicemi a prachovci souvrství srbského (roblínské vrstvy). Podložní izolátor představují silurské břidlice, tufy a bazalty liteňské skupiny, popř. břidlice svrchního ordoviku.

3. Rozsah průzkumných prací

Rozsah realizovaných prací byl specifikován zadávací dokumentací geotechnického průzkumu (Bucek, Nešvara, 2023). Dle této dokumentace byl průzkum rozdělen do čtyř samostatných částí:

- Průzkum pro šachty;
- Průzkum pro portály a další povrchové objekty;
- Inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum pro tunel;
- Geofyzikální průzkum pro tunelovou trasu

Z hlediska objemu zadaných prací a časového harmonogramu je podrobný geotechnický průzkum členěn do více na sebe navazujících etap. Rozsah průzkumu je během realizace terénních prací aktualizován v souladu s požadavky investora, projektanta a s ohledem na průběžně získané informace o charakteru horninového prostředí. Zadávací dokumentací GTP byl navržen soubor inženýrskogeologických vrtů a vystrojených hydrogeologických vrtů, které byly doplněny polními zkouškami a karotážním měřením ve vrtech, laboratorními zkouškami a geofyzikálním průzkumem. Nedílnou součástí průzkumných prací byl také hydrogeologický průzkum. Cílem je objasnění inženýrskogeologických a hydrogeologických poměrů v zájmovém území a ověření geotechnických podmínek pro návrh a ražbu tunelu.

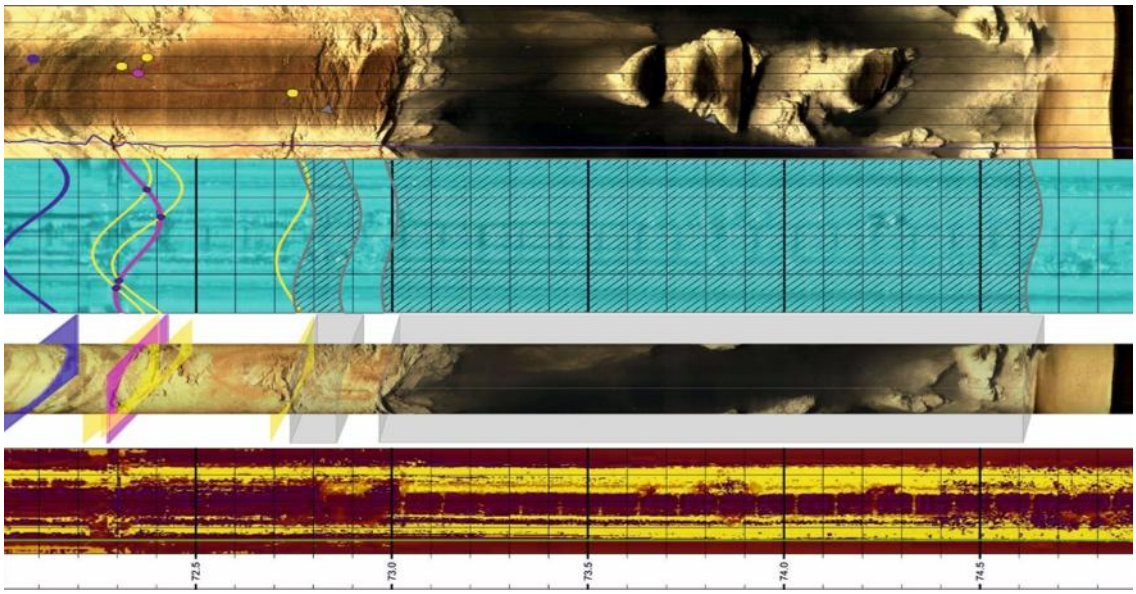
Pro objekt tunelu včetně přístupových šachet a portálových oblastí je v rámci dvou základních etap GTP navrženo celkem 105 průzkumných vrtů (98 svislých a 7 ukloněných) o souhrnné metráži cca 11 800 bm, hloubka vrtů (mimo portálové úseky) dosahuje 57–203 m. V zeminách a silně zvětralých horninách je zpravidla vrtáno

jednoduchou jádrovkou s TK korunkou. V pevných horninách je následně využita technologie wire-line s dvojitou jádrovkou a diamantovou korunkou průměrů PQ (122 mm) a HQ (96 mm) s použitím vodního výplachu. Od úrovně 5 m nad stropem tunelu je vrtáno průměrem NQ (76 mm), a to především z důvodu požadavku na realizaci geotechnických zkoušek v oblasti výrubu tunelu. Následně se ve vrtech provádí karotážní měření – komplex geotechnických metod doplněný o akustický/optický skener (ABI/OBI). Tato měření umožnila stanovení vybraných geologických a geotechnických charakteristik včetně orientace a sklonu diskontinuit a stanovení přirozeného proudění podzemní vody ve vrtu.

Obr. 4 Realizace průzkumného vrtu J1 v serpentýnách Barrandovské ulice v Praze (červen 2024).
Fig. 4 Execution of exploratory borehole J1 in the serpentines of Barrandovská Street in Prague (June 2024).

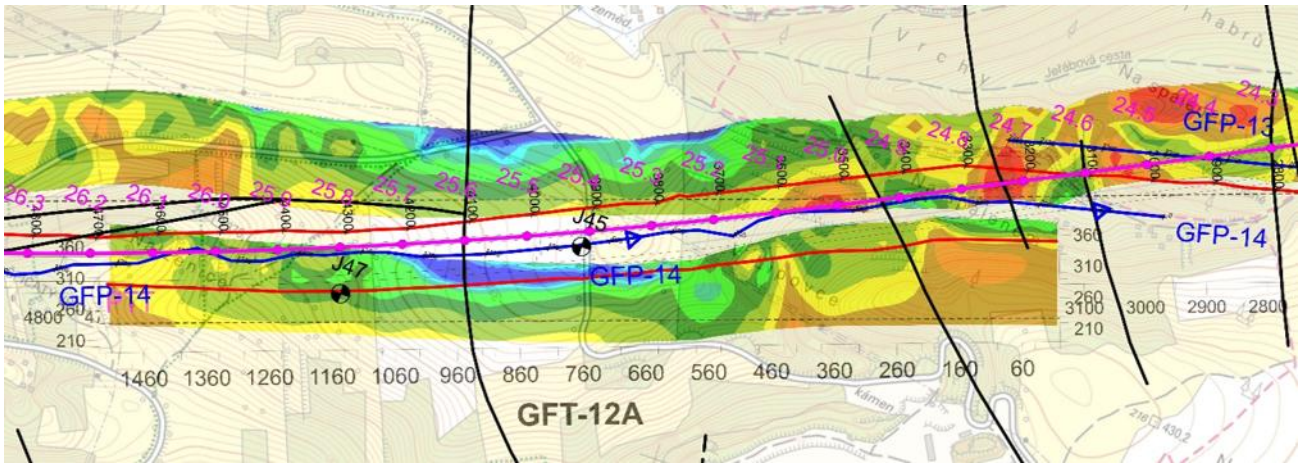
V rámci souboru polních zkoušek se ve vrtech realizovaly presiometrické, resp. dilatometrické zkoušky. Vzhledem k výskytu převážně zdravých hornin v oblasti výrubu byla ke zkouškám primárně využita dilatometrická sonda. Pro ověření propustnosti horninového masívu, popř. zastižených poruchových zón byly zadány vodní tlakové zkoušky. V tunelových vrtech byly zkoušky realizovány v oblasti výrubu, ve vrtech pro přístupové šachty pak průběžně v celé délce vrtu. Následně byly vrty vystrojeny čidly pro měření pórového tlaku (MPT) a vrtný stvol zatěsněn jílocementovou suspenzí. Cílem je dlouhodobé sledování tlaku podzemní vody v úrovni výrubu před stavbou tunelu, během výstavby a po jejím ukončení, aby bylo možno zhodnotit vliv stavby a provozu díla na okolní horninové prostředí.
Pro objekt tunelu včetně šachet a portálů byl projektem GTP zadán rozsáhlý soubor vzorků zemin a hornin, především z úrovně výrubu pak soubor velkoobjemových technologických vzorků hornin a také směsných vzorků pro environmentální účely. Na vzorcích zemin byly provedeny klasifikační rozbory, stanovení přetvárných a smykových parametrů, u vzorků z výplně poruchových zón byl zjišťován obsah jílových minerálů metodou RTG. Na vzorcích hornin byly stanoveny fyzikální vlastnosti, pevnost v prostém tlaku, příčném tahu, deformační parametry a petrografický popis hornin. Významnou část zkoušek hornin představoval soubor speciálních testů pro návrh razícího stroje TBM, některé z nich byly v ČR zavedeny a v souladu se zahraniční metodikou poprvé použity při tomto průzkumu. Jedná se o zkoušky abrazivity hornin – metoda CERCHAR, tzv. „Norské zkoušky“ – stanovení indexů DRI a CLI, zkoušky LCPC (stanovení abrazivnosti a lámavosti) a stanovení ekvivalentního obsahu křemene. Tyto zkoušky byly doplněny zkouškou Slake durability test (rozpadavost ve vodě) a zkouškou schopnosti tvorby horninové kaše. Z důvodu případného využití rubaniny z tunelu pro výrobu kameniva byly horniny posouzeny z hlediska pevnosti, nasákavosti a alkalické rozpínavosti, u vápencových hornin byl stanoven obsah CaO (využití jako suroviny pro výrobu cementu).
Hydrogeologický průzkum pro tunel se v I. etapě zaměřil na pasportizaci vodních zdrojů, vrtů pro tepelná čerpadla a monitorovacích vrtů v pásmu podél trasy tunelu a na chemické rozbory vzorků podzemní vody. V rámci II. etapy je aktuálně navrženo celkem 18 vystrojených hydrogeologických vrtů hloubky 30–186 m o celkové metráži cca 2 230 m. Ve vrtech bude realizováno karotážní měření v kompletním rozsahu hydrogeologických metod

a dlouhodobé hydrodynamické zkoušky pro posouzení hydrogeologických vlastností horninového masívu a ověření dosahu možného ovlivnění hydrogeologických poměrů realizací a následným provozem tunelu.



Obr. 5 Krasová kaverna ve vrtu J7 na Barrandově, hloubka 73–75 m (výřez ze záznamu karotáže), rozhraní sliveneckých a radotínských vápenců, devon.
Fig. 5 Karst cavern in borehole J7 at Barrandov, depth 73–75 m (excerpt from logging record), interface of Slivenec and Radotín limestones, Devonian.

Cílem geofyzikálního průzkumu bylo poskytnout spojitý obraz litologické stavby mezi jednotlivými vrty a lokalizovat výrazné tektonické linie a poruchové zóny, kde lze očekávat zhoršenou kvalitu horninového masívu s vyššími přítoky podzemní vody. S ohledem na hloubkové vedení tunelu byly využity primárně geoelektrické metody (ERT, DOP a TDEM), v místě mělce uložených šachet a přístupových štol byly doplněny mělkou refrakční seismikou (MRS). Metody ERT a TDEM byly situovány do trasového profilu vedeného podélnou osou tunelu a do příčných profilů v místě šachet. Celkem bylo změřeno 27 dílčích profilů ERT v souhrnné délce 42 270 bm a 240 sond TDEM. Pro upřesnění prostorové orientace tektonických linií bylo paralelně s profily ERT realizováno 20 dílčích profilů metodou DOP o celkové délce 26 360 bm. Metodou MRS bylo změřeno 5 příčných profilů o souhrnné délce 4 800 bm.



Obr. 6 Poruchová zóna šířky min. 700 m (staničení km cca 25,1 – 25,8) zastižená geofyzikálním průzkumem v údolí jižně od Loděnice. Poruchová zóna se projevuje výrazným snížením měrných odporů (modrá a světle zelená barva).
Fig. 6 Fault zone with a width of at least 700 m (stationing approx. km 25,1 – 25,8) encountered by geophysical investigation in the valley south of Loděnice. The fault zone is manifested by a significant decrease in resistivity (blue and light green colors).

4. Zhodnocení výsledků I. etapy podrobného GTP

Průzkumné práce I. etapy byly zahájeny v září 2023 a dokončeny v lednu 2026. Během této etapy bylo realizováno cca 50 % celkového objemu prací pro vlastní tunel, v celém rozsahu zadávací dokumentace byl zpracován geofyzikální průzkum. Na základě průběžných výsledků GTP pro trasu tunelu byly zjištěny některé důležité informace, které budou mít vliv na návrh tunelu v této fázi projekčních prací.

- Geologické poměry ověřené nově realizovanými vrty odpovídají z širšího geologického pohledu předpokladům o stavbě zájmového území mezi Prahou a Berounem. V detailnějším měřítku je však geologická stavba výrazně složitější s ohledem na množství zastižených horninových typů a jejich střídání, tak i z hlediska tektonického porušení masívu. Informace o geologické a tektonické stavbě budou doplněny a upřesněny na základě vyhodnocení prací II. etapy.
- V úseku od portálu Hlubočepy po kavernu Slivenec (úsek km 7,1–9,5) byly v devonských vápencích zastiženy krasové kaverny. Jedná se o krasové kanály a dutiny často vázané na pukliny, vrstevní nebo zlomové plochy a horninová rozhraní. Dutiny mají velikost v řádu prvních metrů, jsou částečně popř. zcela vyplněné sedimenty, místy i s oběhem podzemní vody. V několika vrtech byly dutiny se silným přítokem vody ověřeny v projektované úrovni výrubu tunelu.
- Povrch devonských vápenců byl v geologické minulosti postižen intenzivním krasověním za vzniku hlubokých údolí, která byla následně vyplněna a zcela zakryta mladšími křídovými sedimenty. Jedná se převážně o rozložené až slabě zpevněné jílovce a pískovce, které jsou zpravidla zvodnělé. Tato údolí byla na několika místech ověřena vrty a geofyzikálním průzkumem. Na pražském Barrandově dosahuje krasové údolí hloubky cca 55 m (12 m nad výrubem tunelu). Rozsáhlá krasová deprese byla zastižena mezi Barrandovem a Slivencem v místě plánovaného traťového rozpletu (staničení km 9,6–10,2). Podle stávajících informací dosahuje křídový kaňon včetně zcela zkrasovělého podloží do hloubky min. 130 m a zasahuje do úrovně výrubu (v tomto úseku v hloubce 118–140 m). Na základě této informace řeší projektant posun tunelového rozpletu s navazující kavernou do vhodnějšího místa směrem k obci Slivenec. Hloubka a plošný rozsah křídového kaňonu bude ověřen v II. etapě průzkumu, za tímto účelem byly v této lokalitě umístěny 4 průzkumné vrty.
- Jižně od obce Loděnice v úseku km 25,1–25,8 prochází tunel výrazným poruchovým pásmem. Podle informací z odporových řezů je porucha orientována v příčném směru k ose tunelu. Následně bylo toto poruchové pásmo ověřeno průzkumnými vrty J45 a J47. V délce cca 700 m předpokládáme výskyt silně alterovaných a podrcených hornin, které budou zasahovat až pod úroveň výrubu.
- Na několika lokalitách byl zastižen přetok podzemní vody nad úroveň terénu. Jde o vrt J45 v oblasti výše uvedené poruchové zóny u Loděnice, kde byl karotáží zastižen výrazný přítok nad úrovní výrubu (hloubka cca 70 m) s výtlačnou výškou cca 0,2 m nad terén. Hlubší přítoky nebylo možno ověřit z důvodu nestabilních stěn vrtu v alterovaných horninách. Přetok vody byl také zastižen ve vrtu J29 nedaleko Tachlovic. Zde byl zastižen výrazný přítok podzemní vody v ordovických břidlicích a pískovcích na úrovni báze výrubu (hloubka cca 92 m) s výtlačnou výškou 1 m nad terén. Jedná se o silně mineralizovanou vodu typu Na-Cl (tzv. solanka) se zvýšenou koncentrací rozpuštěného metanu. Výskyt podzemní vody s obsahem metanu nelze vyloučit také v okolí šachty Slivenec. V oblasti portálu Beroun vykazoval jeden ze subhorizontálních vrtů výraznější přetok vody z ostře ohraničené tektonické struktury, který byl v průběhu prací tamponován. K ověření popisované problematiky byly operativně zacíleny průzkumné práce v II. etapě průzkumu.
- V portálovém úseku u Hlubočep průzkum identifikoval rozevřené a zvětralinami vyplněné subvertikální tektonické poruchy. Vzhledem k hloubkovému dosahu do prostoru výrubu, paralelní orientaci s podélnou osou tunelu a nízkému nadloží bude upravena technologie provádění prací na tomto místě.
- Hydrostatický tlak vody měřený v oblasti výrubu dosahuje u části vrtů hodnot 1 000–1 600 kPa, tedy hodnot vyšších, než se předpokládalo. V průběhu prací byla řešena spolehlivost měřených hodnot tlaku z některých vrtů s ohledem na minimální propustnost horninového prostředí stanovenou vodními tlakovými zkouškami. Bez ohledu na tuto skutečnost jsou v trase potvrzeny hodnoty tlaku vody nad 1 000 kPa u vrtů, kde jsou čidla MPT osazena do míst s prokazatelným přítokem podzemní vody. Problematiku vysokých tlaků vody a spolehlivost měření bude třeba dále řešit v dalších etapách průzkumu.

5. Závěr

Předkládaný příspěvek diskutuje dílčí výsledky I. etapy podrobného geotechnického průzkumu pro Berounský tunel, který je v současnosti nejdelším projektovaným tunelem v České republice. V úvodní části jsou shrnuty informace o technickém řešení díla, popis trasy plánovaného tunelu a projektovaný rozsah průzkumných prací.
První etapa podrobného geotechnického průzkumu potvrdila, že výstavba Berounského tunelu bude probíhat v geologicky pestrém a strukturně velmi složitém území. Díky informacím z průzkumných vrtů a geofyzikálního měření se podařilo identifikovat kritická místa, jako je např. křídový kaňon u Slivence nebo rozsáhlá poruchová zóna u Loděnice. Neméně významným zjištěním je pravděpodobná přítomnost vysokých hydrostatických tlaků

v oblasti výrubu a výskyt silně mineralizovaných vod s obsahem metanu, což může mít vliv na návrh ostění tunelu. Souběžně s tím byly v ČR poprvé zavedeny speciální zkoušky technologických vlastností a abrazivity hornin, které poskytují klíčová data pro budoucí konfiguraci a efektivní nasazení razicích strojů TBM. Průzkum rovněž ověřil přítomnost krasových dutin s přítoky vody v úrovni výrubu, což bude nutné zohlednit při plánované konvenční ražbě v těchto úsecích. Probíhající monitoring vodních zdrojů doplněný o hydrodynamické zkoušky v II. etapě umožní predikovat vliv stavby na režim podzemních vod.
Aktuálně s psaním příspěvku probíhající II. etapa GTP je zaměřena na získání podrobnějších informací o inženýrskogeologických a hydrogeologických poměrech v trase tunelu. Současně s tím je také kladen důraz na upřesnění a doplnění poznatků zjištěných v I. etapě.

Seznam literatury

Bucek R., Nešvara P., 2023: *Novostavba trati Praha-Smíchov – Beroun, Projekt podrobného geotechnického průzkumu*. – Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. Praha.
Bruthans, J., Zeman O., 2001: *Nové poznatky o charakteru a genezi podzemních krasových forem v Českém krasu a v dalších oblastech bez soustředěných ponorů v ČR*. – Český kras. Beroun.
Geologická mapa 1:500 000. Online: https://mapy.geology.cz/geocr500
Havlíček V. a kol, 1986: *Ordovik. Vysvětlivky k základní geolog. mapě 1:25000 Beroun, Rudná*. – ČGS Praha.
Horáček M. a kol., 2006: *Praha – Beroun. Předběžný geotechnický, geofyzikální a hydrogeologický průzkum, část A Tunely*. – GeoTec-GS, a.s. Praha.
Chlupáč I., 1958: *Zpráva o stratigraficko-paleontologickém výzkumu středočeského Devonu za r. 1957*. – Ústřední ústav geologický. Praha.
Krásný O., Pícha P., Mazáč P., 2026: *Novostavba trati Praha-Smíchov – Beroun, Podrobný geotechnický průzkum, I. etapa.* Společnost „Beroun GTC+SG“. Praha.
Pomykáček I., 2023: *Novostavba trati Praha-Smíchov – Beroun, projektová dokumentace ve stupni DÚR*. – SUDOP Praha, a.s. Praha.

www.hgig.cz

Sekce 10

Inženýrskogeologický průzkum v urbanizovaném prostředí

DOBUDOVÁNÍ INKLINOMETRICKÝCH VRTŮ MEZI ULICEMI ČELAKOVSKÉHO A DOSTOJEVSKÉHO V CHOMUTOVĚ

Ing. Jan Ďurove

E-mail: geotechnika@durove.com

Geotechnika Ďurove s.r.o., Závodu míru 584/7, 360 17 Karlovy Vary – Stará Role

Další autoři: Ing. Petr Kycl, Mgr. Jaroslav Jirků, PhD.

Abstrakt:
Výstavba bytových domů v intravilánu průmyslových měst v 70. letech minulého století byla mnohdy situována i do míst, která byla historicky pouhými zahradami či neobdělávanými poli. V případě oblasti zastavěné prvorepublikovými vilami mohl být důvod výstavby domů pro zaměstnance státních podniků i politický.

Svahové deformace typu ploužení jsou v zastavěném území těžce identifikovatelné, neboť k výrazným statickým poruchám na budovách či infrastruktuře většinou nedochází. Změny jsou tak nepatrné, že jsou často přičítány k životnímu cyklu stavby.

V době zvýšené četnosti častého střídání suchých a vlhkých období může být vodní režim v obdobném geomorfologickém uspořádání a v podobné geologické skladbě aktivním spouštěčem dočasně uklidněných složených svahových deformací. Pokud je takovýto svah zastavěnou oblastí, jakémukoliv sanačnímu návrhu, má předcházet komplexní průzkum zemního a horninového prostředí pro zajištění geotechnických podkladů pro návrh a posouzení sanace.

Předkládaný článek prezentuje výstupy inženýrskogeologických, hydrogeologických a geofyzikálních průzkumných prací, které jsou doplněny o geotechnické výpočty stability a sedání na základě vyhodnocených výsledků laboratorních zkoušek a výstupů měření komplexního monitoringu.

Článek je doplněn o poznatky získané vyhodnocením dálkového průzkumu země pomocí dat služby European Ground Motion Service (EGMS), která zachycuje deformace na zemském povrchu.

INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM PRO PŘÍPRAVU PROJEKTU VLTAVSKÉ FILHARMONIE V PRAZE

ENGINEERING GEOLOGICAL INVESTIGATION FOR THE PREPARATION OF THE VLTAVA PHILHARMONIC PROJECT IN PRAGUE

Jiří Tlamsa[1], Tereza Šmejkalová[1], Anna Vojtěchovská[1]

[1]SG Geotechnika a.s., Geologická 988/4, 152 00 Praha 5 - Hlubočepy, e-mail: jméno.příjmení@geotechnika.cz

Abstrakt: Příspěvek prezentuje podrobný inženýrskogeologický průzkum pro přípravu projektu Vltavské filharmonie v Praze 7 – Holešovicích. Zájmové zemí je vymezeno stanicí metra Vltavská, nádražím Praha-Bubny, Negrelliho viaduktem, nábřežím Vltavy a magistrálou u Hlávkova mostu. Projekt zahrnuje vlastní objekt filharmonie i související dopravní stavby, zejména tunely a podzemní garáže. Základová spára stavební jámy je navržena ve více úrovních s ohledem na složité poměry lokality, kde se nacházejí traťové tunely metra C. Cílem průzkumu bylo detailní zhodnocení inženýrskogeologických, geotechnických a hydrogeologických poměrů a předběžné posouzení kontaminace horninového prostředí. Program prací zahrnoval archivní rešerši, realizaci 19 jádrových vrtů o hloubce 7–31 m, ve kterých byly provedeny presiometrické zkoušky a karotážní měření, a laboratorní analýzy vzorků zemin, hornin a podzemní vody. Na základě výsledků byl sestaven podrobný inženýrskogeologický a geotechnický model lokality. Výsledky průzkumu budou spolu s doplňujícím hydrogeologickým průzkumem sloužit jako podklad pro další stupně projektové přípravy a realizaci stavby.

Abstract: This paper presents a detailed engineering geological investigation conducted for the preparation of the Vltava Philharmonic project in Prague 7 – Holešovice. The site is bounded by the Vltavská metro station, the Praha-Bubny railway station, the Negrelli Viaduct, the Vltava riverbank, and the arterial road near Hlávkův Bridge. The project encompasses the Philharmonic building itself as well as associated transport infrastructure, specifically tunnels and underground parking facilities. The foundation level of the excavation pit is designed at multiple elevations to account for the site's complex conditions, which include the presence of Metro Line C tunnels. The investigation aimed to provide a detailed assessment of engineering geological, geotechnical, and hydrogeological conditions, along with a preliminary evaluation of ground contamination. The work program included a review of archival data, the drilling of 19 boreholes (7–31 m deep) - incorporating pressuremeter testing and geophysical borehole logging - and laboratory analysis of soil, rock, and groundwater samples. Based on the results, a detailed engineering geological and geotechnical model of the site was developed. The results of the conducted investigation, together with a supplementary hydrogeological investigation, will serve as a basis for subsequent stages of project preparation and the execution of construction.

Klíčová slova: Vltavská filharmonie, inženýrskogeologický průzkum, letenské souvrství, vinické souvrství, základové poměry

Key words: Vltava Philharmonic, engineering geological investigation, Letná Formation, Vinice Formation, foundation conditions

1. Úvod – základní informace o projektu

Zájmový prostor uvažovaného záměru je vymezen stanicí metra Vltavská, nově zmodernizovaným vlakovým nádražím Praha-Bubny, Negrelliho viaduktem, nábřežím Vltavy, mimoúrovňovou křižovatkou Severojižní magistrály na severním konci Hlávkova mostu a Bubenskou ulicí. Projekt Vltavské filharmonie sestává ze souboru staveb – vlastního objektu filharmonie (obr. 1) a navazujících staveb řešících dopravní situaci v lokalitě – dopravních tunelů (nová podoba stávajících komunikací Bubenského nábřeží) a podzemních garáží. Základová spára, respektive dno výkopu stavební jámy, je projektována ve více úrovních v důsledku složitých poměrů lokality – v řešeném území se nacházejí traťové tunely metra C a podzemní kolektory, stavba bude propojena s říčním nábřežím a bude zároveň převádět současnou povrchovou automobilovou dopravu do podzemí. Založení objektu filharmonie je předběžně uvažováno plošné na základové desce.

Obr. 1 Vizualizace projektu Vltavské filharmonie v Praze.
Fig. 1 Visualization of the Vltava Philharmonic project in Prague.

2. Provedené průzkumné práce

Cílem provedených průzkumných prací bylo podrobné zhodnocení inženýrskogeologických, geotechnických, hydrogeologických a základových poměrů plánované stavby a předběžné posouzení kontaminace horninového prostředí. Průzkumné práce sestávaly z administrativních přípravných prací a archivní rešerše, terénních průzkumných a laboratorních prací, komplexního vyhodnocení provedených prací.

2.1 Prozkoumanost území

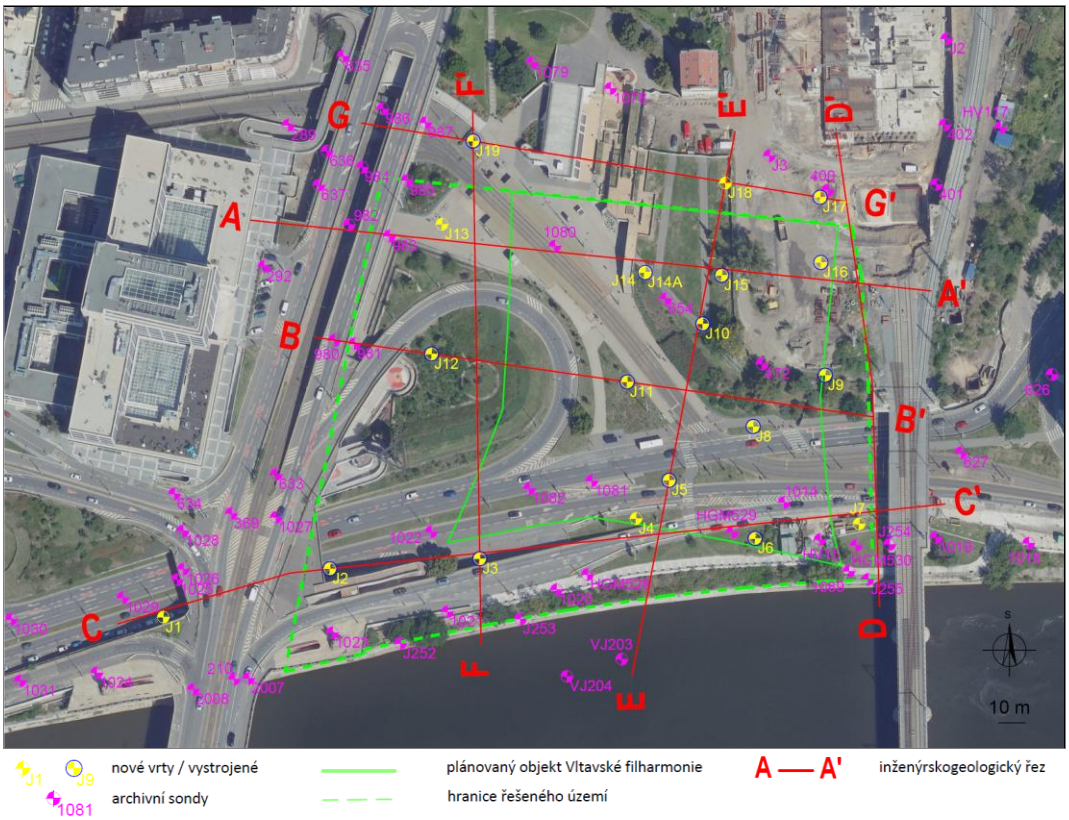
Vzhledem k lokalizaci zájmového území v intravilánu Prahy, navíc v bezprostředním okolí trasy metra C, je geologická prozkoumanost území poměrně vysoká. Provedený průzkum nicméně představuje první odkryvné práce realizované přímo pro potřeby projektované stavby. Předchozí orientační etapu průzkumných prací pro Vltavskou filharmonii představovala archivní rešerše (Podpěra a Baborová, 2023), která vycházela především z inženýrskogeologických map zájmového území měřítka 1 : 5 000 (list Praha 6-0 a 6-1) a výsledků průzkumných prací na trase metra C a dalších staveních objektech zájmového území (Hlávkům most, opěrné zdi, nábřežní zdi, protipovodňová opatření, podzemní kolektory a kanalizace, objekty v prostoru Nádraží bubny a přilehlé železniční trati, apod.). Ke zpracování průzkumu byly využit rovněž podklady (zejména archivní fotografie zájmového území) poskytnuté archivem Dopravního podniku hl. m. Prahy.

2.2 Terénní průzkumné práce

V rámci terénních prací bylo v zájmovém území provedeno celkem 19 průzkumných vrtů hloubky 7 – 31 m. V horních částech vrtů, v navážkách a kvartérních sedimentech bylo vrtáno jednoduchou jádrovkou s roubíkovou korunkou (JJRK) bez použití vrtného výplachu. Po zastižení pevného skalního podloží byla technologie vrtání změněna na vrtání s vodním výplachem dvojitou jádrovkou s diamantovou korunkou o průměru 76 mm. Vrty určené ke karotážnímu měření byly osazeny plastovou výstrojí o průměru 63 mm, v úvodní části vrtané jednoduchou jádrovkou s roubíkovou korunkou doplněné výstrojí průměru 125 mm s náležitým obsypem a těsněním odpovídajícím rozsahu perforace.

Za účelem zjištění přetvárných charakteristik horninového masivu v prostoru základové půdy připravované stavby bylo v provedených vrtech dle možností realizováno celkem 64 presiometrických zkoušek. Pro další upřesnění charakteristik horninového prostředí bylo v 15 vybraných vrtech provedeno komplexní karotážní měření. Cílem tohoto měření bylo především upřesnění litologického profilu vrtů, zjištění stupně tektonického porušení, detekce diskontinuit včetně jejich prostorové orientace a zjištění mechanických vlastností hornin. Za tímto účelem byly použity metody gama karotáže (GR), neutron-neutron karotáže (XNN), hustotní gama-gama karotáže (XGG), indukční karotáže (IK50 a IK120), elektrické odporové karotáže (RAP041 a RAP164), vlnové akustické karotáže (FWS), karotáž magnetické susceptibility (MS), akustický televizor (ABI40). Na všech vrtech bylo rovněž provedeno hydrokarotážní měření metodou resistivimetrie (RM), jehož účelem byla identifikace míst přítoků vody do vrtů a detekce přirozeného proudění podzemní vody s odhadem propustnosti a vydatnosti horninového prostředí.

Po realizaci karotážního měření bylo ve vybraných vrtech společností Aveton provedeno měření vibrací v horninovém prostředí v okolí trasy metra. Vystrojené vrty byly rovněž v průběhu realizace průzkumných prací využity k orientačnímu režimnímu sledování hladiny podzemní vody.



Obr. 2 Podrobná situace průzkumných prací (Tlamsa et al., 2024).
Fig. 2 Detailed situation of exploration work (Tlamsa et al., 2024).

2.3 Laboratorní práce

Na porušených vzorcích zemin byly prováděny základní indexové zkoušky. Na neporušených vzorcích byly prováděny indexové zkoušky včetně měření objemových hmotností a hustoty pevných částic a krabicové smykové zkoušky. Na technologických vzorcích byly vedle indexových zkoušek realizovány technologické zkoušky zhutnitelnosti zemin a jejich únosnosti (PS + CBR). Na horninových vzorcích byly realizovány zkoušky pro určení základních fyzikálních, pevnostních a přetvárných vlastností.

Na vybraných vzorcích zemin i hornin byly prováděny rozbory kontaminace pro zhodnocení možností nakládání s výkopkem jako s odpadem ve smyslu znění vyhlášky č. 273/2021 Sb. Na vzorcích podzemní vody byly provedeny zkrácené rozbory pro stavební účely pro zhodnocení její agresivity na beton dle ČSN EN 206+A1 a současně pro zhodnocení agresivity prostředí na ocel dle ČSN 03 8375. Agresivita prostředí dle ČSN EN 206+A1 byla v souladu s projektem analyzována rovněž na vybraných vzorcích zemin a hornin. Na vybraných vzorcích podzemní vody byl dále proveden ÚCHR vč. C10–C40 a stanovení RL, TOL a TK.

2.4 Administrativní a přípravné práce

S ohledem na pozici zájmového území v prostoru městského intravilánu samotným terénním pracím předcházela náročná administrativní a technická příprava. Terénní práce byly realizovány v souladu se stanovisky vlastníků a správců dotčených pozemků – Správy železnic, MČ Praha 7 a Hlavního města Prahy. Před zahájením vrtných prací byly zajištěny souhlasy či podmínky provádění prací v ochranných a bezpečnostních pásmech technické infrastruktury (vodovod, kanalizace, elektřina, plyn, sdělovací kabely atd.), silničních komunikací, tramvajových tratí a metra. Realizace vrtů situovaných v záplavovém území Vltavy byla možná až po získání příslušného povolení vodoprávního úřadu (OCP MHMP). Zábory komunikací a chodníků, práce v městské zeleni a pojezdy techniky pro realizaci vrtů byly projednány s příslušnými správními orgány a koordinovány s Technickou správou komunikací hl. m. Prahy, a.s. Pro zajištění bezpečnosti silničního provozu i pohybu chodců byla pracoviště jednotlivých vrtů dle situace označeny schváleným dopravním značením a vymezeny mobilním ochranným oplocením (obr. 3).

Obr. 3 Realizace vrtu J13 v prostoru městského intravilánu.
Fig. 3 Execution of borehole J13 within the built-up area of the town.

2.1 Morfologie a stavebně-historický vývoj

Zájmové území je velmi členité. Jeho současná morfologie je výsledkem antropogenních úprav, které původní morfologii zcela setřely. Hlavními prvky definujícími charakter místa jsou nyní dopravní stavby: železniční trať Praha–Kladno s Negrelliho viaduktem na východní straně, Severojižní magistrála s Hlávkovým mostem a větvemi mimoúrovňové křižovatky na západní straně, nábřežní komunikace (ulice Bubenské nábřeží a nábřeží kapitána Jaroše) na jižní straně, stanice metra Vltavská na severní straně a tramvajová trať se zastávkami městské hromadné dopravy ve středové části. Prostoru výškově dominují oba hlavní dopravní tahy, magistrála a železnice, s nadmořskou výškou cca 192–195 m. Nejnižším místem území (vyjma vlastní hladiny Vltavy pod nábřežní zdí) je podjezd nábřežních komunikací pod magistrálou, s nadmořskou výškou cca 184–185 m. Okolí železničního nádraží Praha-Bubny bylo v době průzkumných prací předmětem intenzivních stavebních prací v rámci probíhající modernizace. Vzhledem k rozsáhlému antropogennímu ovlivnění zájmového území proto bylo nutné vedle standardní rešerše geologických podkladů provést i doplňkovou rešerši historických archivních podkladů popisující stavebně-historický vývoj území, který může mít nezanedbatelný vliv na inženýrskogeologické podmínky výstavby. Historická fotografie z výstavby hloubené stanice metra Vltavská v severní části zájmového území je pro ilustraci uvedena na následujícím obrázku 4.

Obr. 4 Staveniště hloubené stanice metra Vltavská u severního předmostí Hlávkova mostu v roce 1981 (zdroj: archiv DPP).
Fig. 4 Construction site of the Vltavská underground metro station near the northern approach to Hlávkův Bridge in 1981 (source: DPP archive).

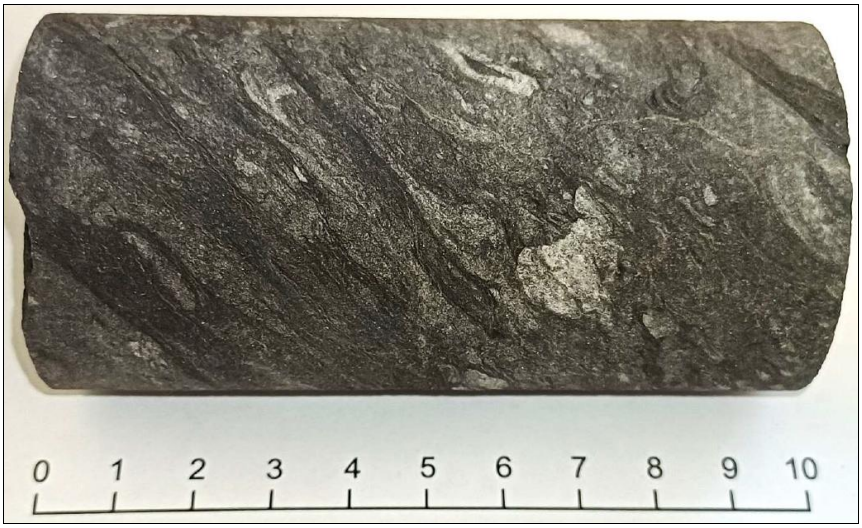
3. Geologické poměry

Z regionálně geologického hlediska náleží zájmové území do oblasti severozápadního křídla synklinoria barrandienského staršího paleozoika, jehož osa (zhruba směru SV–JZ) se nachází jihovýchodně od zájmového území. V prostoru projektované stavby je předkvartérní podloží zastoupeno ordovickými horninami letenského a vinického souvrství. Pokryvné útvary jsou pak zastoupeny kvartérními fluviálními sedimenty Vltavy a recentními antropogenními sedimenty.

3.1 Letenské souvrství

Horniny letenského souvrství se nacházejí v západní části zájmovém území a jsou zastoupeny jednak monotónním sledem drobovitých pískovců, a jednak rytmickým střídáním poloh jílovitých břidlic, drobovitých pískovců a křemenců s různým podílem zastoupení jednotlivých litologických typů.

Drobovité pískovce jsou jemnozrnné, prachovité až jílovitoprachovité, zejména ve spodní části souvrství s postupným přechodem do písčitých prachovců či břidlic. V nezvětralém stavu jsou drobovité pískovce tmavě šedé, slabě slídnaté, typicky se světleji šedými smouhami (obr. 5), čočkami či skvrnami (polohy s menším podílem jílovité a prachovité frakce). Písčité prachovce a břidlice jsou tmavěji šedé, často s vyšším podílem jemné slídy. Drobovité pískovce jsou převážně deskovitě vrstevnaté, s nerovnými a drsnými vrstevními plochami, mimo tektonické poruchy slabě rozpukané. Na vrstevních plochách a puklinách se často vyskytují bělavé povlaky sádrovce. Místy jsou hojné rovněž tenké kalcitové či křemenné žilky. Pevnost zdravé horniny se dle podílu písčité a jemnozrnné složky pohybuje převážně v rozmezí třídy R3. Polohy horniny s výrazně vyšším podílem jílovité složky pak mají pevnost na hranici tříd R4 a R3.



Obr. 5 Detail drobovitého pískovce zastiženého ve vrtu J13.
Fig. 5 Detail of fine-grained sandstone encountered in borehole J13.

Střídající se polohy jílovitých až jílovitoprachovitých břidlic, jemnozrnných drobovitých i křemenných pískovců a křemenců, tj. poloh s velmi rozdílnou pevností, byly v nově provedených i archivních vrtech zastiženy při západním okraji zájmového území. Jílovité a jílovitoprachovité břidlice jsou v nezvětralém stavu tmavě šedé, slídnaté, s pevností odpovídající převážně třídě R4. Jemnozrnné pískovce jsou zde tmavě (drobovité) až světle šedé (křemenné), slaběji slídnaté, s pevností v rozsahu třídy R3 (u křemenných pískovců místy až třídy R2). Křemence jsou jemnozrnné, převážně světle šedé, často s bělavými křemennými žilkami, s výrazně vyšší pevností odpovídající třídě R2–R1 (obr. 6). Mocnost jednotlivých vrstev břidlic, pískovců a křemenců se v těchto polohách pohybuje od prvních milimetrů až po cca 10–25 cm (ojediněle i více). Z hlediska podílu jednotlivých horninových typů byly zastiženy jak polohy, kde celkově převažují rychle se střídající méně pevné laminované až tence deskovité břidlice a drobovité pískovce (cca 70–90 %), tak i polohy s dominantním zastoupením výrazně pevnějších deskovitých až lavicovitých křemenců, jen s podružnými tenkými polohami či proplástky tmavě šedých břidlic a pískovců (cca 10–30 %).

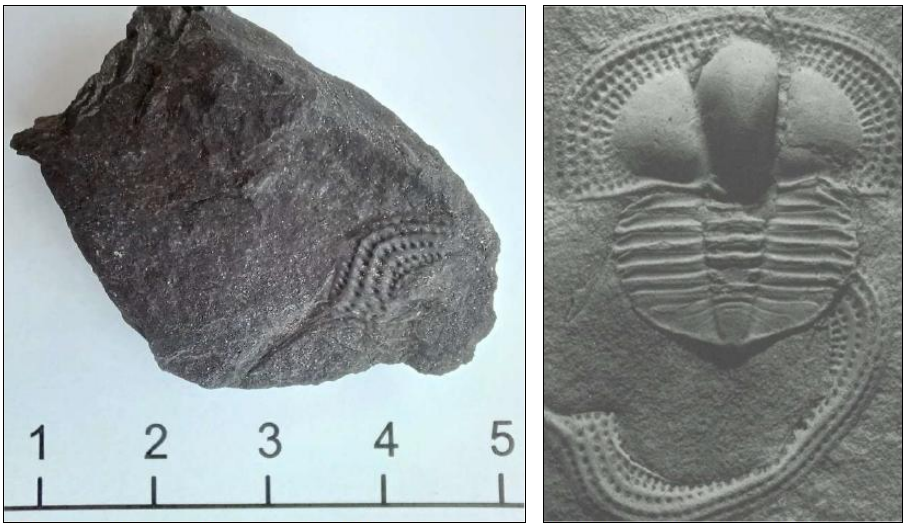
Slabě až mírně zvětralé břidlice a drobovité pískovce jsou šedé až hnědošedé, silněji rozpukané, kusovitě až drobně úlomkovitě rozpadavé podél puklin a vrstevních ploch s hojnými rezavými povlaky limonitu. Pevnost mírně zvětralých břidlic je zpravidla v rozmezí třídy R5–R4, v případě drobovitých pískovců pak v rozmezí třídy R4. Mocnost polohy mírně zvětralé horniny se v nově provedených vrtech pohybuje v rozmezí 1,0–2,0 m. Blíže k povrchu jsou pak břidlice i pískovce silně zvětralé, rezavě hnědé, drobně úlomkovitě rozpadavé, s pevností v rozmezí tříd R5–R6 v případě břidlic a R5–R4 v případě pískovců, rozvolněné s jílovitoprachovitou až jemně

písčitou výplní mezi úlomky. V nejsvrchnějších polohách jsou břidlice i pískovce zcela zvětralé, mající charakter pevné jílovitoprachovité až prachovitopísčité zeminy s příměsí drobných úlomků. Mocnost této nejvíce zvětralé polohy se v nově provedených vrtech pohybuje do cca 1,5 m. V případě výrazně pevnějších a odolnějších křemenců či křemenných pískovců se zvětrání projevuje převážně intenzivnějším rozpukáním, rozevřením puklin a jen nepatrným snížením pevnosti v rozsahu třídy R2. Hloubkový dosah intenzivnějšího zvětrání křemenců se v nově provedených i archivních vrtech pohybuje do cca 3,5 m.

Obr. 6 Detail zvrásněného křemence zastiženého ve vrtu J13.
Fig. 6 Detail of folded quartzite encountered in borehole J13.

3.2 Vinické souvrství

Horniny vinického souvrství se nacházejí ve východní části zájmového území a jsou zastoupeny hojně slídnatými jílovitými až jílovitoprachovitými břidlicemi (obr. 7). V nepravidelných a méně častých polohách je pak v břidlicích zastoupen vyšší podíl jemně písčité frakce (až břidlice prachovitopísčité). Ve stratigraficky spodních polohách souvrství jsou poměrně hojné nepravidelné tenké pelokarbonátové či prokřemenělé polohy a prachovité konkrece různé velikosti a tvaru. V nově provedených i archivních vrtech byly rovněž v blízkosti hranice s letenským souvrstvím zastiženy polohy s hojným pyritem i drobnými ooidy. V nezvětralém stavu jsou vinické břidlice tmavě šedé až šedočerné (vysoký obsah organického uhlíku), deskovitě až lavicovitě vrstevnaté, s rovnými a hladkými až mírně drsnými vrstevními plochami, místy s bělavými povlaky sádrovce. Mimo tektonické poruchy jsou slabě rozpukané, v okolí tektonicky porušených poloh pak s hojnými tenkými žilkami křemene či kalcitu. Pevnost zdravé horniny se dle podílu jílovité a prachovité složky zpravidla pohybuje v rozsahu třídy R3 až na pomezí tříd R4 a R3. V případě břidlic s nižším podílem prachovité složky se pak pevnost pohybuje při horní hranici třídy R4. Charakter a mocnost zvětralých břidlic vinického souvrství je v rozsahu zájmového území obdobná jako u výše popsaných břidlic souvrství letenského.



Obr. 7 Jílovitoprachovitá břidlice vinického souvrství z vrtu J9 s částí trilobita Deanaspis senftenbergi (vpravo celá fosilie z poloh vinického souvrství od Berouna).
Fig. 7 Clayey-silty shale of the Vinice Formation from borehole J9, containing a fragment of the trilobite „Deanaspis senftenbergi“ (on the right: a complete fossil from the Vinice Formation near Beroun).

3.3 Strukturně tektonické poměry

V rámci archivních a nově realizovaných průzkumných prací bylo v zájmovém území ověřeno tektonické porušení horninového masivu různého charakteru a intenzity. Na lokalitě lze rozlišit dva základní typy tektonického porušení, a to celkové tektonické porušení a porušení podél tektonických linií.

Celkové tektonické porušení se vyskytuje převážně u méně pevných hornin, u kterých se projevuje sítí mikrotrhlin, ohlazy na vrstevních plochách a puklinách, drobnými prokluzy či celkově větší četností puklin. V zájmovém území bylo porušení takovéhoto charakteru nepravidelně ověřeno zejména v prostředí jílovitých a jílovitoprachovitých břidlic vinického i letenského souvrství. V případě písčitých prachovců a jemnozrnných drobovitých pískovců letenského souvrství pak bylo zjištěno ve znatelně menší míře.

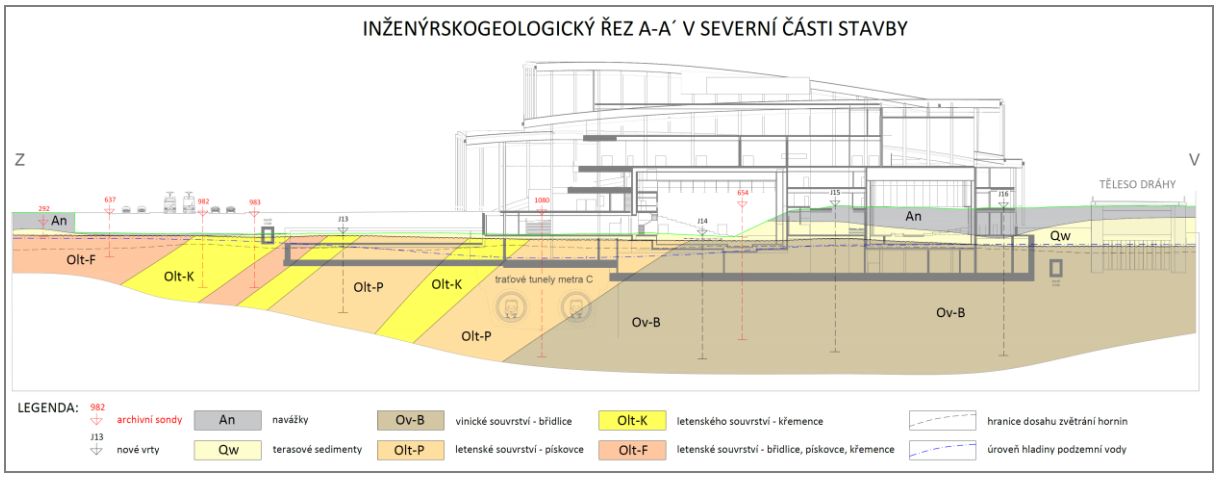
Porušení podél tektonických linií a jiných dislokací se v zájmovém území vyskytuje bez ohledu na litologii hornin. Na základě archivních i nově provedených průzkumných prací lze na lokalitě předpokládat absenci významných tektonických linií. V rámci realizace průzkumných vrtů a zejména dokumentace ražené kanalizace z roku 1979 byly ověřeny četné poruchy nižšího řádu jak podélné, tak i příčné tektoniky. V prostoru těchto poruch je hornina zpravidla silně rozpukaná, drobně úlomkovitě až střípkovitě rozpadavá, s výrazně nižší pevností než neporušená hornina, v četných polohách pak až podrcená v zeminu s drobnými úlomky a střípky. V blízkém okolí poruch je hornina silněji rozpukaná, úlomkovitě až kusovitě rozpadavá podél vrstevních ploch a puklin s četnými ohlazy (obr. 8).

Obr. 8 Detail povrchu diskontinuity s ohlazy a rýhováním v břidlici vinického souvrství ve vrtu J10 .

Fig. 8 Detail of a discontinuity surface with slickensides in the shale of the Vinice Formation in borehole J10.

Dle dokumentace průzkumných vrtů a ražené kanalizace se převážně jedná o poruchy omezené mocnosti do cca 0,5–1,0 m (poruchy směru 0–25° se sklonem 80–90°; poruchy směru 110–150° se sklonem 30–55° k JZ, tj. kolmé k vrstevnatosti; poruchy různých směrů a strmých sklonů s mocností v řádu prvních cm).

Orientace vrstev horninového masivu byla ověřena jednak pomocí dokumentace ražené kanalizace z roku 1979 (v západní části zájmového území), jednak i v rámci dokumentace některých archivních a nově provedených průzkumných vrtů, a to především pomocí karotážního měření. Generelní směr vrstev letenského i vinického souvrství je v zájmovém území JZ–SV až J–S se sklonem převážně 20–45° k SZ až Z. Zejména v okolí významnějších tektonických poruch ovšem mohou být orientace i sklon vrstev často výrazněji odlišné. Vrstevní sled ordovických hornin i rozsah kvarterního pokryvu v severní části stavby je pro ilustraci uveden na obrázku 9.



Obr. 9 – Inženýrskogeologický řez A-A´ vedený severní částí stavby Vltavské filharmonie.

Fig. 9 Engineering-geological cross-section A-A´ through the northern part of the Vltava Philharmonic project.

3.4 Fluviální sedimenty

V zájmovém území se vyskytují převážně fluviální sedimenty pleistocénního stáří, které sestávají z uloženin dvou úrovní říčních teras: na většině území ze západní až severozápadní strany jde o sedimenty terasy veltruské (stupeň VI – riss 2), ve zbylých částech v blízkosti Vltavy pak terasy maninské (stupeň VII – würm 1), resp. údolní (stupeň VII – würm 2). Rozsah výskytu a mocnost těchto uloženin je v zájmovém území nepravidelný – ať už v důsledku antropogenních zásahů (obr. 9), nebo i vlivem změny erozní báze fluviální sedimentace. Terasové sedimenty jsou tvořeny ulehlými písky se štěrkem až písčitými štěrky, případně hlinitopísčitými štěrky. Charakter písčitých štěrků veltruské terasy byl dobře patrný v odkryvu na svazích vyvýšeniny v předpolí Negrelliho viaduktu (obr. 10), kde mají podobu převážně písčitých štěrků a jsou zachovány v nejvyšší mocnosti. Štěrková frakce je zde tvořena valouny a opracovanými úlomky hornin a křemene převážně do 4 cm, místy i většími (ojediněle až 15 cm), výplň tvoří písek převážně střednězrnný až hrubozrnný, slabě zahliněný, béžově či rezavě hnědý. Vzájemný podíl štěrkové, písčité i jemnozrnné frakce v různých úrovních mírně kolísá, lokálně se vyskytují i polohy s převahou písčité frakce.

Obr. 10 – Odkryv písčitých štěrků veltruské terasy v blízkosti vrtu J17.
Fig. 10 Exposure of sandy gravels of the Veltrusy Terrace near borehole J17.

Holocénní jemnozrnné náplavy byly v archivních i nově provedených vrtech dokumentovány pouze lokálně v jižní části území a v převážně velmi nízkých mocnostech do 0,5 – 1,0 m. Jde o zeminy převažující frakce prachové až jemně písčité, hnědě zbarvené, zpravidla s příměsí valounků, případně i organické hmoty.

3.5 Navážky

Antropogenní uloženiny dnes zřejmě pokrývají většinu zájmového území. Novými průzkumnými vrty byly navážky ověřeny v mocnostech do 8 m, z archivních údajů lze odhadovat maximální mocnosti 11–14 m na nábřeží v okolí Hlávkova mostu, minimální mocnost pak na severozápadním okraji území. Složení navážek lze očekávat velmi pestré a proměnlivé – od překopaných místních materiálů přes stavební rum či zásypy za nábřežními zdmi po zemní tělesa a konstrukční vrstvy komunikací. Dále je třeba počítat také s možnou přítomností pozůstatků budov, které již dříve podlehly demolici. Součástí antropogenní složky horninového prostředí pak jsou pochopitelně i nábřežní zdi samotné a také stávající podzemní stavby – kanalizace, kolektory a traťové tunely metra. V okolí stanice metra je třeba počítat se zásypy stavební jámy a původní pilotovou stěnou.

4. Hydrogeologické poměry

Režim podzemní vody je v prostoru zájmového území podmíněn jeho celkovou geologickou stavbou a je možné zde rozlišit dva základní druhy zvodní: kvartérní kolektor a kolektor zvětralinového pásma ordovických hornin.

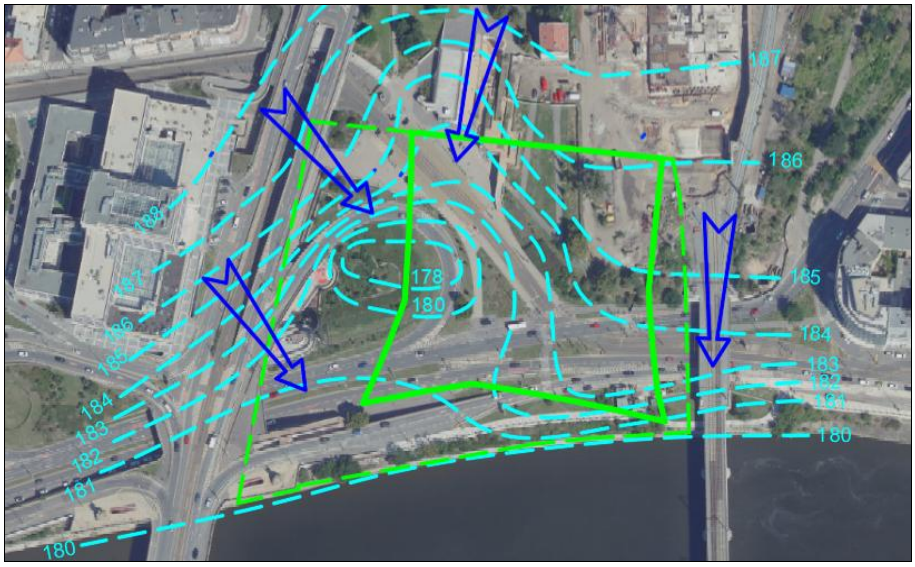
4.1 Zvodnění v pokryvných útvarech – kvartérní kolektor

Prostředím výskytu podzemní vody kvartérního kolektoru jsou štěrkovité a písčité fluviální sedimenty vltavských teras, které jsou vysoce průlinově propustné a vytvářejí vhodné podmínky pro existenci souvislého zvodnění. Podzemní voda s volnou hladinou zde může proudit prakticky bez výraznějšího omezení. Směr proudění podzemní vody v prostoru zájmového území lze v generelu očekávat směrem k jihojihovýchodu (tj. směrem k místní erozní bázi v podobě koryta Vltavy). Lokálně však může být směr proudění podzemní vody i poměrně odlišný, ovlivněný například reliéfem předkvartérního podloží, odlišnou propustností zemin, regulací břehu Vltavy, inženýrskými sítěmi, podzemní stavbou metra apod.

Zvodeň v sedimentech veltruské terasy dále od stávajícího koryta Vltavy je dotována výhradně atmosférickými srážkami z rozsáhlé infiltrační oblasti severozápadně od zájmového území až po prostor letenské pláně, lokálně případně též z antropogenních zdrojů – úniků z podzemních inženýrských sítí (vodovod a kanalizace). Oproti tomu v případě obzoru níže položené maninské/údolní terasy dochází k částečné komunikaci s poříční vodou a hydraulickému ovlivňování zvodně úrovní hladiny ve Vltavě.
Vzhledem k charakteru lokality mohou významný kolektor podzemní vody tvořit rovněž průlinově propustné polohy navážek v podobě zpětných zásypů inženýrských sítí a zejména zásypů původní stavební jámy stanice metra Vltavská. Jejich hydraulické vlastnosti lze s ohledem na jejich materiálové složení očekávat celkově značně variabilní.

4.2 Zvodnění v předkvartérním podloží – ordovický kolektor

U ordovického horninového podloží je vzhledem k jeho litologickému a tektonickému charakteru přítomnost podzemní vody vázána pouze na existenci systémů otevřených a vzájemně propojených puklin. Toto prostředí se tak vyznačuje významnou filtrační nestejnorodostí, která je podmíněna zejména rozdílným stupněm rozpukání a zvětrání masivu v závislosti na zastoupení jednotlivých litologických typů hornin. V případě břidlic vinického souvrství i jemnozrnných drobovitých pískovců, prachovců a břidlic souvrství letenského se zvodeň s malou vydatností nachází pouze ve svrchních silněji rozpukaných a zvětralých polohách s mocností převážně v rozmezí 3,0–6,0 m. Ve větších hloubkách pak jsou již v tomto prostředí pukliny zpravidla sevřené a nepropustné. Vyšší propustnost i vydatnosti lze očekávat pouze v mocnějších a silněji rozpukaných polohách křemenců. Tyto hydraulické vlastnosti hornin předkvartérního podkladu byly v rámci provedených průzkumných prací ověřeny pomocí karotážních metod sledujících jak charakter přirozeného proudění podzemní vody v horninovém prostředí, tak i intenzitu a výskyt přítoků v průběhu rezistivimetrického měření při neustálených podmínkách.



Obr. 11 – Schematický model proudění podzemní vody v prostoru projektované stavby.
Fig. 11 Schematic model of groundwater flow in the area of the planned construction.

Rovněž v případě předkvartérní zvodně bude úroveň hladiny podzemní vody a intenzita proudění kromě litologického složení záviset na vzdálenosti od koryta Vltavy a dlouhodobějších srážkových úhrnech. Proudění podzemní vody v ordovickém prostředí lze obdobně jako v případě kvartérního kolektoru uvažovat ve směru konfigurace jeho povrchu, tj. zhruba směrem k JV až J.
V nově provedených vrtech byla v závislosti na morfologické pozici hladina podzemní vody zastižena v polohách terasových sedimentů i horninovém podloží. Schématický model zájmového území zobrazující úroveň hladiny podzemní vody a směry jejího proudění (sestavený zejména na základě údajů získaných z režimního měření v nových vystrojených vrtech) je uveden na obrázku 11. Z tohoto modelu je dobře patrný předpokládaný směr proudění podzemní vody i lokální vliv drenážních účinků stávající stavby metra na úroveň hladiny.

4.3 Agresivita podzemní vody a horninového prostředí

Na základě archivních údajů i výsledků nových průzkumných prací lze podzemní vodu ordovické zvodně v zájmovém prostoru charakterizovat agresivitou na beton stupně XA1 až XA2 dle ČSN EN 206+A1 a agresivitou stupně IV. na ocel dle ČSN 03 8375. Hlavní agresivní složkou jsou zde sírany. Vzorky horninového prostředí byly převážně hodnoceny jako neagresivní dle ČSN EN 206+A1, ojediněle vykazovaly síranovou agresivitu na beton stupně XA1.

5. Základové poměry a zemní práce

Na základě provedených průzkumných prací bylo v zájmovém území vyčleněno celkem 13 geotechnických typů zemin a hornin, kterým byly přiřazeny doporučené charakteristické hodnoty (ve smyslu ČSN EN 1997-1 i ČSN P 73 1005) vybraných geotechnických parametrů. Horninový masiv byl rovněž orientačně zhodnocen podle klasifikace GSI – The Geological Strength Index dle Marinos – Hoek (2000) a byly mu přiřazeny parametry smykové pevnosti zohledňující předpokládanou hloubku založení. Očekávané rozšíření vyčleněných geotechnických typů zemin a hornin v rámci stavby bylo zobrazeno v celkem 7 podélných a příčných inženýrskogeologických řezech.
Předmětná stavba bude zakládána v několika výškových úrovních a pro její realizaci budou v rámci jednotlivých objektů vyhloubeny stavební jámy s hloubkou místy až cca 16,0 m. Podle ČSN P 73 1005 se jedná celkově o staveniště s proměnlivými a složitými základovými poměry. V horninovém masivu se v prostoru podzákladí nachází řada litologicky i geotechnicky odlišných typů hornin a zemin. Jednotlivé geotechnické typy pak mají v prostoru staveniště nepravidelný výskyt a mocnost. Zvláštní pozornost bude třeba věnovat objektům zakládaným zčásti na křemencích a zčásti na drobovitých pískovcích a břidlicích letenského souvrství. Vzhledem k výrazně horším deformačním parametrům pískovců a břidlic hrozí v této části stavby riziko nerovnoměrného sedání. U mocnějších poloh nezvětralých křemenců s vysokou až velmi vysokou pevností je třeba očekávat obtíže při jejich rozpojování.
Na základové poměry má v rozsahu celého staveniště nepříznivý vliv rovněž přítomnost podzemní vody. Úroveň ustálené hladiny podzemní vody v prostoru objektů filharmonie a garáží se mimo období výrazné srážkové činnosti nachází zhruba 3–8 m nad úrovní základové spáry. V případě objektu tunelů v jižní části území se hladina podzemní vody pohybuje v úrovni 4–5 m nad úrovní spáry až zhruba 2 m pod její úrovní. S ohledem na zjištěnou úroveň hladiny a propustnost prostředí je nutné očekávat přítoky do stavebních jam především z poloh sedimentů vltavských teras a svrchních silněji rozpukaných a zvětralých poloh ordovických hornin. Intenzivnější přítoky pak lze očekávat při zastižení mocnějších poloh silněji rozpukaných křemenců v západní části jámy a také obecně v jižní části území v blízkosti koryta Vltavy. Podrobné zhodnocení hydrogeologických poměrů zájmového území bude předmětem připravovaného doplňkového hydrogeologického průzkum, jehož výstupem bude rovněž odhad velikosti přítoků podzemní vody do stavební jámy pro možnost zpracování projektu případného zatěsnění jejích stěn.

6. Závěr

V zájmovém území navrhovaného projektu Vltavské filharmonie byly v období duben – listopad 2024 realizovány komplexní průzkumné práce pro vypracování inženýrskogeologického modelu lokality. Na staveništi náročné konstrukce byly zjištěny složité základové poměry, což uvažovaný projekt řadí do 3. geotechnické kategorie dle ČSN P 73 1005. V řešeném prostoru se vyskytují materiály různorodého charakteru jak vlivem geologické stavby, tak i v důsledku stavebně-historického vývoje území, a na realizaci uvažovaného záměru bude mít vliv zjištěná hladina podzemní vody a obecně složité hydrogeologické poměry území. Při návrhu zajištění stavební jámy i návrhu založení bude třeba zohlednit existenci sousedních objektů. Zvláštní pozornost je pak třeba věnovat objektům tunelů metra v podzákladí části připravované stavby.

Seznam literatury

Marinos, P., Hoek, E. (2000): *GSI: A Geologically Friendly Tool For Rock Mass Strength Estimation.*
Podpěra P., Baborová M., 2023: *Praha 7 – Holešovice – Vltavská Filharmonie – Zpráva orientačního průzkumu základové půdy (archivní rešerše).* – RNDr. Pavel Podpěra HUPO-IGS, Praha
Tlamsa J., Šmejkalová T., Vojtěchovská A., 2024: *Závěrečná zpráva inženýrskogeologického průzkumu pro projekt Vltavské filharmonie v Praze.* – SG Geotechnika a.s. Praha.

INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM A JEHO VERIFIKACE BĚHEM VÝSTAVBY – PROJEKT VINOHRADSKÁ 8, AREÁL BÝVALÉHO TRANSGASU

ENGINEERING GEOLOGICAL INVESTIGATION AND ITS VERIFICATION DURING CONSTRUCTION – VINOHRADSKÁ 8 PROJECT, FORMER TRANSGAS COMPLEX

Anna Vojtěchovská [1], Jiří Rout [1] a Aleš Vídeňský [1]

[1] SG Geotechnika a.s., Geologická 988/4, 152 00 Praha 5 – Hlubočepy – jmeno.prijmeni@geotechnika.cz;

Abstrakt: Příspěvek se zabývá realizací inženýrskogeologického průzkumu a následným ověřením skutečných poměrů během výstavby administrativně-rezidenčního komplexu "Vinohradská 8", situovaného v areálu bývalého Transgasu na pražských Vinohradech. Lokalita se nachází v hustě urbanizovaném území s komplikovanou stavební historií a výraznými antropogenními zásahy do horninového prostředí, což klade zvýšené nároky na rozsah i metodiku průzkumných prací. Území je specifické mimo jiné svým umístěním nad portály vinohradských železničních tunelů. Složitost inženýrskogeologických poměrů se zde projevila již při jejich ražbě, kdy došlo k poškození řady okolních objektů. Horninové prostředí lokality je tvořené libeňským souvrstvím pražského ordoviku. V prostoru stavební jámy prochází výrazná litologická hranice mezi řevnickými křemenci a libeňskými břidlicemi, doprovázená projevy tektonického porušení. Porovnání výsledků průzkumu s reálně zastiženými podmínkami v průběhu hloubení stavební jámy přispělo k upřesnění inženýrskogeologického modelu lokality a potvrdilo význam průběžné verifikace průzkumných předpokladů během realizace staveb.

Abstract: This paper presents the implementation of an engineering geological investigation and the subsequent verification of actual ground conditions during the construction of the "Vinohradská 8" administrative and residential complex, located on the site of the former Transgas complex in the Vinohrady district of Prague. The site is situated within a densely urbanized area characterized by a complex construction history and significant anthropogenic disturbance of the rock mass, placing increased demands on both the scope and methodology of the site investigation. The locality is particularly notable for its position above the portals of the Vinohrady railway tunnels. The complexity of the engineering geological conditions became evident already during tunnel excavation, when damage occurred to a number of surrounding structures. The geological setting of the site consists of the Libeň Formation of the Prague Ordovician. A distinct lithological boundary between the Řevnice Quartzite and the Libeň Shale, accompanied by signs of tectonic disturbance, runs through the area of the excavation pit. Comparing the site investigation results with the conditions actually encountered during excavation helped refine the site's engineering geological model and confirmed the importance of continuous verification of the initial investigation assumptions during construction.

Klíčová slova: inženýrskogeologický průzkum, verifikace průzkumu, geologický model, libeňské břidlice, řevnické křemence, Vinohradské železniční tunely, Transgas.

Key words: engineering geological investigation, verification of the investigation, geological model, Libeň Shale, Řevnice Quartzite, Vinohrady railway tunnels, Transgas.

1. Úvod

Dobře provedený inženýrskogeologický průzkum představuje jeden ze základních předpokladů pro bezpečný a hospodárný návrh staveb. Jeho hlavním cílem není pouze popsat geologické poměry v místě průzkumných sond, ale především vytvořit spolehlivý inženýrskogeologický model území, který umožní předvídat podmínky v celém prostoru budoucí stavby. Zejména při hloubení rozsáhlé stavební jámy je pak možné porovnat předpoklady průzkumu s reálně zastiženými inženýrskogeologickými poměry a posoudit míru shody mezi prognózou a skutečností. Jednou z lokalit, která takovéto porovnání umožnila, je novostavba administrativně-rezidenčního komplexu Vinohradská 8 v areálu bývalého Transgasu na pražských Vinohradech.

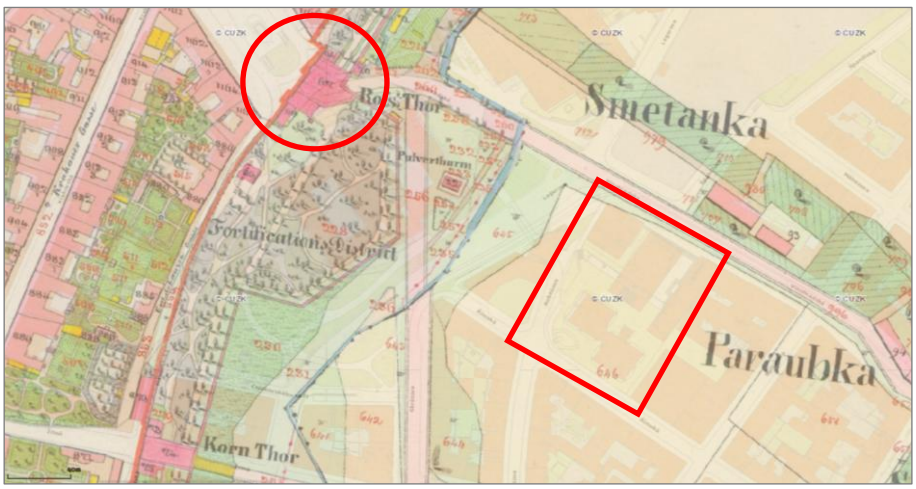
Lokalita je charakteristická rozmanitou stavební historií s rozsáhlými antropogenními zásahy. Složité inženýrskogeologické poměry, poloha staveniště v prostoru Vinohradských železničních tunelů a v těsné blízkosti budovy Českého rozhlasu vyžadovaly odpovídající postup při provádění průzkumných prací i při následném zajišťování a hloubení stavební jámy.

Geotechnické aspekty realizace stavby a jejího vlivu na Vinohradské tunely byly publikovány např. v práci Bartáka (2022). Předkládaný příspěvek se zaměřuje na realizaci podrobného inženýrskogeologického průzkumu a porovnání jeho výsledků se skutečnými podmínkami zastiženými během hloubení stavební jámy, respektive zhodnocení míry shody vytvořeného inženýrskogeologického modelu se skutečnými poměry.

Obr. 1 Zájmové území s budovami Transgasu před jejich demolicí v roce 2019.
Fig. 1 The site area with the Transgas buildings before their demolition in 2019.

2. Charakteristika zájmového území a jeho stavebně-historický vývoj

Staveniště se nachází v centrální části Prahy na rozhraní ulic Vinohradská, Rubešova a Římská v prostoru bývalého areálu Transgas (obr. 1). Toto území bylo od středověku intenzivně ovlivňováno a přeměňováno antropogenní činností spojenou s těžbou řevnických křemenců, později výstavbou obytných budov, ražbou Vinohradských železničních tunelů, demolicí ražbou poškozených budov i výstavbou areálu Transgas a ražbou tunelů metra.
Dohledatelná historie antropogenních vlivů v zájmové oblasti sahá až do 14. století, kdy v souvislosti se založením Nového Města bylo v úrovni horního konce dnešního Václavského náměstí vybudováno gotické opevnění spolu s Koňskou branou (obr. 2). V historických pramenech lze dohledat zmínku o existenci blíže neurčeného lomu na stavební kámen za Koňskou branou. I přes absenci přímých dokladů, je zřejmé, že tento lom se nacházel v prostoru zájmového území a byl zde ve středověku dobýván křemenec na stavbu hradeb i dalších staveb. Zvýšenou aktivitu v lomu lze spojovat i s výstavbou barokního opevnění města v letech 1653-1730. Dle archivních podkladů se poloha lomu předpokládá zejména v severovýchodní části zájmového území, přiléhající ke stávající Vinohradské ulici. Bodovou značkou je lom znázorněn v IG mapě Prahy 1 : 5 000 (Pařízková et al., 1970). Přítomnost zpětných zásypů tvořených odpadním materiálem z lomu i stavebním odpadem byla dokumentována v řadě archivních sond a uvádí ji i Záruba (1948) z dokumentace ražeb 2. a 3. Vinohradského tunelu. Ve 2. polovině 19. století bylo rozhodnuto o zboření barokních hradeb. Demoliční práce začaly v roce 1874 a hradby byly v mnoha případech zcela rozebrány. V tehdejší době mohly být zarovnány i zbývající terénní nerovnosti na staveništi.



Obr. 2 Historická mapa stabilního katastru (1842) překrytá přes současný mapový podklad ČUZK, Koňská brána v červeném kruhu, zájmové území v červeném obdélníku.
Fig. 2 Historical map of the Stable Cadastre (1842) overlaid on the current ČÚZK map base, with the Koňská Brána marked by a red circle and the area of interest marked by a red rectangle.

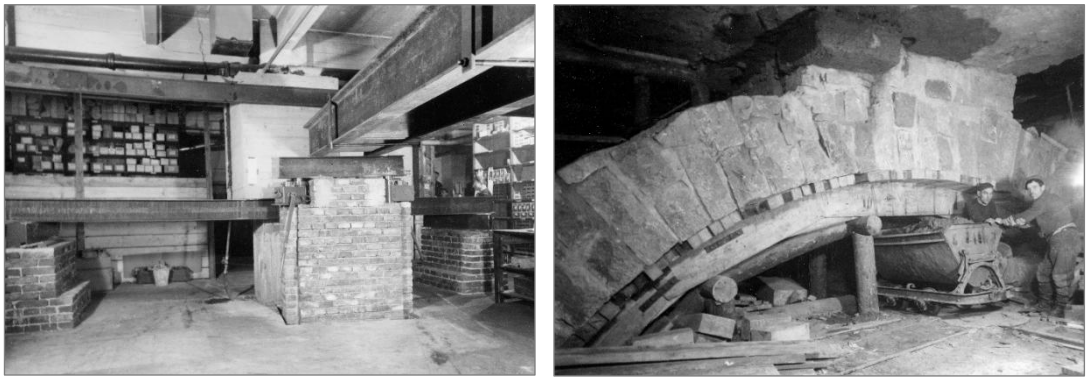
Zcela nová etapa antropogenních zásahů do zájmového území byla zahájena ve 2. polovině 19. století výstavbou 1. Vinohradského železničního tunelu v letech 1869–1871. Trasa tohoto tunelu je vedena přímo pod dnešní ulicí Rubešovou a o jeho realizaci nemáme bližší informace. Je ale známo, že tunel vykazoval závažné závady, deformace i průsaky a ve 40. letech 20. století došlo k jeho rekonstrukci, při které bylo nahrazeno pískovcové ostění za žulové. Od 70. let 19. století pak postupně vzniká v prostoru zájmového území nová zástavba domů.
V letech 1940–1944 byl vybudován 2. Vinohradský železniční tunel a souběžně s ním též prvních 290 metrů 3. Vinohradského tunelu od portálu při Hlavním nádraží, tedy té části, která vede přímo pod zájmovým územím (obr. 3). Z ražby 2. a 3. Vinohradského tunelu jsou záznamy o četných problémech se stabilitou výrubu. Záruba (1948) popisuje značné problémy s vypadáváním bloků křemenců ze stropu ražeb a současně komplikace při zastižení starých vydobytých a zpětně zasypaných částí křemencového lomu ve výrubu. Sedláček (1980 in Baborová, Podpěra 2015) popisuje zával ve štole pro středový pilíř v pasu 136 (viz obr. 3).

Obr. 3 Situace zájmového území v roce 1941 se zákresem tunelů a číslováním pasů při ražbě; stavební jáma vymezena červeně. Vinohradská ulice byla tehdy Schwerinova, Rubešova ulice Rollerova. Zdroj: koridory.cz.
Fig. 3 Situation of the area of interest in 1941, showing the tunnels and excavation sections; the excavation pit is outlined in red. Vinohradská Street was then Schwerinova and Rubešova Street Rollerova. Source: koridory.cz.

Po odstřelu křemencové lavice se zde objevil silný přítok vody a s odstupem několika hodin došlo k vypadnutí hlín a rozbředlých břidlic ze stropu na výšku až 6 m nad kalotou štoly. V důsledku těchto deformací musely být v Rubešově ulici posléze strženy domy č.p. 663, 664 a nejspíše i 641. Závaly a související nadvýlomy byly pravděpodobně sanovány především betonem.

Obr. 4 Fotografie z ražby II. Vinohradského tunelu z roku 1942 zachycuje prostředí libeňských břidlic na čelbě v pase č. 122; vpravo pohled na portál tunelu z roku 1943. Zdroj: ÚSMH.
Fig. 4 Photograph from the excavation of the Second Vinohrady Tunnel from 1942 captures Libeň Shale on tunnel face in section No. 122; on the right, a view of the tunnel portal from 1943. Source: IRSM.

Další problémy jsou popisovány u objektu firmy Bosch (na obr. 3 dům č.p. 325/8). Tato budova byla i přes její náročné technické zajištění (obr.5) ražbou a následným provozem tunelů porušena do té míry, že firma musela objekt opustit a ten byl koncem 40. let 20. století stržen (www.koridory.cz).
V archivních materiálech (Sedláček 1980 in Baborová, Podpěra 2015) je rovněž zmínka o ražbě pod sousedním domem č.p. 343, který je dodnes na svém místě. Tento dům byl postaven v letech 1937-38 a je založen na betonové desce tloušťky 1 m. Ražba probíhala pod ochranou základové desky, která byla ve stropě obnažena a podepřena (obr. 5). Vzniklý volný prostor nad vybudovaným ostěním tunelu byl následně zaplněn betonem.



Obr. 5 Podchycení domu čp. 325 pomocí železných nosníků usazených na hlubinných pilířích založených pod úrovní budoucího III. Vinohradského tunelu, rok 1942; vpravo podepřená klenba II. Vinohradského tunelu pod základy domu čp. 343 v místě pasu č. 144, rok 1943. Zdroj: ÚSMH.
Fig. 5 Underpinning of house No. 325 using iron beams resting on deep-foundation piers installed below the level of the future Vinohrady Tunnel III, 1942; on the right, the shored-up vault of Vinohrady Tunnel II beneath the foundations of house No. 343 at section No. 144, 1943. Source: IRSM.

Stávající zástavbu, která vyplnila vzniklou proluku, tvoří bývalý areál dispečinku tranzitního plynovodu „Transgas“, který byl vystavěn v letech 1972–1978 (obr. 1). Budovy byly založeny na základové desce podepřené cca 100 mikropilotami, s kořeny vetknutými 3 m do křemenců (Píchal et al., 1979). V rámci této výstavby byla vytvořena stavební jáma blíže neověřeného rozsahu, v níž došlo k odtěžení velké části starých navážek a po provedení spodní stavby k provedení novějších zásypů. Posledním významným zásahem na lokalitě byla ražba metra trasy A, která probíhala ve 2. polovině 70. let 20. století. Tunelové objekty jsou v hloubce větší než 30 m pod terénem a do půdorysu staveniště zasahují oba traťové tunely a svým jižním okrajem i středový staniční tunel.

3. Metodika, rozsah a výsledky podrobného inženýrskogeologického průzkum

Podrobný inženýrskogeologický průzkum byl realizován jako podklad pro přípravu projektu nového administrativně-rezidenčního komplexu. Jeho cílem bylo vytvoření inženýrskogeologického modelu horninového prostředí, určení geotechnických vlastností zemin a hornin, ověření hydrogeologických poměrů lokality, posouzení základových poměrů staveniště, zhodnocení zemin a hornin z hlediska obtížnosti v rozpojování.
Průzkumné práce navazovaly na výsledky orientačního průzkumu základové půdy – archivní rešerši (Baborová a Podpěra, 2015), která zahrnovala podrobné studium historických map, výsledků dřívějších geologických průzkumů i dokumentace výstavby Vinohradských železničních tunelů. V podmínkách hustě urbanizovaného území představovaly tyto podklady významný zdroj informací pro interpretaci antropogenních zásahů do horninového prostředí. Program průzkumných prací sestával z vrtných prací (celkem 9 vrtů hloubky 15,0 m), karotážního měření ve vrtech, laboratorních zkoušek vzorků zemin, hornin a podzemní vody.
Dle předpokladu orientační etapy průzkumu byly na staveništi zjištěny složité inženýrskogeologické poměry. Nově provedenými pracemi byl ověřen očekávaný výskyt polohy řevnických křemenců probíhající napříč staveništěm, i polohy libeňských a dobrotivských břidlic při jeho okrajích. Ve významných mocnostech byly zastiženy různorodé navážky, jejichž původ se váže k jednotlivým historickým stavebním činnostem.

3.1 Horniny předkvartérního podkladu

Křemence vyskytující se na lokalitě jsou součástí pruhu táhnoucího se od kostela sv. Jana Nepomuckého na Skalce k budově Národního muzea, za níž je tento pruh tektonicky přerušen a přetočen směrem k jihovýchodu. Dle archivních podkladů a dokumentace nově provedených vrtů je horninový masiv křemenců nepravidelně vrstevnatý, deskovitě až tence lavicovitě odlučný, s mocností vrstev převážně v rozmezí 10 až 30 cm (místy i s výskytem mocnějších hrubě lavicovitých poloh). Jednotlivé polohy křemenců jsou často odděleny tenkými polohami bělošedých i šedých prachovitých jílovců s mocností nejčastěji v prvních centimetrech. V rámci poloh křemenců se vyskytují i vložky černošedých jílovitoprachovitých břidlic, často prokřemenělých, s mocností

do 2,5 m. Intenzita zvětrání je obecně nízká a projevuje se převážně limonitovými povlaky na puklinových plochách. Křemence mají vysokou až velmi vysokou pevnost v rozmezí tříd R2 – R1, tenké vložky prachovitých jílovců pak mají pevnost velmi nízkou až extrémně nízkou v rozmezí tříd R5 – R6 (dle ČSN P 73 1005).
Zjištěný stupeň rozpukání křemenců je vysoce proměnlivý a odráží blízkost očekávaných tektonických poruch. Menší podíl na porušení masivu lze přičíst i výstavbě vinohradských tunelů, kdy různé druhy báňských prací nepochybně přispěly k dílčímu rozvolnění masívu v okolí tunelových rour. Diskontinuity jsou převážně rovinné, drsné, sevřené, méně často rozevřené v řádu desetin milimetru, s hojnými povlaky limonitu, výjimečně též s jílovitými povlaky. Střední vzdálenost diskontinuit se většinou pohybuje v rozmezí 80–300 mm, ve více porušených polohách 20–80 mm. Typické je příčné rozpukání jednotlivých poloh křemenců ve směru zhruba kolmém na vrstevnatost. Sklon vrstev křemenců je povětšinou monoklinální a v provedených vrtech byl dokumentován mezi 30-55°. V archivních sondách a při ražbě Vinohradských tunelů byla orientace vrstevnatosti měřena v rozsahu 165-212°/30-45°. Vrstvy tak zapadají ve směru k jihu až jiho-jihovýchodu.

Obr. 6 Polohy křemenců s různou intenzitou rozpukání zastižené ve vrtu V9.
Fig. 6 Quartzite layers with varying degrees of fracturing encuntered in borehole V9.

Břidlice byly zastiženy v okrajových částech staveniště a také jako podružné vložky v rámci křemenců. Při jihovýchodním okraji a v rámci vložek v křemencích se jedná o jílovitoprachovité břidlice libeňského souvrství. Naopak v severozápadní části území se omezeně vyskytují břidlice souvrství dobrotivského, které leží stratigraficky v podloží řevnických křemenců.
Slabě zvětralé až zdravé břidlice obou souvrství jsou převážně tmavě šedočerné, nejčastěji deskovité, s mocností vrstev 80–250 mm, se sklonem vrstevnatosti mezi 30–55° v předpokládaném směru k JJV. Střední vzdálenost diskontinuit je 50–200 mm, diskontinuity jsou rovinné až zvlněné, hladké, místy s patrnými ohlazy, převážně strmé o sklonech 60–85°, sevřené, lokálně s povlaky oxidů a hydroxidů železa a manganu, dokumentovány byly též bílé povlaky síranů a drobné konkrece s pyritem. Pevnost slabě zvětralých až zdravých břidlic je převážně nízká, hodnocená ve třídě R4, v prokřemenělých či písčitých polohách až střední, hodnocená ve třídě R3.
Blíže k povrchu nebo v okolí tektonických poruch se nepravidelně vyskytují břidlice mírně až silně zvětralé, úlomkovitě rozpadavé, nejčastěji tence deskovitě až deskovitě odlučné, s mocností vrstev 20–80 mm, s kolísající intenzitou rozpukání, se střední vzdáleností diskontinuit nejčastěji 20–60 mm. Jejich pevnost byla makroskopicky hodnocena nejčastěji ve třídě R5. Mocnost mírně až silně zvětralých jílovitoprachovitých břidlic byla v nově provedených vrtech dokumentována v rozmezí 0,0 – 1,6 m.

Obr. 7 Slabě až silně rozpukané břidlice libeňského souvrství ve vrtu V10.
Fig. 7 Slightly to intensely fractured shales of the Libeň Formation in borehole V10.

Průběh hlavních tektonických linií v zájmovém území nebyl provedenými průzkumnými pracemi přímo ověřován. Z archivních podkladů byl předpokládán průběh významného zlomu ve směru SZ-JV severně od staveniště, v ose Vinohradské ulice. Další tektonická linie směru S-J byla očekávána západně od ulice Rubešova. Tyto dva poruchové systémy omezují na západě a na severu kru řevnických křemenců spolu s reliktem podložních dobrotivských břidlic a s libeňskými břidlicemi v nadloží. S ohledem na blízkost těchto tektonických linií bylo u křemenců ve vrtech místy zastiženo výrazné křehké porušení doprovázené hustou sítí sevřených trhlin. Rovněž v případě břidlic byly zdokumentovány silně tektonicky porušené polohy, drobně úlomkovitě až střípkovitě rozpadavé, s extrémně nízkou pevností, a také polohy s plastičtější deformací charakterizovanou četnými diskontinuitami s vyhlazeným povrchem. Hranice řevnických křemenců a podložních dobrotivských břidlic i nadložních břidlic libeňských zastižené na lokalitě byla dle zjištěných údajů hodnocena jako stratigrafická. Významnější poruchy dokládající jejich tektonický styk nebyly ani archivními pracemi zdokumentovány.

3.2 Kvartérní pokryvné útvary

Horninové podloží je v zájmovém území překryto nesouvislými relikty deluviálních sedimentů a především polohami navážek vyskytujících se ve významných mocnostech v rámci celého staveniště. Polohy deluviálních sedimentů byly zastiženy v podloží navážek pouze v severní části území v mocnostech 0,8 – 2,3 m. Jedná se převážně o jíly s ostrohrannými úlomky křemenců v podílu v rozmezí 20–60 % a o velikosti do 6-8 cm.
Zejména v severovýchodní části zájmového území se v nejspodnějších partiích poloh navážek vyskytují původní výplně po středověké těžbě křemenců (např. archivní kopané sondy K 109 a K 110, archivní údaje z ražeb Vinohradských tunelů apod.). Tyto navážky mají charakter úlomků, kamenů i balvanů křemenců s jílovitou výplní. Převážná většina antropogenních uloženin v zájmovém území má však štěrkovitopísčitý charakter a pochází pravděpodobně z výstavby areálu „Transgas“ v roce 1978. Tyto navážky byly v nových vrtech dokumentovány převážně jako písčité a štěrkovité zeminy s kolísajícím zastoupením jemnozrnné a kamenité frakce až písky a štěrky hlinité, či hlíny s písčitou a kamenitou příměsí, převážně tuhé až pevné, lokálně však též měkké konzistence. Obsahují úlomky a kameny křemenců, břidlic, křemenných valounů, cihel, betonu, ocelových drátů, skla, lepenky, dřeva, plastů velikosti až do průměru vrtu (max. okolo 20 cm). Podíl kamenité frakce v navážkách je velmi proměnlivý, generelně byl odhadován na cca 20–40 %. Lokálně však byly dokumentovány též i výrazně kamenitější sypaniny.

Obr. 8 – Polohy písčitých navážek a betonu zastiženého ve vrtu V1.
Fig. 8 Layers of sandy fills and concrete encountered in borehole V1.

Samostatný podtyp v rámci navážek představuje prostý beton, který byl zastižen v jejich hlubších partiích např. v nově provedeném vrtu V1 (obr.8) umístěného do prostor původního objektu č.p. 325/8 firmy Bosch (beton v mocnosti 3,2 m) nebo v archivních kopaných sondách K115 a K117 z roku 1971 umístěných v prostoru zdokumentovaného závalu ve štole pro středový pilíř v pasu č. 136. Polohy betonu souvisí buď se sanací propadů a nadvýlomů z ražeb Vinohradských tunelů, nebo mohou být i součástí základových konstrukcí dřívějších staveb, nebo stávajících budov. Navážky byly v nově provedených vrtech zastiženy v celkové mocnosti 2,5 - 8,3 m.

3.3 Hydrogeologické poměry

Podzemní voda se v zájmovém území vyskytuje v prostředí hornin předkvartérního podloží i kvartérního pokryvu, především pak antropogenních uloženin.

Hladina podzemní vody v pokryvných útvarech je bezprostředně ovlivňována aktuálními srážkovými úhrny v zájmovém území. V průlinově propustných polohách navážek, především pak při jejich bázi, se mohou vyskytovat omezené občasné zvodně menšího rozsahu. Tyto zvodně mohou být též dotovány či naopak odvodňovány stávajícími inženýrskými sítěmi (např. netěsnosti v kanalizačním systému, vodovodním řádu, průlinově propustné obsypy sítí apod.). Propustnost navážek je vzhledem k jejich prostorové a materiálové heterogenitě značně variabilní.

Hladina v puklinově propustném prostředí předkvartérních útvarů je kromě výše zmíněných faktorů ovlivňována též srážkovými úhrny v širším okolí a zcela jistě též přítomností podzemních staveb tunelů metra a železnice. U břidlic je propustnost puklinová, vázaná primárně na svrchní rozvolněnou zónu a hodnota koeficientu hydraulické vodivosti u nich kolísá v závislosti na stupni a charakteru jejich rozpukání v řádech 10^{-6} – 10^{-7} m.s^{-1}. Prostředí navětralých až zdravých břidlic lze obecně kromě výrazněji porušených zón považovat za velmi málo propustné s koeficientem hydraulické vodivosti v řádu $k_f \sim x.10^{-7}$ m.s^{-1} a nižším.

V řevnických křemencích je propustnost také výhradně puklinová. S ohledem na převládající křehký charakter porušení jsou rozpukané křemence obecně pro podzemní vodu relativně dobře propustným prostředím. Jejich průměrný koeficient hydraulické vodivosti lze očekávat v řádu $k_f \sim 10^{-5}$ – 10^{-6} m.s^{-1}. Výjimkou jsou masivní, neporušené polohy křemenců, které jsou pro vodu prakticky nepropustnou bariérou.

Generelní směr proudění podzemní vody lze v souladu s mapou hydrogeologických poměrů Pařízkové et al. (1970) očekávat k SSZ. Dle archivních a nově zjištěných údajů je velmi pravděpodobné, že velká část území je odvodňována vybudovanými podzemními konstrukcemi metra a Vinohradských železničních tunelů a původní přirozená úroveň hladiny podzemní vody je tak značně zakleslá. Přítoky do stavební jámy byly s ohledem na tyto skutečnosti očekávány jen jako lokální s malou intenzitou a vydatností.

3.4. Základové poměry a zemní práce

Dle výsledku provedených průzkumných prací se jedná o území se značně proměnlivými a složitými základovými poměry. Variabilní je jak složení, geotechnické vlastnosti, tak i mocnost jednotlivých vrstev, a staveniště je výrazně ovlivněno historickou stavební činností.

V ploše staveniště mimo Vinohradské tunely, s úrovní založení nových objektů na kótě 215,3 m n.m., je horninový masiv pod úrovní základové spáry tvořen převážně slabě zvětralými až zdravými křemenci, při jižním okraji i slabě zvětralými až zdravými břidlicemi (obr. 9). V ploše staveniště nad Vinohradskými tunely, se základovou spárou na vyšší úrovni kót 218,3 - 219,5 m n.m., je základová půda z velké části tvořena materiály antropogenních navážek i základovými konstrukcemi stávajících objektů. V jejich podloží se pak kromě vlastních železničních tunelů vyskytují převážně křemence, méně pak břidlice.

Obr. 9 - Inženýrskogeologický řez 3-3´ v jižní části staveniště (GT1-An: navážky; GT4-OBn: navětralé až zdravé břidlice; GT5-OKn: navětralé až zdravé křemence), Rout a Vídeňský, 2018.

Fig. 9 Engineering geological section 3–3' in the southern part of the construction site (GT1-An: fill; GT4-OBn: slightly weathered to sound shales; GT5-OKn: slightly weathered to sound quartzites), Rout and Vídeňský, 2018.

Vzhledem k tomu, že nové průzkumné sondy bylo možno situovat pouze mimo stávající objekty (Transgas), nebyl provedenými pracemi ověřován rozsah stávajících konstrukcí pod úrovní terénu, ani úroveň jejich základové spáry. Pro ověření úrovně založení stávajících objektů i charakteru jejich podzákladí proto bylo doporučeno realizovat doplňující průzkumné práce ze suterénů stávajících objektů.

Z hlediska technologie zajišťování stěn a samotného hloubení stavební jámy byly v rámci průzkumu hodnoceny jako problematické železobetonové konstrukce stávajících budov, ostatní mocnější polohy betonu (např. v místě závalů z ražeb) a také polohy křemenců vysoké až velmi vysoké pevnosti, pro které je v místně specifických podmínkách výstavby (okolní stavby a ochranná pásma) nutné využít alternativních metody rozpojování jako jsou speciální těžké mechanizace nebo trhání horniny pomocí hydraulických klínů.

4. Ověření výsledků průzkumných prací během výstavby

V průběhu realizace stavební jámy pro výstavbu souboru staveb administrativní a rezidenční budovy „Centrum Vinohradská“ byla v rámci činnosti geotechnického dozoru prováděna inženýrskogeologická dokumentace přístupných a odkrytých částí horninového prostředí (obr. 10). Cílem této dokumentace pak bylo ověřování zastižených poměrů vzhledem k předpokladům výsledků provedeného průzkumu.

Obr. 10 Celkový pohled na stavební jámu po demolici areálu Transgas v květnu 2025.
Fig. 10 Overview of the excavation pit after the demolition of the former Transgas complex in May 2025.

Při dokumentaci byly zaznamenávány především údaje o výskytu a rozšíření jednotlivých geotechnických typů zemin a hornin, o jejich základních charakteristikách (petrografie, stratigrafie, intenzita zvětrání, pevnost, vrstevnatost, blokovitost). Dále byly zaznamenávány údaje o zastižených diskontinuitách a jiných strukturních prvcích (typ, směr a sklon, geometrie, průběžnost, rozteč, rozevření, typ výplně, zvodnění) a také údaje o podzemní vodě (lokalizace a charakter přítoků). Součástí prováděné dokumentace bylo rovněž pořizování fotografické dokumentace sledu zemních prací a zastiženého horninového prostředí. Výstupem dokumentace stavební jámy byly inženýrskogeologické řezy (pohledy na stěny) v měřítku 1:50.

Obr. 11 Zastižené polohy řevnických křemenců s deskovitou až hrubě lavicovitou vrstevnatostí a různým stupněm rozpukání (vlevo); omezená poloha slabě zvětralých břidlic libeňského souvrství mezi masivními vrstvami křemenců (vpravo).
Fig. 11 Encountered layers of Řevnice Quartzite showing tabular to thick-bedded stratification and varying degrees of fracturing (left); a restricted occurrence of slightly weathered shales of the Libeň Formation between massive quartzite beds (right).

Při hloubení stavební jámy byly dle předpokladů průzkumných prací zastiženy antropogenní navážky, deluviální sedimenty a horniny předkvartérního podloží v podobě jílovitoprachovitých břidlic (libeňské) a křemenců (řevnické). Tyto sedimentární horniny byly v prostoru zájmového území zastiženy v předpokládaném rozsahu i s charakteristickým úklonem vrstev mezi 30-55° směrem k J až JV. Průběžná geologická dokumentace potvrdila velmi dobrou shodu mezi předpokládaným a skutečným průběhem litologické hranice mezi řevnickými křemenci a libeňskými břidlicemi (obr. 11).
Současně bylo možné detailně zdokumentovat polohy s různou intenzitou a charakterem tektonického porušením včetně zhodnocení jejich geotechnických vlastností. Odkryté stěny stavební jámy umožnily sledovat prostorové vztahy jednotlivých puklinových systémů, střižných poruch i deformačních struktur v rozsahu, který výrazně překračuje možnosti bodových průzkumných metod (obr. 12 a 13).

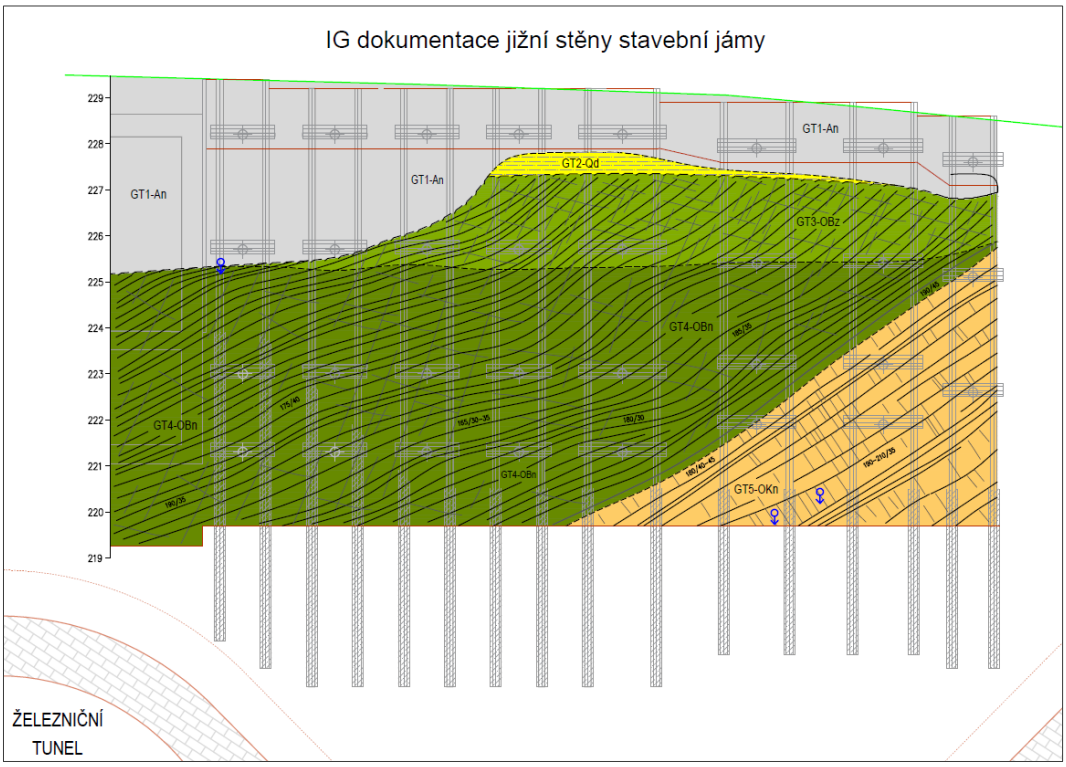
Obr. 12 Oblast příčné tektonické poruchy s charakteristickým postižením horninového masivu – křehké porušení křemenců s hustou sítí puklin a plastičtěji deformované břidlice s četnými ohlazy na diskontinuitách.
Fig. 12 Zone of transverse tectonic fault exhibiting characteristic deformation of the rock mass: brittle failure of quartzites with a dense network of fractures, and more plastically deformed shales with numerous slickensides along discontinuities.

Obr. 13 Detail tektonické plochy s výrazným ohlazem a rýhováním v řevnických křemencích.
Fig. 13 Detail of a tectonic surface with distinct slickensides and striations in Řevnice Quartzite.

Ve svrchních polohách stavební jámy byly v celém jejím rozsahu ověřeny antropogenní navážky variabilního složení a také výskyt pozůstatků historických stavebních konstrukcí v podobě starého cihlového zdiva, masivních železobetonových konstrukcí (obr. 14) či pozůstatků ze sanací ražeb Vinohradských tunelů. Tyto skutečnosti potvrdily velký význam podrobné archivní rešerše při interpretaci inženýrskogeologických poměrů lokality.

Obr. 14 Masivní železobetonová základová konstrukce bývalého Transgasu.
Fig. 14 Massive reinforced-concrete foundation of the former Transgas complex.

Všechny zastižené zeminy a horniny bylo možné vzhledem k jejich ověřeným charakteristikám přiřadit k jednotlivým geotechnickým typům vyčleněným ve zprávě podrobného inženýrskogeologického průzkumu. Na základě výsledků provedené dokumentace bylo rovněž možné konstatovat, že v případě všech geotechnických typů jejich výskyt, charakter i geotechnické vlastnosti v prostoru stavební jámy bez výrazných odchylek odpovídají předpokladům průzkumných prací.



Obr. 15 Inženýrskogeologická dokumentace jižní stěny stavení jámy se zákresem zastižených poměrů (GT1-An: navážky; GT3-OBz: mírně až silně zvětralé břidlice; GT4-OBn: navětralé až zdravé břidlice; GT5-OKn: navětralé až zdravé křemence), Vojtěchovská, 2025.
Fig. 15 Engineering geological documentation View of the southern wall of the excavation pit, showing the encountered geological conditions (GT1-An: fill material; GT3-OBz: weathered shale; GT4-OBn: sound shale; GT5-OKn: quartzite), Vojtěchovská, 2025.

Při hloubení stavební jámy rovněž nebyly dle předpokladu průzkumných prací zaznamenány významné přítoky podzemní vody a hornina měla převážně jen svou přirozenou vlhkost. Pouze lokálně byly ve stěnách s čerstvě obnaženou horninou zaznamenané neměřitelné průsaky podzemní vody. Místa pozorovaných průsaků pak byla zpravidla soustředěna do oblastí silnějšího rozpukaní a tektonického porušení horninového masivu tvořeného křemenci, případně do bazálních poloh propustných navážek (obr. 15).

5. Závěr

Případová studie projektu Vinohradská 8 potvrdila význam podrobného inženýrskogeologického průzkumu jako základního podkladu pro návrh geotechnických konstrukcí ve složitých podmínkách městského prostředí. Kombinace archivní rešerše, regionálních geologických znalostí, výsledků průzkumných prací a odborné interpretace umožnila vytvořit inženýrskogeologický model, který poskytl spolehlivou prognózu geologických poměrů v prostoru budoucí stavební jámy.

Průběžná geologická dokumentace během realizace stavby následně vytvořila výjimečnou možnost ověřit přesnost této prognózy. Velmi dobrá shoda mezi předpokládanými a skutečně zastiženými poměry potvrdila správnost vytvořeného modelu a současně zdůraznila význam systematické verifikace průzkumných předpokladů během realizace staveb.

Zkušenosti získané při projektu Vinohradská 8 ukazují, že skutečná hodnota inženýrskogeologického průzkumu nespočívá pouze v rozsahu provedených prací nebo množství získaných dat, ale především ve schopnosti vytvořit spolehlivý model horninového prostředí, který obstojí při následné realizaci stavby. S ohledem na složitou urbanizaci oblasti se také potvrdila významná úloha analýzy historických a archivních podkladů v rámci průzkumných prací

Verifikace modelu během realizace stavby představuje cennou zpětnou vazbu nejen pro konkrétní projekt, ale i pro další rozvoj metodiky inženýrskogeologických průzkumů. Umožňuje lépe porozumět vztahu mezi bodovými daty z průzkumu a skutečnou geologickou stavbou odkrytou při realizaci stavebních prací.

Poděkování: Děkujeme Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR za poskytnutí dobových fotografií ze stavby Vinohradských tunelů II a III. z let 1942-43.

Seznam literatury

Baborová M. a Podpěra P., 2015: *Zpráva orientačního průzkumu základové půdy – archivní rešerše – Praha 2, Palác Vinohradská*. – RNDr. Pavel Podpěra HUPO-IGS, Praha.

Barták J., 2022*: Významné změny v nadloží historických Vinohradských tunelů. Tunel,* 31(2), 26–33.

ČSN P 73 1005 – *Inženýrskogeologický průzkum*.

Pařízková Z. et al., 1970: *Podrobná inženýrskogeologická mapa Prahy list 6–2, M 1 : 5000.* – PÚDIS, Praha.

Píchal Z. et al., 1979: *Praha a inženýrská geologie*. – ČSVTS PÚDIS, Praha.

Rout J. a Vídeňský A., 2018: *Závěrečná zpráva inženýrskogeologického průzkumu pro projekt AC Vinohradská v Praze 2.* – SG Geotechnika a.s. Praha.

Vojtěchovská A., 2025: *Zpráva o IG dokumentaci při hloubení stavební jámy.* – SG Geotechnika a.s. Praha.

Záruba Q., 1948: *Geologický podklad a základové poměry vnitřní Prahy.* – Státní geologický ústav, Praha.

Sekce 11

Svahové pohyby a ostatní geodynamické jevy

Klimatická zmena ako faktor nestability v podmienkach Slovenska

Climate Change as a Factor of Instability in Slovakia

Martin Bednarik[1]*, René Putiška[1], Rudolf Tornyai[1], Bibiána Brixová[1], Róbert Csizmadia[2]

[1] Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra inžinierskej geológie, hydrogeológie a aplikovanej geofyziky, mbednarik@uniba.sk, Slovensko

[2] GEOFOS, s.r.o., Žilina, Slovensko

** korešpondujúci autor*

Abstrakt

Geologická stabilita Západných Karpát je čoraz viac vystavená zrýchľujúcim sa účinkom globálnej klimatickej zmeny. Na Slovensku sa tento fenomén prejavuje predovšetkým extrémnymi zrážkovými udalosťami a dlhotrvajúcimi obdobiami sucha. Tieto podmienky vplývajú na kolísania hladín podzemnej vody a priamo ovplyvňujú geodynamickú stabilitu inžinierskogeologických formácií. Tento príspevok hodnotí súčasné vzorce stability a geologické riziká v troch odlišných regiónoch: Podunajská pahorkatina (Dolné Semerovce), Hornonitrianska kotlina (Dolné Vestenice) a vulkanické štruktúry Štiavnických vrchov (Podhorie). Na základe analýzy technických správ a geologických prieskumov vykonaných v týchto oblastiach pozorujeme významnú koreláciu medzi geologickou stavbou a náchylnosťou na nestabilitu vyvolanú klimatickou zmenou. Syntézou údajov z týchto lokalitne špecifických prieskumov sa tak príspevok zameriava na redefinovanie „obrazu stability“ Slovenska. Argumentuje tým, že tradičná klasifikácia inžinierskogeologických stabilitných rajónov sa musí aktualizovať, aby odrážala zvýšenú frekvenciu geodynamických rizík vyvolaných klimatickými extrémami.

Kľúčové slová: Klimatická zmena, Zosuv, Stabilita svahu, Sanácia, Západné Karpaty

Abstract

The geological stability of the Western Carpathians is increasingly exposed to the accelerating effects of global climate change. In Slovakia, this phenomenon manifests primarily through extreme precipitation events and prolonged periods of drought. These conditions affect groundwater level fluctuations and directly influence the geodynamic stability of engineering geological formations. This paper evaluates current stability patterns and geological hazards in three distinct regions: the Danubian Hills (Podunajská pahorkatina – Dolné Semerovce), the Upper Nitra Basin (Hornonitrianska kotlina – Dolné Vestenice), and the volcanic structures of the Štiavnica Mountains (Štiavnické vrchy – Podhorie). Based on the analysis of technical reports and geological surveys conducted in these areas, we observe a significant correlation between geological structure and susceptibility to climate-induced instability. By synthesizing data from these site-specific surveys, the paper aims to redefine Slovakia's "stability image." It argues that the traditional classification of engineering geological stability zones must be updated to reflect the increased frequency of geodynamic hazards triggered by climate extremes.

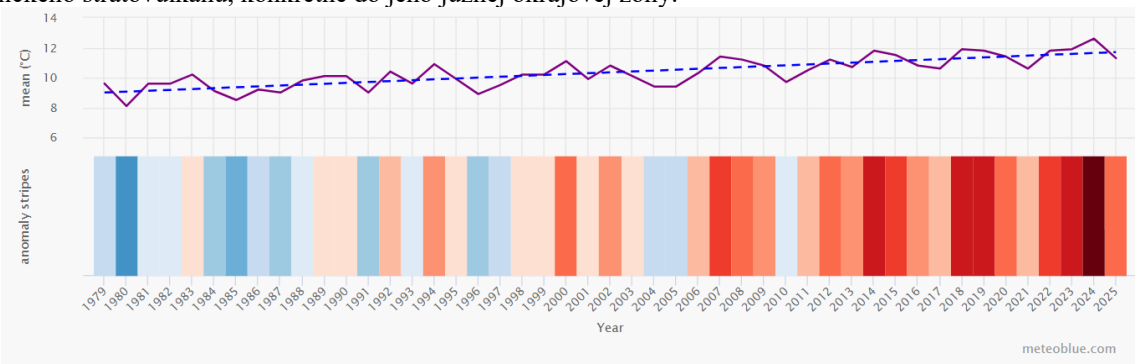
Keywords: Climate change, Landslide, Slope stability, Remediation, Western Carpathians

1. Úvod

Svahové deformácie predstavujú jeden z najvýznamnejších prejavov exogénnych geodynamických procesov nielen v Slovenskej republike, ale v celom regióne strednej Európy. Podľa Atlasu máp stability svahov Slovenskej republiky bolo doteraz zdokumentovaných celkovo 21 190 svahových deformácií. Tieto javy zasahujú územie s rozlohou 257,5 tisíca hektárov, čo zodpovedá 5,25 % z celkového územia Slovenska. Prevažná väčšina týchto geodynamických porúch je klasifikovaná ako zosuvy s 19 104 registrovanými prípadmi, čo predstavuje 90,2 % všetkých zaznamenaných svahových deformácií. Toto je informácia pre stabilitné pomery na Slovensku do roku 2006 (Atlas stability svahov, 2006). Zásadná zmena nastáva v roku 2010. Počas tohto obdobia viedli extréme zrážkové udalosti v máji a júni k vysokej saturácii svahových sedimentov, čo následne aktivizovalo viac ako 570 nových svahových deformácií na ploche približne 293 hektárov. Tieto udalosti podčiarkujú vysokú citlivosť geologického prostredia na klimatické spúšťače a zdôrazňujú neustálu nevyhnutnosť systematického hodnotenia stability (Jánová et al., 2021). V globálnom meradle je čoraz viac dokumentovaná korelácia medzi meniacimi sa klimatickými vzorcami, kumulatívnymi zrážkami a reaktivizáciou zosuvov, čo zdôrazňuje rastúcu hrozbu hydro-geomorfologických rizík v prechodných klimatických zónach (Froude & Petley, 2020; Gariano & Guzzetti, 2021; Ma & Yin, 2022; Vassallo et al., 2023; Sidle & Bogaard, 2024).

2. Prípadová štúdia: Dolné Semerovce

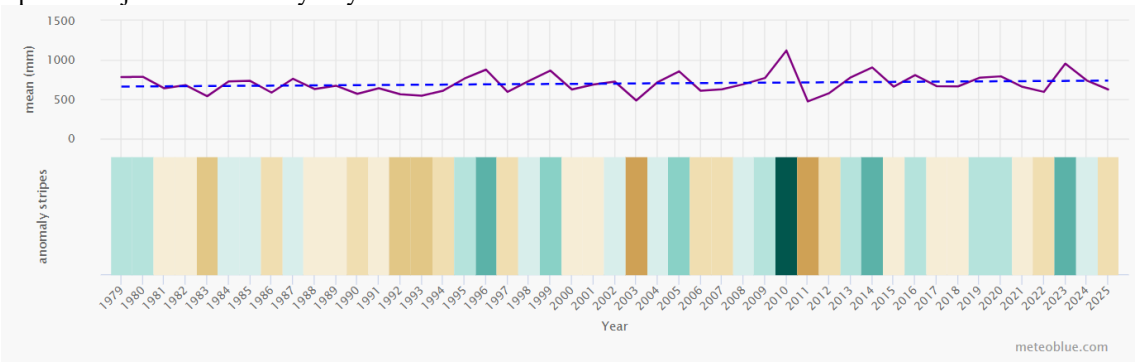
Podľa geotektonického vývoja a regionálneho geologického členenia (Atlas krajiny Slovenskej republiky, 2002) patrí študované územie do juhovýchodnej časti Podunajskej panvy, konkrétne do celku Želiezovská depresia. Geologickú stavbu tvoria neogénne a kvartérne sedimenty. Širšie okolie obce Dolné Semerovce zasahuje do štiavnického stratovulkánu, konkrétne do jeho južnej okrajovej zóny.



Obr. 1 Priemerná ročná teplota vzduchu, trend a anomálie za obdobie rokov 1979 až 2025 pre obec Dolné Semerovce (zdroj: meteoblue.com).
Fig. 1 Mean annual air temperature, trend, and anomalies for the period 1979 to 2025 for the village of Dolné Semerovce (source: meteoblue.com).

Podľa údajov Meteoblue zaznamenal širší región významné dôsledky klimatickej zmeny s nárastom priemernej ročnej teploty až o 2,5 °C v porovnaní s rokom 1979. Trendová čiara vykazuje lineárny stúpajúci charakter. Na obr. 1, farba príslušných stĺpcov predstavuje priemernú teplotu pre daný rok (modrá označuje chladnejšie roky a červená teplejšie roky). Od roku 2010 sa študované územie nachádza takmer výlučne v teplejšom teplotnom rozsahu.

Pokiaľ ide o zrážky, priemerný ročný trend sa blíži k 750 mm (obr. 2). Trendová čiara má tiež lineárny stúpajúci charakter. V grafe zelené stĺpce predstavujú vlhkejšie roky a hnedé stĺpce označujú suchšie roky. Rok 2010 (označený najtmavšou zelenou) jednoznačne predstavuje rok s najvyššími úhrnmi zrážok – s anomáliou +413 mm nad priemerom – čo pravdepodobne spustilo svahový pohyb. Medzi ďalšie roky s anomálnymi hodnotami patria roky 2014 a 2023, pričom posledný menovaný vykazuje hodnotu +243 mm nad priemerom. Roky 2016, 2019 a 2020 taktiež predstavujú obdobia so zvýšenými zrážkami.

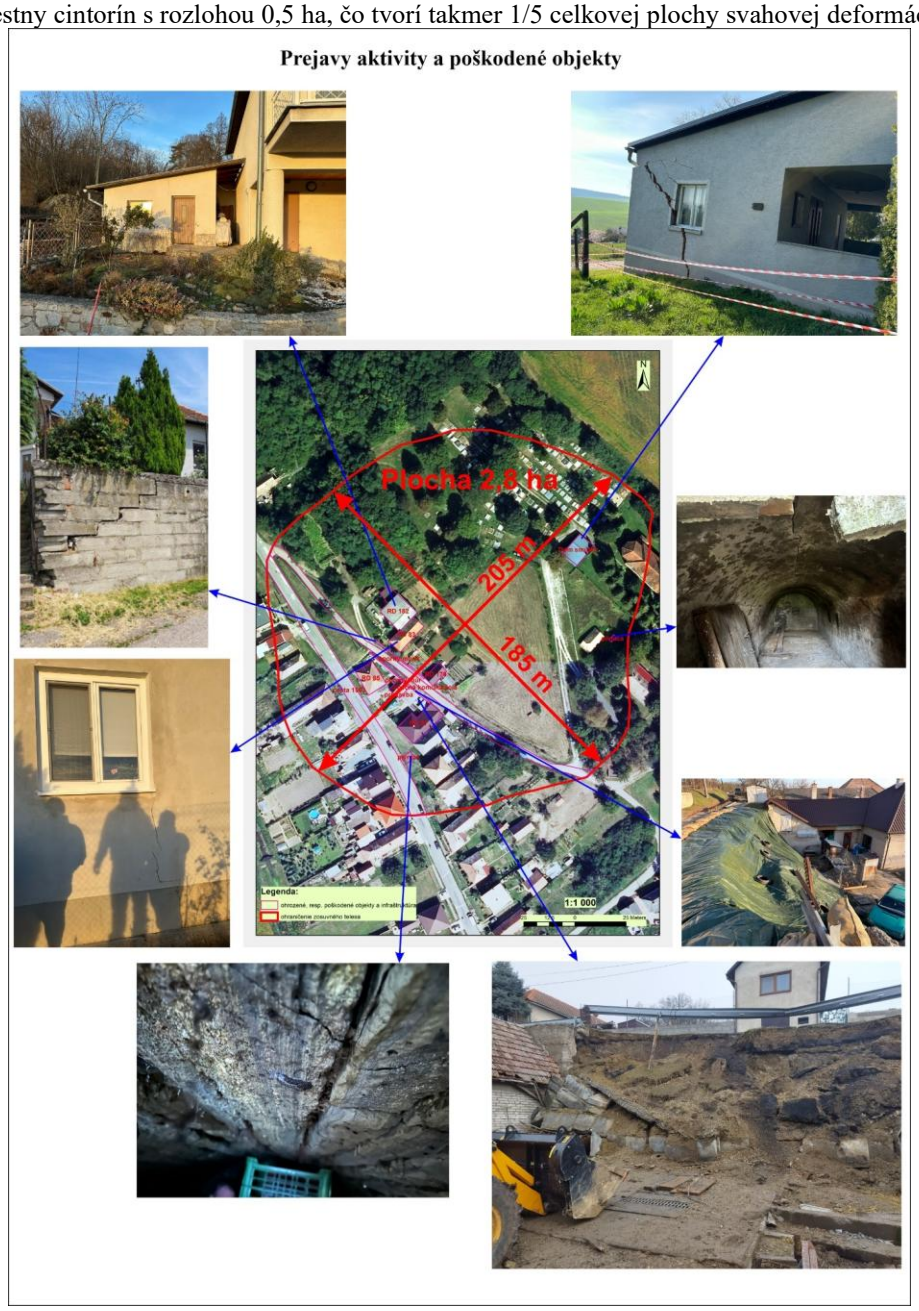


Obr. 2 Priemerný ročný úhrn zrážok, trend a anomálie za obdobie rokov 1979 až 2025 pre obec Dolné Semerovce (zdroj: meteoblue.com).
Fig. 2 Mean annual precipitation, trend, and anomalies for the period 1979 to 2025 for the village of Dolné Semerovce (source: meteoblue.com).

Svahová deformácia

V dôsledku aktivity svahového pohybu sa v skorých ranných hodinách 29. decembra 2023 zrútil 16 metrov dlhý úsek oporného múru za prístavbou rodinného domu. Svahový pohyb je klasifikovaný ako aktívny zosuv. Zosuv je dlhý 205 m a dosahuje šírku 185 m. Celková rozloha svahovej deformácie je 2,8 ha. Prejavy deformácie sú zobrazené na obr. 3. Bazálna šmyková plocha sa nachádza v hĺbke približne 20 m. Primárnymi príčinami svahového pohybu sú klimatické faktory. V rámci hodnoteného svahu sa geometria ani využitie územia za posledné štyri

desaťročia výrazne nezmenili. Dom smútku bol postavený začiatkom 70. rokov 20. storočia a zrútený oporný múr bol vybudovaný v polovici 80. rokov (1985–1986). Významnú infiltračnú oblasť v odtrhovej zóne deformácie predstavuje miestny cintorín s rozlohou 0,5 ha, čo tvorí takmer 1/5 celkovej plochy svahovej deformácie.



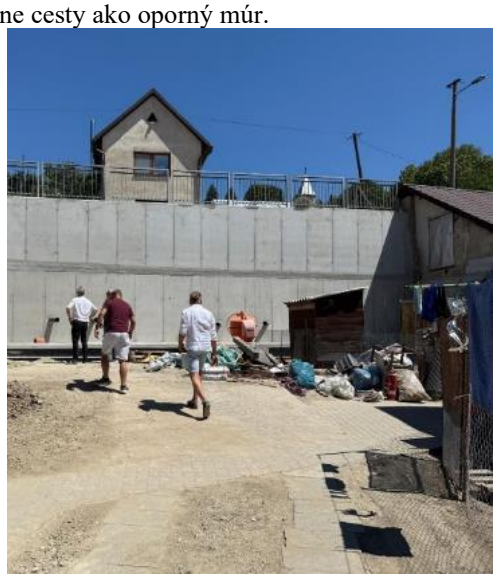
Obr. 3 Prejavy aktivity svahového pohybu na infraštruktúre obce a stavebných objektoch.
Fig. 3 Manifestations of slope movement activity on village infrastructure and building structures.

Na základe inžinierskogeologického prieskumu, technických prác a geofyzikálnych meraní bol vytvorený matematický model svahu pre analýzu stability pomocou softvéru GEO 5 (modul Stabilita svahu). Hodnotený svah predstavuje územie s vysokým stupňom zosuvného rizika a aktívnymi prejavmi svahových pohybov. Okrem identifikovaných šmykových plôch bolo analyzovaných niekoľko hypotetických šmykových plôch na celom svahu, a to s optimalizáciou aj bez nej.

Sanácia

Táto lokalita bola sanovaná pomocou oporného múru, ktorý slúži ako trvalá stabilizačná konštrukcia. Sanácia zahŕňala inštaláciu štrkových pilót spolu s odvodňovacími vrtmi, ako aj zabezpečenie zosunutého svahu

dočasnou klincovanou zemnou konštrukciou. Oporný múr má premenlivú výšku od 4,376 m do 4,766 m a je priečne rozdelený do troch sekcií. Základ je široký 2,3 m, s vyložením 0,50 m na lícnej strane a 1,2 m na rubovej strane. Na lícnej strane je výška základu 0,549 m, zatiaľ čo na rubovej strane je to 0,5 m. V rámci základu bol vybudovaný šmykový ozub (stabilizačný klin) s rozmermi 0,5 x 0,5 m na zabezpečenie lepšej stability oporného múru. Horná hrana základu má sklon 7 %. Driek múru je vybudovaný na základe cez pracovnú škáru a je spojený so základom pomocou výstuže. Šírka drieku je 0,6 m na úrovni pracovnej škáry a 0,3 m v korune. Zmenšenie šírky drieku múru je navrhnuté vo výške 2,616 m od pracovnej škáry. Múr má celkovú dĺžku 15,09 m pozdĺž osi kontrolnej línie (obr. 4). Odvodnenie podzemnej vody za zadným lícom drieku oporného múru je navrhnuté pomocou pozdĺžnej drenáže. Povrchová voda nad korunou oporného múru je odvádzaná do priekopových žľabov s minimálnou šírkou 0,50 m, ktoré sa nachádzajú na opačnej strane cesty ako oporný múr.



Obr. 4 Oporný múr v obci Dolné Semerovce.
Fig. 4 Retaining wall in the village of Dolné Semerovce.

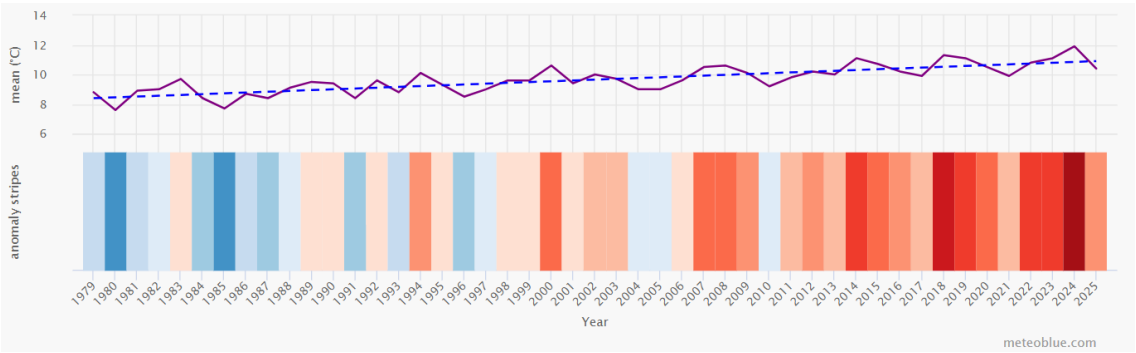
3. Prípadová štúdia: Dolné Vestenice

Mezozoické triasové wettersteinské dolomity sú prekryté svahovými sedimentami v jemnozrnnej ílovitej fácii (F6 CI, F8 CH alebo CV). V tomto nepriepustnom prostredí absolútne prevláda povrchový odtok zrážkovej vody v smere sklonu svahu s následnou akumuláciou v morfologicky predisponovaných častiach svahu. Súčasné klimatické podmienky a antropogénna činnosť (zmena využívania územia hodnotenej obytnej zóny z pastvín a sadov na stavebné pozemky) spôsobili reaktivizáciu svahových pohybov. Pokiaľ ide o analýzu minulého vývoja svahových pohybov, k dispozícii sú informácie z roku 1950. Na ortofotomape (tuzvo.sk, obr. 5) z čias, kedy ani jedna zo spomínaných ulíc nebola, je viditeľný rozvinutý plošný aktívny zosuv s rozmermi 60 x 80 m.

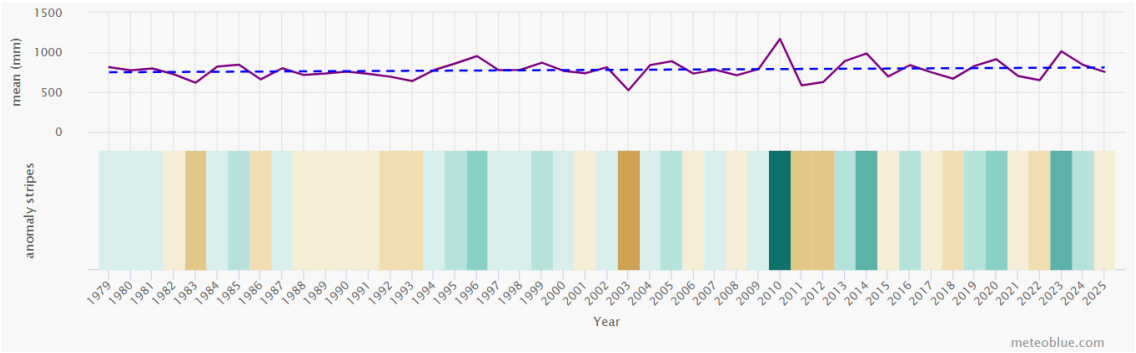
Hlavným znakom vývoja teploty v obci Dolné Vestenice je jednoznačný a dlhodobý nárast priemernej ročnej teploty až o 2,5 °C v porovnaní s rokom 1979, pričom trendová čiara vykazuje lineárny stúpajúci charakter. Pri porovnaní s obcou Dolné Semerovce vidíme úplne identický priebeh klimatickej zmeny, keďže v oboch lokalitách dochádza k rovnakému otepľovaniu širšieho regiónu. Analýza teplotných pásov (anomaly stripes) v Dolných Vesteniciach potvrdzuje, že kým v prvej polovici sledovaného obdobia prevládali chladnejšie roky (modrá farba), od roku 2010 nastal v oboch obciach rovnaký zlom – obe územia sa odvtedy nachádzajú takmer výlučne v nadpriemerne teplom (oranžovom až sýtočervenom) rozsahu, čo dokazuje plošný vplyv otepľovania na tomto území. (obr. 6).

V oblasti zrážok sa priemerný ročný trend v Dolných Vesteniciach pohybuje na úrovni okolo 750 mm (obr. 7) a rovnako ako v Dolných Semerovciach vykazuje mierne stúpajúcu lineárnu tendenciu. Grafické znázornenie strieda vlhkejšie zelené roky so suchšími hnedými obdobiami, pričom absolútnym spoločným extrémom pre obidve obce bol rok 2010 s najtmavšou zelenou farbou a anomáliou až +413 mm nad dlhodobým priemerom. Tento extrémny úhrn zrážok vyvolal rovnaké riziká (napr. aktiváciu svahových pohybov) v oboch katastroch. Zhoda medzi Dolnými Vestenicami a Dolnými Semerovcami pokračuje aj pri ďalších anomálnych rokoch, kedy v oboch obciach vykazovali výrazný prebytok zrážok roky 2014, 2016, 2019, 2020 a najmä rok 2023 s hodnotou +243 mm nad priemerom.

Obr. 5 Plošný zosuv medzi ulicami Kopanice a Ľudovíta Štúra na historickej ortofotomape z roku 1950 (zdroj: https://mapy.tuzvo.sk/hofm/).
Fig. 5 Areal landslide between Kopanice and Ľudovíta Štúra streets on a historical orthophotomap from 1950 (source: https://mapy.tuzvo.sk/hofm/).



Obr. 6 Priemerná ročná teplota vzduchu, trend a anomálie za obdobie rokov 1979 až 2025 pre obec Dolné Vestenice (zdroj: meteoblue.com).
Fig. 6 Mean annual air temperature, trend, and anomalies for the period 1979 to 2025 for the village of Dolné Vestenice (source: meteoblue.com).



Obr. 7 Priemerný ročný úhrn zrážok, trend a anomálie za obdobie rokov 1979 až 2025 pre obec Dolné Vestenice (zdroj: meteoblue.com).
Fig. 7 Mean annual precipitation, trend, and anomalies for the period 1979 to 2025 for the village of Dolné Vestenice (source: meteoblue.com).

Svahová deformácia

Svahová deformácia tak vytvorila bariéru v centrálnej časti svahu medzi spomínanými ulicami, kde sa v súčasnosti hromadí zrážková voda stekajúca po svahu z Kopanickej ulice. Následne bol tento konkávno-konvexný zosuvný

reliéf upravený násypmi, zásypmi a zárezmi päty v dolnej časti, aby sa prispôsobil súčasnému využitiu územia. Okrem toho bola na Kopanickej ulici vybudovaná asfaltová cesta, ktorej však chýba odvodňovací systém, čo výrazne prispieva k aktivácii svahových pohybov. Na základe vyhodnotenia inklinometrických meraní vyvodzujeme, že šmyková plocha sa nachádza v hĺbke 4,8 m a periodické merania naznačujú nárast aktivity. Zosuv poškodil niekoľko obytných budov a miestnu komunikáciu (obr. 8). Na lokalite bol vykonaný komplexný inžinierskogeologický prieskum. Boli realizované tri inklinometrické vrty vybavené snímačmi pórmového tlaku a bol vykonaný geofyzikálny prieskum.

Obr. 8 Antropogénno-zosuvný reliéf v centrálnej časti ulice Kopanice a deformovaná cesta.
Fig. 8 Anthropogenic-landslide relief in the central part of Kopanice Street and the deformed road.

Sanácia

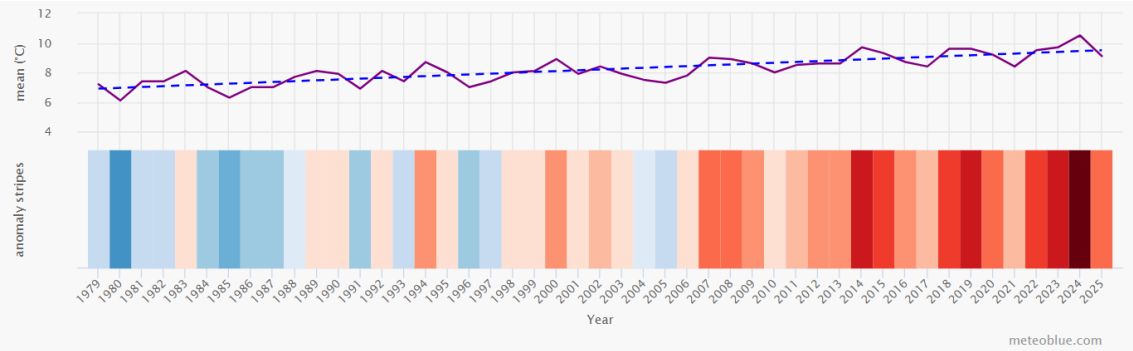
Technické riešenie pre trvalú stabilizáciu svahu je navrhnuté v dvoch etapách. Sanácia spočíva v konštrukcii pilótovej steny a zachytení a odvedení zrážkových vôd mimo zosuvného telesa. Prvá etapa sanačných opatrení bola ukončená a druhá etapa by mala bezprostredne nadväzovať. Pilótová stena má celkovú dĺžku 146,2 m pozdĺž svojej osi. V pôdoryse je segmentovaná, aby kopírovala trasu existujúcej cesty. Nachádza sa v trvalom zábere obce. Stenu tvorí 122 pilót s priemerom 900 mm. Navrhované dĺžky pilót sa pohybujú od 3 m do 11,5 m s osovým rozstupom 1,2 m. Pilótová stena vytvára pre daný úsek stabilizačný raster. Vytýčenie steny vychádza z bodov umiestnených pozdĺž osi pilótovej steny. Pilóty boli vŕtané z existujúcej cesty. Vrty boli pažené a konštrukcia je trvalá. Výstuž pilót vo forme zváraných armatúrnych košov pozostáva z ocele B500B s minimálnym krytím zvislej výstuže 90 mm, zabezpečeným plastovými dištančnými prvkami. Na prepojenie pilótovej steny bol v korune vybudovaný železobetónový úložný prah (stužujúci veniec). Prah je vystužený oceľovými prútmi a pozdĺžne rozdelený na dilatačné celky. Konštrukcia má šírku 1 m, výšku 0,9 m a celkovú dĺžku 146,2 m (obr. 9). Na ochranu proti vode a zemnej vlhkosti je zadný líc železobetónového prahu v kontakte so zeminou chránený jedným penetračným náterom a dvoma nátermi asfaltového laku za studena.

Obr. 9 Proces sanačných prác – výstavba pilótovej steny.
Fig. 9 Process of remediation works – construction of a pile wall.

4. Prípadová štúdia: Podhorie – Žakýl

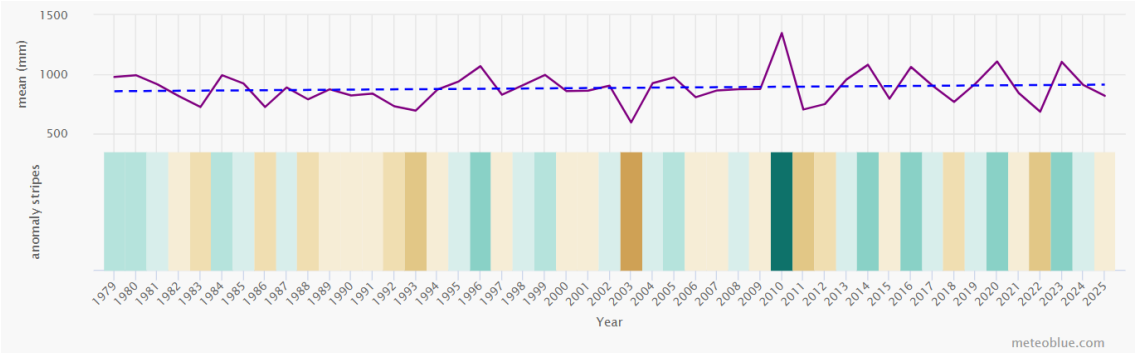
Študované územie sa nachádza v katastrálnom území obce Podhorie v okrese Banská Štiavnica, situované vo východnej časti intravilánu. Predstavuje typické vulkanické prostredie. Geologickú stavbu tvoria produkty neogénneho vulkanizmu – predovšetkým andezitové tufy a brekcie. Horninový masív je výrazne tektonicky porušený a intenzívne zvetraný, pričom produkty zvetrávania (eluviálne a svahové sedimenty) majú charakter ílovitých zemín s nízkou šmykovou pevnosťou. Hodnotená časť intravilánu Podhoria predstavuje územie náchylné na zosúvanie. Táto náchylnosť je určená predovšetkým geologickou stavbou, ako aj klimatickými a morfologickými podmienkami. Medzi geodynamické javy vyskytujúce sa v širšom okolí patria svahové pohyby ako plazenie a zosúvanie. Zosuvy sú viazané najmä na svahové sedimenty a zóny zvetrávania podložného horninového masívu.

Hlavným znakom vývoja teploty v obci Podhorie je lineárne stúpajúci trend priemernej ročnej teploty s celkovým nárastom o približne 2,5 °C od roku 1979, čo sa z hľadiska dynamiky otepľovania presne zhoduje s obcami Dolné Semerovce a Dolné Vestenice. Pri porovnaní absolútnych hodnôt je však Podhorie prejavom svojej geografickej polohy celkovo chladnejšou lokalitou – kým v Dolných Vesteniciach a Semerovciach sa priemerné teploty pohybujú v teplejšom rozsahu od cca 8,5 °C do 12 °C, v Podhorí začínajú historicky na úrovni okolo 7 °C a v najhorúcejších rokoch dosahujú približne 10 °C. Napriek tejto nižšej teplotnej základni vykazuje vizualizácia teplotných pásov (anomaly stripes) identický regionálny prejav klimatickej zmeny: počiatočné dekády sú charakteristické chladnejšími modrými tónmi, no od roku 2010 (s viditeľným nástupom teplých rokov už od roku 2007) nastáva v Podhorí rovnako trvalý posun do nadpriemerne teplého oranžového až sýtočerveného spektra, s extrémne horúcim rokom 2024 na samotnom konci grafu (obr 10).



Obr. 10 Priemerná ročná teplota vzduchu, trend a anomálie za obdobie rokov 1979 až 2025 pre obec Podhorie - Žakýl (zdroj: meteoblue.com).
Fig. 10 Mean annual air temperature, trend, and anomalies for the period 1979 to 2025 for the village of Podhorie - Žakýl (source: meteoblue.com).

V oblasti zrážok vykazuje obec Podhorie taktiež mierne stúpajúcu lineárnu trendovú čiaru, avšak s podstatne vyšším dlhodobým priemerom, ktorý sa pohybuje na úrovni okolo 850 až 900 mm, na rozdiel od suchšieho priemeru 750 mm v Dolných Semerovciach a Dolných Vesteniciach. Napriek tomuto celkovo vlhšiemu charakteru klímy je časové striedanie anomálií v Podhorí úplne identické s oboma porovnávanými obcami. Absolútnym historickým vrcholom meraní zostáva mimoriadne kritický rok 2010 s najtmavším zeleným stĺpcom, kedy celkový úhrn zrážok v Podhorí prudko vyskočil nad 1300 mm (čo odráža rovnakú regionálnu anomáliu s prebytkom vyše 400 mm nad priemer a s tým spojené riziko zosuvov). Veľmi tesnú regionálnu zhodu s Dolnými Semerovcami a Dolnými Vestenicami potvrdzujú aj ostatné anomálne roky, kedy sa identicky v grafe Podhoria objavujú výrazné zrážkové nadpriemery v rokoch 2014, 2016, 2020 a najmä v roku 2023, kedy ročný úhrn opäť výrazne presiahol hranicu 1100 mm (obr. 11).



Obr. 11 Priemerný ročný úhrn zrážok, trend a anomálie za obdobie rokov 1979 až 2025 pre obec Podhorie - Žakýl (zdroj: meteoblue.com).
Fig. 11 Mean annual precipitation, trend, and anomalies for the period 1979 to 2025 for the village of Podhorie - Žakýl (source: meteoblue.com).

Svahová deformácia

Havarijná svahová deformácia zaberá plochu 4,5 hektára. Hodnotená aktívna havarijná svahová deformácia bola vymedzená v rámci rozsiahlejšieho zosuvného územia. Odlučná hrana tejto svahovej deformácie je takmer totožná s hranicou pozemkov nad rodinným domom č. 156. Výrazne vyvinuté čelo aktívnej havarijnej svahovej deformácie zasahuje do blízkosti rodinných domov č. 180, 181 a 155. Riešená havarijná svahová deformácia staticky narušila miestnu komunikáciu v obci Podhorie, ktorá slúži ako jediné dopravné spojenie medzi katastrálnymi územiami Teplá a Žakýl. Deformácie vykazovali neustály progres, čo predstavovalo riziko prerušenia cestného spojenia medzi týmito časťami obce. V dôsledku toho by sa Žakýl stal nedostupným nielen pre obyvateľov, ale aj pre záchranné zložky. Svahové pohyby sa v súčasnosti prejavujú na ceste III. triedy medzi katastrálnymi územiami Teplá a Žakýl, ako aj na rodinnom dome č. 156 a oplotení (obr. 12).

Obr. 12 Prejav svahových pohybov na oplotení parcely 573/1 a cesty III triedy vedúcej do časti Žakýl.
Fig. 12 Manifestation of slope movements on the fencing of plot 573/1 and the class III road leading to the Žakýl part.

Sanácia

V rámci podrobnej projektovej dokumentácie bola navrhnutá pilótová stena s osovou dĺžkou 45,3 m. V pôdoryse je stena segmentovaná a kopíruje hranicu pozemku. Stenu tvorí 38 pilót s priemerom 0,9 m a dĺžkou 15 m s osovým rozstupom 1,2 m. Pilótová stena bude tvoriť stabilizačný raster pre daný úsek. Pilóty budú vŕtané z existujúcej cesty pomocou pažených vrtov a konštrukcia je trvalá. Výstuž pilót vo forme zváraných armatúrnych košov je z ocele B500B s minimálnym krytím zvislej výstuže 80 mm, zabezpečeným plastovými dištančnými prvkami. Na prepojenie pilótovej steny bude v jej korune vybudovaný železobetónový úložný prah. Prah je vystužený oceľovými prútmi a pozdĺžne rozdelený na dilatačné celky. Konštrukcia má šírku 1 m, výšku 0,9 m a

celkovú dĺžku 45,5 m (obr. 13). Na ochranu proti vode a zemnej vlhkosti bude zadný líc železobetónového prahu v kontakte so zeminou chránený jedným penetračným náterom a dvoma nátermi asfaltového laku za studena. Pracovná škára bude utesnená bentonitovou šnúrou alebo páskou. Hlboké odvodnenie je riešené horizontálnymi odvodňovacími vrtmi. Je navrhnutých päť horizontálnych vrtov, každý s dĺžkou 80 m. Odvedenie povrchovej vody pozdĺž pilótovej steny bude realizované odvodňovacou priekopou širokou 0,5 m uloženou v betónovom lôžku hrúbky 0,15 m. Tieto priekopy budú odvádzať vodu do zrekonštruovaného priepustu pod cestou.

Obr. 13 Pohľad na dokončený oporný múr a zabezpečenú komunikáciu.
Fig. 13 View of the completed retaining wall and secured road.

5. Stabilitné pomery

Keď sa pozrieme na mapu Atlasu stability svahov (obr. 14), ktorý odráža stabilitné pomery na Slovensku do roku 2006, vidíme, že prevažná väčšina územia obcí (Dolné Semerovce, Dolné Vestenice či Podhorie - Žakýl) spadá do stabilných území - zelených zón, prípadne do žltých oblastí, ktoré sú klasifikované ako rajóny potenciálne nestabilných území, súčasný vývoj situáciu zásadne mení. V dôsledku prebiehajúcej klimatickej zmeny sa totiž stabilita svahov stáva dynamickejším a nepredvídateľnejším fenoménom. Aj v týchto doteraz relatívne bezpečných alebo len potenciálne ohrozených lokalitách sa čoraz častejšie začínajú objavovať nové svahové deformácie. Hlavným spúšťačom sú extrémne výkyvy počasia – najmä dlhotrvajúce suchá striedané náhlymi prívalovými zrážkami, ktoré dokážu rýchlo nasýtiť podložie vodou a prudko zvýšiť hydrostatický tlak v póroch zemín. Tento faktor, v kombinácii s necitlivými antropogénnymi zásahmi do terénu, vedie k tomu, že mapové podklady zachytávajúce historickú stabilitu už nemusia plne reflektovať realitu v teréne, a zosuvné procesy sa tak aktivujú aj tam, kde doteraz neboli bežné.

Obr. 14 Atlas stability svahov vybraných záujmových území: a) Dolné Semerovce, b) Dolné Vestenice, c) Podhorie (Žakýl).
Fig. 14 Slope stability atlas of selected areas of interest: a) Dolné Semerovce, b) Dolné Vestenice, c) Podhorie (Žakýl).

6. Záver

Stabilitné pomery Západných Karpát prechádzajú pod vplyvom globálnej klimatickej zmeny výraznou transformáciou. Exaktné klimatické dáta z platformy meteoblue.com jednoznačne potvrdzujú spoločné dlhodobé trendy vo všetkých troch sledovaných regiónoch (Podunajská pahorkatina, Hornonitrianska kotlina a Štiavnické vrchy): Nárast priemernej ročnej teploty vzduchu o približne 2,5°C od roku 1979, pričom od roku 2010 sa lokality nachádzajú takmer výlučne v nadpriemerne teplom teplotnom rozsahu. Pozorujeme aj mierne stúpajúci lineárny trend zrážok s prítomnosťou extrémnych anomálií. Absolútnym regionálnym maximom bol kritický rok 2010 (anomália +413mm nad priemer), pričom ďalšie zrážkovo anomálne roky (2014, 2016, 2019, 2020 a najmä 2023 s prebytkom +243 mm) pôsobia ako priame hydro-geomorfologické spúšťače svahových deformácií. Historické mapové podklady (so stabilitnou situáciou do roku 2006) klasifikujú väčšinu záujmových území obcí Dolné Semerovce, Dolné Vestenice a Podhorie ako stabilné územia (zelené zóny), prípadne potenciálne nestabilné (žlté zóny). Súčasný vývoj však túto historickú paradigmu zásadne mení. Vplyvom klimatických extrémov – kedy dlhotrvajúce suchá striedajú náhle prívalové zrážky vyvolávajúce extrémne kolísanie hladín podzemnej vody a kritické zvyšovanie pórového tlaku – sa aktivizujú svahové pohyby aj v týchto relatívne stabilných oblastiach. Tento stav jasne demonštruje reálne riziko spojené s klimatickou zmenou, ktorá premieňa bezpečné lokality na zóny s vysokým zosuvným rizikom. Z toho dôvodu je nevyhnutné redefinovať celkový „obraz stability“ Slovenskej republiky a aktualizovať tradičnú klasifikáciu stabilitných rajónov, aby reflektovala dynamické prejavy klimatických extrémov v prebiehajúcom storočí.

Poďakovanie Tento príspevok bol podporený grantmi Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže Slovenskej republiky (zmluva č. 1/0347/25; 1/0182/23; 1/0180/24), Agentúry na podporu výskumu a vývoja (VV-MVP-24-0197) a projektom VAIA č. 09I04-03-V02-00002 financovaným Európskou úniou – NextGenerationEU – prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti Slovenskej republiky.

Zoznam použitej literatúry

Froude M. J. & Petley D. N., 2020: *Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016*. – Natural Hazards and Earth System Sciences 20, 3, str. 733–755.
Gariano S. L. & Guzzetti F., 2021: *Landslides in a changing climate*. – Earth-Science Reviews 214, 103491.
Jánová V., Liščák P., Kopecký M. et al., 2021: *Zosuvy na Slovensku [Landslides in Slovakia]*. – Slovak Environment Agency. Banská Bystrica. ISBN 978-80-8213-055-6.
Landscape Atlas of the Slovak Republic, 2002: Bratislava: Ministry of Environment of the Slovak Republic and Banská Bystrica: Slovak Environment Agency, 2002. 344 p. ISBN 80-88833-27-2.
Ma Z. & Yin K., 2022: *Monitoring and early warning of landslides triggered by cumulative rainfall*. – Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 14, 4, str. 1120–1132. Sidle R. C. & Bogaard T. A., 2024: Dynamic pore pressure responses in unstable slopes: Re-evaluating hydro-geomorphic triggers. – Geomorphology 445, 108980.
Vassallo R., Pagano L. & Comegna L., 2023: *Landslide hazard assessment in transitioning climatic zones: Case studies from continental Europe*. – Engineering Geology 312, 106942.

HODNOCENÍ GEOLOGICKÝCH HAZARDŮ A UDRŽITELNOSTI VYSOKOHORSKÝCH SILNIC V REGIONU CHEVSURETI NA VELKÉM KAVKAZU

Ing. Martin Dostalík

E-mail: martin.dostalik@geology.cz
Česká geologická služba, Klárov 131/, 118 21, Praha 1

Další autoři: Ing. Jan Novotný, CSc.

Abstrakt:
Příspěvek se zabývá hodnocením geologických hazardů ohrožujících jedinou přístupovou silnici Sh 26 do regionu Pirikita Chevsureti na Velkém Kavkazu v Gruzii. Tato komunikace má zásadní národní význam, neboť spojuje turisticky a hospodářsky důležitá údolí řek Arghuni a Andaki se zbytkem země, přičemž je kvůli extrémním sněhovým podmínkám a častým projevům geohazardů uzavřena až 7,5 měsíce v roce.

Mapování geohazardů probíhalo ve dvou úrovních: regionální analýza využila historické záznamy a satelitní data k identifikaci svahových deformací, zatímco detailní mapování, také s využitím bezpilotních prostředků (UAV), se soustředilo přímo na údolí silnice Sh 26. Veškerá data byla integrována do komplexní geodatabáze v ArcGIS Pro a byla vytvořena série map geohazardů (Dostalík et al. 2024).

Pro pochopení nerovnoměrné distribuce geohazardů v nekritičtějším 27 km dlouhém úseku této silnice, pomohl koncepční inženýrskogeologický model, který oblast rozděluje do tří zón:

- Zóna 1 (nejvyšší část): Je typická výskytem rozsáhlých starých hlubokých svahových deformací, na které jsou vázány dílčí reaktivace včetně recentních pohybů vyvolaných mimo jiné zářezy silnice.
- Zóna 2 (střední část): Představuje širokou nivu s meandrující řekou, kde je dopad říční břežní eroze nízký a výskyt geohazardů je výrazně redukován.
- Zóna 3 (nejnižší část): Zahrnuje úzké kaňonovité údolí s vysokou dynamikou břehové eroze a skalního řícení a s mělkými sesuvy v suťových kuželech, často vyvolanými nevhodným podkopáním paty svahů při výstavbě silnice.

Výsledky analýzy ukazují, že až 46 % (12,5 km) sledovaného úseku je ohroženo geohazardy, přičemž bylo identifikováno 147 rizikových úseků. Sesuvy a skalní řícení postihují 10,9 km, sněhové laviny 2,1 km, břehová eroze 1,4 km, a přívalové proudy až 1 km hodnoceného úseku silnice. Kombinací více geohazardů s možným kaskádovým efektem je ohroženo až 3 km délky silnice na celkem 40 místech (Dostalík a Novotný, 2026). Tato provázanost geodynamických jevů je důležitým faktorem při hodnocení ohrožení silnice, protože jednotlivé hazardy nelze posuzovat izolovaně.

Tato analýza poskytuje nezbytný podklad pro plánování údržby a prioritizaci lokalit monitoringu této kritické infrastruktury a zdůrazňuje nezbytnost systematické dokumentace geohazardů pro zajištění dopravní dostupnosti odlehlých oblastí v takto dynamickém vysokohorském terénu. Tento metodický přístup je díky své efektivitě aplikovatelný i na další oblasti s podobně náročnými horskými podmínkami.

ZDROJE DMR A DMP PRO VÝZKUM SVAHOVÝCH DEFORMACI V ČR

Ing. Martin Dostalík

E-mail: dostalik.martin24@gmail.com
Česká geologická služba, Klárov 131/, 118 21, Praha 1

Další autoři: Mgr. Lukáš Janků, Ph.D.

Abstrakt:
Podrobný digitální model reliéfu (DMR) se stal základním podkladem pro mapování a výzkum svahových deformací (SD) v České republice. Hlavním zdrojem volně dostupného podrobného DMR pro naše území je Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK), který v letech 2009–2013 nechal postupně nasnímat celou ČR. V následujících letech pak probíhá lokální aktualizace dat, zejména v místech kde se očekávají změny (liniová výstavba, těžba apod.). Proto jsou už dnes, pro některé oblasti aktivních svahových deformací, dostupné dva DMR pořízené v rozestupu několika let a je tak možné jejich porovnání. Současný stav aktualizace DMR v ČR je dostupný na adrese https://ags.cuzk.gov.cz/geoprohlizec/?m=20.

Užitečným zdrojem dat je také digitální model povrchu (DMP), který však na rozdíl od DMR zobrazuje skutečný „povrch“ krajiny, tedy včetně zástavby a stromů. V zalesněném terénu tak není pro výzkum SD vhodný. Velmi užitečný je však v odkryté posthornické krajině, např. na nestabilních výsypkách a okrajích povrchových velkolomů na které se bude zaměřovat nový projekt ČGS „TAČR RENS 2„ Aktuálně jsou pro území České Republiky dostupné dva DMP. První vznikal souběžně s DMR v letech 2009 – 2013. V letech 2024 a 2025 pak vznikla nová aktuální celoplošná vrstva DMP s použitím jiné technologie (obrazová korelace), která bude aktualizována ve dvouletém intervalu.

Možnost porovnání více generací DMR / DMP v kombinaci se satelitními a leteckými snímky a interferometrickým radarem (InSAR), pak poskytuje možnost jak manuální analýzy pro vybrané lokality známých svahových pohybů, tak automatické analýzy rozsáhlých oblastí za účelem odhalení dosud neznámých či nepotvrzených svahových pohybů.

V rámci tohoto příspěvku je představeno použití metod DPZ (s důrazem na DMR + DMP) pro analýzu svahových deformací na několika modelových lokalitách, především v oblastech povrchových hnědouhelných lomů, ale i na jiných menších svahových deformacích na různých místech Česka.

Do budoucna lze předpokládat, že budou nasnímány další celé rozsáhlé oblasti, a budou tak k dispozici další DMR a DMP. Tyto příklady tak pomou posloužit k návrhu metodiky pro systematické využití těchto cenných zdrojů informací pro hodnocení a výzkum svahových deformací v České Republice.

GEOHAZARDY V HORSKOM REGIÓNE TUSHETI (VEĽKÝ KAUKAZ, GRUZÍNSKO): ÚVODNÝ TERÉNNY PRIESKUM A SPOLUPRÁCA KRAJÍN V4

GEOHAZARDS IN THE MOUNTAINOUS REGION OF TUSHETI (GREATER CAUCASUS, GEORGIA): PRELIMINARY FIELD SURVEY AND COOPERATION AMONG THE V4 COUNTRIES

Nora Kochanová[1], Michal Sentpetery[1], Martin Dostalík[2], Lukáš Janků[2], Zbigniew Perski[3], Rafał Mianowski[3], George Gaprindashvili[4], Zurab Rikadze[4], Nika Saldadze[4]

[1]HES-COMGEO, a.s., Medený Hámor 25, 974 01 Banska Bystrica, e-mail: nora.kochanova@hes-comgeo.sk, michal.sentpetery@hes-comgeo.sk
[2]Česká geologická služba, Klárov 131/, 118 21 Praha 1, e-mail: dostalik.martin24@gmail.com, lukas.janku@geology.com
[3]The Polish Geological Institute – National Research Institute, 4, Rakowiecka Street 00-975 Warsaw, Poland, e-mail: zper@pgi.gov.pl, rmia@pgi.gov.pl
[4]National Environmental Agency, 150 Davit Aghmashenebeli Ave. 0112 Tbilisi, Georgia, e-mail: giorgi.gaprindashvili@nea.gov.ge, zurab.rikadze@nea.gov.ge, nika.saldadze@nea.gov.ge

Abstrakt: Región Tušeti na severných svahoch Veľkého Kaukazu patrí medzi oblasti Gruzínska s vysokým výskytom gravitačných svahových deformácií, ktoré predstavujú významné riziko pre dopravnú infraštruktúru a osídlenie. Príspevok prezentuje výsledky úvodnej etapy medzinárodného projektu Strengthening V4–Georgia Cooperation on Geohazards in Mountain Regions (GeoCoop), realizovaného v rokoch 2026 – 2027 s podporou Medzinárodného vyšehradského fondu. Terénny prieskum bol zameraný na inžinierskogeologickú rekognoskáciu regiónu Tušeti a dokumentáciu aktívnych geohazardov. Počas prieskumu boli zdokumentované viaceré aktívne gravitačné svahové deformácie ovplyvňujúce komunikáciu S44 cez sedlo Abano a lokality v okolí obce Omalo. Získané poznatky budú využité v ďalších etapách projektu zameraných na hodnotenie a monitoring geohazardov a rozvoj odbornej spolupráce medzi partnerskými inštitúciami.

Abstract: The Tusheti region, located on the northern slopes of the Greater Caucasus, is one of the areas in Georgia with a high occurrence of gravitational slope deformations, posing a significant risk to transport infrastructure and settlements. This paper presents the results of the initial phase of the Strengthening V4–Georgia Cooperation on Geohazards in Mountain Regions (GeoCoop) project, implemented in 2026–2027 with the support of the International Visegrad Fund. The field survey focused on the engineering geological reconnaissance of the Tusheti region and the documentation of active geohazards. Several active gravitational slope deformations affecting the S44 road across the Abano Pass, as well as sites in the vicinity of Omalo, were documented during the survey. The acquired data will be used in the subsequent stages of the project, focusing on geohazard assessment, monitoring, and further development of professional cooperation among the project partners.

Key words: geohazardy, zosuvy, Tusheti, Gruzínsko, Vyšehradský fond

Key words: geohazard, landslides, Tusheti, Georgia, Visegrad fund

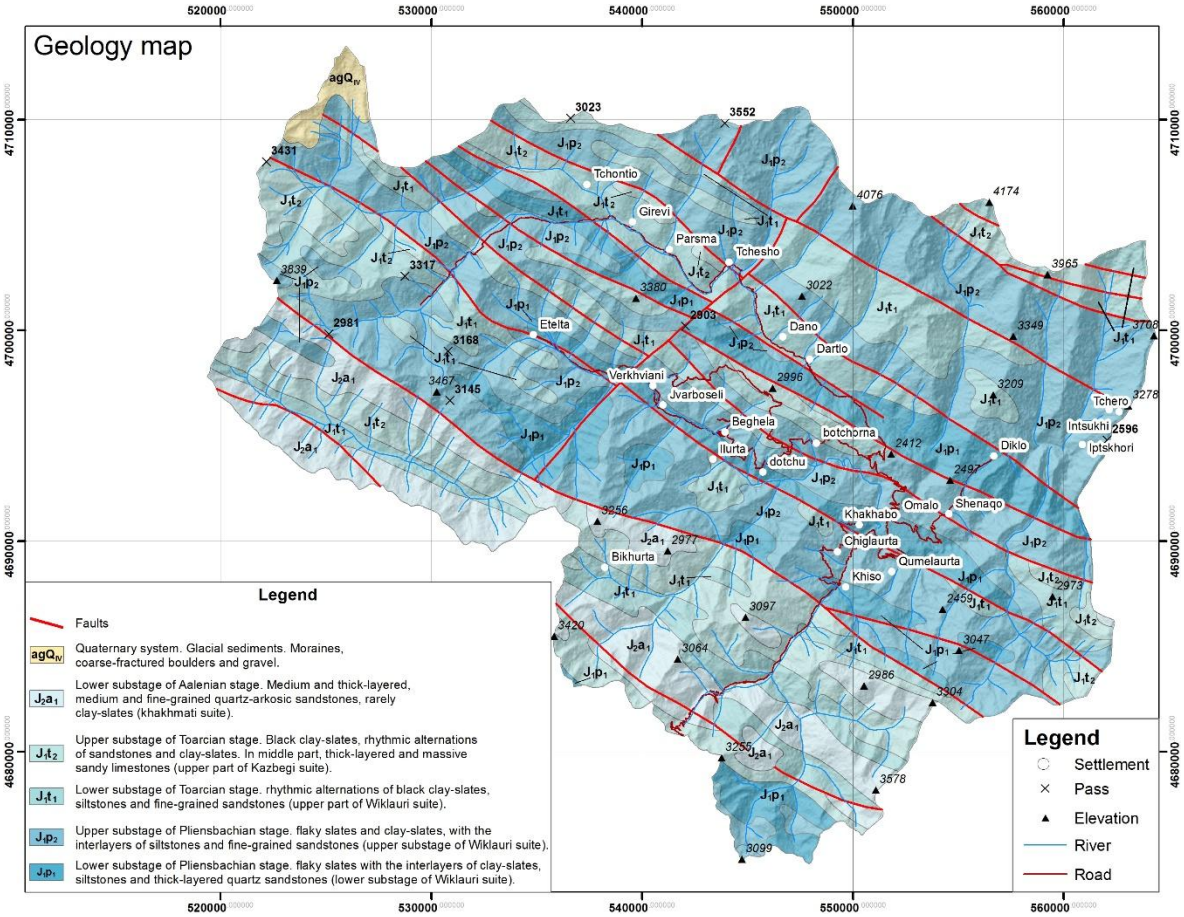
1. Úvod

Horské oblasti Gruzínska patria z inžinierskogeologického hľadiska medzi územia s vysokou koncentráciou geohazardov. Kombinácia výrazného reliéfu, aktívnej tektoniky, geologickej stavby a intenzívnych zrážok vytvára priaznivé podmienky pre vznik gravitačných svahových deformácií, skalných rútení a bahenných prúdov. Tieto procesy predstavujú významné riziko pre sídla, dopravnú infraštruktúru aj rozvoj cestovného ruchu.
S cieľom posilniť spoluprácu v oblasti geohazardov je v rokoch 2026 – 2027 realizovaný projekt Strengthening V4–Georgia Cooperation on Geohazards in Mountain Regions (GeoCoop), podporený Medzinárodným vyšehradským fondom. Projekt prepája odborníkov zo spoločnosti HES-COMGEO, s. r. o. (Slovensko), Českej geologickej služby (ČGS, Česká republika), Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PGI–PIB, Poľsko) a National Environmental Agency (NEA, Gruzínsko). Jeho cieľom je výmena

skúseností v oblasti mapovania geohazardov, monitorovania svahových deformácií a hodnotenia geologických rizík.
Príspevok prezentuje výsledky úvodného terénneho prieskumu realizovaného v regióne Tušeti so zameraním na dokumentáciu geohazardov a ich inžinierskogeologické hodnotenie.

2. Charakteristika záujmového územia

Región Tušeti sa nachádza v severovýchodnej časti Gruzínska na severných svahoch Veľkého Kaukazu v administratívnej oblasti Kacheti. Nadmorská výška územia sa pohybuje približne od 1 650 do 4 800 m n. m., pričom administratívnym centrom regiónu je obec Omalo. Vzhľadom na zachované prírodné a kultúrne dedičstvo patrí Tušeti medzi najvýznamnejšie horské oblasti Gruzínska.
Dopravná dostupnosť regiónu je zabezpečená výlučne horskou komunikáciou S44 cez sedlo Abano (2 900 m n. m.), ktorá je prevádzkovaná sezónne, spravidla približne štyri mesiace v roku. Výskyt gravitačných svahových deformácií a skalných rútení opakovane ovplyvňuje jej prevádzku a zároveň predstavuje významné geologické riziko pre sídla a ďalšie objekty nachádzajúce sa v regióne.
Geologické podložie regiónu tvoria prevažne jurské sedimenty flyšového vývoja, reprezentované ílovitými bridlicami, prachovcami a pieskovcami. Horninové prostredie je intenzívne tektonicky porušené a spolu s výrazným reliéfom vytvára priaznivé podmienky pre rozvoj gravitačných svahových deformácií.



Obr. 1 Geologická mapa Tusheti
Fig. 1 Geological map of Tusheti

3. Terénny prieskum regiónu Tušeti

V júli 2026 bol v rámci projektu *Strengthening V4–Georgia Cooperation on Geohazards in Mountain Regions (GeoCoop)* realizovaný spoločný terénny prieskum regiónu Tušeti za účasti odborníkov zo spoločnosti HES-COMGEO, s. r. o., ČGS, PGI–PIB a NEA. Práce boli zamerané na rekognoskáciu aktívnych geohazardov,

fotodokumentáciu a inžinierskogeologickú rekognoskáciu vybraných lokalít. Na dokumentáciu bol využitý bezpilotný letecký systém (UAS) a priebežne boli interpretované satelitné snímky, ktoré umožnili identifikovať rozsah svahových deformácií. Počas prieskumu boli zdokumentované viaceré aktívne gravitačné svahové deformácie ovplyvňujúce komunikáciu S44 vrátane zosuvov, skalných rútení a svahových akumulácií. Pozornosť bola sústredená predovšetkým na úsek komunikácie cez sedlo Abano a na vybrané gravitačné svahové deformácie v okolí obce Omalo. Získané poznatky vytvárajú základ pre prípravu nadväzujúcich projektov zameraných na podrobnejší výskum vybraných geohazardov v regióne Tušeti.

Obr. 2 Pohľad na horskú komunikáciu S44 vedúcu cez sedlo Abano.
Fig. 2 View of the S44 mountain road crossing the Abano Pass.

Obr. 3 Príklad zosuvu pozdĺž rieky Gometsari Alazani.
Fig. 3 Example of a landslide along the Gometsari Alazani River.

Obr. 4 Terénny tím projektu GeoCoop v regióne Tušeti, Gruzínsko.
Fig. 4 The GeoCoop project team in the Tusheti region, Georgia.

4. Záver

Terénny prieskum realizovaný v rámci projektu GeoCoop predstavuje prvú etapu spoločného výskumu geohazardov v regióne Tušeti. Umožnil spoločnú rekognoskáciu vybraných lokalít, porovnanie metodických prístupov partnerských inštitúcií a identifikáciu hlavných problémov súvisiacich s výskytom gravitačných svahových deformácií. Výsledky úvodného terénneho prieskumu budú využité pri príprave ďalších spoločných aktivít zameraných na dokumentáciu, hodnotenie a monitoring geohazardov v regióne Tušeti. Projekt zároveň vytvára priestor na porovnanie metodických prístupov využívaných v krajinách V4 a Gruzínsku.

Príspevok vznikol v rámci projektu *Strengthening V4–Georgia Cooperation on Geohazards in Mountain Regions (GeoCoop)(*22530178), realizovaného s podporou Medzinárodného vyšehradského fondu (International Visegrad Fund).

VÝSKYT ZOSUVOV POČAS VÝSTAVBY ÚSEKU NA D1 NA SLOVENSKU

LANDSLIDES OCCURRENCE DURING THE CONSTRUCTION OF A SECTION OF THE D1 IN SLOVAKIA

Miloslav Kopecký[1], Martin Brček[2], Martin Ondrášik[3]

[1]*Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, e-mail: miloslav.kopecky@stuba.sk*
[2] *Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, e-mail: martin.brcek@stuba.sk*
[3] *Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, e-mail: martin.ondrasik@stuba.sk*

Abstrakt: Počas výstavby na úseku diaľnice D1 Lietavská Lúčka – Dubná Skala došlo k vzniku nových zosuvov, s ktorými sa počas projektovania uvedenej trasy nepočítalo. V článku bude podaná charakterizácia zosuvov, príčiny ich vzniku a taktiež spôsob sanácie, ktorý sa nakoniec realizoval. Taktiež je vývoj aktivity zosuvov dokumentovaný na základe geotechnického monitoringu.

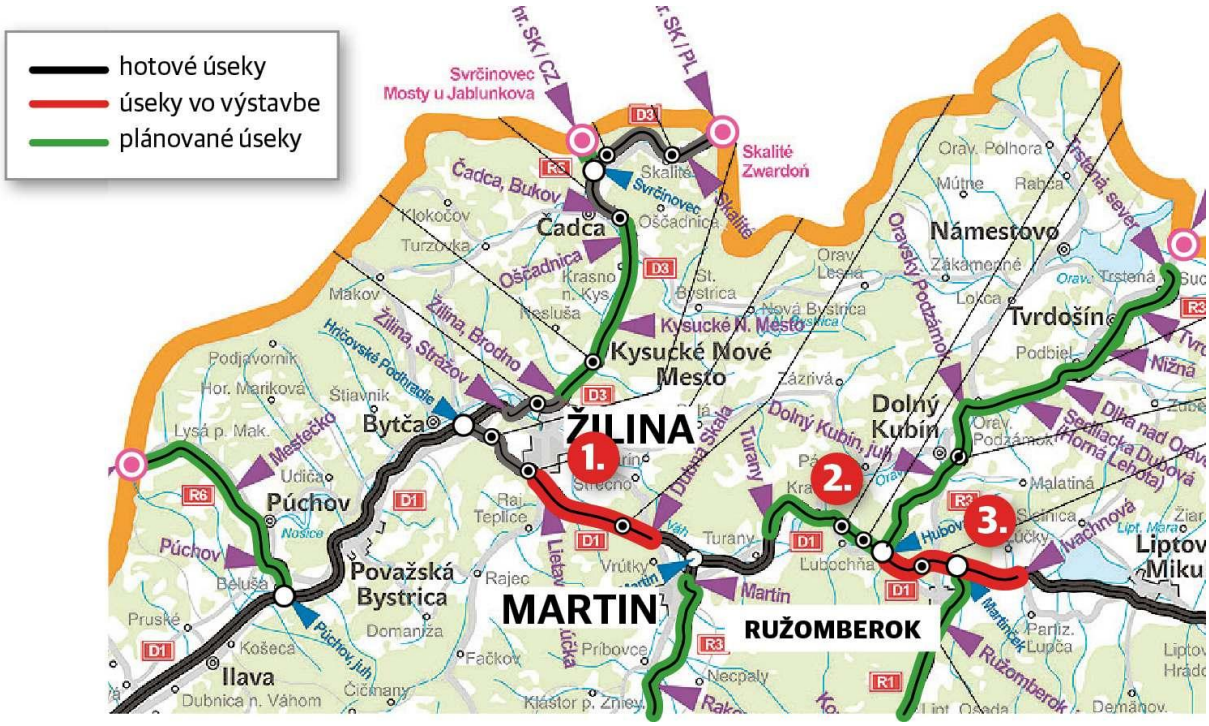
Abstract: During the construction of the D1 motorway section between Lietavská Lúčka and Dubná Skala, several new landslides occurred that had not been identified during the design stage of the project. This paper presents the characteristics of these landslides, discusses the factors that led to their development, and describes the remediation measures that were eventually implemented. The evolution of landslide activity is further documented using data obtained from geotechnical monitoring.

Klíčová slova: zosuvy, stabilita svahov, geotechnický monitoring

Key words: landslides, stability of slopes, geotechnical monitoring

1. Úvod

Trasa diaľnice D1 v úseku Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná skala s dĺžkou cca 13km predstavuje v podstate južný obchvat mesta Žilina a zahŕňa aj tunel Višňové dlhý cca 7,5km (obr.1).



Obr. 1 Vybudovaná trasa D1 Lietavská Lúška – Dubná skala červená čiara - číslo 1 – zdroj (https://ndsas.sk/).
Fig. 1 Built route D1 Lietavská Lúčka – Dubná skala red line – number 1 (https://ndsas.sk/).

V trase diaľnice km 0,0-4,5 pred západným portálom tunela Višňové boli zosuvné územia pred výstavbou vyčlenené v roku 1999 v záverečnej správe z inžiniersko-geologického prieskumu (Matejček a kol., 1999). Každé zosuvné územie predstavuje komplex viacerých zosuvov rôzneho charakteru, genézy a aktivity. Zosuvné územia sú vyvinuté prevažne vo flyšovom prostredí, kde sú veľmi rozšírené najmä plošné zosuvy a zemné prúdy. V okrajových častiach svahov Malej Fatry pred západným portálom tunela Višňové (km 3,7-4,5) sa vyskytujú blokové deformácie s predpokladaným pomalým (creepovým) pohybom. Celkovo bolo v roku 1999 vymapovaných 5 zosuvných území označených Z-1 až Z-5 (obr.2).

Obr. 2 Prehľad zosuvných území vymapovaných v roku 1999 v trase D1.
Fig. 2 Overview of landslide areas mapped in 1999 on route D1.

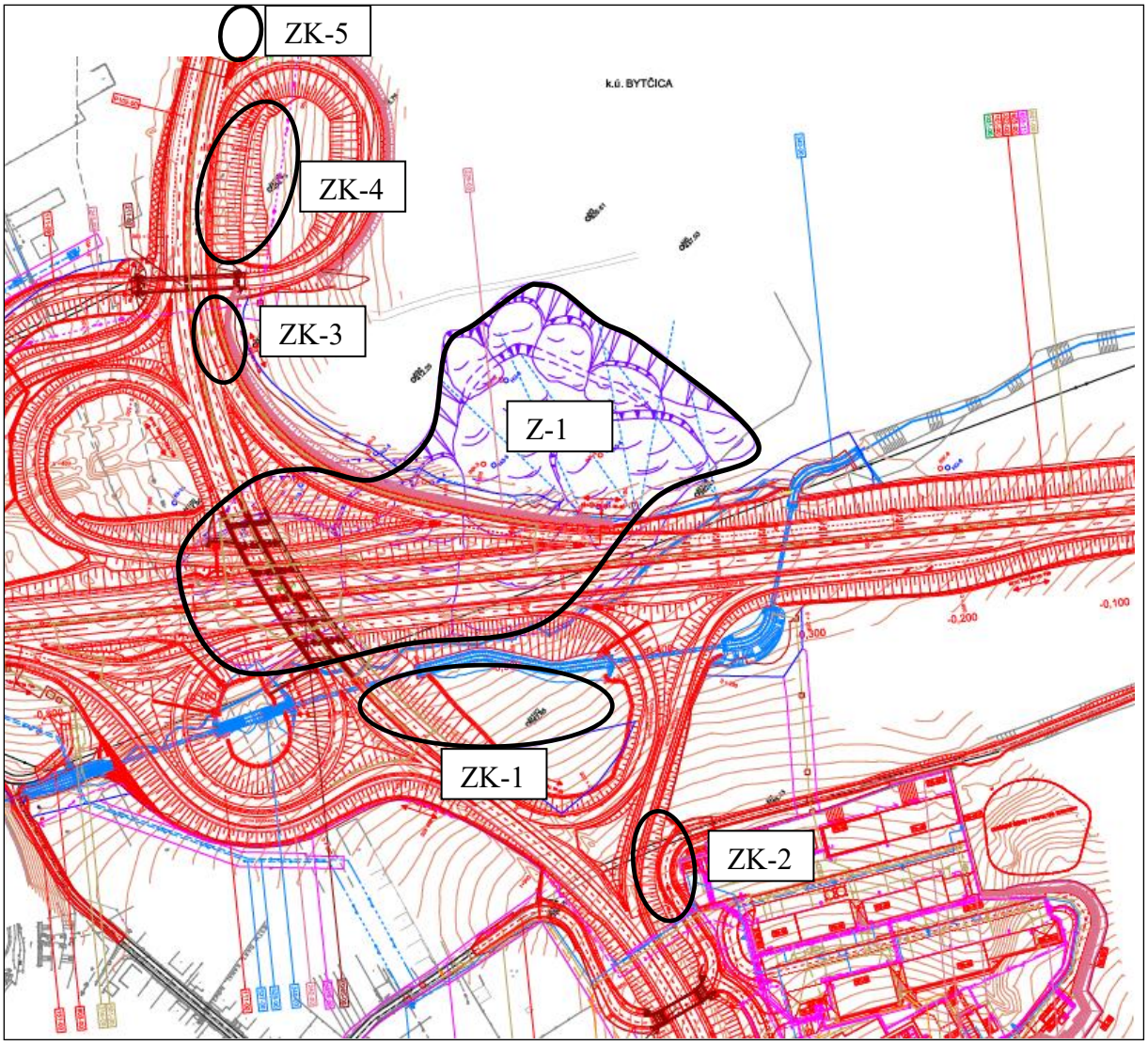
2. Zosuvné územia počas výstavby

Počas výstavby došlo k vzniku viacerých zosuvov (Kopecký a kol., 2019) a to v oblastiach, kde zosuvy v r. 1999 mapované neboli. Stalo sa tak takmer výlučne v oblasti „Križovatky Lietavská Lúčka“ s dosahom do oblasti SSÚD a privádzača Žilina. Je to v oblasti s vymapovaným zosuvom Z-1 (obr.2 a 4).

2.1 Zosuv ZK-1

Zosuv rozmerov 130x60 m vznikol v trase diaľničného privádzača (obr.3) v oku vetvy križovatky v máji 2017 nad výkopom pre preložku potoka.

Obr. 3 Trhliny v trase privádzača nad výkopom pre preložku potoka.
Fig. 3 Cracks on the motorway feeder road above the excavation for the stream diversion.



Obr. 4 Prehľad výskytu zosuvných území ZK-1 až ZK-5 vzniknutých počas výstavby v oblasti križovatky, a zosuvné územie Z-1 vymapované pred výstavbou.
Fig. 4 Overview of the occurrence of landslide areas ZK-1 to ZK-5 created during construction in the intersection area and landslide area Z-1 mapped before construction.

V telese zosuvu boli realizované prieskumné šachtice a na základe ich vyhodnotenia bolo zistené, že maximálna hĺbka šmykových plôch dosahuje cca 3,0 m. Sanácia celého zosuvného územia a okolia prebehla v rámci riešenia križovatky a to zhotoveným kamenitých rebier s hĺbkou pod šmykové plochy (4 m). V podstate išlo takmer o plošnú výmenu telesa zosuvu za kamenitý materiál.

2.2 Zosuv ZK-2

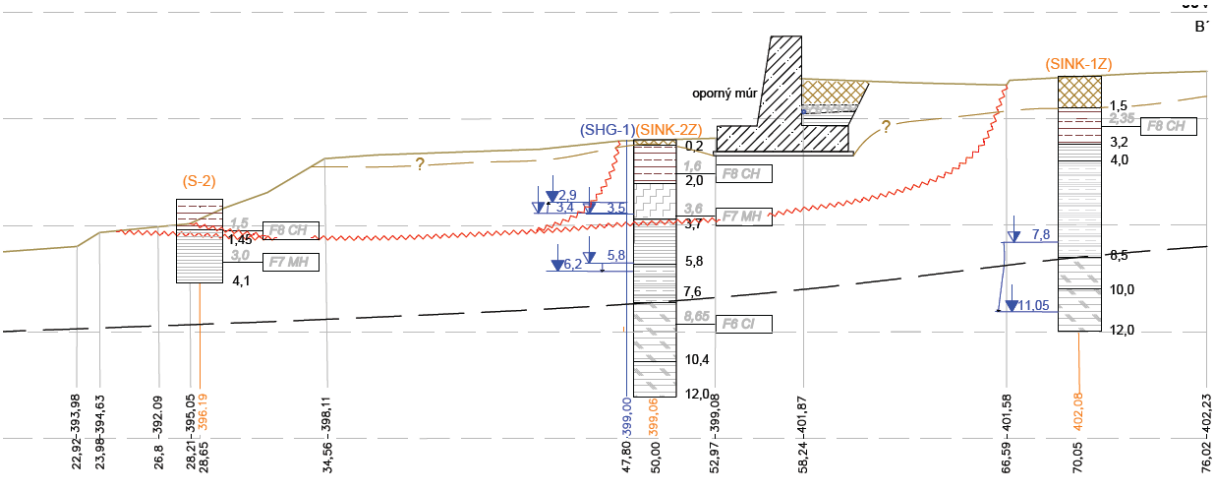
Dňa 10.12. 2017 vznikol aktívny zosuv o rozmeroch 100x36m (obr.4 a 5), ktorý spôsobil havarijný stav prejavujúci sa:

- posunom a porušením oporného múra v areáli SSÚD (obr.5),
- deformáciou pravého svahu zárezu križovatkovej vetvy,
- potrhaním prístupových komunikácii a okolia múra, vrátane zhutneného štrkového násypu za múrom.

Príčinou vzniku zosuvu bol výkop zárezu na vetve križovatky (čelo zosuvu) a naopak priťaženie svahu za múrom (odlučná hrana zosuvu) – obr.6.

Obr.5 Posunutie múra a ohraničenie zosuvu ZK-2 nad múrom – v pozadí zosuv Z-1.
Fig.5 Wall displacement and landslide boundary ZK-2 above the wall – landslide Z-1 in the background.

Na základe IGP (Šimeková, 2018) bolo zistené, že zosuv má maximálnu hĺbku cca 4,0 m a hladina podzemnej vody sa ustálila v hĺbke 2,9 m p.t. (obr.6).

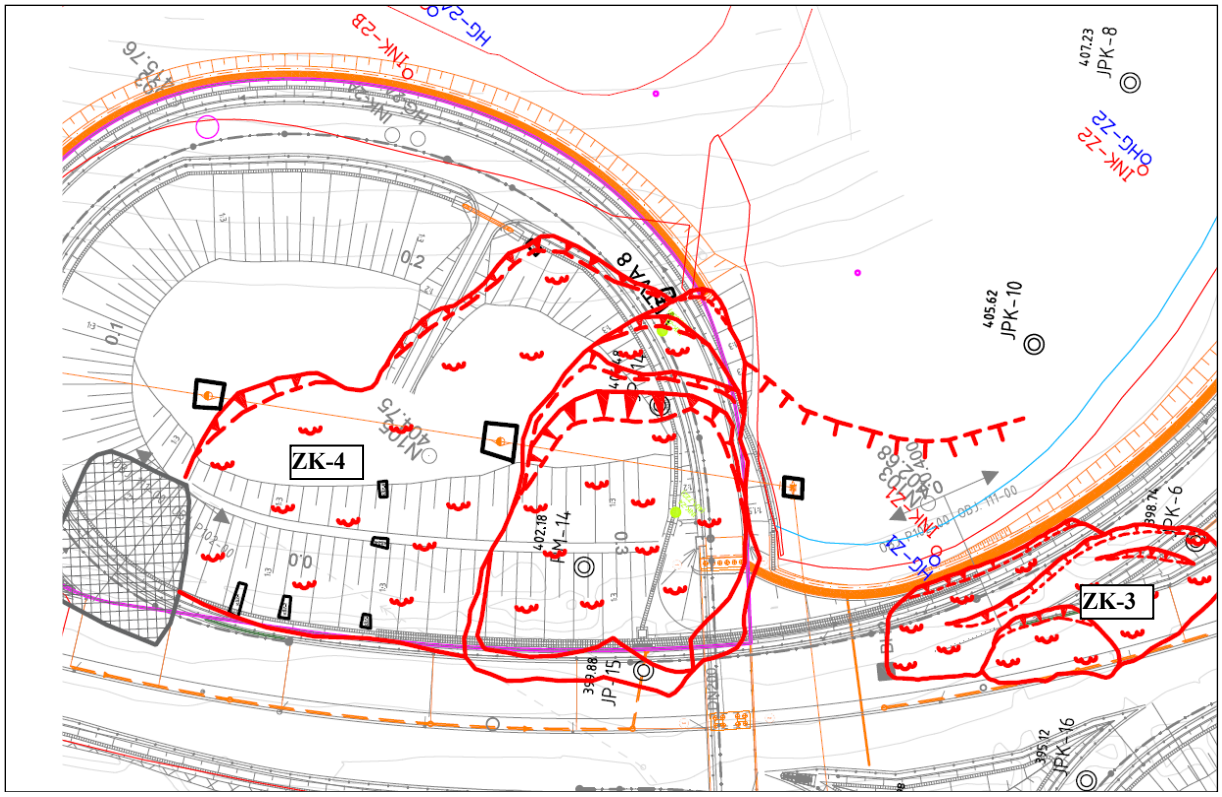


Obr.6 Inžinierskogeologický profil zosuvom ZK-2 (Šimeková, 2018).
Fig.6 Engineering geological profile of a landslide ZK-2 (Šimeková, 2018).

Definitívna sanácia zosuvu ZK-2 bola realizovaná pomocou pilót.

2.3 Zosuvy ZK-3 a ZK-4

Opisujeme tu 2 zosuvy, ktoré sú síce fyzicky oddelené mostom, ale predpokladáme, že išlo o rovnakú zosuvnú štruktúru (fosílny zosuv), ktorá sa aktivizovala výkopmi v časových odstupoch. Ide o 2 zosuvy označené ZK-3 a ZK-4 (Kopecký, 2019) na trase privádzača – vetva 1 a 8. Obidva zosuvy postihli pravú stranu privádzača (obr.7).



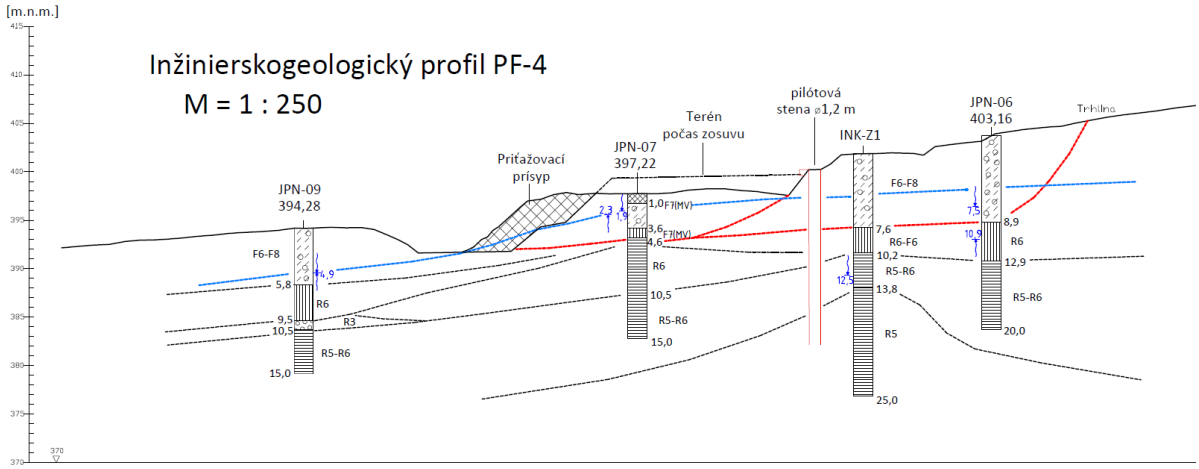
Obr. 7 Situovanie zosuvov ZK-3 a ZK-4 vo vzťahu k trase privádzača
Fig. 7 Location of landslides ZK-3 and ZK-4 in relation to the feeder route

Zosuv ZK-3 na križovatke Lietavská Lúčka vznikol 23.9. 2018 ako dôsledok extrémnych zrážok a výkopov v trase privádzača. Zosuv mal rozmery 80x40 m, jeho odlučná oblasť siahala až k pilótovej stene a čelo bolo natlačené na trasu privádzača v km 2,24-2,3.

Obr. 8 Odlučná hrana zosuvu ZK-3 pri pilótovej stene
Fig. 8 Main scarp of the ZK-3 landslide near the pile wall.

Územie, v ktorom zosuv vznikol, nebolo podľa dovtedy hodnotené ako zosuvné územie v žiadnom prieskume.

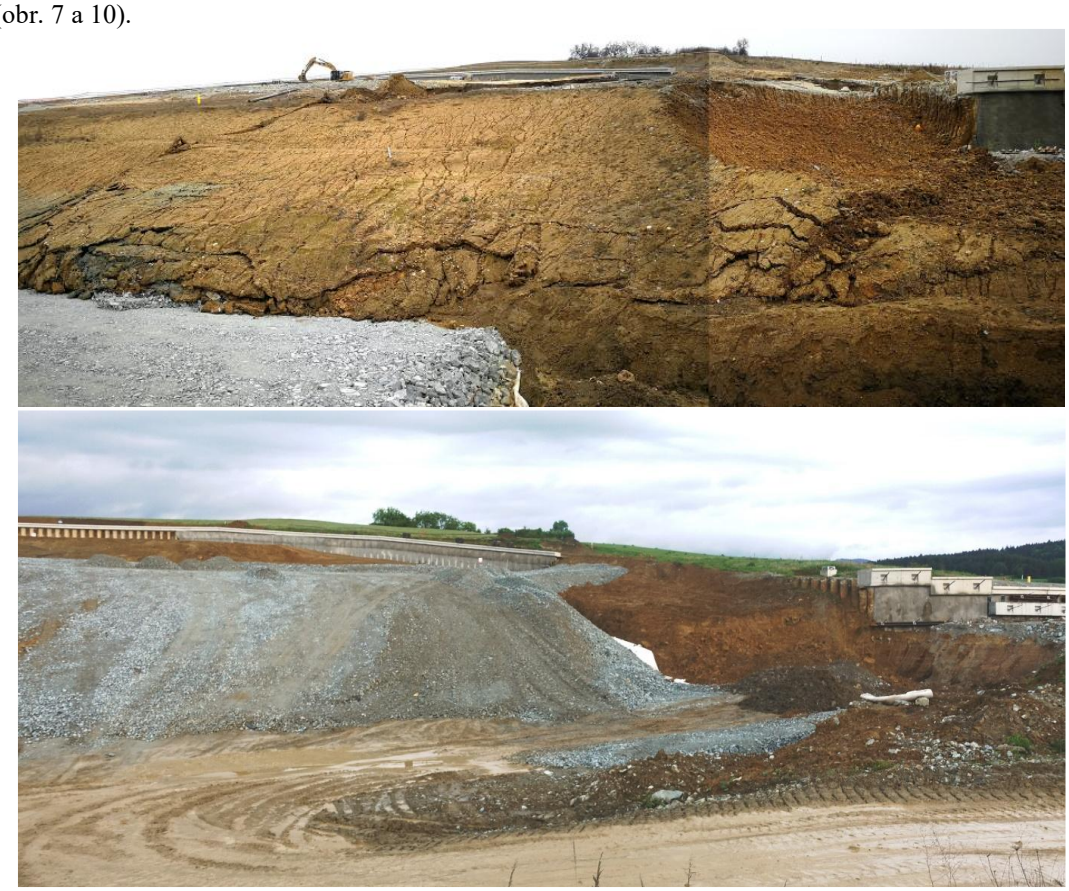
Zosuv postihol svah pod neprikotvenou pilótovou stenou. Oddelenie zeminy od pilótovej steny zosuvom mohlo vyvolať jej naklápanie smerom po svahu. Provizórna sanácia zosuvu spočívala v okamžitom prisypaní čela zosuvu prísypom z hrubého kameniva. IGP z roku 2020 (Kopecký, Mezőszállási, 2020) zistil, že zosuv pokračuje aj za pilótovou stenou (obr.9) a to na základe výskytu trhliny a meraní inklinometra za pilótovou stenou.



Obr.9 Inžinierskogeologický profil zosuvom ZK-3 (Kopecký, Mezőszállási, 2020).
Fig.9 Engineering geological profile of a landslide ZK-3 (Kopecký, Mezőszállási, 2020).

Pre realizáciu vetvy pred pilótovou stenou bola časť zosuvu pred pilótovou stenou odťažená a pre existenciu zosuvu za pilótovou stenou bol zvýšený počet kotiev.

Zosuv ZK-4 rozmerov cca 50x55 m vznikol dňa 1.12. 2018 medzi pilótovou stenou a privádzačom v km 2,34-2,40 (obr. 7 a 10).



Obr.10 Stav zosuvu ZK-4 1.12. 2018 horný obrázok a stav po sanácii v roku 2020
Fig. 10 ZK-4 landslide on 1 December 2018 (top) and after remediation in 2020 (bottom).

Postihnutý pravostranný svah zárezu pre privádzač bol zhotovený v pomerne miernom sklone 1:3. Odlučná hrana zosuvu zasahovala cca 20 m od krajnej pilóty a čelo bolo natlačené na upravenú pláň privádzača.. Zosuv sa neustále rozširoval, pričom v júli 2019 dosiahol rozmery 110x90, postihol celý pravostranný zárez vetvy a zasahoval priamo k pilótovej stene. V zosuve mali byť aj priamo situované aj 2 nové stožiare preložky vedenia VN. Na základe premerania geodetického bodu v zosuve bol zistený polohový pohyb bodu 7,9 cm a výškový pokles 23,3cm. Vektor pohybu bol v smere svahu.
Na základe IGP z roku 2020 bolo zistené, že zosuv má hrúbku cca 5m a preto sa jeho definitívna sanácia vykonala v podstate výmenou zosuvu za kvalitný kamenitý materiál vyťažený z tunela Višňové (obr.10). Obidva stožiare preložky vedenia VN boli založené v uvedenom zosuve hĺbkovo.

3. Záver

V predkladanom článku sme poukázali na veľké riziko vzniku nových zosuvov pri stavebnej činnosti. Najväčšie problémy nastávajú predovšetkým pri výkopoch zárezových svahov. Takto môžu byť aktivizované aj svahy, ktoré nevykazovali predtým nestabilitu. Takto boli objavené aj fosílne zosuvy v oblasti križovatky Lietavská Lúčka na trase privádzača do Žiliny. Dôležitým nástrojom pre odhalenie takýchto skrytých javov je vybudovanie geotechnického monitoringu v predstihu pred začatím výstavby.

Poďakovanie

Príspevok je jedným z výstupov grantovej úlohy č. 1/0525/26 agentúry VEGA

Zoznam literatúry

Matejček A., 1999 : D1 Lietavská Lúčka – Višňové. Podrobný IG prieskum. GEOFOS s.r.o. Žilina, jún 1999
Kopecký M., a kol., 2019 : Posúdenie vplyvu zosuvov na stavebné objekty, riziká a opatrenia. D1 Diaľnica Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná skala. Inžinierskogeologický posudok. Katedra geotechniky Svf STU Bratislava. 57str. 8 príloh.
Kopecký M., Mezőszállási P., 2020 : Diaľnica D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala, 229.00 Oporné múry v križovatke Lietavská Lúčka. Fixgen s.r.o Košice.
Šimeková J., 2018 : D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná skala, SSÚD – zosuvné územie v oblasti oporného múra 720-00/6. GEOTREND, s.r.o Žilina

CO NOVÉHO PŘINESL PROJEKT RENS DO REGISTRU SVAHOVÝCH DEFORMACÍ ČR?

WHAT NEW DID THE RENS PROJECT BRING TO THE REGISTER OF SLOPE DEFORMATIONS IN THE CZECH REPUBLIC?

Vladimíra Krejčí[1], Oldřich Krejčí[1], Petr Kycl[2], Pavla Tomanová Petrová[1]

[1]*Česká geologická služba, pobočka Brno, Leitnerova 204/22, 642 00 Brno, e-mail: vladimira.krejci@geology.cz*
[2]*Česká geologická služba, Klárov 131/3 Malá Strana 118 00 Praha 1*

Abstrakt:
Mezi činnosti České geologické služby související s problematikou svahových deformací patří terénní práce (inženýrskogeologické mapování), evidence a třídění zpráv a posudků, jejich následná archivace, dále pak zpracování a uložení výsledků do grafických a textových databází až po konečnou prezentaci území, která jsou postižena svahovými deformacemi. Údaje o některých sesuvech, které byly dosud používané v geodatabázi Registru svahových nestabilit, byly průběžně získávány a obnovovány v období 1962–2010. Většina dat ale pochází ze 70. a 80. let 20. století. Vzhledem k registračnímu charakteru záznamů byly tyto záznamy uchovávány jako celek v tzv. registrační části databáze.
Česka geologická služba zahájila v roce 2020 realizaci projektu TAČR (Program aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí „Horninové prostředí a nerostné suroviny (RENS)“, jehož hlavním cílem je výzkum, sledování a vyhodnocení stavu horninového prostředí, přírodních zdrojů, geologických rizik a geologických informací v celé České republice. V rámci tohoto projektu byl sestaven jednotný a v rámci ČR unikátní Registr svahových deformací. Příspěvek prezentuje současný stav Registru svahových deformací a jeho postupnou aktualizaci při práci na tomto projektu.

Abstract:
The activities of the Czech Geological Survey related to the issue of slope deformations include fieldwork (engineering geological mapping), recording and sorting of reports and assessments, their subsequent archiving, and then processing and storing the results in graphic and text databases, up to the final presentation of the areas affected by slope deformations. Data on some landslides, which have been used in the geodatabase of Register of Slope Instabilities, were continuously obtained and updated in the period 1962–2010. However, most of the data comes from the 1970s and 1980s. Given the registration nature of the records, these records were stored as a whole in the so-called registration part of the database. In 2020, the Czech Geological Survey launched the implementation of the TAČR project (Program of Applied Research, Experimental Development and Innovation in the Field of the Environment "Rock Environment and Mineral Resources (RENS)"), the main objective of which is research, monitoring and evaluation of the state of the rock environment, natural resources, geological risks and geological information throughout the Czech Republic. As part of this project, a unified and unique Register of Slope Deformations was compiled within the Czech Republic. The contribution presents the current status of the Register of Slope Deformations and its gradual updating during work on this project.

Klíčová slova: svahové deformace, sesuv, inženýrskogeologické mapování, geodatabáze, Registr svahových deformací

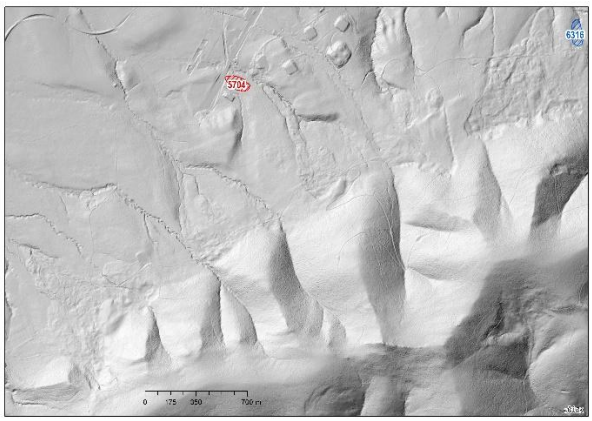
Key words: slope deformations, landslide, engineering-geological mapping, geodatabase, Register of Slope Deformations

1. Úvod a vznik Registru svahových nestabilit

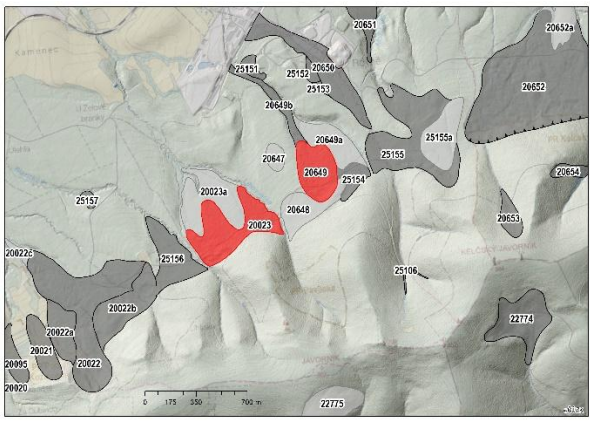
Česká geologická služba (ČGS) se mapováním svahových deformací intenzivně zabývá od roku 1997, kdy došlo na území České republiky vlivem extrémních srážkových úhrnů k aktivaci mnoha set sesuvů a tím i ke vzniku velkých materiálních škod. K jejich evidenci byl vytvořen Registr svahových nestabilit (RSN) ČR, kde jsou data uchovávána, doplňována a pravidelně aktualizována. Jednotlivé zákresy zde byly číslovány pořadově počínaje č. 1 pro každý list mapy 1 : 10 000.
V roce 2011 přešel do gesce ČGS Registr sesuvů a ostatních svahových deformací, který vytvořila zaniklá organizace ČGS-Geofond mapováním a registrací sesuvných jevů v celostátním měřítku v letech 1961–1963 a tato data dále aktualizovala a doplňovala o nové přírůstky. Po převzetí ČGS byl tento soubor dat uchováván jako celek v tzv. registrační části databáze RSN. Zde byl v mapové aplikaci zobrazen jako samostatná vrstva především pro oblasti České republiky, kde neprobíhalo nové mapování ČGS, ale dále již nebyl aktualizován.

2. Registr svahových deformací v projektu RENS

Důležitým mezníkem pro další rozvoj RSN se stal projekt Horninové prostředí a nerostné suroviny č. SS02030023 (RENS) 2020–2026, jehož cílem v rámci aktivity 3.1. bylo propojit tyto dvě samostatné databáze v databázi jedinou. Prvním krokem bylo vytvoření jednotné „Metodiky dokumentace a systematizace pro evidenci svahových deformací za účelem sjednocení a modernizace jednotného veřejně dostupného informačního portálu“ a po její oponentuře byl Registr svahových nestabilit přejmenován na Registr svahových deformací (RSD) ČR (Krejčí et al. 2022). Struktura geodatabáze byla změněna, jednotlivé svahové pohyby byly nově klasifikovány do kategorií sesouvání, řícení, stékání, povrchové ploužení a hlubinné ploužení a pro záznamy jednotlivých vymapovaných objektů byl vytvořen nový formulář. U každé svahové deformace je dále zaznamenán její stupeň aktivity a je označena identifikátorem, pod kterým je také nahrána do geodatabáze a propojena s dokumentační částí databáze. Rovněž proběhly změny v číslování jednotlivých zákresů, přičemž nově vymapované svahové deformace jsou číslovány vzestupně počínaje č. 20 000 bez ohledu na příslušnost k mapovému listu 1 : 10 000.
Na základně této metodiky byly převzaté registrační záznamy postupně revidovány a doplňovány o další atributy a dokumentaci. Při této činnosti byly zjištěny různé nesrovnalosti v zákresech a skutečné lokalizaci, v některých oblastech chyběly sesuvy úplně (obr. 1) nebo byly naopak umístěny v terénu, kde pro jejich vznik nebyly možné podmínky (rovina či jen velmi mírný svah). Některé sesuvy zanikly vlivem změny morfologie terénu či z důvodu nové výstavby (přehrady, doly, apod.) – viz obr. 3. Na obrázcích 2 a 4 je patrný rozdíl vzniklý novým mapováním v měřítku 1 : 10 000 při revizi území v letech 2020–2026.

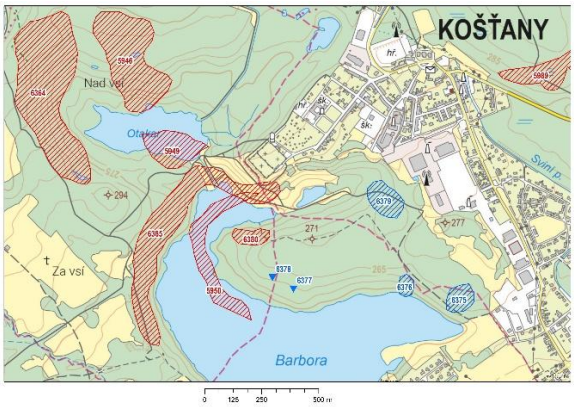


Obr. 1 Původní registrační zákresy v části Hostýnských vrchů, kde lze na podkladu DMR 5G zřetelně vidět nezmapované svahové deformace.
Fig. 1 Original registration drawings in the Hostýnské vrchy part, where unmapped slope deformations can be clearly seen on the DMR 5G base.

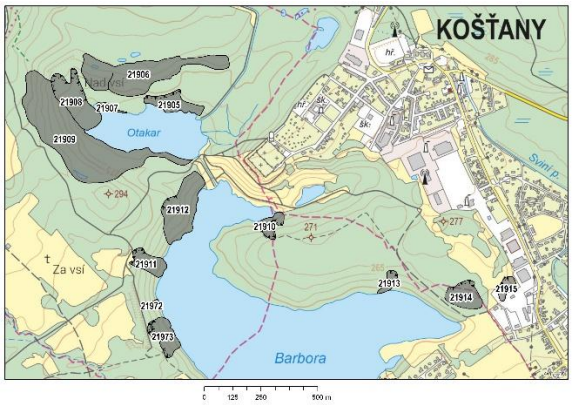


Obr. 2 Současný výřez stejného území z Registru svahových deformací po plošném mapování ČGS.
Fig. 2 Current section of the same area from the Register of Slope Deformations after area mapping by the Czech Geological Survey.

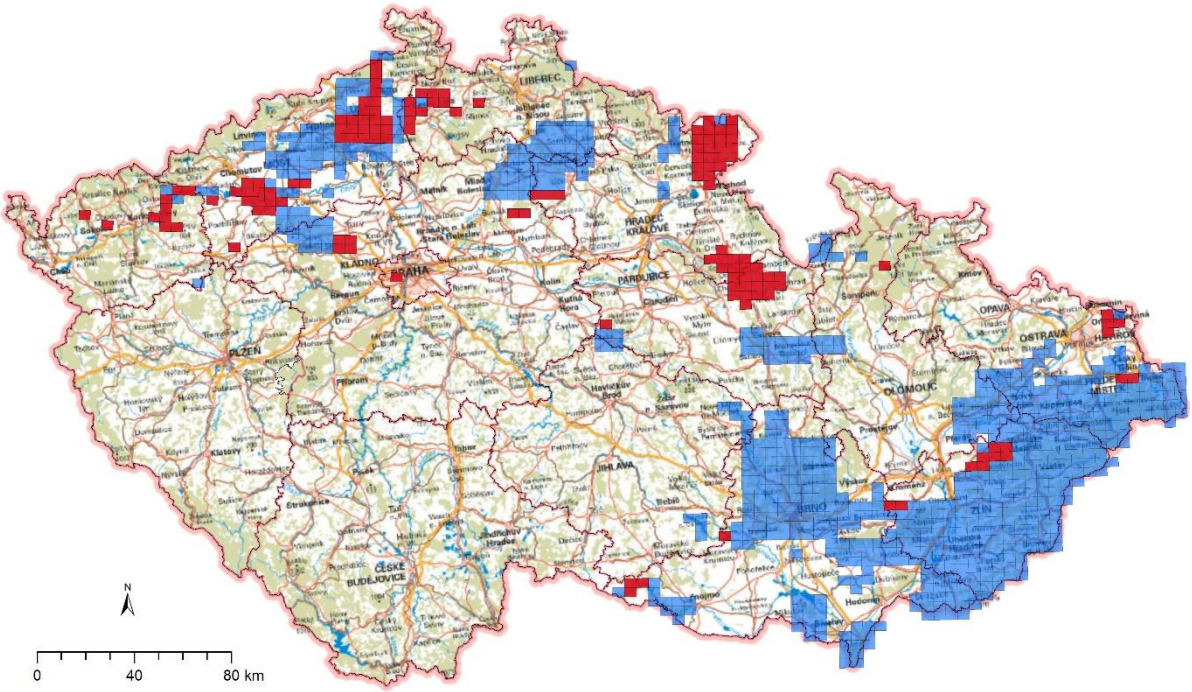
Pro samotné mapování má velký význam Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G), který ČGS využívá na základě výhradní smlouvy s Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním. V tomto modelu je odfiltrován lesní porost a deformace povrchu je tedy vidět zřetelněji.
Dále bylo vytipováno 140 mapových listů v měřítku 1 : 10 000 s nejvyšším počtem registračních záznamů, kde v následujících letech probíhalo plošné mapování území. Celková plocha zmapovaného území je nyní 15 450,8 km^2, což odpovídá přibližně 19,6 % rozlohy České republiky (obr. 5). Ke dni 30. 4. 2026 je v RSD evidováno celkem 27 185 objektů svahových deformací, z toho 5 910 znázorněných bodovou značkou a 21 275 zákresem skutečného půdorysu. Data jsou uchovávána v prostředí ESRI SDE a formou mapové aplikace zpřístupněna veřejnosti na internetovém portálu *https://mapy.geology.cz/svahove_deformace/*.



Obr. 3 Původní zákresy svahových deformací na území umělých jezer Barbora a Otakar v Oldřichově u Teplic, která vznikla po zatopení hnědouhelných dolů.
Fig. 3 Original drawings of slope deformations in the area of artificial lakes Barbora and Otakar in Oldřichov near Teplice, which were created after the flooding of brown coal mines.



Obr. 4 Aktuální stav po revizi stejného území v rámci mapování v projektu RENS.
Fig. 4 Current status after a review of the same area as part of mapping in the RENS project.



Obr. 5 Přehledná mapka České republiky s vyznačením plošného mapování před projektem RENS (modře) a nově zmapovanými mapovými listy v měřítku 1 : 10 000 (červeně).
Fig. 5 A clear map of the Czech Republic with area mapping before the RENS project (blue) and newly mapped map sheets at a scale of 1 : 10 000 (red).

Poděkování: Tento příspěvek byl vytvořen v rámci řešení projektu TAČR Program aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí: Prostředí pro život – Rizikové geofaktory, řešeného v létech 2020 až 2026.

Seznam literatury

Krejčí O., Ambrozek, V., Aue M., Čoupek P., Čurda J., Dostalík M., Hartvich F., Klimeš J., Kondrová L., Krejčí V., Kycl P., Malík J., Nečas J., Novotný J., Paleček M., Tomanová Petrová P. (2022): *Metodika dokumentace a systematizace pro evidenci svahových deformací za účelem sjednocení a modernizace jednotného veřejně dostupného informačního portálu*. – Česká geologická služba, Praha.

VÝSLEDKY MAPOVÁNÍ SVAHOVÝCH DEFORMACÍ V RÁMCI ŘEŠENÍ PROJEKTU TAČR HORNINOVÉ PROSTŘEDÍ A NEROSTNÉ SUROVINY (2020–2026)

RESULTS OF SLOPE DEFORMATION MAPPING WITHIN THE TACR PROJECT "ROCK ENVIRONMENT AND MINERAL RESOURCES" (2020–2026)

Oldřich Krejčí[1], Petr Kycl[2], Jiří Nečas[1], Vladimíra Krejčí[1], Pavla Tomanová Petrová[1],

[1]*Česká geologická služba, pobočka Brno, Leitnerova 204/22, 642 00 Brno, e-mail: oldrich.krejci@geology.cz*
[2]*Česká geologická služba, Klárov 131/3 Malá Strana 118 00 Praha 1*

Abstrakt: Cílem projektu bylo získání a shromáždění komplexních vědomostí o svahových pohybech a z nich plynoucích rizik na základě uplatnění moderních technologií jejich výzkumu a průzkumu, které v konečném důsledku preventivně povede ke snížení nákladů při strategickém plánování a rozvoji krajiny. Implementace ověřených přístupů v kombinaci s inovativními technologiemi tak přispěje k vylepšení znalostí zainteresované odborné veřejnosti, které se uplatní v efektivnějším hospodaření státu během procesu přípravy strategických, ale také lokálních infrastrukturních staveb a při řešení již vzniklých stabilitních problémů. Dalším cílem byla revize a doplnění dřívějšího Registru svahových nestabilit České geologické služby (ČGS) o neaktualizované, dosud pouze formálně převzaté sesuvy ve formě registračních záznamů bývalé organizace ČGS-Geofond.

Abstract: The project aimed to acquire and compile comprehensive knowledge regarding slope movements and the associated risks by employing modern research and survey technologies; ultimately, this will help reduce costs associated with strategic planning and landscape development through preventive measures. Implementing proven approaches alongside innovative technologies will enhance the expertise of relevant professionals, facilitating more efficient state management during the preparation of strategic and local infrastructure projects and in addressing existing slope stability issues. Another objective was to review and update the Czech Geological Survey's existing Register of Slope Instabilities by incorporating landslides previously only formally transferred from the former CGS-Geofond organization that had not yet been fully updated or processed.

Klíčová slova: svahové deformace, inženýrskogeologické mapování, geodatabáze, evidence svahových deformací, geoportál

Key words: slope deformations, engineering-geological mapping, geodatabase, inventory of slope deformations, geoportal

1. Úvod

Projekt řešil existující akutní nedostatek údajů o sesuvných územích z cca 83 % ČR. V těchto územích byly informace o sesuvných územích mnohdy více než 50 let staré a často nepřesné či chybové. Tento fakt výrazně omezuje například železniční a silniční dopravu na lokálních tratích, protože mnohdy desítky let staré zářezy jsou vedeny starými sesuvy nebo ve skalním prostředí a nedostatečná či velmi stará sanace jejich stěn způsobuje skalní řícení, umocněné klimatickými vlivy. Z metodického hlediska jsou pro mapování svahových deformací v hojné míře využívány také moderní metody DPZ, jako je analýza digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G) a snímkování vlastními bezpilotními prostředky (obr. 1).

2. Metodika dokumentace a systematizace pro evidenci svahových deformací

Registr svahových deformací je součástí dlouhodobě budovaného datového skladu ČGS, který obsahuje získané geovědní informace z území České republiky. Údaje o některých sesuvech, dosud používané v geodatabázi Registru svahových deformací ČGS, byly průběžně získávány a obnovovány v období 1962–2010. Většina dat pochází ze 70. a 80. let 20. století. Vzhledem k registračnímu charakteru záznamů byly uchovávány tyto záznamy jako celek v registrační části databáze. Tato registrační geodatabáze zahrnuje území celé ČR, zpracované jednotnou metodikou, mnohdy jsou to však dokumentační údaje z 60. let 20. století.
Česká geologická služba se mapováním svahových deformací systematicky zabývá od roku 1997, kdy došlo v červenci po extrémních srážkových úhrnech na území ČR k aktivaci mnoha set sesuvů s velkými materiálními škodami. Pro jejich komplexní evidenci byl vytvořen Registr svahových nestabilit, v němž byla zdokumentovaná data průběžně doplňována a aktualizována.
Metodika akceptuje nové trendy v geografických informačních systémech (předpříprava dat, DMR 5G – LiDAR)

a vychází z publikovaných klasifikací svahových pohybů, celosvětově užívaných.

Obr. 1. Rozsáhlé řícení sprašových bloků do řečiště Olšavy. Sesuv 22685a.
Fig.1. Massive collapse of loess blocks into the Olšava river channel. Landslide 22685a.

Jednotně zpracovaná metodika s prvky novosti sleduje tyto cíle:

- přehledné vyjádření vypovídací hodnoty zveřejňovaných informací (metadata);
- prezentaci primárních a zejména interpretovaných dat odborné i laické veřejnosti, orgánům veřejné moci;
- aktualizaci atributových tabulek pro mapovou a dokumentační část geodatabáze a doplnění nově sledovaných typů a vlastností SN, včetně aktualizace terénního záznamového formuláře;
- dlouhodobou aktivní a cílenou aktualizaci dat týkajících se svahových deformací, editace a zpřesňování těchto dat;
- vazba na národní systémy (JISŽP, systém krizového řízení);
- návaznost na celoevropské systémy (INSPIRE, globální informační a datové infrastruktury).
- Nedílnou součástí Metodiky je „Popis uložení aktualizované struktury dokumentační a mapové části Registru svahových deformací v datovém skladu“. Uložení popisných a odborných informací Registru svahových deformací vychází z možností technické infrastruktury ČGS a je navázáno na ostatní datové zdroje. Informace registru jsou uloženy prostřednictví relační databáze Oracle, přičemž geoprostorové informace jsou uloženy pomocí nadstavby Arc SDE fy ESRI v datovém typu st_geometry. Připojené přílohy v podobě datových souborů obsahujících dokumentační fotografie, přílohy ve formátu kancelářských software, či další elektronické přílohy jsou uloženy v souborovém systému datového úložiště, které je přístupné prostřednictvím aplikačního serveru.
- Veškerá data jsou ukládána centrálně a pro jejich ukládání a obsluhu se předpokládá vznik aplikačních řešení, která umožní data pořizovat, dotazovat se na jejich obsah, stahovat dílčí údaje a podobně. Jedním z tradičních a velmi efektivních využití informací jsou mapové služby, které umožňují prohlížení informací z registru v kombinaci s dalšími, uživatelem zvolenými mapovými informacemi.
- Základní získání informací o existenci datové sady je zajištěno její registrací v metadatovém katalogu ČGS, který je sdílen do národního geoportálu a evropským geoportálem podle principů směrnice INSPIRE.

Základním prvkem terénního sběru dat je tvorba autorského originálu „Dokumentační mapy svahových deformací 1:10 000“, která spočívá ve zmapování všech prvků, souvisejících se svahovými deformacemi. Tato mapa zobrazuje současné a potenciální svahové deformace a má i tištěnou definitivní verzi. Aktivní sesuvná území jsou zobrazená červeně, dočasně uklidněná černě a uklidněná černou přerušovanou linií. Značkový klíč a legenda k této mapě jsou nedílnou součástí Metodiky.

3. Dělení svahových deformací

Hlavní kritéria použité klasifikace jsou mechanismus a rychlost pohybu, podle kterých byly svahové pohyby rozděleny do celkem čtyř základních skupin svahových pohybů, jako je ploužení, sesouvání, stékání a řícení.
Ploužení je ve smyslu dělení svahových pohybů definováno jako dlouhodobý, zpravidla nezrychlující se pohyb horninových hmot, přičemž hranice vůči pevnému podloží je ve většině případů nezřetelná. Velikost posunů hmot je vzhledem k prostorovým rozměrům postiženého horninového masivu zanedbatelná. Ploužení je přípravnou fází pro sesouvání, stékání a řícení.
Sesouvání je ve smyslu dělení svahových pohybů definováno jako relativně rychlý, krátkodobý klouzavý pohyb horninových hmot na svahu podél jedné nebo více průběžných smykových ploch. Výslednou formou sesuvného pohybu je sesuv. Charakteristické je, že část hmot se nasune na původní terén v předpolí. Při sesouvání se mohou v hlubších partiích současně uplatňovat i pomalé deformace plouživého charakteru, v povrchových partiích i stékání a řícení.
Stékání je ve smyslu dělení svahových pohybů definováno jako rychlý krátkodobý pohyb horninových hmot ve viskózním stavu. Podstatná část hmot vyteče z odlučné jámy a přemístí se po povrchu terénu na velkou vzdálenost. Stékající hmoty jsou ostře odděleny od neporušeného podloží. Ve srovnání s „pomalým tečením“ při ploužení jde v tomto případě o „rychlé tečení“. Výslednou formou je proud. V konečné fázi vývoje může stékání přecházet do ploužení.
Řícení je ve smyslu dělení svahových pohybů definováno jako náhlý krátkodobý pohyb horninových hmot na strmých svazích, přičemž se postižené hmoty rozvolní a ztrácejí krátkodobě kontakt s podložím. Při pohybu se uplatňuje volný pád, ale současně i ostatní druhy pohybu. Dříve než hmoty ztratí kontakt s podložím, může docházet k plouživým i k sesuvným pohybům. Také po dopadu k patě svahu se zřícené hmoty pohybují formou stékání a sesouvání. Vzdálenost přemístěných hmot je vzhledem k prostorovým rozměrům zříceného masivu mnohonásobně větší.
Z hlediska aktivity jsou svahové deformace děleny na aktivní, dočasně uklidněné a uklidněné. V případě skalního řícení je dělení pouze na sesuvy aktivní a uklidněné. Za nejzávažnější zdroje rizik jsou považovány sesuvy aktivní. Území s aktivními sesuvy lze popsat jako území zcela nevhodné pro výstavbu: zástavba je vyloučena, pokud není území v předstihu stabilizováno zabezpečovacími opatřeními a monitoringem prokázána jeho stabilita. Výstavba je možná pouze za cenu enormně zvýšených nákladů na preventivní zabezpečovací opatření a monitoring.
Sesuvná území patří z hlediska právní úpravy geologických prací mezi tzv. rizikové geofaktory životního prostředí. Zjišťují se při geologických pracích v rámci geologického průzkumu. Vzhledem k objemu prostředků vynakládaných na odstranění škod způsobených svahovými deformacemi nabývá na významu otázka prevence. Nejúčinnější prevencí je nepochybně možnost vyhnout se sesuvnému území při lidských aktivitách, zejména stavebních. To ovšem není vždy možné, a pak přichází na řadu prevence, která by umožnila území využít, ovšem za předpokladu přijetí a realizace opatření snižujících nebo eliminujících rizikové faktory.

4. Vybrané přínosy nového mapování svahových deformací

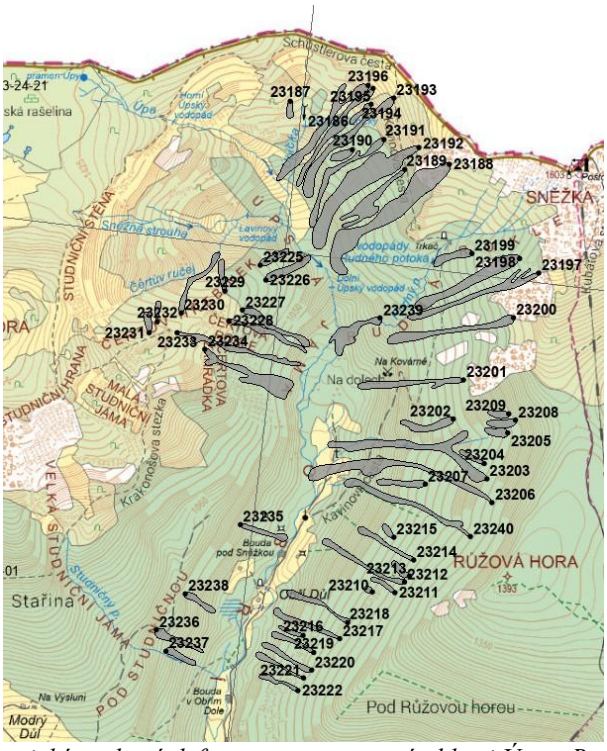
V nejvíce ohrožených oblastech bylo provedeno inženýrskogeologické mapování v měřítku 1:10 000. Jsou to:

- Složitá oblast Česko-Saského Švýcarska, dále krajina severních Čech mezi Sokolovem a Ústím nad Labem má dnes po těžbě uhlí zcela jinou morfologii, jsou zde nebezpečné výsypky apod.
- Oblast Broumovska a Teplicko-Adršpašské skály, kde dosud nejsou evidovány téměř žádné sesuvy, přitom v oblasti skalních měst je sesuvů velké množství.
- Domapování oblasti vulkanických hornin Českého Středohoří, Doupovských hor, pomezí Královéhradeckého a Pardubického kraje a okrajové části Hostýnských vrchů.

Výsledkem bude jediný a jednotný, veřejně dostupný informační portál, poskytující moderní a aktuální informace o všech známých svahových deformacích v ČR.
Četné bleskové povodně způsobily v posledních 150 letech iniciaci četných nových blokovobahenních proudů v oblastech, které jsou pro jejich výskyt typické [například Krkonoše 17. července 1883 (Pilous 1973, 1974, 1977)] a Jeseníky 1. června 1921 (Gába 1992, Křížek et al. 2018).
Tyto svahové deformace nebyly nikdy do Registru svahových deformací zahrnuty, jsou však v literatuře a archivech zdokumentovány. Především historicky dokumentované přívalové blokovobahenní proudy se vyznačují v pramenných oblastech Krkonošských dolů nezvyklou hustotou (obr. 2).
K významným dokumentačním kampaním v rámci projektu a také výkonu státní geologické služby v ČGS patřila dokumentace povodňových svahových deformací ze září 2024. Srážkové úhrny za 24 hodin zde 14. září 2024 dosáhly podle internetových zdrojů (tiskový dokument ČHMÚ z 4. 10. 2024) 385,6 mm na stanici Švýcárna v k. ú. Loučná nad Desnou a jsou tak hlavní příčinou vzniku tohoto jevu. Jde o nový nejvyšší naměřený denní úhrn srážek na území ČR. Celkem bylo dokumentováno 124 objektů svahových deformací s největšími škodami v oblasti Hrubého Jeseníku.

Závěr

Údaje a data aktualizovaného Registru svahových deformací umožní uživatelům seznámení se s vlastnostmi vybrané oblasti z hlediska výskytu svahových deformací, a především zajistí homogennost dat v rámci celé ČR. Hlavními výstupy mělo být minimálně 3 512 zákresů a evidenčních databázových záznamů konkrétních objektů v Registru svahových deformací. Ve skutečnosti bylo ke dni 30. 4. 2026 opraveno nebo zcela doplněno 7 185 svahových deformací, včetně dílčích objektů, a tyto jsou v Registru svahových deformací uvedeny pořadově pod čísly 20 001 a vyššími.



Obr. 2. Nově evidované historické svahové deformace v pramenné oblasti Úpy v Registru svahových deformací.
Fig. 2. Newly recorded historical slope deformations in the source area of the Úpa river in Registry of the slope deformations.

Přírůstky plochy zmapovaných svahových deformací v jednotlivých letech řešení projektu a počty svahových deformací jsou uvedeny níže v tabulce 1.

Tab. 1 Přírůstky plochy a počtu zmapovaných svahových deformací v jednotlivých letech řešení projektu.
Tab. 1 Increases in the area and number of mapped slope deformations during the individual years of the project.

	2020	2021	2022	2023	2024	2025
	ha	ha	ha	ha	ha	ha
Aktivní	4 474,46	4 383,17	4 422,08	4 537,73	4 644,65	4 667,28
Dočasně uklidněné	50 617,98	51 614,43	54 574,39	57 470,32	59 201,47	60 530,13
Uklidněné	29 829,32	31 540,02	34 358,94	35 713,70	39 001,89	44 361,78
Celkem	84 921,76	87537,62	93 355,41	97 721,75	102 848,01	109 559,19
Počet objektů	1490	367	1029	1059	2021	1447

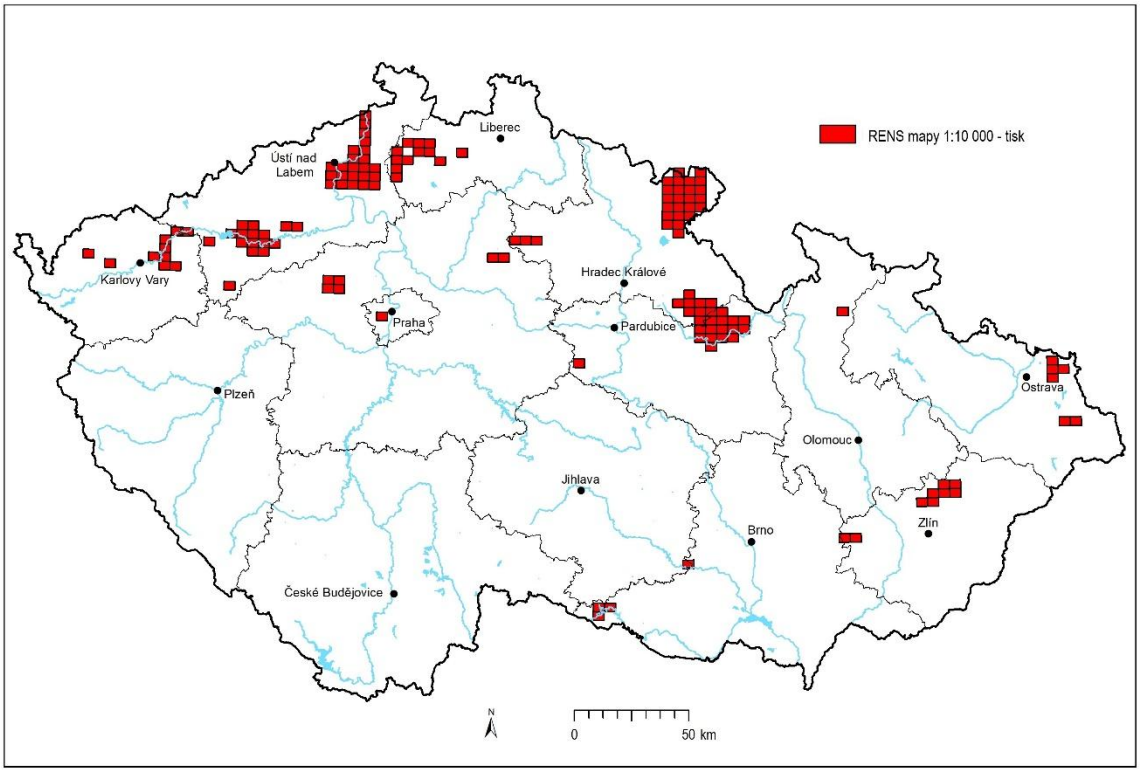
Bylo vytištěno celkem 140 listů „Dokumentačních map svahových deformací v měřítku 1:10 000“, které byly předány do archivu a jejich náhledy budou zveřejněny na Portále geohazardů ČGS (obr. 3). Výsledky projektu jsou využívány městy, obcemi a Státním fondem životního prostředí pro potřeby hodnocení žádostí o dotace z evropských fondů z operačního programu Životní prostředí 2014–2020 v souladu s platnými programovými dokumenty. Data budou dále využívána pro potřeby Generálního ředitelství Hasičského záchranného sboru podle Scénáře podpory krizového řízeni geoinformačními technologiemi a Českým statistickým úřadem pro evidenci přírodních pohrom ve státech Evropské unie. Informace o výskytu všech již známých svahových deformací lze

zjistit online na webových stránkách ČGS – https://mapy.geology.cz/svahove_deformace/.
Informace můžou obce, města a další uživatelé využívat k:

- územnímu plánování;
- odhadu nákladů na zakládání staveb;
- sanaci svahových deformací;
- výběru způsobu hospodaření a využití konkrétních postižených území;
- bezpečnostním opatřením a plánům krizového řízení;
- obchodním plánům;
- rozhodování o investicích;
- pojišťovnictví.

Poděkování: Tento příspěvek byl vytvořen v rámci řešení projektu TAČR Program aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí: Prostředí pro život – Rizikové geofaktory, řešeného v létech 2020 až 2026 (projekt Horninové prostředí a nerostné suroviny č. SS02030023 – RENS).

.



Obr. 3 Mapové listy 1:10 000 dokončené v rámci řešeného projektu.
Fig. 3 Map sheets in the 1:10,000 scale completed as part of the project.

Seznam literatury

Gába, Z. (1992). *Mury pod Keprníkem v červenci 1991*. Severní Morava, 64,43–49.
Křížek M., Krause D., Raschová T. 2018: *Debris flows in the Hrubý Jeseník Mountains, Bohemian Massif, Czech Republic*. — Journal of Maps, 14:2, 428-434, DOI: 10.1080/17445647.2018.1486241
Pilous V. 1973: *Strukturní mury v Krkonoších I. část*. — Opera Corcontica 10, *15–69*, Praha.
Pilous V. 1975: *Strukturní mury v Krkonoších II. část*. — Opera Corcontica 12, *7-50*. Praha.
Pilous, V. 1977: *Strukturní mury v Krkonoších III. část.* — Opera Corcontica 14, *7-94*. Praha.

VLIV LINIOVÝCH STAVEB NA ODTOKOVÉ POMĚRY A STABILITU SVAHŮ

THE IMPACT OF LINEAR TRANSPORT STRUCTURES ON HYDROLOGY EXTREMS AND SLOPE STABILITY

Václav Mráz[1,2], Petr Kavka[3], Jiří Vacek[4], Martin Havlice[5]

[1] ČZU v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýcká 129, 165 21, Praha 6, e-mail: mrazv@fld.czu.cz
[2] Ředitelství silnic a dálnic, Provozní úsek GŘ, Čerčanská 2023/12, 14000, Praha 4
[3] ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, e-mail: petr.kavka@fsv.cvut.cz
[4] GKIP Litomyšl s.r.o., Toulovcovo náměstí 156, 570 01, Litomyšl, e-mail: info@gkip.cz
[5] Ochrana podzemních vod, s.r.o., Bělohorská 274/31, 169 00, Praha 6, e-mail: havlice.m@opv.cz

Abstrakt: Silniční stavby ovlivňují odtokové poměry změnou přirozených odtokových drah, koncentrací povrchového odtoku a vznikem míst s akumulací vody. Tyto změny mohou zvyšovat riziko eroze, sycení zemního tělesa a vzniku svahových deformací. Příspěvek představuje ukázku postupu hodnocení vlivu liniových staveb založený na propojení prostorové analýzy, hydrologického modelování a geotechnické interpretace. Postup je aplikován na případové studii dálnice D11 v úseku km 94,5–100,0, kde byly porovnány odtokové poměry před výstavbou a po realizaci komunikace. Výsledky ukazují, že celková změna objemu odtoku byla pouze omezená, avšak významné byly lokální změny směrování a koncentrace povrchového odtoku. Tyto lokální změny mohou představovat významný faktor ovlivňující erozní procesy, změny vlhkostního režimu zemních těles a stabilitu svahů.

Abstract: Road infrastructure can significantly affect runoff conditions by altering natural drainage pathways, concentrating surface runoff, and creating areas of water accumulation. These changes may increase the risk of erosion, saturation of the road embankment, and slope deformation. This paper presents an approach for assessing the impact of linear infrastructure based on the integration of spatial analysis, hydrological modelling, and geotechnical interpretation. The approach is applied to a case study of the D11 motorway between km 94.5 and 100.0, where runoff conditions before and after construction were compared. The results indicate that the overall change in runoff volume was relatively limited; however, significant local changes in the direction and concentration of surface runoff were identified. These local changes may represent an important factor affecting erosion processes, changes in the moisture regime of earth structures, and slope stability.

Klíčová slova: silniční stavby, odtokové poměry, hydrologické modelování, svahové deformace, geotechnické hodnocení.

Key words: road structures, runoff conditions, hydrological modelling, slope stability, geotechnical assessment.

1. Úvod

Silniční stavby představují významný zásah do přirozeného hydrologického režimu krajiny. Kromě vlastní změny reliéfu dochází k ovlivnění přirozených odtokových drah, změně infiltračních poměrů, přerušení půdního profilu a úpravě způsobu odvádění povrchových vod (Strouhal et al., 2021; Podhrázská et al., 2024). Komunikace mohou v krajině působit současně jako hydrologická bariéra i jako prvek koncentrující odtok prostřednictvím příkopů, propustků a dalších odvodňovacích zařízení. Bariéry přirozených drah tak představují významný společný faktor ovlivňující nejen srážko-odtokové procesy, ale také erozi, nasycení zemního tělesa a stabilitu svahů. Z tohoto důvodu je při hodnocení vlivu liniových staveb vhodné propojit hydrologické, geomorfologické a geotechnické přístupy.

Cílem příspěvku je představit metodický postup hodnocení vlivu silničních staveb na odtokové poměry a stabilitu svahů a demonstrovat jeho využití na příkladu území ovlivněného dálnicí D11.

Přestože dopad liniových staveb na celkovou vodní bilanci povodí bývá často omezený, lokální změny směrování a koncentrace povrchového odtoku mohou významně ovlivnit stabilitu zemních konstrukcí. V příspěvku je proto hodnocena zejména otázka, zda změny odtokového režimu vyvolané liniovou stavbou mohou představovat významný faktor podporující vznik lokálních geotechnických problémů.

2. Vliv liniových staveb na odtokové poměry a stabilitu svahů

2.1 Změny přirozených odtokových drah

Realizací liniové stavby dochází ke změně původního směrování přirozených odtokových drah. Silniční těleso může přerušovat přirozené odtokové linie nebo naopak soustřeďovat vodu do nových profilů prostřednictvím příkopů, propustků a dalších objektů.

2.2 Koncentrace vody a změny infiltračních poměrů

Změny odtokových poměrů souvisejí nejen se zpevněnými plochami, ale také se změnou vlastností celého zemního tělesa, odstraněním vegetace a omezením infiltrační schopnosti povrchových vrstev. Lokální koncentrace vody může vést ke zvýšenému eroznímu působení a k dlouhodobému sycení zemního tělesa.
Ke změnám dochází zejména v místech výustí propustků, pat násypů a zářezů, kde může být voda koncentrována do malých ploch a způsobovat intenzivnější erozi nebo lokální přemokření (Podhrázská et al., 2024).

2.3 Vliv vody na svahové deformace

Zvýšený přísun vody na tělesa svahů náspů a zářezů může být jedním z faktorů snižujících stabilitu zejména u mělkých svahových deformací. Riziková jsou zejména místa s koncentrací odtoku, paty násypů, zářezy s přítokem vody z okolních svahů a lokality s omezenou možností odvodnění. Mechanismus vzniku mělkých svahových deformací je zpravidla spojen se zvýšeným nasycením svrchních vrstev zemin, poklesem efektivního napětí a snížením smykové pevnosti zemin. Typickým příkladem tohoto procesu jsou deformace povrchových vrstev dálničních násypů po intenzivních srážkových epizodách.
Příkladem je situace vzniklá po významných srážkách v roce 2024 na Hradecku (dálnice D11). Na obr. 1 je zachycen stav násypového tělesa po dokončení stavby v roce 2021 a následný vznik prvních povrchových deformací po extrémních srážkách v červenci 2024. Tyto události dokumentují význam hydrologických podmínek jako jednoho z hlavních faktorů ovlivňujících dlouhodobou stabilitu zemních těles.

Obr. 1 Vývoj stavu dálničního násypového tělesa – (a) stav po dokončení stavby (12/2021), (b) první projevy povrchových deformací po intenzivních srážkách v červenci 2024.

Na tyto události navazovaly opakované extrémní srážkové události v průběhu roku 2024, které vedly k rozvoji dalších povrchových deformací na násypových tělesech. Po vzniku prvních poruch byla provedena jejich sanace, současně však následné srážkové epizody vyvolaly vznik nových poškození v dalších úsecích. Obr. 2 dokumentuje opakovaný vznik povrchových deformací po intenzivních srážkách v srpnu 2024 a následnou sanaci svahu. Na první lokalitě bylo provedeno nahrazení svrchní vrstvy ornice kamenivem se zřízením svahového žebra, zatímco na druhé lokalitě byla provedena obnova vegetační vrstvy ohumusováním. Použití odlišných sanačních technologií vede ke změně vlastností povrchové vrstvy násypu, zejména z hlediska infiltrace a retence srážkové vody. Změna infiltračních poměrů může ovlivnit vsakování dešťové vody do přípovrchových vrstev zemního tělesa a tím i jeho vlhkostní režim a dlouhodobé geotechnické chování. Obě sanace byly realizovány jako opravy provedené nad rámec původní investiční výstavby.

Obr. 2 Opakovaný vznik povrchových deformací a jejich sanace – (a) druhé poškození povrchové vrstvy násypu po intenzivních srážkách v srpnu 2024, (b) sanace sesuvné lokality v říjnu 2024.

3. Metodika hodnocení

Metodika hodnocení vlivu silničních staveb na odtokové poměry byla založena na propojení prostorové analýzy, hydrologického modelování a geotechnického hodnocení. Cílem bylo identifikovat změny přirozeného režimu povrchového odtoku vyvolané realizací liniové stavby a posoudit jejich možné důsledky z hlediska eroze, akumulace vody a stability zemních těles. Hydrologická část hodnocení vycházela z metodiky SCS-CN, která patří mezi nejčastěji využívané metody pro stanovení přímého odtoku z malých povodí (Mishra a Singh, 2003).

V první fázi byla provedena prostorová analýza vycházející z digitálního modelu terénu (DMT). Na jeho základě byla vymezena dílčí povodí, přirozené odtokové dráhy, údolnice a další morfologické prvky ovlivňující odtok vody v území. Současně byla identifikována místa, kde silniční stavba mění přirozený směr povrchového odtoku nebo soustřeďuje vodu prostřednictvím příkopů, propustků a dalších odvodňovacích objektů.

Na prostorovou analýzu navázalo hydrologické modelování, jehož cílem bylo porovnat odtokové poměry před realizací silniční stavby a po jejím dokončení. Pro výpočet přímého odtoku byla použita zmíněná metoda SCS-CN pro návrhové srážkové události při zvýšeném nasycení území. Hodnoceny byly zejména změny objemu odtoku, velikosti přispívajících ploch, koncentrace povrchového odtoku a zatížení jednotlivých odvodňovacích objektů.

Výsledky prostorové analýzy a hydrologického modelování byly následně doplněny poznatky z geotechnického hlediska. Pozornost byla věnována lokalitám s rizikem koncentrace povrchového odtoku, akumulace vody a zvýšeného sycení zemního tělesa, které mohou představovat iniciační faktor erozních procesů nebo vzniku mělkých svahových deformací. Propojení hydrologického a geotechnického hodnocení umožňuje komplexněji posoudit vliv liniových staveb na okolní území a identifikovat riziková místa vyžadující technická nebo provozní opatření.

4. Případová studie – vliv dálnice D11 na odtokové poměry a stabilitu svahů

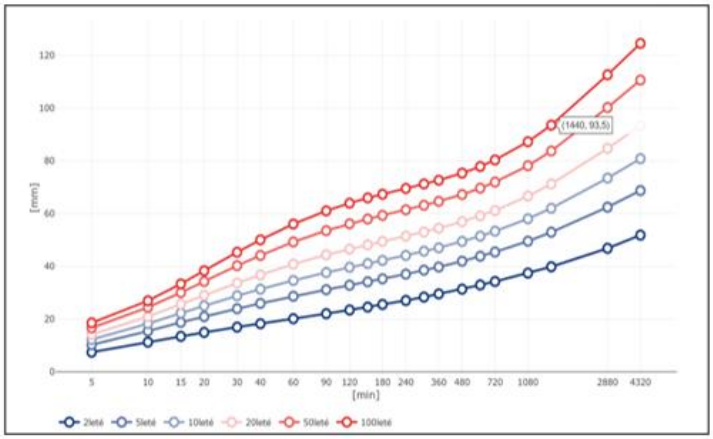
Metodický postup byl aplikován na případové studii dálnice D11 v úseku km 94,5–100,0. V řešeném území byl posuzován vliv realizované liniové stavby na změny odtokových poměrů okolních dílčích povodí ve směru k obcím Lochenice, Předměřice nad Labem a Plotiště (obr. 4). Cílem studie bylo ověřit, zda realizace dálnice změnila přirozený režim povrchového odtoku a zda tyto změny mohly vést ke zvýšení lokální koncentrace vody, vzniku oblastí s akumulací povrchového odtoku nebo ke zvýšení geotechnických rizik souvisejících se stabilitou zemních těles.

Důvodem pro zpracování případové studie byly opakované významné srážkové události, které zasáhly řešené území v průběhu roku 2024. V tomto období byly zaznamenány čtyři významné srážkové epizody tvořené kombinací déletrvajících regionálních srážek a navazujících konvektivních událostí. Tyto události vyvolaly potřebu podrobněji posoudit, zda může realizovaná liniová dopravní stavba ovlivnit lokální směrování a koncentraci povrchového odtoku a posoudit její možný dopad na hydrologii celého širšího území.

Úhrny srážek se v jednotlivých dílčích povodích lišily v závislosti na lokálním rozložení srážkové činnosti (obr. 3). Maximální zaznamenané hodnoty dosáhly 90 mm za den. Tato hodnota je srovnatelná s hodnotou návrhové

24hodinové srážky s dobou opakování 100 let stanovenou pro nejbližší srážkoměrnou stanici Nový Hradec Králové v databázi návrhových srážek projektu PERUN (PERUN, 2024).

DATUM	Úhrn srážek (mm)
11.7.2024	76–90
13.7.2024	17–23
19.8.2024	54–70
21.8.2024	18–25



Obr. 3 Charakteristika významných srážkových událostí v řešeném území – (a) úhrny srážek uvedené ve „Studii odtokových poměrů VRV“, (b) návrhové srážky pro srážkoměrnou stanici Nový Hradec Králové podle projektu PERUN.

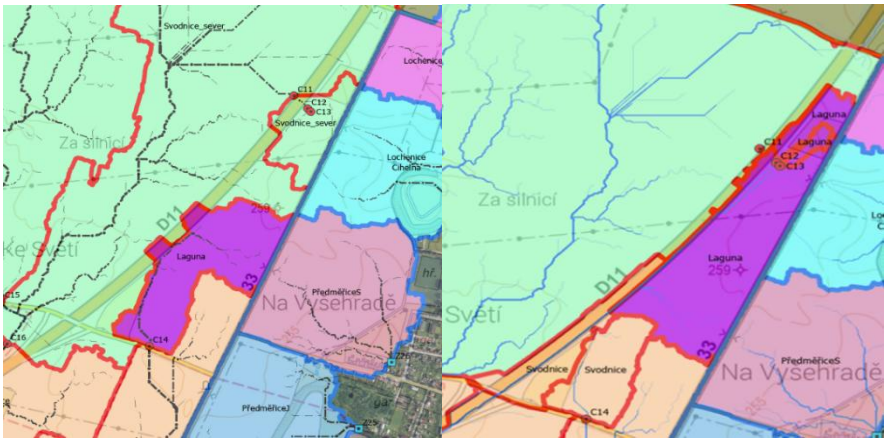
V hydrologickém modelování byly posuzovány také objemově menší, avšak intenzivní srážkové události na již nasyceném povodí. Vedle návrhových 24hodinových srážek byly zohledněny také krátkodobé konvektivní srážky, které představují dominantní mechanismus vzniku intenzivního povrchového odtoku v malých povodích (Kavka et al., 2023).

4.1 Prostorová analýza území

V první fázi byla provedena prostorová analýza řešeného území založená na digitálním modelu terénu před a po realizaci dálnice. Na jeho základě byla vymezena dílčí povodí, přirozené odtokové dráhy a údolnice a byla identifikována místa, kde silniční těleso mění směr nebo koncentraci povrchového odtoku. Pozornost byla věnována zejména lokalitám, kde dochází k převádění vody prostřednictvím příkopů, propustků a dalších odvodňovacích objektů a kde se mění velikost přispívajících ploch.

4.2 Hydrologické modelování změn odtoku

Na základě prostorové analýzy a hydrologického modelu bylo provedeno porovnání odtokových poměrů před realizací dálnice a po jejím dokončení. Pro výpočet přímého odtoku byla použita metoda SCS-CN pro návrhové srážkové události při zvýšeném nasycení území. Hodnoceny byly změny objemu povrchového odtoku, velikosti přispívajících ploch, koncentrace odtoku do jednotlivých profilů a zatížení odvodňovacích objektů. Výsledky ukázaly, že celková změna objemu odtoku z celého území byla nevýznamná, avšak v některých částech území došlo k výrazným lokálním změnám směrování a tím i objemu přímého odtoku.



Obr. 4 Porovnání změn hranic dílčích povodí a odtokových drah před realizací a po realizaci liniové stavby. Vznik lokální bezodtoké oblasti v důsledku přerušení přirozeného odtoku (fialově).

4.3 Geotechnická interpretace výsledků

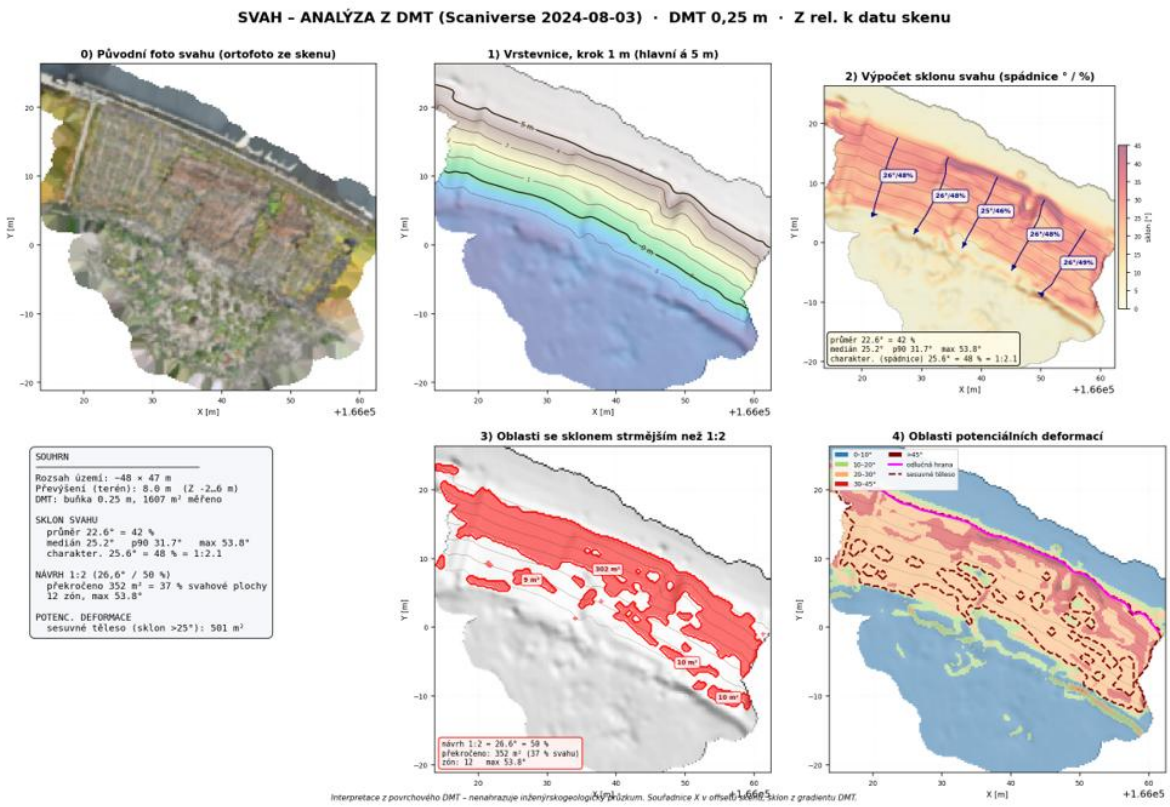
Druhým klíčovm pohledem je interpretace dopadáů srážkových extrémů z geotechnického hlediska s cílem identifikovat lokality, kde mohou změny odtokového režimu představovat potenciální rizikový faktor pro stabilitu zemních konstrukcí. Pozornost byla zaměřena zejména na místa s významnou změnou směrování povrchového odtoku, lokální koncentrací vody, možností její akumulace a zvýšeným rizikem erozního působení nebo dlouhodobého ovlivnění vlhkostního režimu zemních těles.

Rizikové mohou být zejména zemní konstrukce s výraznou heterogenitou materiálů, kde dochází ke kombinaci propustnějších povrchových vrstev a méně propustného podloží. Při intenzivních srážkách může docházet k rychlému nasycení svrchních vrstev, zatímco odtok vody do hlubších vrstev je omezen. Výsledkem může být vznik lokálního zvýšení pórových tlaků, omezení infiltrační kapacity a snížení stability povrchových částí svahu. Tento mechanismus byl pozorován také u mělkých deformací násypových těles liniových dopravních staveb v oblasti Hradce Králové, kde po extrémních srážkových událostech v roce 2024 došlo k poruchám povrchových vrstev násypů (Mráz et al., 2026).

Pro ověření skutečného rozsahu a dynamiky případných deformací lze v identifikovaných rizikových lokalitách využít metody prostorového monitoringu, například opakované 3D skenování povrchu. Porovnání časových řad digitálních modelů povrchu umožňuje stanovit změny geometrie svahu, lokalizovat oblasti s nepříznivými sklonovými poměry a identifikovat partie náchylné k povrchovým deformacím. Tyto metody představují vhodný doplněk ke klasickým geotechnickým postupům a umožňují přesnější lokalizaci problémových oblastí.

V rámci doplňujícího hodnocení byla provedena prostorová analýza povrchu svahu na základě opakovaného 3D skenování ve dvou časových etapách (srpen a říjen 2024). Vstupem analýzy byla barevná mračna bodů s celkovým počtem přibližně 1 milion bodů. Z jednotlivých mračen bodů byly sestaveny digitální modely terénu (DMT) s velikostí buňky 0,25 m. Povrch terénu byl v každé buňce aproximován 20. percentilem výšek bodů s cílem omezit vliv vegetace a lokálního šumu. Chybějící hodnoty byly doplněny lineární interpolací a výsledný model byl následně mírně vyhlazen. Z digitálních modelů byly odvozeny sklonové charakteristiky svahu a vymezeny oblasti se sklony překračujícími návrhovou hodnotu 1:2.

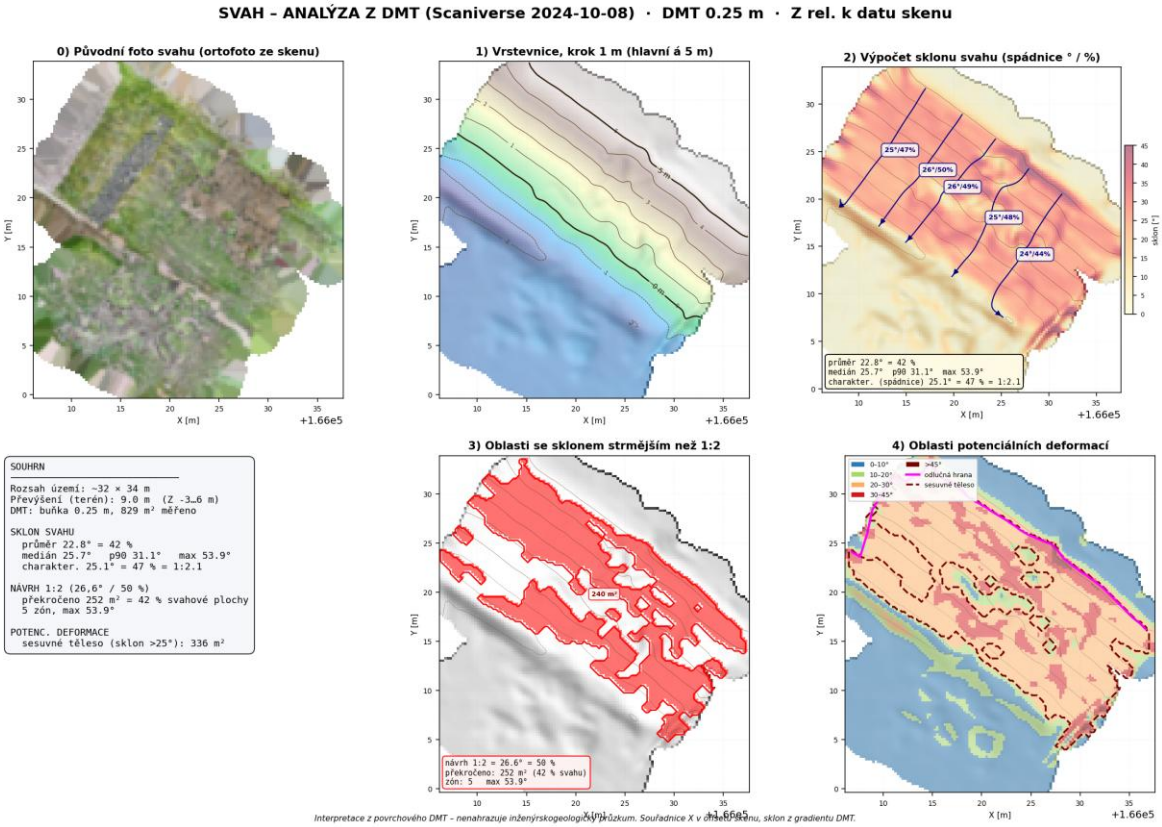
Výsledky prostorové analýzy první časové etapy (srpen 2024) jsou uvedeny na obr. 5, který znázorňuje ortofoto zájmové lokality, digitální model terénu, mapu sklonů a vymezení oblastí s překročením návrhového sklonu 1:2.



Obr. 5 Prostorová analýza svahu ze srpna 2024 pomocí 3D skenování – ortofoto, model terénu, mapa sklonů a vymezení oblastí se zvýšeným rizikem povrchové nestability.

Analýza výsledků ukázala, že svah v obou sledovaných obdobích vykazoval obdobné morfometrické charakteristiky. Průměrný sklon svahu dosahoval přibližně 22,7° a charakteristický sklon byl přibližně 25°, což odpovídá poměru okolo 1:2,1. Současně byly v obou etapách identifikovány rozsáhlé partie se sklony vyššími než návrhová hodnota 1:2. Tyto oblasti byly soustředěny zejména do souvislého pásu pod horní hranou svahu a představují z hlediska povrchové stability nejvíce exponované části svahu.

Výsledky prostorové analýzy druhé časové etapy (říjen 2024) jsou uvedeny na obr. 6. Z porovnání obou etap vyplývá, že v hodnoceném období nedošlo k výrazné plošné změně geometrie svahu. Rozdíly v rozsahu vymezených ploch jsou ovlivněny zejména odlišným rozsahem snímaného území v jednotlivých termínech. Přesto i v říjnu 2024 přetrvávaly oblasti s nepříznivými sklonovými poměry, které mohou být citlivé na další působení vody a rozvoj povrchových deformací.



Obr. 6 Prostorová analýza svahu z října 2024 pomocí 3D skenování – ortofoto, model terénu, mapa sklonů a vymezení oblastí se zvýšeným rizikem povrchové nestability.

Z výsledků prostorové analýzy vyplývá, že svah v obou termínech vykazoval rozsáhlé partie strmější než návrhový sklon 1:2, soustředěné zejména do pásu pod horní hranou svahu. Tyto plochy představují potenciálně oslabené zóny z hlediska povrchové stability, kde může při zvýšeném nasycení povrchových vrstev docházet k rozvoji erozních procesů nebo mělkých svahových deformací. Z tohoto důvodu by měly být tyto partie přednostně sledovány v rámci geotechnického monitoringu a v případě potvrzení nepříznivého vývoje řešeny vhodnými stabilizačními nebo odvodňovacími opatřeními.

Případová studie potvrzuje, že samotné hodnocení změn odtokových poměrů neposkytuje dostatečné informace o možných dopadech na stabilitu zemních konstrukcí. Teprve propojení prostorové analýzy, hydrologického modelování a geotechnické interpretace umožňuje komplexně vyhodnotit rizikové lokality a navrhnout odpovídající preventivní nebo sanační opatření. Integrovaný přístup umožňuje nejen zpětné posouzení vlivu extrémních srážkových událostí, ale také včasnou identifikaci potenciálně problematických míst při návrhu, provozu a údržbě liniových dopravních staveb.

5. Závěr

Silniční stavby představují významný zásah do přirozených odtokových poměrů krajiny. Přestože realizace komunikace nemusí vést k významné změně celkové hydrologické bilance povodí, může způsobovat lokální změny odtokového režimu v důsledku ovlivnění přirozených odtokových drah, změny velikosti přispívajících ploch a koncentrace povrchového odtoku do konkrétních míst. Tyto změny mohou podporovat vznik erozních procesů, ovlivňovat vlhkostní režim zemních těles a představovat jeden z faktorů přispívajících ke vzniku nebo aktivaci mělkých svahových deformací.

Případová studie dálnice D11 ukázala, že pro objektivní posouzení vlivu liniových staveb na okolní území není dostačující hodnotit pouze změny hydrologických charakteristik přispívajících povodí. Zásadní význam má jeho kombinace s geotechnickým hodnocením, především ve vztahu ke stabilitě násypů, zářezů a dalších zemních konstrukcí. Významnou roli přitom nemusí hrát pouze množství přitékající vody, ale zejména její lokální koncentrace, způsob proudění, infiltrační podmínky a změny pórových tlaků v zemním tělese.

Z provedených analýz vyplývá potřeba komplexnějšího přístupu k návrhu a hodnocení liniových staveb. Již ve fázi přípravy projektové dokumentace je vhodné posuzovat nejen kapacitu jednotlivých odvodňovacích objektů, ale také širší vliv stavby na změnu odtokových drah, srážko-odtokové vztahy a možné geotechnické důsledky těchto změn. Součástí hodnocení by mělo být posouzení vlivu vody na stabilitu zemních konstrukcí, včetně

možných náhlých změn pórových tlaků při kombinaci extrémních srážek, povrchového odtoku a případného působení podzemní vody.
Výsledky současně ukazují na význam vhodného návrhu geometrie zemních konstrukcí a odvodňovacích opatření V rizikových lokalitách může být vhodné uvažovat mírnější sklony svahů, využití vyztužených zemních konstrukcí nebo doplnění odvodňovacích prvků v horních partiích svahů. Nezbytnou součástí dlouhodobé funkce zemních těles je také pravidelná kontrola a údržba stávajících odvodňovacích zařízení, zejména příkopů, žlabů, vpustí a dalších prvků umožňujících bezpečný převod povrchových vod.
U zemních těles tvořených technologicky upravenými zeminami je nutné věnovat pozornost také dlouhodobému chování jednotlivých vrstev a jejich vzájemnému působení. Rozdílné vlastnosti stabilizovaných vrstev a humózních povrchových vrstev mohou ovlivňovat infiltrační poměry, retenční schopnost povrchu a rozvoj vegetačního krytu. Při návrhu a realizaci těchto konstrukcí je proto vhodné zohlednit nejen mechanické parametry zeminy, ale také dlouhodobý vliv vody, vegetace a změn vlastností jednotlivých vrstev v průběhu životnosti stavby.
Pro ověření skutečného chování zemních konstrukcí je vhodné využívat kombinaci geotechnického a geodetického monitoringu. V rizikových lokalitách lze doporučit zejména sledování deformací pomocí geodetických metod, doplněné například o měření pórových tlaků pomocí piezometrů, ideálně již v průběhu výstavby. Moderní metody prostorového monitoringu, jako je opakované 3D laserové skenování nebo využití vláknově optických senzorů, mohou představovat vhodný doplněk klasických monitorovacích metod a umožnit včasnou identifikaci změn geometrie nebo napjatostního stavu zemních konstrukcí.
Případová studie potvrzuje význam mezioborového přístupu při hodnocení vlivu liniových staveb na okolní prostředí. Efektivní návrh a správa dopravní infrastruktury vyžaduje spolupráci hydrologů, vodohospodářů, hydrogeologů, geotechniků a dopravních specialistů již ve fázi přípravy projektu. Vytvoření srážko-odtokových modelů a jejich propojení s geotechnickým hodnocením může významně přispět k lepší identifikaci rizik a návrhu účinných preventivních opatření.
Uvedené závěry nejsou významné pouze pro dálniční a silniční stavby vyšších tříd, ale obdobné principy lze uplatnit také u komunikací nižších kategorií, například lesních a polních cest. I u těchto liniových staveb může nevhodné vedení trasy, nedostatečné odvodnění nebo změna přirozených odtokových drah ovlivňovat erozi, vodní režim území a dlouhodobou stabilitu zemních konstrukcí (Zlatuška et al., 2020).

Poděkování
Příspěvek vznikl za podpory Ředitelství silnic a dálnic s. p. V příspěvku jsou využity výsledky a poznatky ze studie „Posouzení míry vlivu dálnice D11 v úseku km 94,5–100,0 na odtokové poměry území“, zpracované pro potřeby hodnocení vlivu dopravní infrastruktury na okolní území.

Seznam literatury
P. Kavka, M. Kašpar, M. Muller, and a kol., “Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině,” p. 85, 2023.
Mishra S. K., Singh V. P., 2003: *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. – Springer Netherlands, Water Science and Technology Library. Dordrecht. ISBN 978-90-481-6225-3.
Mráz V., Vacek J., Dvořák P., 2026: *Innovative approaches to a solution for surface deformations on earth structures of linear traffic construction*. - Acta Polytechnica CTU Proceedings. Vol. 56, pp. 8–15. DOI: https://doi.org/10.14311/APP.2026.56.0008.
Podhrázská J. et al., 2024: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. – Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i. Praha. ISBN 978-80-88664-00-0.
Strouhal L. et al., 2021: *Fyzikální a hydropedologické vlastnosti půd nejen pro návrh společných zařízení v rámci PÚ*. – Pozemkové úpravy, 2021, roč. 29, č. 2, s. 9–17.
Tolasz R. et al., 2024: *PERUN – Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku*. – Český hydrometeorologický ústav a další řešitelské organizace. Praha. Dostupné z: https://www.perun-klima.cz/
VRV, a.s., 2025: *Posouzení míry vlivu dálnice D11 v úseku km 94,5–100,0 na odtokové poměry území*. – Studie odtokových poměrů. Praha.
Zlatuška K., Bystrický R., Ježek J., Natov P., Sekanina A., Tománek J., 2020: *Technická doporučení pro projektování lesní dopravní sítě*. – Ministerstvo zemědělství ČR & Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra lesnických technologií a staveb. Praha. 124 s. ISBN 978-80-7434-556-2.

NOVÉ VÝSLEDKY VÝZKUMU V RÁMCI PROJEKTU RENS NA SESUVECH BŘEZNO U POSTOLOPRT A DNEBOH

Ing. Jan Novotný, CSc.

E-mail: jan.novotny@geology.cz
Česká geologická služba, Klárov 3, Praha 1

Další autoři: Jan Jelének, Roman Hadač, Martin Alexa, Jakub Roháč, Milan Aue

Abstrakt:
Příspěvek stručně uvádí nové výsledky výzkumu na dvou sesuvných lokalitách.

V případě sesuvu Březno se jedná o potvrzení základního mechanismu chování komplexního sesuvu na příkladu inženýrskogeologického modelu, které bylo v dané formě prvně publikováno v roce 2014 (Novotný 2014). V rámci nových prací byla s jistotou ověřena hloubka smykové plochy a inklinometrickým měřením pohyby na ní. Současně jsou k dispozici i geodetická měření pohybů sesuvu v jeho různých částech. Rychlost geologických procesů lze na lokalitě dokumentovat geologickými metodami v dlouhodobém měřítku i geodetickými metodami v krátkém časovém intervalu několikaletého sledování, významnou metodou je i pomoci použití UAV.

Na sesuvu Dneboh proběhlo nové mapování a došlo ke zpřesnění obrysu sesuvu a jeho vnitřní struktury. Hlavní výstupy se týkají stanovení hloubky smykové plochy sesuvu, která v čase prošla různými interpretacemi. Původně kruhová smyková plocha podle Záruby et al. (1966) byla v minulosti nahrazena složenou rotačně planární smykovou plochou mělčího hloubkového dosahu (Rybář et al. 2006). Podle současných informací lze tuto představu Rybáře et al. (2006) potvrdit s tím, že smyková plocha je pravděpodobně ještě o něco mělčí a dosahuje 20 až 25 m. Geofyzikální práce potvrdily výskyt písčitých sedimentů klínovitého tvaru v odlučné oblasti sesuvu, které se také mohly významným způsobem uplatit při jeho aktivizaci.

Stručně budou komentovány výstupy nově provedených laboratorních zkoušek na obou sesuvech. Uvedeny budou pro oba sesuvy informace o kolísání hladiny podzemní vody.

INFORMACE O NOVÉ KNIZE SESUVY NA ÚZEMÍ PRAHY

Ing. Jan Novotný, CSc.

E-mail: jan.novotny@geology.cz
Česká geologická služba, Klárov 3, Praha 1

Další autoři: Petr Kycl, Milan Aue

Abstrakt:
Kniha je první komplexně zpracovanou monografií o svahových pohybech na území Prahy. Seznamuje čtenáře se sesuvy, které zde v minulosti způsobily značné škody, a někdy dokonce i ztráty na lidských životech. Díky podrobnému archivnímu výzkumu upozorňuje na události spolehlivě zaznamenané od počátku minulého století až do dnešních dnů.

Po úvodních částech, věnovaných klasifikaci svahových pohybů a příčinám jejich vzniku, jsou prezentovány konkrétní lokality, kde ke svahovým pohybům docházelo. Popisované svahové pohyby a výsledné svahové deformace byly rozděleny do hlavních kapitol podle příslušnosti ke čtyřem základním skupinám svahových pohybů – ploužení, sesouvání, stékání a řícení. Dostupné, a někdy i velmi obtížně dohledatelné informace o uvedených lokalitách autoři ověřili v terénu a zhodnotili aktuální stav těchto lokalit, včetně odhadu jejich vývoje v budoucnu. Kniha je zakončena kapitolou o vlivu člověka na vznik svahových pohybů na studovaném území. Textovou část bohatě ilustruje obrazová a fotografická dokumentace, která mnohdy zpřístupňuje dosud nepublikované materiály. Součástí publikace je i Schematická mapa svahových deformací na území Prahy.

Monografie je určena nejen odborné veřejnosti, ale také čtenářům, kteří se zajímají o problematiku sesuvů nebo o samotnou Prahu, jejíž vývoj svahové pohyby ovlivňují.

PORUŠENÍ SILNICE ROZSÁHLÝM SESUVEM U OBCE EL ASERRADO V PERU – KOMPLIKACE V OBLASTI A JEJICH ŘEŠENÍ

ROAD DAMAGE CAUSED BY A MASSIVE LANDSLIDE NEAR EL ASERRADO IN PERU – PROBLEMS AND SOLUTIONS

Jan Valenta[1]

[1]*TEXGEO s.r.o., Ve Vejtrži 118, 267 18, Hlásná Třebaň, e-mail: jan.valenta@texgeo.cz*

Abstrakt: Vznikem sesuvu v blízkosti obce El Aserrado v Peru byl prakticky zcela přerušen provoz do rozsáhlé oblasti s velmi omezenou možností objízdných tras. Sesuvem délky přibližně 4 km byl přehražen vodní tok, vznikla přírodní hráz a došlo k nastoupání hladiny o cca 60 m nad původní úroveň. Po následném protržení přehrady došlo ke škodám dále po proudu. Příčinou sesuvu je nevhodná orientace vrstevních ploch po svahu ve sklonu 5 až 15° a střídání masivních vápenců a podložních jílovců v kombinaci se seismickým zatížením. Výsledkem práce je návrh alternativních tras pro vedení komunikace po sesuvném území.

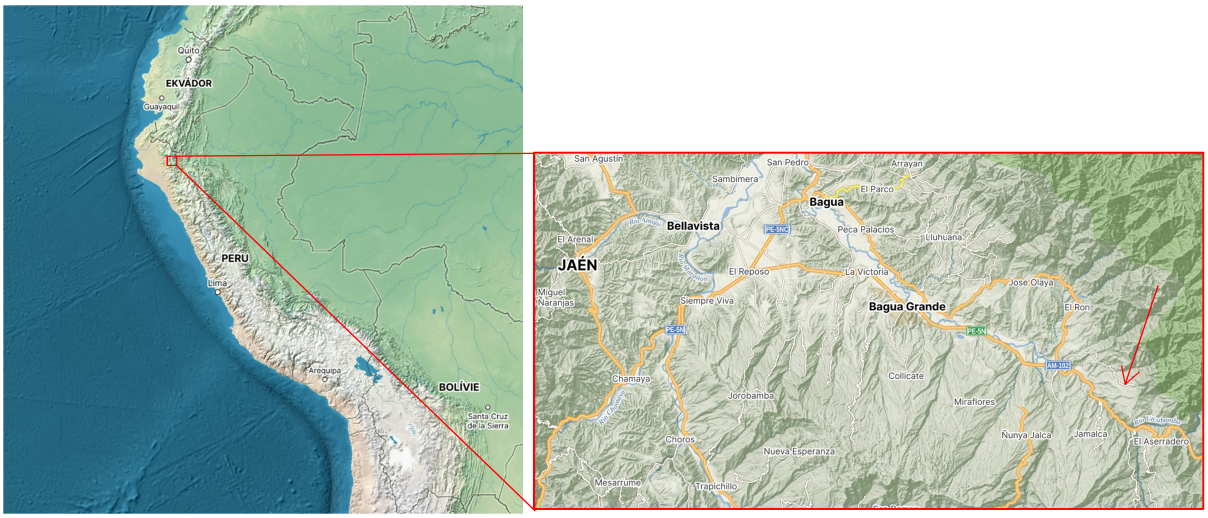
Abstract: Landslide near the village of El Aserrado in Peru virtually severed access to area where detour options are extremly limited. The landslide caused the river level to rise by 60 m and the subsequent flood caused significant damage downstream. The landslide was caused by unfavorable orientation of bedding planes dipping downslope at angles of 5° to 15° and the alternation of massive limestones with underlying clastones, combined with seismic loading. The study concludes with a proposal for alternative road alignments.

Klíčová slova: sesuv, trasování silnice, Peru

Key words: landslide, road alignment, Peru

1. Úvod

Na konci roku 2021 došlo v Peruánských Andách k rozsáhlému sesuvu, který prakticky znemožnil dopravní obsluhu rozsáhlé oblasti. V místě sesuvu byly již známé předchozí sesuvné události, které částečně přerušily provoz na silnici PE-5N i v minulosti. Po dalším rozsáhlém sesuvu bylo rozhodnuto místní autoritou k prošetření příčin svahového pohybu a návrhu vedení trasy silnice tak, aby již nebyla ohrožena sesuvnými pohyby. Umístění lokality je patrné z obr. 1. Původní silnice vedla podél řeky Utcubamba, která je v celé délce horskou dravou řekou délky cca 250 km. Sesuv se nachází v její spodní části před ústím do řeky Río Marañón.



Obr. 1 Umístění lokality.

Fig. 1 Site location.

2. Popis události

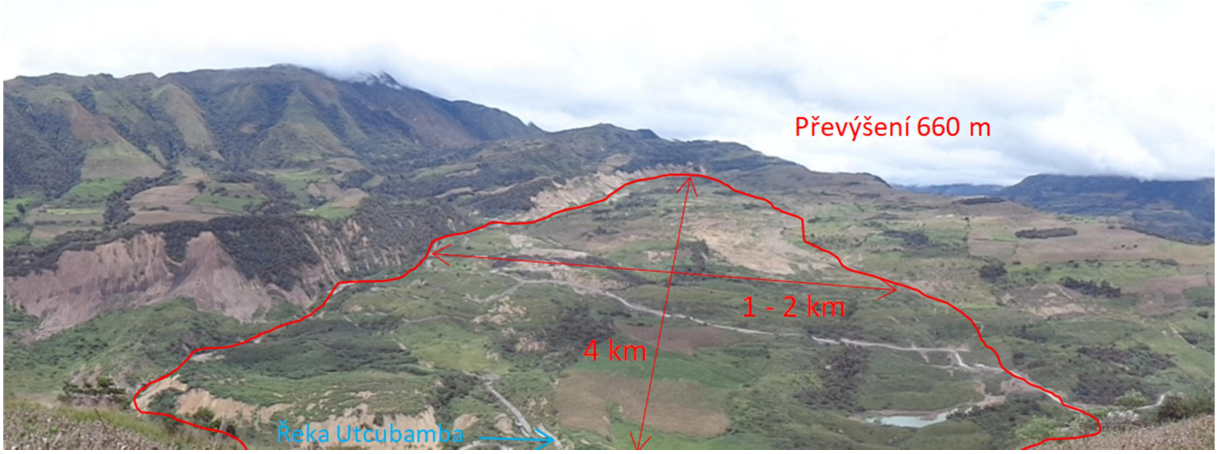
Podle záznamů z oblasti došlo dne 28. 11. 2021 k zemětřesení o síle 7,5 stupně ve vzdálenosti cca 200 km severovýchodně od lokality a bylo v hloubce 131 km. Došlo k sesuvu v oblasti silnice v délce cca 6 km. Byla zcela zničena osada Pueblo Nuevo. Bylo zničeno celkem 55 domů. Sesuv v akumulační části přehradil údolí řeky Utcubamba a došlo k nástupu hladiny za přehradou až do 60 m výšky. Dva mosty přes řeku byly zatopeny a následně sedimentací materiálu zaneseny. Dne 2. prosince 2021 začala voda přes přehrazené koryto přetékat a postupně nabírala na síle až do průtoku 912 m^3/s (maximální zaznamenaný průtok v období od roku 2018 byl 420 m^3/s). Dále po toku došlo ke zničení lávky pro pěší Los Patos. Byly porušeny opěry třech silničních mostů a jedné lávky pro pěší. Rovněž bylo zničeno 205 domů. Bylo zaplaveno 80 hektarů zemědělské půdy, která byla částečně zcela zničená erozí.

Obr. 2 Porušení silnice sesuvem.
Fig. 2 Road damage caused by a landslide.

Obr. 3 Zničení mostu akumulací materiálu.
Fig. 3 The bridge destruction due to material accumulation.

3. Příčiny sesuvu

V rámci zjišťování příčin sesuvu byla celá oblast důkladně prochozena a zmapována. V oblasti sesuvu se nachází výchozy sedimentárních hornin skupiny Quiliñan. Jedná se o šedé vápence, které se střídají s polohami jílovců. Z geomorfologického hlediska se lokalita nachází na strukturním svahu a sklon terénu kolísá mezi 5 a 15 °. Při patě sesuvu byl původně strmý svah 25 až 45°, který byl formován jak erozí řeky Utcubamba, tak lidskou činností – prudké zářezy původní komunikace.
Hlavní příčinou je tedy nevhodná orientace vrstevních ploch po svahu v kombinaci s odlehčením paty svahu. Jedná se o sesuv podél rovinné smykové plochy. Bloky vápenců jsou transportovány po jílovcích. Celková délka sesuvu v ose je cca 4 km, šířka sesuvu kolísá mezi 1 až 2 km. Výškové převýšení mezi odlučnou stěnou a patou sesuvu je 660 m. Odhadovaný horizontální posun je cca 200 m. Vertikální posun je cca 20 až 40 m.



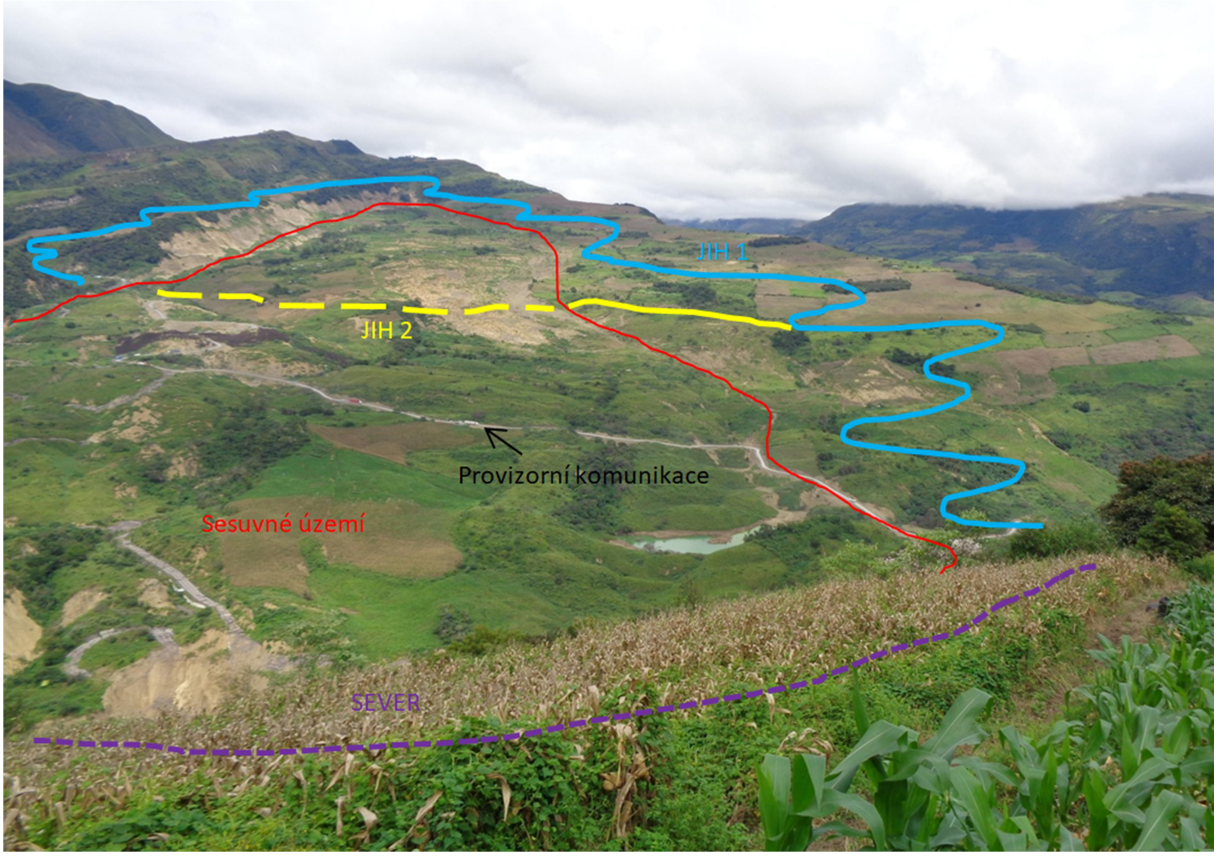
Obr. 4 Celkový pohled na sesuvné území.
Fig. 4 Overall view of the landslide area.

Obr. 5 Bloky porušených vápenců v místě sesuvu.
Fig. 5 Block of fractures limestones at the landslide area.

4. Návrh řešení

Vzhledem k tomu, že silnice PE-5N má velmi obtížnou objízdnou trasu, tak ihned po sesuvné události byla doprava převáděna po sesuvném území, které bylo stále aktivní. Rychlost sesouvání bylo kontinuálně měřeno a pohybovalo se v době prováděných prací (květen 2022) cca 5 cm/týden. Na místě byla přítomná stálá služba s technikou, která udržovala povrch komunikace sjízdný (štěrkováním) a případně pomáhala při uvíznutí nákladních vozidel a autobusů na trase. Návrh řešení byl místní autoritě předložen variantně:

- Varianta JIH 1 - vedení trasy v místech, kde je podloží stabilní a při dodržení podmínek výstavby proti aktivizaci nových sesuvů (eliminace zářezů v kritických místech, bezpečné odvedení povrchové vody) se jedná o dlouhodobě stabilní řešení. Nevýhodou varianty je značná délka trasy.
- Varianta JIH 2 - vedení trasy jižní přes stávající sesuvné území, ale pouze horizontálně s detaily napojovacích míst, kde by bylo provedeno opatření pro rychlou eliminaci výškových rozdílů při případné další sesuvné události
- Varianta SEVER - Vedení trasy severní krátkou trasou podél řeky Utcubamba. Řešení ale předpokládá vybudování dvou značných mostních konstrukcí přes řeku. Výhodou varianty je nejkratší trasa.



Obr. 6 Celkový pohled na stavební jámu situovanou v sesuvu.
Fig. 6 General view of a open pit situated in a landslide body.

4. Závěr

Místní autoritě bylo předloženo variantní řešení vedení komunikace v sesuvném území. Dále byly prezentovány příčiny vzniku sesuvu a jeho pravděpodobné chování do budoucna, kdy bude k sesouvání docházet i nadále vlivem erozní činnosti řeky Utcubamba. Rychlost sesuvu může být v budoucnu akcelerována seismickým zatížením v oblasti. Doporučeným řešením, které se jeví v místních podmínkách optimální je varianta JIH 2, kde za cenu vedení komunikace po vrstevnici v sesuvu bylo možné maximálně krátit vlastní trasování nově budované komunikace. Bohužel po cca dvou letech provizorního provozu a zdánlivě uklidnění svahových pohybů došlo k politickému řešení a na provizorní komunikaci byl jednoduše položen asfalt. Je velmi pravděpodobné, že o reaktivaci sesuvu bude v budoucnu ještě slyšet.

Seznam literatury

Costa J., Schuster L., 1988: *The formation and failure of natural dams.* – Geological society of American Bulletin, ročník 100, č. 7. s 1054-10687.

Sekce 12

Laboratorní testování v mechanice zemin a hornin

ZMĚNY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ HORNIN V DŮSLEDKU VYSOKÝCH TEPLOT A LESNÍCH POŽÁRŮ

CHANGES IN THE MECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS DUE TO HIGH TEMPERATURES AND WILDFIRES

Jan Blahůt[1], Ghazaal Rastjoo[1,2], Ondřej Racek[1], Xuan-Xinh Nguyen[1], Artem Polezhaev[1], Marco Loche[1,2]

[1]Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i., V Holešovičkách 94/41, 182 09 Praha 8, e-mail: blahut@irsm.cas.cz
[2] Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 43 Praha 2

Abstrakt: Tento příspěvek představuje výsledky rozsáhlé studie vlivu tepelného šoku na fyzikálně-mechanické vlastnosti hornin v České republice. Na vzorcích ze 137 lokalit, zahrnujících vyvřelé a metamorfované horniny, pískovce, vápence a vulkanity, bylo provedeno stupňované, rychlé a krátkodobé zahřátí až na 800 °C. Následně byly změřeny dynamické elastické moduly a provedeno celkem 685 zkoušek v příčném tahu, 274 zkoušek v prostém tlaku a 411 zkoušek lomové houževnatosti. Výsledky ukazují na progresivní změnu dynamických parametrů i pevnosti u zahřívaných vzorků, ale i na heterogenní odezvu uvnitř i napříč litologickými skupinami.

Abstract: This paper presents the results of an extensive study of the effect of thermal shock on the physical and mechanical properties of rocks in the Czech Republic. Samples from 137 locations—including igneous and metamorphic rocks, sandstones, limestones and volcanic rocks—were subjected to step-wise, rapid, short-term heating up to 800 °C. Subsequently, dynamic elastic moduli were measured, and a total of 685 transverse tensile tests, 274 uniaxial compression tests, and 411 fracture toughness tests were performed. The results indicate a progressive change in the dynamic parameters and strength of the heated samples, as well as a heterogeneous response both within and across lithological groups.

Klíčová slova: pískovce, vápence, vulkanity, vyvřelé a metamorfované horniny, tepelný šok, fyzikálně-mechanické vlastnosti

Key words: sandstones, limestones, volcanic rocks, igenous and metamorphic rocks, thermal shock, physico-mechanical parameters

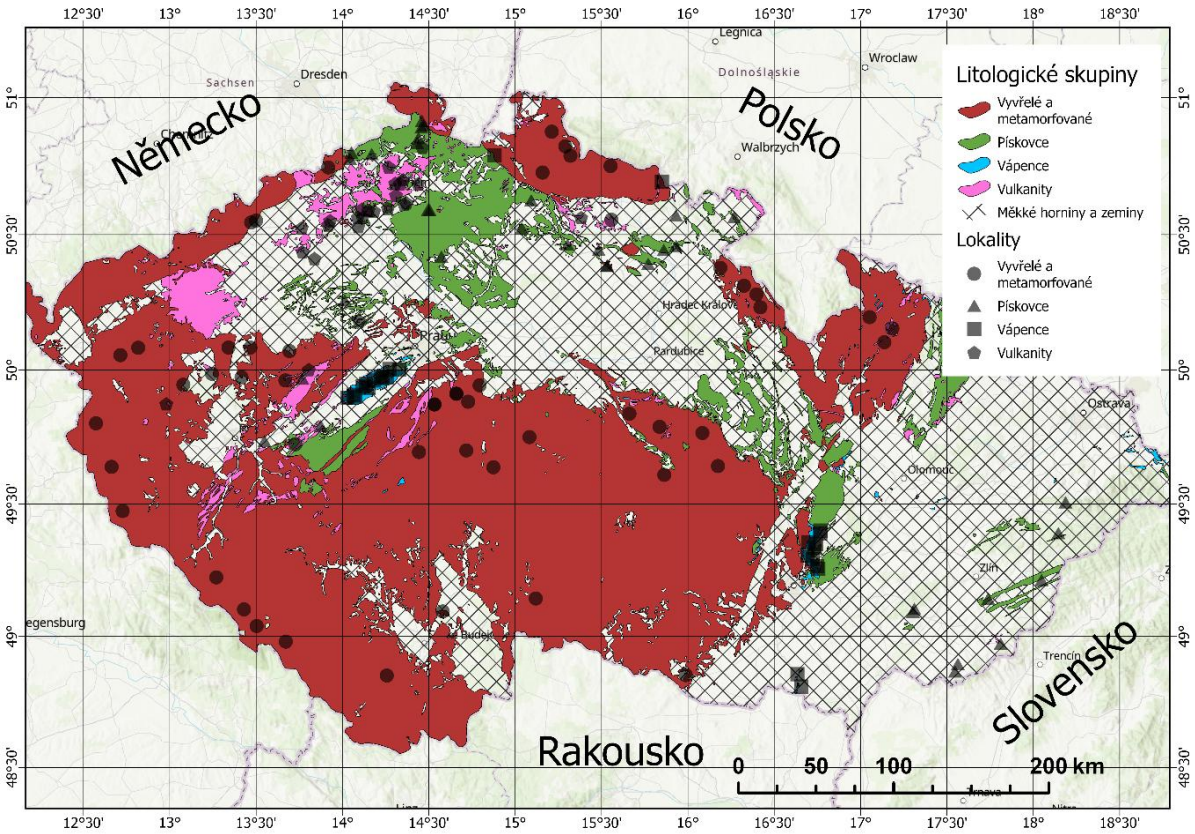
1. Úvod

Lesní požáry se v důsledku probíhajících klimatických změn stávají na území střední Evropy stále častějšími a intenzivnějšími, což má dopad nejen na ekosystémy, ale také na stabilitu a celistvost horninových masivů v oblastech náchylných k požárům (McCaffrey, 2004; Moreira et al., 2011). Vysoké teploty spojené s lesními požáry mohou měnit fyzikální a mechanické vlastnosti hornin (Nyman et al., 2019; Buckman et al., 2021), což má významný vliv na stabilitu svahů, rychlost zvětrávání a vývoj krajiny v postižených oblastech.
V této studii jsme zkoumali účinky tepelného šoku na mechanické vlastnosti hornin na celkem 137 vzorcích hornin ve čtyřech litologických skupinách: vyvřelé a metamorfované horniny, pískovce, vápence a vulkanity. Pro každou skupinu byly odebrány vzorky z minimálně 25 různých lokalit po celé České republice, aby byl zajištěn statisticky reprezentativní soubor dat, který pokrývá geologickou rozmanitost země. Zkušební tělíska byla podrobena rychlému krátkodobému zahřívání (5 minut) na cílové teploty 200 °C, 400 °C, 600 °C a 800 °C. Po každém kroku zahřívání byly měřeny změny rychlostí šíření P- a S-vln, což umožnilo výpočet dynamických modulů pružnosti a jejich změn. Následně byly vzorky podrobeny zkouškám v prostém tlaku, nepřímém tahu a lomové houževnatosti.

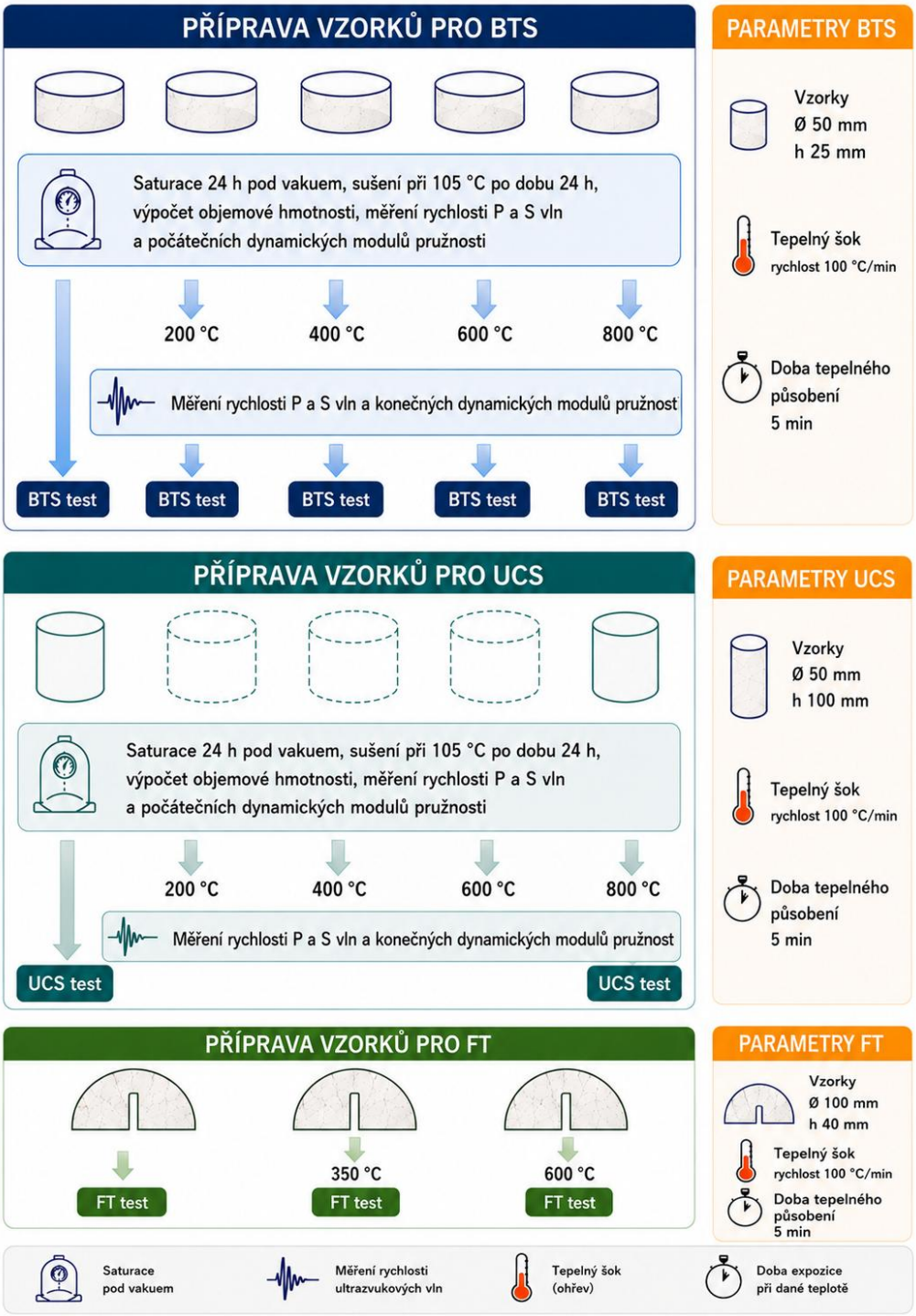
2. Metodika

Abychom zachytili velkou geologickou rozmanitost České republiky ve vztahu k existujícím skalním svahům, které by mohly být zasaženy lesními požáry, použili jsme inženýrskogeologickou mapu v měřítku 1:500 000 (obr. 1) (https://mapy.geology.cz/arcgis/rest/services/Geohazardy/IG_rajony500/MapServer), která je rozdělena do tříd odrážejících inženýrskogeologické vlastnosti hornin. S ohledem na přítomnost skalních výchozů a skalních svahů, které by mohly být lesními požáry zasaženy, byly tyto třídy seskupeny do čtyř kategorií: (i) vyvřelé a metamorfované horniny; (ii) pískovce; (iii) vápence; a (iv) vulkanické horniny (obr. 1). Celkem byly vzorky hornin odebrány na 137 lokalitách (52 vyvřelých a metamorfovaných hornin; 35 pískovců; 25 vápenců a 25 vulkanitů). Pro každou lokalitu bylo připraveno pět zkušebních tělísek pro brazilskou zkoušku v příčném tahu (BTS), dvě zkušební tělíska pro pevnost v prostém tlaku (UCS) a tři zkušební tělíska pro lomovou houževnatost (FT). Všechny

vzorky BTS a UCS byly po dobu 24 hodin vakuově nasyceny vodou při tlaku -1 atm, aby bylo zajištěno úplné nasycení pórů, načež byla zaznamenána jejich nasycená hmotnost pro výpočet efektivní pórovitosti. Následně byly vzorky sušeny v sušárně při teplotě 105 °C po dobu 24 hodin, v souladu s metodami doporučenými ISRM (Ulusay a Hudson, 2007). Po ochlazení na pokojovou teplotu byly vzorky změřeny, zváženy a vypočítána jejich objemová hmotnost. Po vysušení byla na všech vzorcích BTS a UCS provedena prozáření P a S vlnami za účelem posouzení jejich výchozích stavů a následných změn dynamických elastických vlastností během tepelného zatěžování.
Při laboratorním měření UPV byly použity dva páry rezonančních ultrazvukových snímačů Olympus (V103 pro P-vlny, V153 pro S-vlny) s rezonanční frekvencí 1 MHz, přičemž vzdálenost mezi středy snímačů byla udržována na konstantní hodnotě cca 25 mm u vzorků BTS a cca 100 mm u vzorků UCS. Na základě experimentálně stanovených rychlostí vlnění bylo možné vypočítat dynamické elastické parametry, jako je Youngův modul (Ed), smykový modul (Ud), Poissonův poměr (Vd) a objemový modul (Kd) (Schön, 2015).
Následně byly vzorky vystaveny řízenému rychlému tepelnému zatížení s využitím programovatelné laboratorní pece (CLASIC 1013). Zkušební tělíska BTS byla vystavena čtyřem krátkodobým fázím zahřívání na cílové teploty 200 °C, 400 °C, 600 °C a 800 °C. Byla použita konstantní rychlost ohřevu 100 °C/min a vzorky byly udržovány na každé cílové teplotě po dobu 5 minut, aby se zajistilo rovnoměrné rozložení tepla, než byly přirozeně ochlazeny na pokojovou teplotu. Obdobně se postupovalo i v případě zkušebních tělísek UCS, zatímco zkoušky FT, vzhledem k omezenému počtu vzorků, byly prováděny při teplotách 350 °C a 600 °C. Po každé fázi ohřevu bylo na vzorcích provedeno ultrazvukové měření.
Závěrem byla zkušební tělíska podrobena mechanickým zkouškám za účelem stanovení jejich odpovídající pevnosti v příčném tahu, v prostém tlaku a lomové houževnatosti v režimu I (ISRM, 1978). Zkoušky v příčném tahu a prostém tlaku byly provedeny při nepřetržitém zatížení a konstantní rychlosti posuvu až do porušení. U zkoušky lomové houževnatosti byl zvolen režim I. Přehledně je metodika zobrazena na Obr. 2.



Obr. 1 Přehledová mapa lokalit sběru hornin.
Fig. 1 An overview map of rock collection sites.



Obr. 2 Metodický postup zpracování vzorků hornin působením tepelného šoku.
Fig. 2 Methodological procedure for processing rock samples using thermal shock.

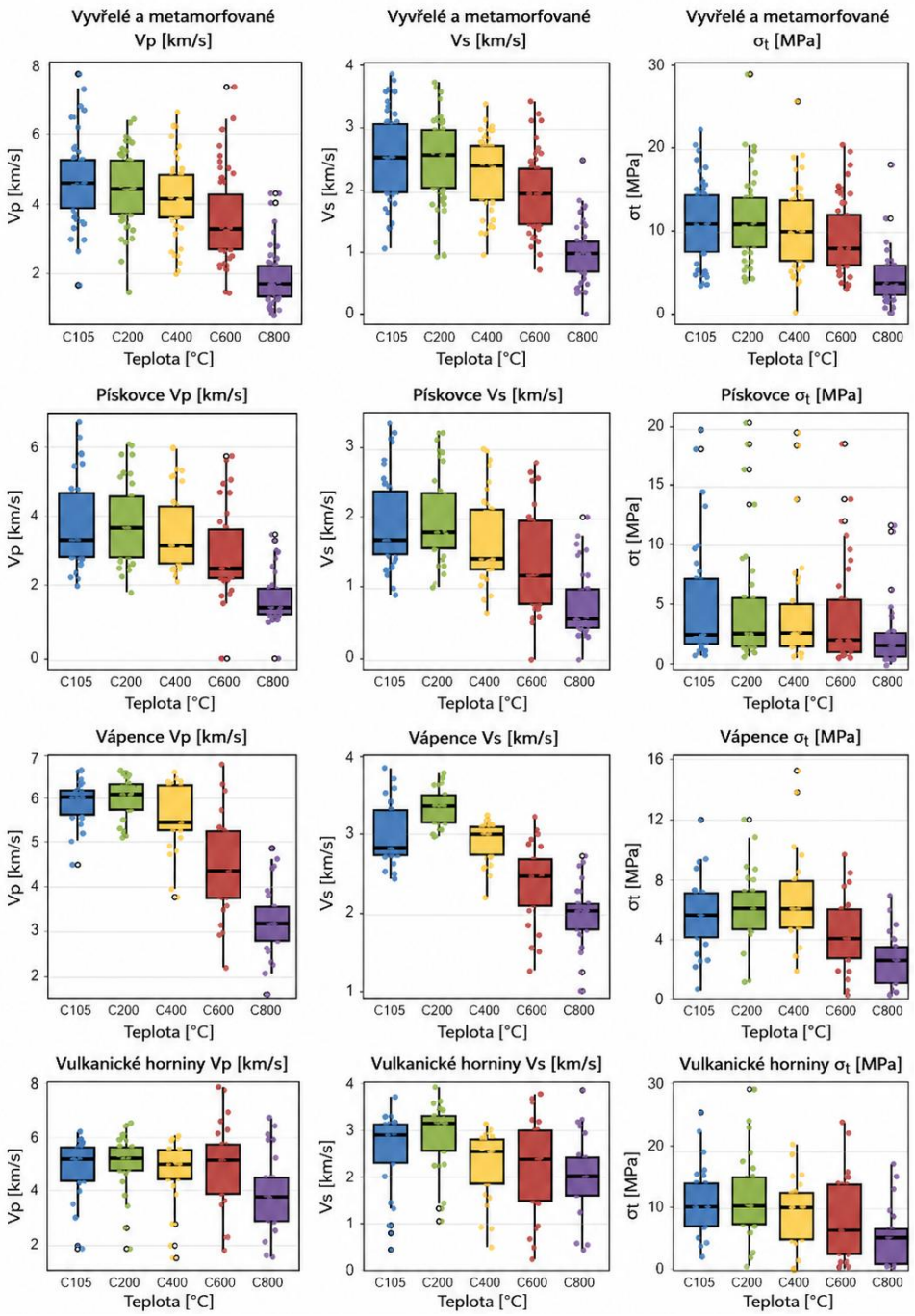
3. Výsledky

3.1 Ultrazvukové prozařování

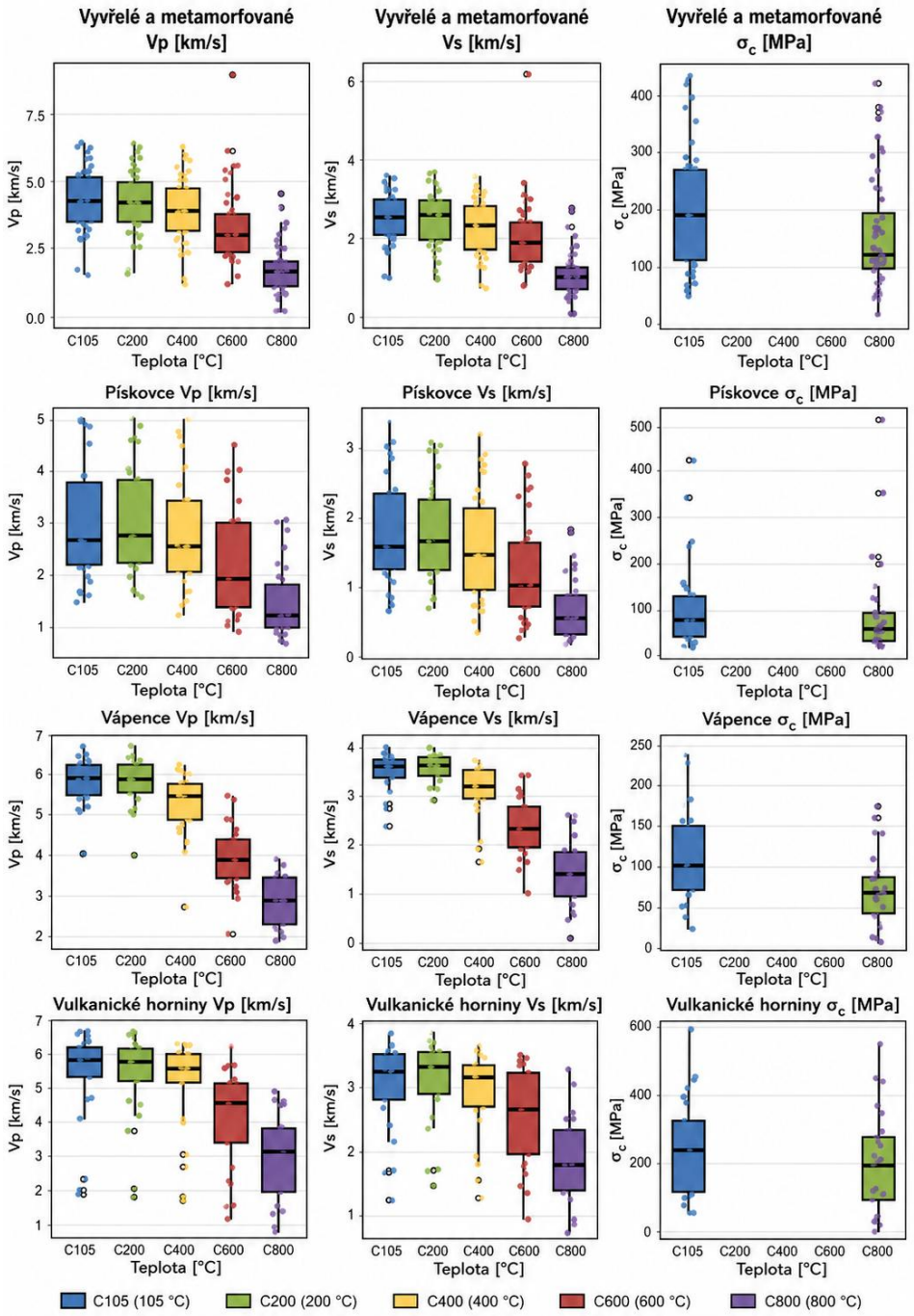
U vyvřelých a metamorfovaných hornin vykazují rychlosti P a S vln pokles s rostoucím teplotním zatížením. Rychlosti P-vln postupně klesají až do 400 °C, načež následuje prudší pokles v rozmezí 400–800 °C, přičemž většina hodnot dosahuje přibližně 40–60 % původní rychlosti (Obr. 3). Rychlosti S-vln vykazují podobný trend, i když pokles je o něco pozvolnější a hodnoty se při 800 °C snižují na 30–50 % původní hodnoty.

U pískovců se počáteční rychlosti P-vln pohybují kolem 3 km/s a zůstávají relativně stabilní až do 200 °C (Obr. 3). Při teplotách nad touto hranicí je pozorován postupný pokles, přičemž při 800 °C dosahují přibližně 50–70 %

výchozí hodnoty. Rychlosti S-vln vykazují pozvolnější pokles, při 800 °C se rychlosti S-vln obvykle pohybují v rozmezí 40–60 % počátečních hodnot.
U vápenců začínají rychlosti P-vln na hodnotách kolem 6 km/s a s rostoucím teplotním zatížením postupně klesají, přičemž vykazují lineárnější pokles ve srovnání s vyvřelými a metamorfovanými horninami a pískovci. Při 800 °C si většina vzorků zachovává 50–70 % své počáteční rychlosti P-vln, což naznačuje nižší tepelnou citlivost (obr. 3). Rychlosti S-vln klesají výrazněji, zejména nad 400 °C, přičemž konečné hodnoty při 800 °C se pohybují kolem 50–70 % původních hodnot.
Vulkanické horniny vykazují nejvariabilnější reakci na tepelné zatížení. Hodnoty rychlostí P-vln zůstávají až do 200 °C blízko počátečním hodnotám, poté nepravidelně klesají, přičemž některé vzorky si zachovávají více než 80 % původní rychlosti i při 800 °C a u jiných klesají téměř na 50 %. Hodnoty S-vln vykazují podobně nepravidelný pokles, přičemž při vysokých teplotách dochází k výrazným rozdílům mezi vzorky. Při 800 °C se rychlosti S-vln pohybují v rozmezí přibližně 40–80 % původních hodnot (Obr. 3). Obdobné výsledky vykazují i vzorky pevnosti v prostém tlaku (Obr. 4).



Obr. 3 Změny rychlostí P- a S-vln a pevnosti v příčném tahu pro tepelně zatížená zkušební tělíska BTS.
Fig. 3 Changes in P- and S-waves and tensile strengths for thermally treated BTS specimens.



Obr. 4 Změny rychlostí P- a S-vln a pevnosti v příčném tahu pro tepelně zatížená zkušební tělíska UCS.
Fig. 4 Changes in P- and S-waves and tensile strengths for thermally treated UCS specimens.

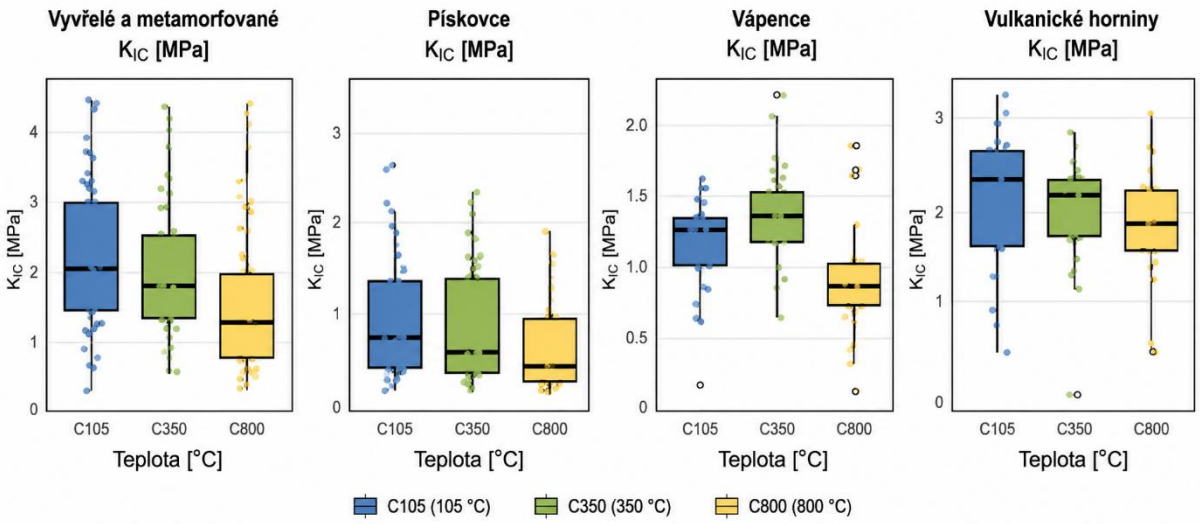
3.2 Destruktivní zkoušky

Výsledky zkoušek v příčném tahu u vyvřelých a metamorfovaných hornin odrážejí předchozí zjištění poklesu rychlostí P- a S-vln, tj.: mírný pokles při 200 °C a postupný pokles kolem 400 °C a 600 °C až k výraznějšímu poklesu při 800 °C (Obr. 3). U pískovců se pevnost v tahu zpočátku drží na průměrné úrovni s pouze nepatrným poklesem při 200 °C. Nicméně mezi 400 °C a 600 °C pevnost v tahu prudce klesá a při 800 °C dosahuje přibližně 30–40 % své počáteční hodnoty. Vzorky vápence vykazují pokles pevnosti v tahu, který začíná při 200 °C. Při 400 °C se pevnost v tahu drží bez zřetelných změn a při 600 °C klesá zhruba o 20 %. Při 800 °C je pevnost v tahu často snížena o přibližně 40–50 % své původní hodnoty. Naopak u vulkanitů pevnost v tahu zůstává relativně beze změn až do 200 °C. Při 400 °C se snížení pevnosti stává zřetelnějším. Při 600 °C se pevnost v tahu snižuje přibližně o 25 % a při 800 °C často klesá o 40 % své původní hodnoty.

U vyvřelých a metamorfovaných hornin se pevnost v prostém tlaku výrazně snižuje tepelným zatížením (Obr. 4). Rozložení hodnot pevností po zatížení až do 800 °C vykazuje podstatně nižší mediánové hodnoty a zúžené horní rozmezí ve srovnání s tepelně nezatíženými vzorky. Pískovce vykazují absolutně malé snížení pevnosti v prostém

tlaku, protože jejich počáteční pevnost v porovnání s ostatními horninami je velmi malá. Nicméně tepelná citlivost pískovců je značná, když dochází ke snížení mediánů po tepelném zatížení. Rovněž vápence vykazují pokles pevnosti v tlaku. Boxploty pro 800 °C vykazují jak nižší mediány, tak užší rozpětí, což naznačuje, že většina vzorků prochází významnou ztrátou pevnosti při zvýšené teplotě. Vulkanity opět vykazují variabilnější chování, ale i tak dochází k celkovému poklesu pevnosti v tlaku. Některé vzorky si při 800 °C zachovávají relativně vyšší pevnost, zatímco u jiných dochází k poklesu na nízké hodnoty, což zdůrazňuje heterogenní tepelné chování v rámci této litologické skupiny.

Vyvřelé a metamorfované horniny vykazují zřetelný pokles hodnoty K_{IC} (lomová houževnatost mód I) s rostoucí teplotou (Obr. 5). Hodnoty tepelně nezatížených vzorků nevykazují v porovnání se zatíženými na 350 °C významnější pokles. Při 600 °C nicméně hodnota K_{IC} prudce klesá, přičemž většina vzorků dosahuje nejnižšího rozsahu v datovém souboru, což odráží významnou tepelnou degradaci. Pískovce vykazují postupný pokles hodnoty K_{IC} v jednotlivých teplotních krocích. Při zatížení na 600 °C klesá medián K_{IC} na nízké hodnoty, přičemž užší rozložení naznačuje, že většina vzorků směřuje k podobně oslabenému stavu. Vápence vykazují neobvyklé chování hodnot K_{IC} v rozmezí do 350 °C, kdy často dochází i k nárůstu K_{IC}. Pokles se stává výraznějším při 600 °C, kde hodnoty K_{IC} výrazně klesají a variabilita se snižuje. Sopečné horniny vykazují opět nejvariabilnější reakci, přičemž hodnota K_{IC} při 350 °C klesá, ale zachovává si poměrně velký rozptyl, při 600 °C většina vzorků vykazuje silnější pokles. Několik vzorků si však zachovává relativně vyšší hodnotu K_{IC}.



Obr. 5 Změny lomové houževnatosti (K_{IC}) po tepelném zatížení
Fig. 5 Changes in Mode I fracture toughness after thermal treatment.

4. Závěr

Výsledky této studie ukazují na vysoce variabilní chování odebraných vzorků hornin mezi litologickými skupinami a uvnitř nich. V několika případech bylo po zahřátí na 200 °C pozorováno překvapivé zvýšení rychlostí P- a S-vln a pevnosti horniny, pravděpodobně v důsledku uzavření mikrotrhlin nebo dehydratace jílových minerálů. Vystavení vyšším teplotám však obecně vedlo k postupnému zhoršování mechanických vlastností, včetně prudkého poklesu rychlostí vln a z nich odvozených dynamických modulů. Vyvřelé a metamorfované horniny, přes svou počáteční vysokou pevnost vykazovaly relativně významný pokles při zahřátí nad 600 °C. Oproti tomu u pískovců, které svou počáteční pevnost měly v porovnání s ostatními horninami velmi nízkou, došlo k absolutně nižšímu snížení pevností. U vápenců bylo pozorováno jejich zpevnění při zahřátí na 200–400 °C. Vulkanity ukázaly nejmenší změny vyvolané tepelným zatížením, nicméně i nejvyšší vnitřní variabilitu ze všech litologických skupin.

Tyto poznatky poukazují na komplexní a nelineární povahu tepelné alterace hornin a zdůrazňují význam zohlednění chování specifického pro danou litologii při posuzování změn horninového masivu po požáru. Naše výsledky snad přispějí k lepšímu pochopení toho, jak lesní požáry, zesílené klimatickými změnami, mohou urychlit procesy degradace hornin.

Poděkování: Příspěvek byl připraven v rámci projektu TAČR Prostředí pro život 7 č. SS07010216: Vliv požárů a vysokých teplot na stabilitu skalních masivů. Tento výzkum byl rovněž podpořen projektem OP JAK, č. CZ.02.01.01/00/22_008/0004605, Přírodní a antropogenní georizika.

Seznam literatury

Buckman S., Morris R.H. a Bourman R.P., 2021: *Fire-induced rock spalling as a mechanism of weathering responsible for flared slope and inselberg development.* – Nature Communications, 12, 1, 2150. DOI: 10.1038/s41467-021-22451-2

ISRM, 1978: *Suggested methods for determining tensile strength of rock materials Part 2: Suggested method for determining indirect tensile strength by the Brazil Test.* – International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 15, 3, str. 99–103. DOI: 10.1016/0148-9062(78)90003-7

McCaffrey S., 2004: *Thinking of wildfire as a natural hazard.* – Society & Natural Resources, 17, 6, s. 509–516. DOI: 10.1080/08941920490452445

Moreira F., Viedma O., Arianoutsou M., Curt T., Koutsias N., Rigolot E., Barbati A., Corona P., Vaz P., Xanthopoulos G., Mouillot F. a Bilgili E., 2011: *Landscape – wildfire interactions in southern Europe: Implications for landscape management.* – Journal of Environmental Management 92, 10, s. 2389–2402. DOI: 10.1016/j.jenvman.2011.06.028

Nyman P., Rutherfurd I.D., Lane P.N.J. a Sheridan G.J., 2019: *Debris flows in southeast Australia linked to drought, wildfire, and the El Niño–Southern Oscillation.* – Geology, 47, 5, s. 491–494. DOI: 10.1130/G45939.1

Schön J.H., 2015: *Physical properties of rocks: Fundamentals and principles of petrophysics.* – Developments in Petroleum Science, 65, 497 s.

Ulusay R. a Hudson J., 2007: *The Blue Book: The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006.* – ISRM, https://isrm.net/page/show/935.

POROVNANIE KVALITY VYBRANÝCH DRUHOV RECYKLOVANÉHO A PRÍRODNÉHO KAMENIVA

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE QUALITY OF SELECTED TYPES OF RECYCLED AND NATURAL AGGREGATES

Tatiana Durmeková[1], Renáta Adamcová[1], Karin Bednáriková[2]

[1]*Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, SR,*
e-mail: tatiana.durmekova@uniba.sk, renata.adamcova@uniba.sk
[2]*Geotechnická spoločnosť – GES, spol. s r.o., Lamačská cesta 8, 811 04 Bratislava, SR,*
e-mail: karinbednarikova3@gmail.com

Abstrakt: Autori v predloženom článku analyzujú a porovnávajú vybrané vlastnosti piatich typov kameniva, z toho dve vzorky prírodného materiálu (paleobazalt a granodiorit) a tri recykláty získané z demolačného odpadu (obkladový mramor, pálená tehla a keramická škridla). Výskum bol zameraný na posúdenie nasiakavosti, mrazuvzdornosti a odolnosti materiálov proti opotrebovaniu. Výsledky ukazujú významné rozdiely medzi vlastnosťami prírodného a recyklovaného kameniva, čo komplikuje ich priamu zámenu v stavebných konštrukciách. Kritickým parametrom je najmä vysoká nasiakavosť škridlového (16,3 %) a tehlového kameniva (25,8 %) v porovnaní s hodnotami < 1 % pri prírodnom kamenive, čo obmedzuje využitie týchto materiálov nielen v konštrukčných betónoch, ale aj na viaceré účely v cestnom staviteľstve. Prekvapivá je nízka pevnosť recyklovaného mramoru v jednoosovom tlaku, keďže má lepšie hodnoty otvorenej pórovitosti (0,66 %) a nasiakavosti (0,29 %) ako prírodné kamenivo. Nízka mechanická odolnosť recyklovaných kamenív vyjadrená ich nízkou pevnosťou v tlaku (škridla 19,6 MPa, tehla 38 MPa, mramor 12,6 MPa) bola potvrdená aj ich skúšaním v bubne mikro-Deval. Kamenivo z drvenej škridly obstálo v testovaní lepšie ako kamenivo z pálenej tehly a jeho použitie sa javí ako perspektívnejšie.

Abstract: In the presented article, authors analyze and compare selected properties of five types of aggregates; two natural materials (paleobasalt and granodiorite) and three recycled materials obtained from demolition waste (facing marble, burnt brick and ceramic tile). The research was aimed at assessing the water absorption, frost resistance and resistance to wear of the materials. The results show significant differences between the properties of natural and recycled aggregates, which makes their direct substitution in building constructions complicated. Especially, the high water absorption of the tile aggregate (16.3%) and brick aggregate (25.8%) compared to values <1% in natural aggregates is a critical parameter limiting not only the usage of these materials in the structural concrete, but some of other applications in road construction, too. The low uniaxial compressive strength of recycled marble is surprising, as it has better values of open porosity (0.66%) and water absorption (0.29%) than natural aggregates. The low mechanical resistance of recycled aggregates expressed by their low uniaxial compressive strength (tile 19.6 MPa, brick 38 MPa, marble 12.6 MPa) was also confirmed by testing them in a micro-Deval drum. The crushed-tile-aggregate came out better from the testing than the burnt-brick-aggregate, and its use seems to be more promising.

Kľúčové slová: stavebný a demolačný odpad, prírodné kamenivo, recyklované tehlové a škridlové kamenivo, skúšky kvality

Key words: construction and demolition waste, natural aggregate, recycled brick and tile aggregates, quality verification tests

1. Úvod

Zodpovedné odpadové hospodárstvo a s tým súvisiace znovupoužívanie materiálov je jednou zo strategických úloh každej zrelej spoločnosti. Podobne ako v iných oblastiach, aj v stavebníctve je trendom vrátiť stavebný odpad a odpad z demolácií ako surovinu späť do stavebného procesu. Šetrí to prírodné zdroje a znižuje záťaž na životné prostredie obmedzovaním ťažby i minimalizáciou tvorby skládok odpadu. V konečnom dôsledku je výsledkom nielen úspora financií pri neustále rastúcich poplatkoch za skládkovanie, ale najmä ochrana životného prostredia a nefalšovaný ohľad na budúce generácie. Je to aj požiadavka sformulovaná na medzinárodnej úrovni **(**Smernica EP a Rady 2008/98/ES o odpade; Protokol EÚ o nakladaní so stavebným odpadom a odpadom z demolácie, 2016**),** keďže stavebný a demolačný odpad (ďalej len SDO, anglicky „construction and demolition waste“, CDW) predstavuje cca 40 % z odpadu vytvoreného v Európskej únii (web portál JRC, 2024).

Recyklované kamenivo je na rozdiel od prírodných a vyrábaných kamenív výsledkom spracovania anorganických materiálov predtým použitých v stavebných konštrukciách, a môže byť vyrobené z rôznych zložiek. Heterogenita (variabilita) úžitkových vlastností a nižšia kvalita recyklovaných materiálov je pritom samozrejmosťou (Hela a Křížová, 2022; Nájdená, 2023; Sojková, 2025). Preto je ich aplikácia spojená s potrebou priebežne overovať ich vlastnosti a nastavovať systém kontrolných skúšok, aby bol proces návratu materiálov do užívania dynamický a pružný. Recyklované kamenivo sa postupne stáva súčasťou stavebných procesov, zatiaľ však jeho výraznejšiemu použitiu na Slovensku zabraňuje skutočnosť, že v technických predpisoch nie sú temer žiadne „úľavy" pre takéto druhotné (recyklované) kamenivo pri jeho konkrétnom využívaní, napríklad ako zložky konštrukčných betónov alebo pri zabudovaní do vozoviek. Je to vcelku pochopiteľné, pretože kamenivo ako rozhodujúca zložka betónu alebo konštrukcie vozovky v podstatnej miere ovplyvňuje kvalitu výslednej stavby či konštrukcie (Najdená, 2022; Najdená, 2023).

V najväčšom objeme sú opätovne využívané predovšetkým betónové recykláty, ktorých sa pri búraní stavieb tvorí najviac a ktoré svojimi úžitkovými vlastnosťami najlepšie spĺňajú kritériá noriem (STN EN 12620 + A1: 2008). Práve tomuto typu stavebného odpadu sa venuje najväčšia pozornosť vo výskume (Exteberria et al., 2007; Nováková a Mikulica, 2018; Diotti et al., 2022; Guarav et al., 2023; Štefancová, 2024; Knapcová et al., 2024 a ďalší). V ostatných rokoch sa výskum orientuje aj na recyklované tehlové kamenivo. Ako prezentuje Joyklad (2024) vo svojom scientometrickom prehľadovom článku, od roku 2011 každým rokom pribúda počet vedeckých publikácií zaoberajúcich sa recyklovaným tehlovým kamenivom využívaným v betónoch. Najmä od roku 2020 výrazne narástol počet takýchto článkov vo vedeckých svetových databázach. Väčšinou sa sústreďujú na hodnotenie a zlepšovanie mechanických vlastností týchto materiálov (Joyklad, 2024).

V predloženom článku sú prezentované výsledky laboratórnych skúšok, ktorými boli stanovené kvalitatívne vlastnosti vybraných typov recyklovaného kameniva, a následne boli porovnané s vlastnosťami prírodného kameniva používaného bežne v stavebníctve. Z recyklovaných materiálov to bolo drvené kamenivo z pálenej tehly, keramickej škridly, ako aj z platní mramoru, ktoré boli viac ako 40 rokov umiestnené na fasáde budovy ako obklad. Cieľom bolo posúdiť základné fyzikálne vlastnosti recyklovaných kamenív a poukázať na ich výraznú odlišnosť od prírodného kameniva. To by mohlo iniciovať revíziu doteraz zaužívaných požiadaviek na kvalitu a hľadanie nových aplikácií, aby sa recyklované kamenivo dalo vo väčšej miere využívať v stavebnej praxi. Štúdia zároveň zdôrazňuje potrebu individuálneho posudzovania každého recyklovaného kameniva.

Procesy a postupy súvisiace s využívaním SDO sú komplikované a náročné (selektívna demolácia, zber, identifikácia, triedenie pri zdroji, preprava, stanovenie a overovanie vlastností, individuálne posudzovanie, získanie certifikátov kvality a i.), pričom sa hľadá využitie aj pre materiály nižšej kvality. Dôvodom nedostatočného materiálového zhodnocovania SDO u nás je zaiste aj skutočnosť, že na Slovensku je dostatok kvalitného ľahko dostupného kameniva, najmä štrkov a štrkopieskov. Jeho pomerne nízka cena v porovnaní s inými krajinami EÚ a zatiaľ nedostatočný manažment SDO na Slovensku, ako aj nízky počet a nerovnomerná distribúcia zariadení na spracovanie druhotných surovín nepodporujú využívanie SDO vo väčšej miere (Villoria Sáez a Osmani, 2019; Kollár, 2022). Ani štát nemotivuje stavebníkov finančnou podporou pri materiálovom zhodnocovaní tohto odpadu (Najdená, 2022). Potrebná je tiež úprava legislatívy a usmernení pre prax.

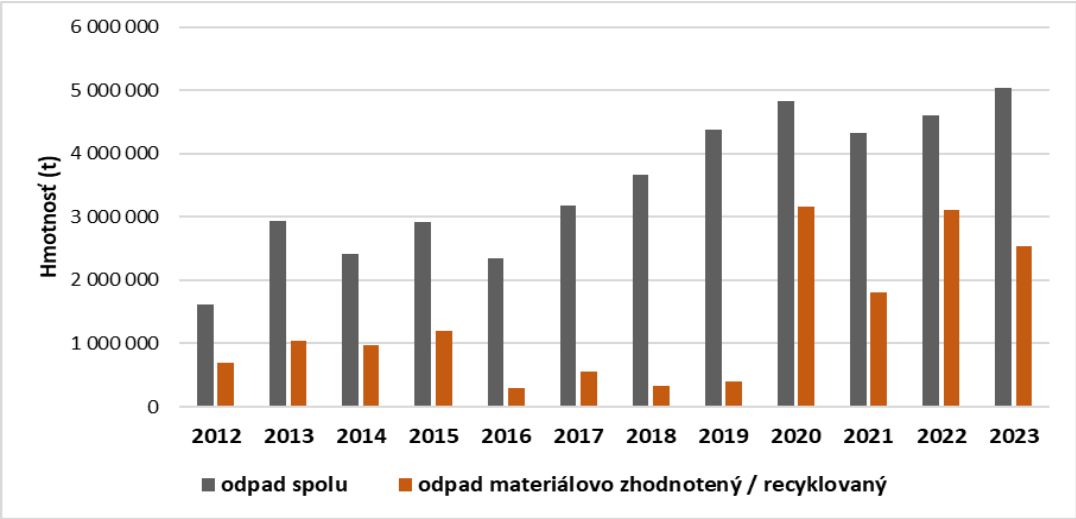
Situáciu so vznikom a materiálovým zhodnotením SDO na Slovensku za ostatné desaťročie ukazuje obr. 1. Informačný systém odpadového hospodárstva na Slovensku však stále nie je dokončený, preto čísla uvedené v grafe nemusia byť presné.

2. Materiál a metodika riešenia

Dva typy prírodného drveného kameniva, bežne používaného na stavebné účely, slúžili ako etalóny kvality (štandardy) na porovnanie s tromi typmi recyklovaného kameniva.

Prírodné kamenivo pochádzalo z lomov Sološnica a Devín. V Sološnici sa ťaží vulkanická výlevná hornina paleozoického veku – paleobazalt (starší názov melafýr). Táto hornina je vhodná na výrobu veľmi kvalitného kameniva, ktoré má podľa výrobcu všestranné použitie. Používa sa širokospektrálne v inžinierskom staviteľstve – na výstavbu ciest s vysokými nárokmi na únosnosť podložia, do podkladových vrstiev i na povrchové vrstvy vozoviek s vysokými nárokmi na odolnosť proti šmyku, na koľajové podložia a koľajové lôžka, do asfaltových a betónových zmesí, na betónové a kamenárske výrobky, drenáže, zásypy inžinierskych sietí, príp. ako dekorácia. Granit až biotický granodiorit z lomu Devín predstavuje hlbinnú magmatickú horninu vhodnú na viaceré účely v stavebníctve, napríklad ako lomový kameň upravený alebo neupravený, kameň na murivo alebo na výrobu drveného kameniva.

Recyklované kamenivo bolo vyrobené z demolačného odpadu, ktorý možno považovať za inertný odpad. To znamená, že nie je nebezpečný (neohrozuje životné prostredie ani zdravie ľudí, resp. neobsahuje nebezpečné látky) a za normálnych (bežných, zvyčajných) klimatických podmienok nepodlieha žiadnym významným fyzikálnym, chemickým alebo biologickým zmenám. Z recyklovaných materiálov boli skúmané tri rozdielne typy – pálená tehla, keramická škridla a mramorový obklad, ktorý bol stiahnutý z fasády budovy pri jej demolácii.



Obr. 1 Porovnanie opätovne využitého SDO s celkovým registrovaným množstvom SDO na Slovensku v rokoch 2012 – 2023 (Štatistický úrad SR, Odpady v Slovenskej republike za roky 2013 až 2023).
Fig. 1 Reused CDW compared to the total amount of the registered CDW in Slovakia in the years 2012 – 2023 (Statistical Office of the Slovak Republic, Waste in the Slovak Republic in relevant years).

Príprava vzoriek v laboratóriu pozostávala z drvenia väčších kusov prírodných kameňov a SDO na laboratórnom drviacom zariadení s možnou reguláciou veľkosti výstupného zrna a z následného sitovania na vhodných sitách s cieľom získania požadovaných veľkostných frakcií kameniva podľa požiadaviek skúšobných noriem na jednotlivé skúšky.

Pri všetkých piatich skúmaných materiáloch boli stanovené nasledujúce základné fyzikálne a technické vlastnosti podľa štandardných postupov uvedených v metodických príručkách alebo v technických normách pre kamenivo: objemová hmotnosť, nasiakavosť hrubých zŕn po 24 hodinách kontaktu s vodou i nasiakavosť do ustálenej hmotnosti (STN EN 1097-6), mrazuvzdornosť (STN EN 1367-1), odolnosť proti opotrebovaniu/obrusovaniu skúšaním v bubne mikro-Deval (STN EN 1097-1). Otvorená pórovitosť bola vypočítaná podľa STN EN 1936. Pevnosť jednotlivých materiálov bola zisťovaná skúškou pevnosti pri bodovom zaťažení (Point load test) na nepravidelných úlomkoch (Ulusay a Hudson (eds.), 2007). Z jej výsledkov bola určená pevnosť v jednoosovom tlaku (UCS) použitím prepočítavacieho koeficientu $K = 22$.

Na základe stanovených vlastností bolo kamenivo následne posudzované na dva účely použitia – ako plnivo do konštrukčných betónov (so zohľadnením agresivity prostredia) a na použitie do cementobetónových krytov vozoviek. Druhý uvedený účel si vyžaduje aj zohľadnenie triedy dovoleného dopravného zaťaženia (TDZ), podľa ktorej sa menia nároky na kamenivo. Charakteristika stupňov vplyvu prostredia betónu je uvedená v STN EN 206 + A2:2021.

Z množstva existujúcich kritérií na použitie kameniva na dané účely, ktoré sú uvádzané v technických predpisoch (normy, Katalógové listy kameniva (KLK) alebo Technicko-kvalitatívne podmienky (TKP) platné v cestnom staviteľstve), bolo kamenivo posúdené podľa troch vybraných technických vlastností:

- nasiakavosti po 24 hodinách (WA_{24});
- mrazuvzdornosti, špecifikovanej stratou hmotnosti (F) po cyklických skúškach zmrazovania a rozmrazovania;
- odolnosti proti opotrebovaniu/obrusovaniu vyjadrenej súčiniteľom mikro-Deval (M_{DE}).

3. Výsledky a diskusia

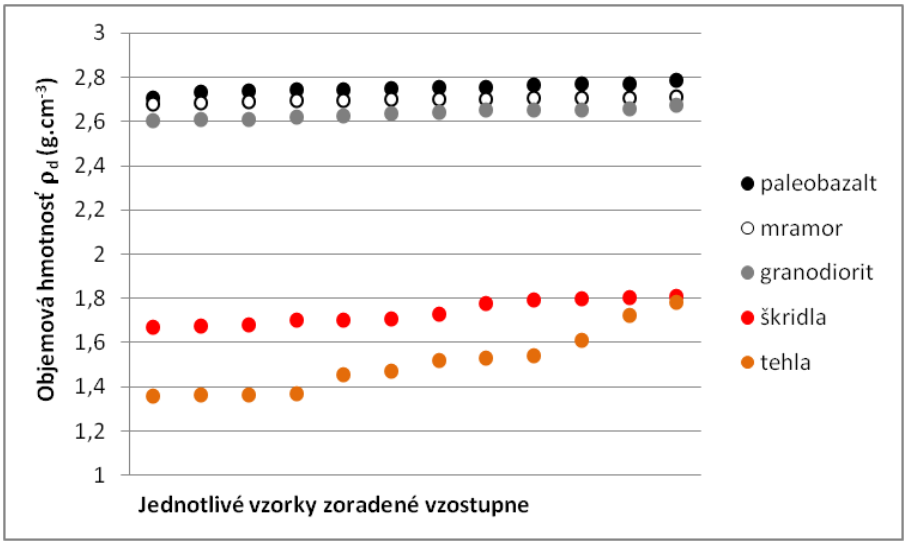
Zistené minimálne, maximálne a priemerné hodnoty skúmaných vlastností skúšaných materiálov sú prezentované v tab. 1.

3.1 Objemová hmotnosť a nasiakavosť

Objemová hmotnosť zväčša nie je uvádzaná v technických normách ako parameter ovplyvňujúci použitie kameniva do betónu. Je to však základná materiálová charakteristika, preto je jej poznanie dôležité. Vo všeobecnosti sa horninový materiál s vyššou objemovou hmotnosťou považuje za pevnejší a kvalitnejší, pretože indikuje nižšiu pórovitosť. Objemová hmotnosť tiež slúži na klasifikáciu kameniva. Podobnými materiálovými charakteristikami sú pórovitosť a pevnosť v tlaku. Ako je možné vidieť z tab. 1, schopnosť horniny (alebo kameniva) absorbovať vodu úzko súvisí s jej otvorenou pórovitosťou.

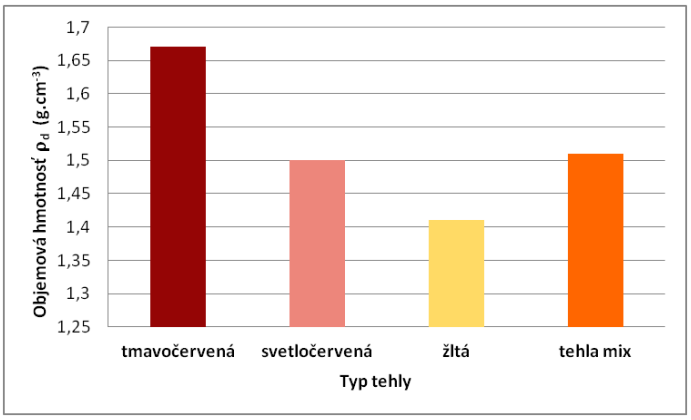
Tab. 1 Fyzikálne a technické vlastnosti posudzovaných prírodných a recyklovaných materiálov
Tab. 1 Physical and technical properties of evaluated natural and recycled materials

Vlastnosť		Paleobazalt	Granodiorit	Recyklovaný mramor	Pálená tehla	Keramická škridla
Objemová hmotnosť ($g.cm^{-3}$)	*Priemer*	**2,751**	**2,635**	**2,700**	**1,506**	**1,736**
	Max	2,788	2,672	2,710	1,780	1,808
	Min	2,706	2,604	2,686	1,360	1,670
Nasiakavosť do ustálenej hmotnosti (%)	*Priemer*	**0,44**	**0,79**	**0,29**	**25,79**	**16,33**
	Max	0,89	1,12	0,36	35,11	19,36
	Min	0,17	0,46	0,22	14,29	14,52
Nasiakavosť 24 h (%)	*Priemer*	**0,36**	**0,72**	**0,24**	**23,50**	**14,95**
	Max	0,83	1,05	0,32	32,25	17,56
	Min	0,14	0,41	0,18	12,92	13,49
Otvorená pórovitosť (%)	*Priemer*	**0,86**	**1,69**	**0,66**	**37,54**	**28,97**
	Max	1,84	2,54	0,80	47,34	32,90
	Min	0,38	0,87	0,49	25,45	24,53
UCS (MPa)	*Priemer*	**166**	**106**	**12,6**	**38**	**19,6**
	Max	189,4	123,2	17,8	60,5	23,9
	Min	118,8	46,4	7,4	21,6	13,9
Súčiniteľ mikro-Deval	*Priemer*	**11,4**	**20,4**	**80,3**	**92,3**	**58,6**
	Max	11,62	21,10	81,74	92,46	59,17
	Min	11,11	19,68	78,94	92,17	58,06
Mrazuvzdornosť Strata hmotnosti (%)	*Priemer*	**0,41**	**0,55**	**1,10**	**2,33**	**1,16**
	Max	0,412	0,594	1,141	2,344	1,156
	Min	0,406	0,499	1,059	2,308	1,155



Obr. 2 Objemová hmotnosť jednotlivých vzoriek každého skúmaného typu materiálu.
Fig. 2 Dry bulk density of individual specimens of each studied material type.

Z tab. 1 a obr. 2 je zrejmé, že variabilita objemovej hmotnosti prírodných kameňov z jedného zdroja je takmer zanedbateľná a nie je ani veľký rozdiel medzi paleobazaltom, granodioritom a už raz použitým mramorom. Všetky tri horniny sú veľmi hutné materiály, s nízkou až veľmi nízkou pórovitosťou. Objemová hmotnosť keramickej škridly i tehly je podstatne nižšia ako objemová hmotnosť prírodných kameňov. Rozdiel medzi minimálnou a maximálnou hodnotou je u nich tiež väčší. Najväčší rozsah hodnôt bol zistený v tehlách. Vysvetlenie je jednoduché. Zatiaľ čo bol testovaný jeden typ škridly, tehlové kamenivo bolo zložením heterogénne, skúšaná vzorka pozostávala z troch farebne odlišných druhov pálených tehál, čo sa prejavilo rozsahom hodnôt objemovej hmotnosti od 1,36 $g.cm^{-3}$ do 1,78 $g.cm^{-3}$ (obr. 3). Hodnoty v tab. 1 sú teda priemery výsledkov vlastností týchto troch druhov tehly.



Obr. 3 Premenlivosť objemovej hmotnosti podľa typu tehly.
Fig. 3 Variability of the bulk density related to the brick type.

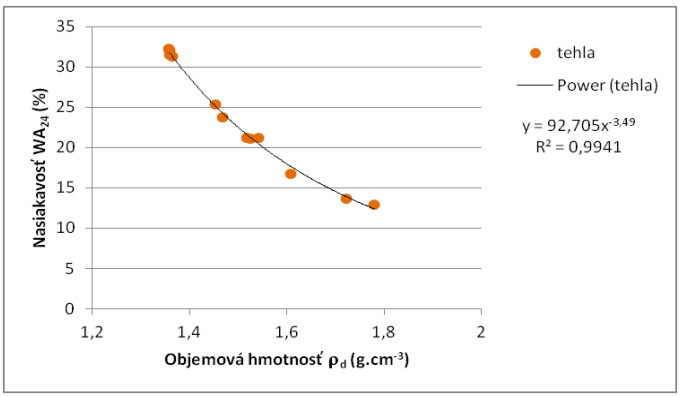
V porovnaní s objemovou hmotnosťou sa rozdielnosť skúmaných materiálov oveľa výraznejšie prejavuje v ich nasiakavosti. Kým prírodné kamene majú 24-hodinovú nasiakavosť i nasiakavosť do ustálenej hmotnosti veľmi nízku, t. j. pod 1 % (pričom najvyššiu má granodiorit), medzi najlepšou a najhoršou tehlou je rozdiel 20 % (tab. 1). Nasiakavosť tehly kolísala podľa typu tehly od 14,3 % do 34,7 %. Kvalita klesala v poradí tmavočervená > svetločervená > žltá.

Stredovú pozíciu medzi prírodnými materiálmi a pálenou tehlou má keramická škridla, jej nasiakavosť je podstatne vyššia ako prírodného kameňa, ale nižšia ako väčšiny vzoriek tehál. Variabilita meraných hodnôt je pri tomto type kameniva len 5 % (tab. 1).

Ako je vidieť na obr. 4, bol zistený veľmi silný vzťah medzi objemovou hmotnosťou suchej tehly a jej nasiakavosťou. Na základe merania 12 vzoriek, čo je v podstate minimálny štatistický súbor, možno uviesť nasledujúcu rovnicu:

$$WA = 92{,}705.\rho_d^{-3{,}49}$$

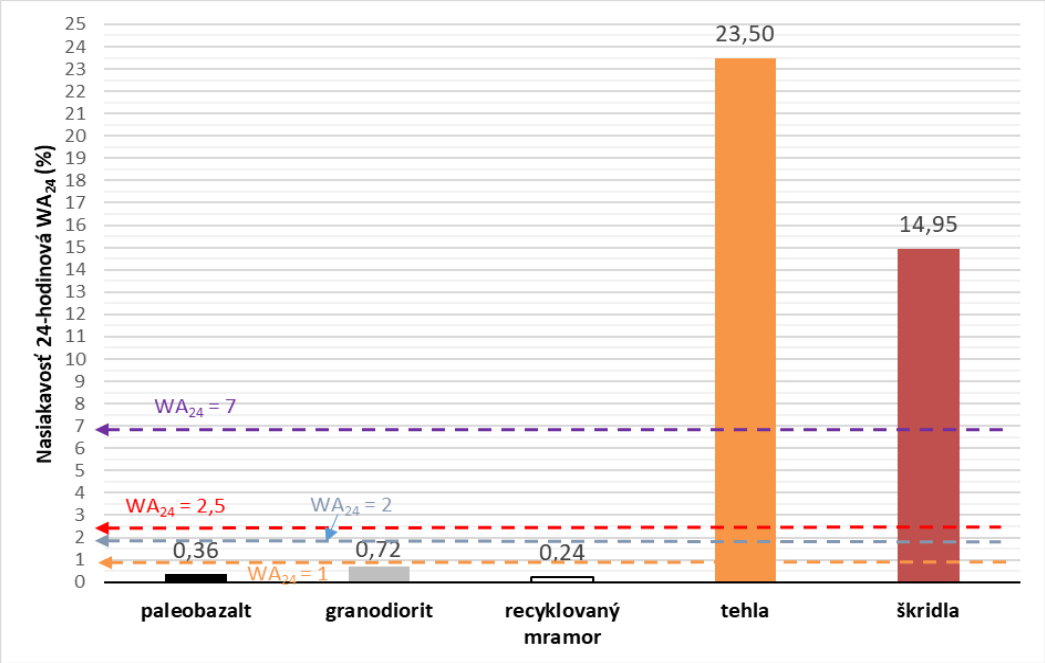
kde *WA* je 24-hodinová nasiakavosť (%) a ρ_d je objemová hmotnosť v suchom stave (g.cm^{-3}).



Obr. 4 Vzťah medzi objemovou hmotnosťou v suchom stave a nasiakavosťou tehlového kameniva.
Fig. 4 Relation between dry bulk density and water absorption of brick aggregates.

Tento pilotný výskum ukazuje, že objemová hmotnosť v suchom stave by mohla byť dobrým indikátorom kvality tehál pri nakladaní s odpadovým materiálom z výroby tehál alebo demolácie stavby. Je to však len začiatok a náznak pre ďalší výskum. Na získanie spoľahlivejšej korelácie je potrebné vykonať oveľa viac testov na rôznych typoch tehál. Samozrejme, hodnotenie kvality materiálov z demolácií je zložitejšie. V čistých tehlách riadi absorpciu vody iba otvorená pórovitosť. Tehly z búrania však obsahujú veľa prachu a zvyšky malty, čo výrazne ovplyvní nasiakavosť. Čistenie takýchto tehál vyžaduje vodu a energiu, preto je environmentálny prínos ich recyklácie nejednoznačný. Keď sa však už tehly zo SDO dostanú na recykláciu ako kamenivo, ich kvalita sa musí neustále monitorovať. Rýchle ukazovatele kvality sú preto vítané.

Na využívanie kameniva ako plniva do konštrukčných betónov alebo na cementobetónové kryty vozoviek sú uvádzané limitné hodnoty 24-hodinovej nasiakavosti (WA_{24}) v hodnotách 1 %, 2 % alebo 2,5 % (KLK 1/2021; KLK KB 1/2021) v závislosti od ďalších faktorov, t.j. od agresivity prostredia alebo TDZ (obr. 5).



Obr. 5 Nasiakavosť kameniva a jej hraničné hodnoty pre konštrukčné betóny a cementobetónové kryty vozoviek.
Fig. 5 Water absorption of the aggregates. Limit values are marked for structural concrete and cement concrete pavements.

Aplikácia kameniva do cementobetónových krytov vozoviek s TDZ I. si vyžaduje triedu nasiakavosti $WA_{24}1$, čo znamená, že hodnota nasiakavosti hrubého kameniva po 24 hodinách nesmie prekročiť 1 %. Tejto náročnej požiadavke vyhovuje paleobazaltové, granodioritové a mramorové kamenivo. Túto najprísnejšiu limitnú hodnotu musia spĺňať aj kamenivá určené do konštrukčných betónov v agresívnom prostredí XC4, XD3, XA1 až XA3, XF1 až XF4 (STN EN 206 + A2:2021).

Aplikácia kameniva do cementobetónových krytoch vozoviek s TDZ II. a III. pripúšťa triedu nasiakavosti $WA_{24}2$, čo podobne ako v predchádzajúcom prípade spĺňajú prírodné kamenivá i kamenivo z odpadového mramoru. Hodnota je požadovaná aj pri kamenivách do betónov v prostredí XO, XC1 až XC4, XD1 až XD3, XA1 až XA3, XF1 až XF4.

Najmenej prísna hodnota nasiakavosti 2,5 % (trieda $WA_{24}2{,}5$) je uvedená pri použití kameniva do konštrukčných betónov v suchom prostredí bez nebezpečenstva korózie (XO). Kamenivá pripravené z pálenej tehly a keramickej škridly niekoľkonásobne prekračujú aj túto prípustnú hodnotu (obr. 5).

Na obr. 5 je vyznačená aj vyššia limitná hodnota $WA_{24}7$, ktorá je dovolená pre recyklované kamenivo. Použitie recyklovaného kameniva sa uvádza v Dodatku č. 1/2023 ku KLK 1/2021. Pri výstavbe nestmelených a hydraulicky stmelených podkladových vrstiev vozoviek s použitím triedeného recyklovaného kameniva pochádzajúceho z demolácií je však predpísaný podiel betónu v kamenive najmenej 90 %. Táto podmienka pripúšťa teda maximálne 10 % pálenej tehly alebo keramickej krytiny v kamenive na uvedené účely. Na doplnenie, v pôvodných predpisoch TKP a KLK na dané účely sa o recyklovanom kamenive vôbec neuvažovalo.

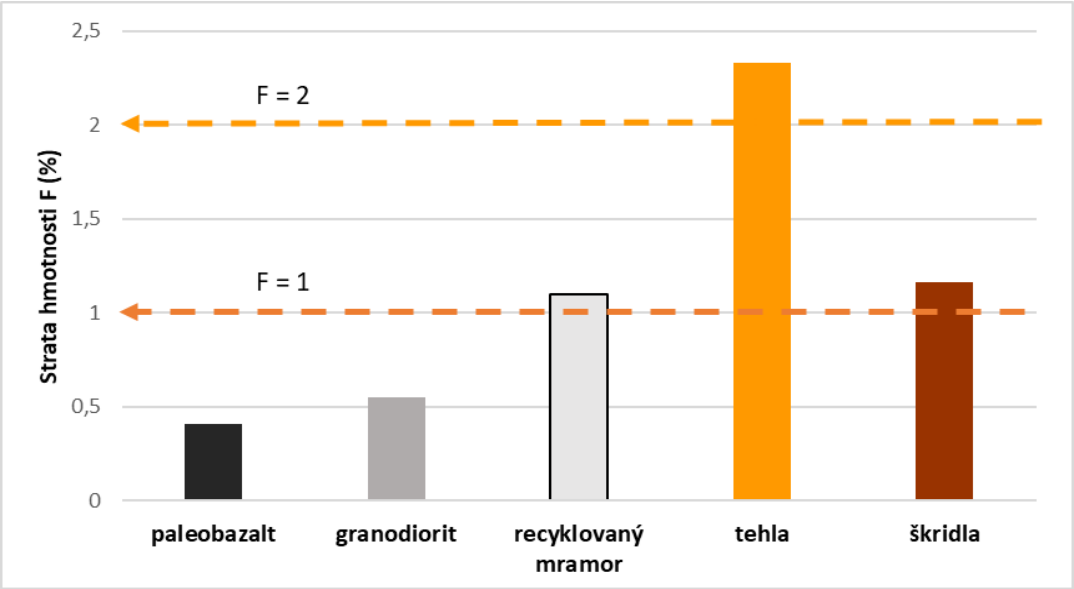
3.2 Mrazuvzdornosť

Mrazuvzdornosť kameniva je vyjadrená stratou hmotnosti *F* (%) po cyklickej skúške zmrazovania a rozmrazovania (obr. 6). V tom istom grafe sú vyznačené hraničné (prípustné) hodnoty danej vlastnosti na použitie kameniva v konštrukčných betónoch so zohľadnením vplyvu prostredia, prípadne pre cementobetónové kryty vozoviek (STN EN 206 + A2: 2021, KLK KB 1/2021).

Pre niektoré typy konštrukčných betónov (vodorovné betónové povrchy vystavené dažďu a mrazu) so stupňom vplyvu prostredia XF3 (prostredie značne nasýtené vodou bez rozmrazovacích prostriedkov) je maximálna prípustná hodnota F = 1 % (trieda F_1). Uvedenej požiadavke vyhovelo len paleobazaltové kamenivo (priemer 0,41 %) a granodioritové kamenivo (priemer 0,55 %).

Niektoré typy konštrukčných betónov (zvislé betónové povrchy vystavené dažďu a mrazu) so stupňom vplyvu prostredia XF1 (prostredie mierne nasýtené vodou bez rozmrazovacích prostriedkov) majú stanovenú

hraničnú hodnotu F = 2 % (trieda F_2). Výsledky ukázali, že tejto požiadavke vyhovujú všetky typy skúšaných kamenív, okrem kameniva z pálenej tehly, pri ktorom bola priemerná strata hmotnosti F = 2,33 %.



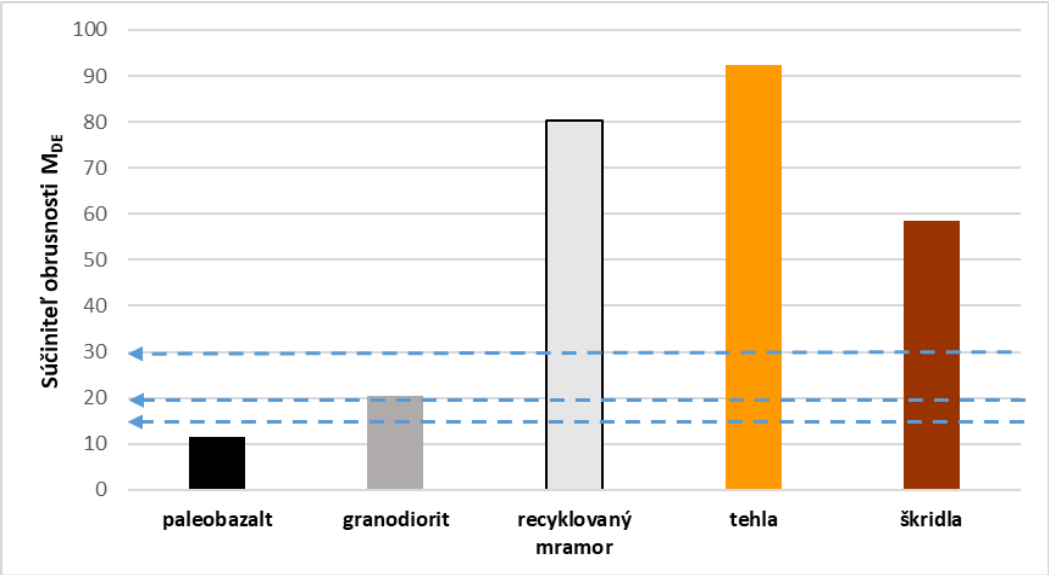
Obr.6 Mrazuvzdornosť kameniva a limitné hodnoty straty hmotnosti F = 1% a F = 2% podľa účelu použitia.
Fig. 6 Frost resistance of the aggregates and values of mass loss F = 1% and F = 2% limiting defined usage.

Cementobetónové kryty vozoviek s TDZ I., II. a III. si vyžadujú kamenivo, u ktorého $F \leq 1$ %. Požiadavku spĺňa iba paleobazaltové a granodioritové kamenivo.

Dodatok č. 1/2023 ku KLK 1/2021, ktorý uvažuje o použití recyklovaného kameniva, uvádza aj ďalšiu kategóriu, triedu F_4. Podobne, ako bolo uvedené vyššie pri analyzovaní nasiakavosti, 90% kameniva musí tvoriť betónová zložka.

3.3 Odolnosť proti opotrebovaniu/obrusnosti (súčiniteľ mikro-Deval)

Výsledky skúšky v bubne mikro-Deval sú graficky znázornené na obr. 7, spolu s limitnými hodnotami súčiniteľa obrusnosti M_{DE} uvádzanými na použitie kameniva ako plniva do konštrukčných betónov alebo na cementobetónové kryty vozoviek.



Obr. 7 Odolnosť kameniva proti opotrebovaniu a limitné hodnoty M_{DE} podľa účelu použitia.
Fig. 7 Resistance of the aggregates to wear and values of M_{DE} limiting defined usage.

Najprísnejšia trieda obrusnosti hrubého kameniva $M_{DE}15$ je v KLK KB 1/2021 stanovená pre konštrukčné betóny, ktoré sú vystavené obrusovaniu prúdiacou vodou s abrazívnymi časticami a pre betóny pevnostnej triedy C50/60 a vysokopevnostné betóny. Tam musí byť hodnota $M_{DE} \leq 15$ %. Z odskúšaných kamenív túto požiadavku spĺňa len paleobazaltové kamenivo s hodnotou súčiniteľa obrusnosti $M_{DE} = 11{,}4$.

Pri použití kameniva do cementobetónových krytov sa hodnota súčiniteľa M_{DE} odvíja od dovolenej triedy dopravného zaťaženia (KLK 1/2021). Trieda povolenej obrusnosti kameniva $M_{DE}15$ je daná aj pre cementobetónové kryty vozoviek s TDZ I. Zo skúšaných kamenív spĺňa uvedenú požiadavku iba kamenivo vyrobené z paleobazaltu. Pre cementobetónové kryty vozoviek TDZ II. je stanovená trieda obrusnosti $M_{DE}20$. Z testovaných kamenív vyhovelo tejto požiadavke len paleobazaltové kamenivo. Granodioritové kamenivo s priemerným súčiniteľom obrusnosti $M_{DE} = 20{,}4$ tesne nevyhovelo tejto požiadavke.

Hraničná hodnota súčiniteľa obrusnosti $M_{DE} \leq 30$ je určená pre hrubé kamenivo do cementobetónových krytov vozoviek s TDZ III. Požiadavke vyhovujú obe prírodné kameniva.

V Dodatku č. 2/2025 ku KLK 1/2021 je uvedená aj kategória $M_{DE}25$ – s presnou špecifikáciou, do ktorej vrstvy vozovky, či už obrusnej, ložnej alebo podkladovej, možno drvené kamenivo použiť (v závislosti od TDZ). Kamenivá z recyklátov (pálenej tehly, keramickej škridly a odpadového mramoru) prekračovali všetky požiadavky na obrusnosť mikro-Deval niekoľkonásobne. Táto ich veľmi nízka odolnosť voči obrusovaniu znemožňuje využitie v akýchkoľvek cementobetónových krytoch vozoviek a tiež v konštrukčných betónoch. Použitie týchto kamenív sa obmedzuje iba na betóny, ktoré nepodliehajú mechanickému obrusovaniu.

3.4 Perspektívy recyklácie SDO

Národné technické predpisy od nepamäti vyžadovali na vyššie spomínané stavebné účely iba prírodné kamenivo (STN 736133). Vo svete je dnes situácia iná, použitie recyklovaných kamenív je prípustné. Európske normy dovoľujú použitie recyklovaného kameniva (STN EN 206+A2; STN EN 12620 + A1, STN EN 13 242 + A1, STN EN 13285). Najširšie využitie má pritom kamenivo vyrobené z betónového SDO. Postupne sa situácia mení aj na Slovensku. Príkladom je aktualizácia TKP v cestnom staviteľstve. Napríklad TKP 5 Podkladové vrstvy z nestmelených a hydraulicky stmelených zmesí majú od roku 2023 platný Dodatok č. 1/2023 a umožňujú na niektoré účely použiť aj recyklované kamenivo. Podmienkou je, aby bol podiel betónovej zložky najmenej 90 %, zároveň nesmie prekročiť limitné hodnoty definujúce inertný odpad, musí byť deklarované podľa STN EN 13242+A1 a musí vyhovovať aktuálne platným KLK. Použitie recyklovaného kameniva do nestmelených podkladových vrstiev pri výstavbe diaľnic a rýchlostných ciest nie je povolené.

Ako vyplýva z obr. 5, skúšané recyklované kamenivo z pálenej tehly a keramickej škridly zďaleka nespĺňa požiadavky na požadovanú nízku nasiakavosť (požadované sú triedy $WA_{24}1$, $WA_{24}2$ alebo $WA_{24}2{,}5$), čím je úplne vylúčené ich štandardné použitie v stavebníctve (cestné staviteľstvo a plnivo do konštrukčných betónov). Do úvahy tak prichádza iba využitie na špecifické účely, najčastejšie vo forme jemného kameniva, prípadne môže nahradiť istú malú časť prírodného kameniva (González et al., 2017). Všetky takéto aplikácie si vyžadujú výskum a overovanie prípustného množstva skúšaním finálnych produktov. Niektoré výskumy sú pritom veľmi optimistické. Napríklad Adamson et al. (2015) na základe získaných výsledkov uvádzajú, že prírodné hrubé kamenivo môže byť nahradené drvenými tehlami bez výraznej zmeny v trvanlivosti betónu, ak v ňom nie je prítomná oceľ. Kamenivo s tehlami podporovalo koróziu ocele. Autori tiež poukázali na lepšiu spracovateľnosť betónu s obsahom hrubého recyklovaného tehlového kameniva, čo je spôsobené vyššou pórovitosťou tehlového kameniva v porovnaní s prírodným kamenivom.

Vysoká nasiakavosť tehlových a škridlových recyklátov, ako aj ich nízka objemová hmotnosť, neumožňuje ani ich využitie ako inertného posypového materiálu pri zimnej údržbe ciest. Požiadavky na recyklované kamenivo na tieto účely sú uvedené v KLK 1/2021 a vyžadujú triedu nasiakavosti $WA_{24}3$ a objemovú hmotnosť $\rho_d \geq 2{,}0$ g.cm^{-3}.

Prezentovaný výskum analyzoval možnosti použitia recyklovaného kameniva do betónu, na betonárske výrobky alebo na cementobetónové kryty vozoviek. Objavujú sa však aj ďalšie, netradičné možnosti jeho využitia. Napríklad spoločnosť Ecorec Slovensko, s. r. o., dcérska spoločnosť Danucemu Slovensko a. s., nahrádza pri výrobe cementu časť prírodného vápenca a ílu tehlovým práškom. Spoločnosť deklaruje, že takouto recykláciou dokáže znížiť ťažbu prírodných surovín pre cementáreň (https://www.odpady-portal.sk, 2024). Ďalším príkladom môžu byť nové typy betónov, ktoré sa objavujú v ponuke. Česká spoločnosť TBG METROSTAV s. r. o. využíva recyklované kamenivo na výrobu betónu označovaného R-CRETE®, v ktorom 50% až 100% prírodného kameniva nahrádzajú recyklovanou stavebnou suťou, čo je väčšie množstvo ako povoľuje norma ČSN EN 206+A2 (TBG Metrostav, 2024). Podľa výrobcu tento betón nachádza uplatnenie predovšetkým pri menej exponovaných a menej zaťažovaných konštrukciách, ako sú podkladové betóny, základové a dočasné konštrukcie, či výplňové a stenové konštrukcie v neagresívnom prostredí, nie je teda na nosné či konštrukčné účely.

Udržateľným ekologickým riešením sa ukazuje byť použitie recyklovaného kameniva na výrobu pórovitého vodopriepustného betónu (angl. pervious concrete), ktorý sa môže uplatniť pri hospodárení s podzemnou vodou a zadržiavaní vody v krajine (Široká, 2018). Využíva sa na menej namáhané spevnené plochy prepúšťajúce

dažďovú vodu alebo ako podkladová vrstva pod dlažby. Cieľom použitia je najmä ochladzovanie prostredia (mestských ulíc) v klimatických podmienkach bez poklesu teploty pod bod mrazu, teda nie u nás. Výskum v tejto oblasti stále prebieha (Wenzhan et al., 2018; Assaad a Khatib, 2024; Deleprani et al., 2025).

Príkladom využitia stavebného odpadu môže byť aj renovácia Námestia Slobody v Bratislave, pri ktorej architekti zúžitkovali pôvodnú rozbitú a poškodenú žulovú dlažbu, ako aj obrubníky z taveného čadiča na prípravu jedinečného liateho exteriérového terazza. Vznikla zaujímavá skladba s rozdrvenými kúskami pôvodnej dlažby. Terazzo použili na zrekonštruovanom námestí v okolí fontány. Týmto krokom sa ušetrilo približne 500 ton materiálu, ktorý by inak skončil na skládke a bolo by nutné vyťažiť nový materiál (Marko, 2023).

4. Závery

Skúškami v laboratóriu boli zistené výrazné rozdiely v základných fyzikálnych i fyzikálno-mechanických vlastnostiach jednotlivých skúmaných materiálov. V porovnaní s prírodným vykazuje recyklované kamenivo z tehly a škridly výrazne horšie kvalitatívne parametre, čím sa stáva problematickým jeho využívanie. Kvalitatívnymi požiadavkami podľa predpísaných technických špecifikácií v mnohých aplikáciách je nasiakavosť a mechanická odolnosť. V oboch ukazovateľoch recyklované kamenivo výrazne zaostáva, čo vylučuje jeho využitie v konštrukčných betónoch i cementobetónových krytoch vozoviek.

Recyklát z keramickej škridly obstál v skúšaní lepšie ako tehlový, a ukazuje sa ako perspektívnejší na výrobu betónov. Hoci nasiakavosť škridly je vysoká, jej úbytky hmotnosti po skúškach mrazuvzdornosti neprekročili limit 2 % (podobne ako ďalšie materiály prírodného pôvodu), čo umožňuje použitie drvenej keramickej škridly do betónov v neagresívnom prostredí. Skúšaný odpadový mramor sa vlastnosťami najviac blíži k prírodnému kamenivu, ale aj jeho použitie na sledované účely je obmedzené alebo nevhodné.

Náhrada prírodného kameniva recyklovanými materiálmi je síce žiadaná i nariadená smernicami EP a Rady EÚ, ale realizácia v praxi naráža na kvalitatívne požiadavky, ktoré tieto materiály nespĺňajú. Na zvýšenie celkového objemu recyklovaného kameniva použitého v stavebníctve je potrebné zmierniť požadované kvalitatívne parametre kameniva tam, kde to konkrétna aplikácia umožňuje bez ohrozenia bezpečnosti a trvácnosti stavby. Vzhľadom na vysokú pórovitosť a nízku objemovú hmotnosť je napríklad tehlový recyklát priam predurčený do ľahkých, termoizolačných betónov. Výskum a vývoj však musí pokračovať hľadaním nových spôsobov využitia recyklovaného kameniva a nových stavebných materiálov.

Predložené výsledky ukazujú, že recyklované kamenivo je veľmi heterogénny materiál, ktorého kvalitatívne parametre môžu byť v širokej škále hodnôt. Zjednodušenie procesu overovania kvality bude preto v budúcnosti nevyhnutné. Za zváženie stojí náhrada časovo náročnej mikro-Deval skúšky ľahšie vykonateľnou skúškou Slake durability test či využitie poznania objemovej hmotnosti ako indikátora nasiakavosti. V prípade drvenej tehly, kde boli rozdiely pórovitosti najväčšie, bola závislosť medzi objemovou hmotnosťou suchej tehly a nasiakavosťou potvrdená aj štatisticky.

Poďakovanie: Príspevok bol pripravený čiastočne s podporou projektu VEGA 1/0182/23.

Zoznam literatúry

Adamson M., Razmjoo A., Poursaee A., 2015: *Durability of concrete incorporating crushed brick as coarse aggregate.* – Construction and Building Materials, 94, 426 – 432.

Assaad J., Khatib J., 2024: *Recycled materials used for sustainable pervious concrete. Sustainable Concrete Materials and Structures* (eds.: Ashour A., Wang X. and Han B.). – Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, 2024, Pages 127 – 143.

Deleprani F.B., Vilarim da Silva R., Araújo G.S., 2025: *Pervious concrete using construction and demolition waste (CDW) and recycled EPS.* – Matéria (Rio de Janeiro), 30, License CC BY 4.0.

Diotti A., Cominoli L., Plizzari G., Sorlini S., 2022: *Experimental Evaluation of Recycled Aggregates, Washing Water and Cement Sludge Recovered from Returned Concrete.* – Applied Science, 13, 36.

Exteberria M., Marí A.R., Vázquez E., 2007: *Recycled aggregate concrete as structural material.* – Materials and Structures, 40, 529 – 541.

González J.S., Gayarre F.L., Pérez C.L.C., Ros P.S., López M.A.S., 2017: *Influence of recycled brick aggregates on properties of structural concrete for manufacturing precast prestressed beams.* – Construction and Building Materials, 149, 507 – 514.

Guarav G., Kotoky N., Jittin V., Bahurudeen A., 2023: *Performance assessment of recycled aggregate concrete and its variability*. – Structural Concrete, 24, 6239 – 6250.

Hela R., Křížová K., 2022: *Možnosti využívaní betonových a cihelných recyklátů jako náhrady přírodních kameniv*. – Zborník z odborného seminára Výroba betónu 2022, SAVT, Vysoké Tatry – Štrbské Pleso, 6 – 17.

Joyklad P., 2024: *Evaluating research on the utilization of recycled brick aggegates in concrete. Review.* – Discover Applied Sciences, 6, 167.

KLK 1/2021: *Katalógové listy kameniva (KLK) 1/2021. + Dodatok č. 1/2023 ku KLK 1/2021 + Dodatok č. 2/2025 ku KLK 1/2021*. – Ministerstvo dopravy a výstavby SR, sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií.
KLK KB 1/2021: *Katalógové listy kameniva pre konštrukčné betóny.* – Ministerstvo dopravy a výstavby SR, sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií.
Knapcová V., Pacheco J., de Brito J., Sonnenschein R., 2024: *Eurocode 2 design of recycled aggregate concrete elements under compression: Evaluation through model uncertainties from tests on columns.* – Structural Concrete. 25(5):3050–64.
Kollár J., 2022: *Podkladová vrstva vozovky z recyklovaného kameniva.* – Zborník z odborného seminára Výroba betónu 2022, SAVT, Vysoké Tatry – Štrbské Pleso, 45 – 49.
Marko O., 2023: *Projekt Námestie Slobody*. – Dostupné online: https://www.mib.sk/projekt/namestie-slobody [cit. 2026-04-14].
Najdená I., 2022: *Použitie recyklovaného kameniva do betónu – teória a prax.* – SZVK, časopis pre odborníkov. XXIV. ročník, 2/2022, SZVK Košice, 14 – 18.
Najdená I., 2023: *Vhodnosť recyklovaného kameniva na výrobu betonárskych výrobkov z pohľadu výrobkových noriem.* – SZVK, časopis pre odborníkov, XXV. ročník, 1/2023, SZVK Košice, 13 – 18.
Nováková I., Mikulica K., 2018: *Faktory ovlivňující kvalitu recyklovaného betonového kameniva.* – Portal TZB info. Dostupné online: https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/18061-faktory-ovlivnujici-kvalitu-recyklovaneho-betonoveho-kameniva [cit. 2026-04-14].
Protokol EÚ o nakladaní so stavebným odpadom a odpadom z demolácie, 2016. – Európska komisia.
Smernica EP a Rady 2008/98/ES z 19. novembra 2008 o odpade a o zrušení určitých smerníc. – Dostupné online: https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/%20LexUriServ.%20do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:SK:PDF
Sojková V., 2025: *Environmentální dopady využívání recyklátů ve stavebních výrobcích.* – In: Škopán M. (ed.): RECYCLING 2025 – Cirkulární ekonomika ve stavebnictví, recyklace a využívání druhotných stavebních materiálů, Vysoké učení technické v Brně, 153 s.
STN 736133 *Stavba ciest. Teleso pozemných komunikácií.*
STN (ČSN) EN 206 + A2, 2021 *Betón. Špecifikácia, vlastnosti a zhoda.*
STN EN 1097-1: 2011, *Skúšky na stanovenie mechanických a fyzikálnych vlastností kameniva. Časť 1: Stanovenie odolnosti proti obrusovaniu (mikro-Deval).*
STN EN 1097-6: 2023, *Skúšky na stanovenie mechanických a fyzikálnych vlastností kameniva. Časť 6: Stanovenie objemovej hmotnosti zŕn a nasiakavosti*.
STN EN 1936: 2007, *Skúšky prírodného kameňa. Stanovenie mernej hmotnosti, objemovej hmotnosti a celkovej a otvorenej pórovitosti.*
STN EN 1367-1: 2007, *Skúšky na stanovenie tepelných vlastností a odolnosti kameniva proti klimatickým účinkom. Časť 1: Stanovenie odolnosti proti zmrazovaniu a rozmrazovaniu*.
STN EN 12620 + A1: 2008, *Kamenivo do betónu*.
STN EN 13242 + A1 *Kamenivo do nestmelených a hydraulicky stmelených materiálov používaných v inžinierskom staviteľstve a pri výstavbe ciest (Konsolidovaný text).*
STN EN 13285 *Nestmelené zmesi. Špecifikácie (2020).*
Široká H., 2018: *Vodopriepustný betón (pervious concrete)*. – Dostupné online: https://www.istavebnictvo.sk/clanky/vodopriepustny-beton-pervious-concrete [cit. 2026-04-14].
Štatistický úrad SR. *Ročenky Odpady z hospodárstva Slovenskej republiky za príslušný rok*. – Dostupné online: https://slovak.statistics.sk/wps/portal/ext/home. [cit. 2025-09-10]
Štefancová S., 2024: *Recyklovaný betón: trend či nevyhnutnosť?* – ASB, 2023, 11 – 12. Dostupné online: https://www.asb.sk/zelena-obnova/recyklovany-beton-trend-ci-nevyhnutnost [cit. 2024-05-22].
TBG Metrostav, 2024: *R-CRETE® jak využít recyklované kamenivo.* – Materiály pro stavbu, 30, 2, 20 – 21. Dostupné: https://imaterialy.cz/rubriky/materialy/r-crete-jak-vyuzit-recyklovane-kamenivo/ [cit. 2024-05-02].
TKP 5 *Podkladové vrstvy z nestmelených a hydraulicky stmelených zmesí*, 2020 + Dodatok č. 1 k TKP 5/2023. – Ministerstvo dopravy SR, Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií.
Ulusay, R., Hudson, J.A. (eds.), 2007: *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006.* – Kozan Ofset Matbaacılık San. ve Tic. Şti. Ankara, Turkey, 628 s.
Villoria Sáez P., Osmani M., 2019: *A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union. – Journal of Cleaner Production*, Volume 241, 118400.
Wenzhan J., Tao Z., Guoyou L., 2018: *Experimental Study on Recycled Aggregate Pervious Concrete.* – International Journal of Architectural, Civil and Construction Sciences, 12, 9.
web portál JRC, 2024: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/scientific-activities-z/less-waste-more-value/construction-and-demolition-waste_en, [cit. 2025-03-15]
web portál Odpady-portal, 2024: https://www.odpady-portal.sk/Dokument/108243/ecorec-bratislava-zber-stavebne-odpady.aspx: Ecorec v Bratislave otvoril novú prevádzku na zber stavebných odpadov, [cit. 2026-04-9]

POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ PEVNOSTI V PROSTÉM TLAKU NA TĚLESECH HORNIN A BODOVÉ PEVNOSTI V PROSTÉM TLAKU NA ÚLOMCÍCH HORNIN

Mgr. Pavlína Frýbová, Ph.D.

E-mail: frybova@geotec-gs.cz
Geotec-GS, a.s., Franzova 922/70, 614 00 Brno-Maloměřice

Další autoři: Mgr. Ludmila Knížková

Abstrakt:
Na stanovení bodové pevnosti v prostém tlaku na úlomcích hornin (tzv. Point Load Test) je často pohlíženo jako na nespolehlivou metodu, z níž nelze získat spolehlivá data. Tato metoda, která je popsána v normě ASTM-D5731-16, může být ale zdrojem použitelných dat v případě, kdy není vzhledem ke stavu odebraných horninových vzorků, možné vyřezat zkušební tělesa ke stanovení pevnosti v prostém tlaku dle ČSN EN 1926. Bylo provedeno porovnání výsledků obou metod na dvou různých typech hornin (homogenní a všesměrně zrnité až porfyrické). Homogenní a kompaktní typy hornin (např. prachovce) vykazují velmi malé rozdíly výsledných hodnot. Nehomogenní až porfyrické typy hornin (např. granitoidy) vykazují znatelnější rozdíly výsledných hodnot. U obou typů hornin ale nejsou rozdíly mezi pevností získanou na tělesech hornin a na úlomcích větší než rozdíly mezi hodnotami stanovenými na jednotlivých tělesech jednoho vzorku. Tyto výsledky poukazují na to, že pokud je použito dostatečné množství materiálu a je dodržen postup dle ASTM-D5731-16, lze touto metodou získat použitelná data.

ÚSKALÍ ODBĚRU A POUŽITELNOSTI ODEBRANÝCH VZORKŮ PRO LABORATORNÍ ZKOUŠKY

Mgr. Pavlína Frýbová, Ph.D.

E-mail: frybova@geotec-gs.cz
Geotec-GS, a.s., Franzova 922/70, 614 00 Brno-Maloměřice

Další autoři: Mgr. Ludmila Knížková

Abstrakt:
Téměř žádný inženýrskogeologický průzkum se dnes neobejde bez stanovení základních fyzikálních, mechanických či chemických parametrů zemin, hornin, případně podzemních vod. Za tímto účelem jsou odebírány vzorky, které následně putují do laboratoří, kde mají být podrobeny adekvátním zkouškám. Opakovaně se však v laboratoři setkáváme s nedostatečným množstvím a nevyhovující kvalitou vzorků pro danou laboratorní zkoušku. Přičemž dostatečná kvalita a množství odebraného vzorku je základním předpokladem pro možnost získání relevantních dat z laboratorních zkoušek. V některých případech stav a množství materiálu, vycházející mimo jiné i z technických norem, ovlivnit nelze a provedení určité zkoušky na konkrétním vzorku tak není technologicky možné. Často se jedná pouze o nedostatek informací o dané laboratorní zkoušce, kdy je pak poměrně složité v terénu odhadnout množství odebraného materiálu v takové kvalitě, aby byl pro zvolenou laboratorní zkoušku použitelný. Přehled nejčastěji zadávaných laboratorních zkoušek s prezentací samotné přípravy vzorku, včetně náročnosti na množství a kvalitu dodaného vzorku, by měl přispět k maximálnímu využití potenciálu získaného materiálu od odběru vzorků v terénu až po provedení laboratorních zkoušek.

NASTAVENÍ LABORATORNÍHO PROGRAMU PŘI PRŮZKUMU NESTABILNÍCH SVAHŮ A SEDÁNÍ NÁSYPŮ

DESIGN OF A LABORATORY TESTING PROGRAMME FOR THE INVESTIGATION OF UNSTABLE SLOPES AND EMBANKMENT SETTLEMENT

Ivan Poul

[1]*Projekce iGEO s.r.o., nám. 28. října 1899/11, 602 00 Brno, e-mail: ivan.poul@igeo.cz*

Abstrakt

Příspěvek se zabývá nastavením laboratorního programu při průzkumných pracích pro geotechnicky rizikové úlohy, zejména pro nestabilní svahy a násypová tělesa se sklony k sedání. V těchto případech není laboratorní program administrativním doplňkem vrtů, ale zdrojem parametrů pro stabilitní výpočet, posouzení deformací a návrh sanačních nebo konstrukčních opatření. Základní otázkou proto není počet zkoušek, ale jejich vazba na řešený mechanismus: smykovou poruchu, konsolidaci, stlačitelnost, změnu vodního režimu nebo proměnlivost mechanických vlastností s hloubkou. Text rozlišuje úlohy, pro které jsou rozhodující pevnostní parametry, od úloh, kde jsou klíčové parametry deformační a konsolidační. Zdůrazněna je také nutnost kalibrace nepřímých polních metod průkaznými laboratorními nebo přímými in situ zkouškami. Pro zjednodušení se jedná pouze o modifikovaný model Mohr-Coulomb pro zeminy a Hoek-Brown pro horniny.

Klíčová slova: laboratorní program, smyková pevnost, sedání násypů, stabilita svahu, oedometrická zkouška, triaxiální zkouška, krabicová smyková zkouška, CPTu, DP, kalibrace metod

Abstract: The paper deals with the design of a laboratory testing programme for geotechnically demanding investigation tasks, particularly unstable slopes and embankment structures prone to settlement. In such cases, the laboratory programme is not merely an administrative supplement to borehole investigations but a source of parameters required for stability analyses, deformation assessment, and the design of remediation or structural measures. Therefore, the fundamental issue is not the number of tests performed, but their relevance to the governing mechanism being investigated: shear failure, consolidation, compressibility, changes in groundwater conditions, or variability of mechanical properties with depth. The text distinguishes between problems where strength parameters are decisive and those where deformation and consolidation parameters are the key factors. Emphasis is also placed on the necessity of calibrating indirect field methods using reliable laboratory tests or direct in situ testing. For simplification purposes, the evaluation is limited to the modified Mohr–Coulomb model for soils and the Hoek–Brown model for rocks.

Keywords: laboratory testing programme, shear strength, embankment settlement, slope stability, oedometer test, triaxial test, direct shear test, CPTu, dynamic penetration testing, method calibration

1. Úvod

Laboratorní program je v české průzkumné praxi často sestavován jako běžný balík zkoušek: zrnitost, vlhkost, meze plasticity, případně několik objemových hmotností. Pro základní popis zemin může být takový postup dostačující. U geotechnicky rizikových úloh je však podstatné něco jiného. Projektant nepotřebuje vědět pouze to, jak se zemina jmenuje podle klasifikace, ale jak se bude chovat při zatížení, odvodnění, smyku nebo dlouhodobé konsolidaci.

Nestabilní svahy a sedání násypů ukazují tento rozdíl velmi dobře. U svahu rozhoduje zejména smyková pevnost zemin, pórové tlaky a skutečná poloha potenciální (lépe ověřené) smykové plochy. U násypu nebo jeho podloží rozhoduje stlačitelnost, konsolidační chování, objemová tíha a změna vlastností s hloubkou a velikost pórových tlaků. Stejný laboratorní program proto nemůže být automaticky vhodný pro obě úlohy.

Laboratorní program se má navrhovat od konce. Nejdříve je třeba vědět, jaký výpočet bude proveden, jaký mezní stav má být posouzen a které parametry do něj budou vstupovat. Teprve potom má smysl rozhodovat, jaké vzorky odebrat a jaké zkoušky objednat. Pokud tento krok chybí, vznikne formálně správný průzkum, ale výsledky zůstanou jen obtížně použitelné pro projektování konstrukce.

2. Laboratorní program podle geotechnické úlohy

Základní chybou je postup, při kterém se nejprve stanoví seznam laboratorních zkoušek a teprve následně se hledá jejich využití. Správný přístup je opačný – nejdříve je nutné jednoznačně definovat geotechnický problém a až na jeho základě navrhnout laboratorní program (např. EN 1997-2 ed. 2 Anx. C).

Geotechnická úloha	Rozhodující mechanismus	Potřebné parametry	Typické zkoušky
Nestabilní svah	smyk po ploše, změna pórových tlaků, přitížení	φ_{ef}, c_{ef}, c_u, γ, případně reziduální parametry	krabicová smyková zkouška, triaxiál, laboratorní/vrtulková zkouška, objemová hmotnost
Násypové těleso	stlačení a dotvarování násypového materiálu	E_{def}, E_{oed}, mv, cv, γ, w, k, míra zhutnění	edometr, objemová hmotnost, vlhkost, propustnost, případně triaxiál
Podloží násypu	konsolidace měkkých a jemnozrnných vrstev	E_{def}, E_{oed}, cv, k, γ, w, mocnost stlačitelných vrstev	neporušené vzorky, oedometr, propustnost, doplnění CPTu/DP
Použitelnost zemin do násypu	vhodnost materiálu a jeho hutnitelnost	zrnitost, plasticita, vlhkost, CBR_{sat}, případně smykové/deformační vlastnosti	zrnitost, Atterbergovy meze, Proctor standard, CBR_{sat}, doplňkové mechanické zkoušky

Tab. 1: Vazba laboratorního programu na geotechnickou úlohu (srovnej s ČSN EN 1997-2 tab. 2.2. a 2.3). Počet vzorků viz odst. 2.4.2.4, kvalita vzroků tab. 3.1.

Geotechnical problem	Controlling mechanism	Required parameters	Typical tests
Unstable slope	Shear along a failure surface, changes in pore water pressure, surcharge loading	φ_{ef}, c_{ef}, c_u, γ, possibly residual strength parameters	Direct shear test, triaxial test, laboratory/vane shear test, bulk density
Embankment body	Compression and creep deformation of embankment material	E_{def}, E_{oed}, mv, cv, γ, w, k, , degree of compaction	Oedometer test, bulk density, water content, permeability test, optionally triaxial test
Embankment foundation soil	Consolidation of soft and fine-grained layers	E_{def}, E_{oed}, cv, k, γ, w, thickness of compressible layers	Undisturbed samples, oedometer test, permeability test, supplemented by CPTu/DPT
Suitability of soils for embankment construction	Material suitability and compactability	Grain-size distribution, plasticity, water content, CBR_{sat}, optionally shear strength and deformation properties	Grain-size analysis, Atterberg limits, Proctor Standard test, CBR_{sat}, supplementary mechanical

Table 1: Relationship between the laboratory testing programme and the geotechnical problem (compare with Tables 2.2 and 2.3 of EN 1997-2). Number of samples according to Section 2.4.2.4; sample quality according to Table 3.1.

U svahů je třeba si položit otázku, zda je rozhodující mělké povrchové porušení, hluboká smyková plocha, reaktivace starého sesuvu, změna hladiny podzemní vody nebo přitížení koruny svahu. Současně je nutné posoudit, zda byly zeminy smykově porušeny až v důsledku sesuvu, nebo zda ke smykovému porušení došlo již dříve a sesuv představuje pouze jeho následný projev. U násypů je naopak zásadní určit, zda dochází k deformacím vlastního násypového tělesa, jeho podloží, nebo obou částí konstrukce současně. U jemnozrnných zvodnělých zemin se stabilita svahu posuzuje jak v režimu neodvodněné smykové pevnosti (např. při rychlé výstavbě nebo pomalém rozptylu tlaků pórové vody), tak i v režimu odvodněných podmínek, které rozhodují o dlouhodobé stabilitě. Teprve odpovědi na tyto otázky určují potřebný rozsah laboratorních zkoušek.

Pro stabilitní výpočty jsou rozhodující zejména efektivní smykové parametry φ_{ef}, a c_{ef},, neodvodněná smyková pevnost c_u, objemová tíha γ a informace o hydrogeologických poměrech a vodním režimu. U opakovaně nebo dlouhodobě aktivních sesuvů může být nezbytné stanovit také reziduální smykové parametry, jejichž laboratorní určení je však technicky náročné a vyhledání smykové plochy (ploch).

Při hodnocení deformací a sedání jsou klíčové parametry stlačitelnosti a konsolidace, zejména oedometrický modul deformace E_{oed}, deformační modul E_{def} (stanovený měřením v terénu), součinitel konsolidace cv, Poissonovo číslo v, součinitel hydraulické vodivosti k, objemová tíha γ, vlhkost w a napěťová historie zeminy vyjádřená poměrem překonsolidace OCR aj.

3. Vzorky a přímé metody

Laboratorní výsledek začíná už způsobem odběru vzorku (ČSN EN ISO 22475-1). Mechanická zkouška na vzorku, který neodpovídá požadované třídě kvality, může poskytnout číslo, ale nemusí poskytnout použitelný parametr. Vrty a bagrované sondy proto nejsou pouze prostředkem pro popis vrstev. U geotechnicky rizikových úloh slouží zejména k odběru vzorků pro průkazné laboratorní testování a k ověření výsledků polních metod.

Při mechanickém testování lze pracovně rozlišit metody přímé a nepřímé. Mezi přímé metody lze zařadit laboratorní mechanické analýzy, polní vrtulkovou zkoušku a zatěžovací zkoušku deskou. Nepřímé metody, například dynamické a statické penetrační sondy, dilatometrii, presiometrii nebo geofyziku, neposkytují mechanické parametry samy o sobě, ale prostřednictvím interpretace, korelací a místní zkušeností. To není jejich slabina, pokud jsou správně kalibrovány.

Vrtulková zkouška je vhodným příkladem přímé metody pro jemnozrnné saturované zeminy. Ve vrtu lze rychle stanovit neodvodněnou smykovou pevnost c_u. Výsledek však nesmí být mechanicky přepsán do výpočtu bez úpravy a interpretace. Je třeba zohlednit vlastnosti zeminy, zejména mez tekutosti $_{wL}$ a podmínky, za kterých je parametr použitelný (EC7-2 příloha I).

Zatěžovací zkouška deskou je naopak velmi praktická pro ověření deformačního chování v terénu. Při použití větší desky (>450 mm) lze lépe postihnout chování většího objemu zeminy do větší hloubky než u malého laboratorního vzorku (hloubka dosahu také závisí na smykové pevnosti, uplatňuje se tu Mohr-Anderonovům model křehkého porušení). U násypů a úprav podloží může být zatěžovací zkouška deskou vhodným kalibračním prvkem pro dynamické penetrace i pro kontrolu předpokladů návrhu. Vrcholným testem je vybudování testovacího polygonu a přímé měření napjatosti, pórových tlaků a zejména sedání.

4. Laboratorní program pro stabilitu svahů

U nestabilních svahů je laboratorní program navázán přímo na stabilitní výpočet. Nestačí určit, zda jde o jíl, prach, písek nebo navážku. Rozhodující je, jaké pevnostní parametry mají být použity ve výpočtu a zda odpovídají skutečnému mechanismu poruchy. U svahu, který se již smykově porušil nebo je dlouhodobě deformován, je použití vrcholových parametrů chybné. V takové úloze mohou být rozhodující pórové tlaky a parametry reziduální a ověření jejich platnosti zpětnou analýzou.

Pro stabilitní posouzení je obvykle nutné získat efektivní smykové parametry φ_{ef} a c_{ef}, případně neodvodněnou smykovou pevnost c_u. Zároveň musí být známa objemová tíha a vodní režim. Hladina podzemní vody nebo pórové tlaky nejsou vedlejší údaj. V jemnozrnných zeminách i rozpukaných horninách mohou rozhodnout o tom, zda je svah ve výpočtu stabilní, nebo zda je nutné navrhovat sanaci. Důležitá je take observační metoda v terénu porovnávající současný stav s minulostí.

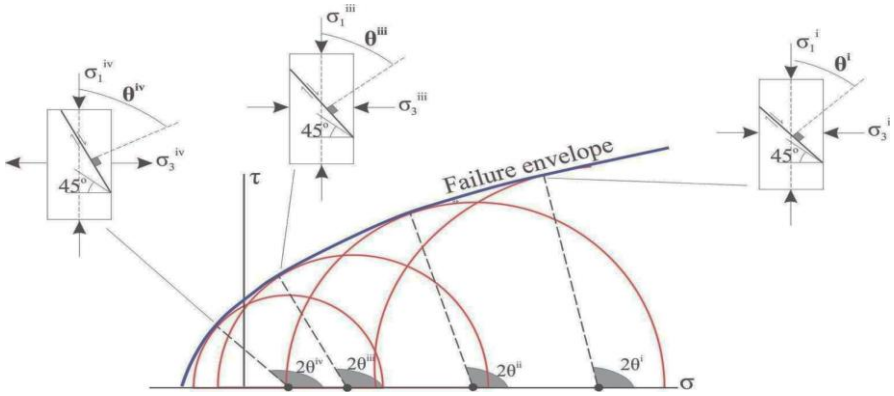
Volba zkoušky musí odpovídat druhu zeminy a měřítku problému. Jemnozrnné zeminy lze testovat v běžných smykových nebo triaxiálních přístrojích (v případě triaxiálu pozor na skryté smykové plochy). U kamenitých navážek, jílovitých štěrků, zvětralých poloskalních hornin nebo hrubozrnných směsí už je běžný rozměr vzorku nedostatečný (dle normy ČSN EN ISO 17892-10 musí být max. velikost zrna 10 % výšky testovaného tělesa zeminy). V takovém případě má smysl uvažovat velkoobjemové smykové zkoušky nebo kombinaci laboratorních dat s polními metodami.

Zrnitost a meze plasticity mají ve stabilitní úloze podpůrnou roli. Pomáhají zeminu klasifikovat, zvolit vhodný typ mechanické zkoušky a interpretovat její chování. Geotechnicky významné jílové minerály zahrnují zejména smektity, illit, kaolinit, vermikulit a chlority, které ovlivňují bobtnavost, plasticitu a smykové vlastnosti Zemin (pozor na tzv. quick clays). Samy o sobě však tyto znalosti nejsou smykovou pevností. Pokud se stabilita svahu počítá z parametrů odhadnutých podle popisu nebo zrušené normy pro plošné zakládání ČSN 73 1001, vzniká model, který bývá zbytečně konzervativní, nebo naopak nebezpečně optimistický.

zemina	φ_{ef} (°) úhel vnitřního tření	c_{ef} (kPa) soudržnost
štěrk	35-45	0-15
písek	28-40	0-15
prach	25-35	5-25
jíl (smektity)	18-25	20-160
jíl (vermikulitú	25-30	5-10

Tab. 2: Mechanické vlastnosti zemin při realizaci saturované konsoliované odvodněné smykové zkoušky (autorova zkušenost)

Tab. 2: Mechanical properties of soils determined by saturated consolidated drained shear testing (author's experience)



Obr. 1: Zobrazení nelineární Mohrovy obálky a vlivu distribuce napětí ve vzorcích hornin během jednotlivých zkoušek na stanovení velikosti úhlu vnitřního tření (brazilská zkouška odpovídá nejmenší Mohrově kružnici). Získané parametry efektivní smykové pevnosti jsou následně derivací nelineární funkce pro požadovanou úroveň efektivního napětí (platí pro neporušený masiv).

Fig. 1: Visualization of the nonlinear Mohr envelope and the influence of stress distribution within rock specimens during different tests on the resulting friction angle (the Brazilian test corresponds to the smallest Mohr circle). The obtained effective shear strength parameters are subsequently derived from the nonlinear function for the required effective stress level (valid for intact rock only).

5. Laboratorní program pro sedání násypů

U násypů je hlavním problémem deformace. Sedat může vlastní násypové těleso, stlačitelné podloží nebo obě části konstrukce současně. Laboratorní program proto musí vycházet z konkrétního mechanismu deformace – zda se posuzuje krátkodobá deformace, rychlé přitížení během výstavby, dlouhodobé konsolidační sedání, sekundární stlačení, změny vlhkosti, účinky hutnění nebo únosnost po zatížení.

Základní laboratorní metodou pro hodnocení jemnozrnných zemin je oedometrická zkouška. Umožňuje stanovit parametry stlačitelnosti, koeficient konsolidace a koef. hydraulické vodivosti, které jsou nezbytné pro výpočet velikosti a časového průběhu sedání. Výsledky jsou však výrazně ovlivněny kvalitou vzorku, jeho porušením při odběru a reprezentativností zkoušené vrstvy. Jeden kvalitní oedometrický výsledek může být velmi cenný, ale bez znalosti prostorové proměnlivosti podloží nemusí charakterizovat celé řešené území. V souladu s ČSN EN 1997-2 je proto nutné výsledky vyhodnocovat statisticky a posuzovat jejich reprezentativnost. Vhodné je porovnání výsledků zatěžovacích pokusů v terénu, měření deskou a výsledky z oedometru. Metodika je to komplikovaná, neboť z oedmetru přichází jednoosá stlačitelnost pracující s pružným a plastickým chováním (při přiblížení se k nulové pórovitosti deformace nenarůstá). Zatěžovací zkouška deskou je složitější, kdy při nižších napětích vzniká pouze pružná deformaci, ale při narůstajícím zatížení se začíná projevovat deformace plastická a mnohdy i křehká (vývoj aktivního klínu Mohr-Andersonova modelu $90° - \varphi_{ef}$).

U násypových těles je nutné sledovat také objemovou hmotnost (a stálost), vlhkost, míru zhutnění a případně hydraulické vlastnosti materiálu. Mechanické vlastnosti se mohou s hloubkou měnit v důsledku rozdílného materiálového složení, předchozího zatížení a postupující konsolidace. Z tohoto důvodu je vhodné kombinovat laboratorní zkoušky s penetračními metodami. Penetrace poskytuje informace o průběhu vlastností s hloubkou, zatímco laboratorní zkoušky poskytují diskrétní přímé parametry využitelné pro výpočty.

$E_{oed} = E_{def}\frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$	$\nu = \frac{1-\sin\varphi_{ef}}{2-\sin\varphi_{ef}}$	$E_{def} = \beta \cdot E_{oed}$	$\beta = \frac{1-\nu-2\nu^2}{1-\nu}$
Z teorie pružnosti vychází vztah pro přepočet E_{oed} na E_{def} a obráceně	*Stanovení Poissonova čísla pomocí Jákyho vztahu (jedná se o funkci ef.úhlu vnitřního tření)*	*Přepočet oedomerického modulu na deformační lze také pomocí koef. β*	*Maziův koeficient β pro přepočet oedomerického modulu na deformační*
Based on the theory of elasticity, a relationship can be derived for the conversion between the oedometer modulus of deformation E_{oed} and the deformation modulus E_{def}, and vice versa.	*Determination of Poisson's ratio using Jaky's relationship (as a function of the effective angle of internal friction).*	*The conversion of the oedometer modulus to the deformation modulus can also be performed using the conversion coefficient β*	*Mazio's coefficient β for the conversion of the oedometer modulus to the deformation modulus* *I.Poul, 2026*

Tab. 3: Vzahy pro přepočet E_{oed} na E_{def}

Table 3: Relationships for the conversion of E_{oed} to E_{def}

$q_{dyn,k} = q_{dyn}(N_{10} - xM_v)$	*Korekce počtu úderů dynamické penetrace se provádí s ohledem na vliv tření na soutyčí pomocí naměřeného torzního momentu M_v podle metodiky Matyse a kol. 1990. Hodnota korekčního součinitele x se obvykle pohybuje v rozmezí 0,02 až 0,1*
	The correction of the dynamic penetration blow count is performed by considering the friction effect along the rods using the measured torsional moment M_v, according to the methodology of Matys et al. 1990. The correction coefficient x usually ranges from 0.02 to 0.1.

Tab. 4: Korelace výsledků DPH

Table 4: Correlations of DPH results

Dynamické penetrace jsou vhodné zejména pro vymezení rozhraní vrstev a změn ulehlosti zemin. U jílovitých a lepivých zemin však mohou být výsledky DP velmi významně ovlivněny třením na soutyčí. Bez odpovídajících korekcí a kalibrace mohou vést k nadhodnocení únosnosti, což představuje významné geotechnické riziko (zejména pro pružinové modely hlubinného založení). Statická penetrace, zejména s měřením pórového tlaku (CPTu), poskytuje spojitější a lépe interpretovatelný obraz geotechnického profilu. I zde však platí, že převod naměřených hodnot na výpočtové parametry je odborný interpretační krok, nikoliv pouze odečet jedné hodnoty ze záznamu (viz ČSN EN 1997-2 příloha D, EN 1997-2 ed.2 Apx. 2E a Robertson & Cabal 2024).

6. Kalibrace laboratorních a polních výsledků

Nejdůležitější částí celého průzkumu není počet vrtů ani počet laboratorních protokolů, ale jejich vzájemná návaznost a možnost statistického vyhodnocení výsledků a vyloučení odlehlých hodnot. Laboratorní zkouška poskytuje parametr na konkrétním vzorku (pro danou polohu z hloubky odběru). Polní metoda ukazuje proměnlivost prostředí v hloubce nebo v ploše. Geologický model vysvětluje, proč se prostředí mění. Teprve spojením těchto tří částí vzniká geomechanický model použitelný pro projektování stavby.

Nepřímé metody je nutné kalibrovat metodami přímými. V praxi to znamená například ověřit, zda stlačitelnost odvozená z DP nebo CPTu odpovídá oedometrickým výsledkům (nyní je na stole otázka při jakém napjatostním režimu jsou interpretace porovnány). U jemnozrnných zemin lze dynamické penetrace kalibrovat pomocí vrtulkové zkoušky a testováním tření soutyčí bez působení hrotu. U zemin, kde je možné provést zatěžovací zkoušku deskou, lze penetrační výsledky porovnat s deformačním chováním ověřeným přímo v terénu.

Kalibrace není formální akademický požadavek (viz EN 1997-2 ed. 2). Bez ní může být návrh buď zbytečně drahý, nebo rizikový. Pokud penetrační sonda ukáže zvýšený odpor v hloubce, je třeba vědět, zda jde o skutečné zlepšení mechanických vlastností, o změnu granulometrie, o vliv tření na soutyčí nebo o jiný jev. Pokud oedometr ukáže vysokou stlačitelnost, je nutné ověřit, jak mocná je taková vrstva a zda je plošně spojitá (pomocí penetrační zkoušky). Samotné číslo nestačí.

Metoda	Charakter výstupu	Typická úloha	Poznámka
Edometr	stlačitelnost, koef. hydraulické vodivosti	sedání násypu a podloží	Citlivé na kvalitu neporušeného vzorku, volba zatěžovacích kroků, s vodou, bez vody
Krabicová smyková zkouška	*φef, cef*, případně reziduální parametry	stabilita svahu, smyk po ploše	nutná volba normálových napětí odpovídajících úloze, s vodou, bez vody
Triaxiální zkouška	pevnostní a deformační parametry, koef. hydraulické vodivosti	stabilita, deformace, složitější napjatostní stavy	vhodná tam, kde nestačí prostý smykový model (pozor na smykově porušené zeminy)
Vrtulková zkouška	*cu* in situ	saturované jemnozrnné zeminy	výsledek vyžaduje korekce (pomocí w_L)
Zatěžovací deska	*Edef*, chování při zatížení	násypy, podloží, kontrola zlepšení zemin	vhodné pro kalibraci polních nepřímých metod
DP / CPTu	spojitý záznam odporu a odvozené parametry	rozhraní vrstev, proměnlivost s hloubkou	vyžaduje kalibraci přímými metodami

Tab. 2: Příklad návaznosti metod na typické výstupy pro návrh (porovnej s ČSN EN 1997-2 tab. 2.2 a 2.3).

Method	Type of output	Typical application	Note
Oedometer test	Compressibility, coefficient of permeability	Settlement of embankments and foundation soils	Sensitive to the quality of undisturbed samples; selection of loading steps; tests with or without water saturation
Direct shear test	*φef, cef*, possibly residual strength parameters	Slope stability, shear along a failure surface	Requires selection of normal stresses corresponding to the analysed problem; tests with or without water saturation
Triaxial test	Strength and deformation parameters, coefficient of permeability	Stability, deformation, complex stress states	Suitable where a simple shear model is insufficient (attention required for previously sheared soils)
Shearvane test	*cu* in situ	Saturated fine-grained soils	Results require correction (e.g., using liquid limit w_L)
Plate load test	*Edef*, load–deformation behaviour	Embankments, subsoil, verification of soil improvement	Suitable for calibration of indirect in situ methods
DP / CPTu	Continuous recording of resistance and derived parameters	Layer interfaces, variability with depth	Requires calibration using direct methods

Table 2: Example of the relationship between testing methods and typical design parameters (compare with Tables 2.2 and 2.3 of EN 1997-2).

7. Klasifikační zkoušky a veřejné zakázky

Klasifikační zkoušky nejsou zbytečné; zrnitost, vlhkost, meze plasticity a objemová hmotnost jsou důležité pro zatřídění zemin, kontrolu použitelnosti materiálu a základní interpretaci (ČSN 73 6133, TP 76, SŽ S4, ČSN 75 2410). Jedná se o zjednodušené řešení výběru vhodné zeminy a vyloučení zemin problémových. Informační krize nastává ve chvíli, kdy tyto zkoušky nahrazují (nějakým způsobem odhadem) mechanické parametry tam, kde je nutné provést stabilitní výpočet nebo posouzení sedání, případně hutnící pokus.

Zrnitostní rozbor je vhodný například u dopravních staveb. Zrnitost však nepředstavuje smykovou pevnost ani stlačitelnost. Obdobně Atterbergovy meze umožňují charakterizovat jemnozrnné zeminy, ale nenahrazují oedometrické zkoušky, krabicový smyk, triaxiální zkoušky ani vhodné metody *in situ*.

Ve veřejných zakázkách bývá laboratorní program často definován pouze jako položkový seznam. Takové zadání je sice jednoduché pro ocenění, ale nemusí odpovídat potřebám geotechnického návrhu. Pokud je předem stanoven pouze počet zrnitostních rozborů, vlhkostí a mezí plasticity bez vazby na očekávaný mechanismus poruchy, nelze očekávat, že výsledky automaticky poskytnou parametry pro návrh sanace svahu nebo posouzení sedání násypu.

Vhodnější je etapový postup. V první fázi se provedou základní identifikační a klasifikační zkoušky. Na základě geologického modelu, výsledků sond a předběžné interpretace se následně volí cílené mechanické zkoušky na reprezentativních vzorcích rozhodujících geotechnických typů vycházejících z požadavků projektanta na řešení dané úlohy. Takový postup je odborně náročnější, ale poskytuje výsledky využitelné pro vlastní návrh.

Pro návrh rozsahu průzkumných prací, tedy počtu vrtů, kopaných sond a penetračních zkoušek, je vhodné vycházet z ČSN EN 1997-2 a EN 1997-2 ed.2 a případně ze zahraničních předpisů, například AASHTO R 13 nebo USACE EM 1110-1-1804. Zejména u liniových staveb (silnice, železnice) AASHTO podporuje využití hustší sítě levnějších nepřímých metod (CPT, DP apod.) doplněné menším počtem vrtů sloužících ke kalibraci a ověření geologického modelu. Některé zahraniční předpisy (např. AS 1726 nebo NZS 4402) počty a typy sond přímo neurčují, ale vycházejí z odborné odpovědnosti geotechnického inženýra (nikoliv geologa), který navrhuje a ověřuje výpočtový model.

Doporučený poměr průzkumných metod může vycházet přibližně z kombinace 30 % CPTu, 30 % dynamických penetračních zkoušek, 30 % vrtů a 10 % přímého testování zemin a hornin (v odůvodněných případech s vyžitím geofyzikálních metod). Jednotlivé metody v terénu i laboratoři by měly být vzájemně kalibrovány a výsledky následně využity k vytvoření uceleného geotechnického modelu.

8. Závěr

Laboratorní program při průzkumu nestabilních svahů a sedání násypů nesmí být chápán pouze jako doplněk terénních prací. Představuje klíčovou část geotechnického průzkumu, která rozhoduje o tom, zda budou získané výsledky použitelné pro výpočty stability svahů, odhad sedání i návrh sanačních opatření. Základní otázkou proto není počet provedených laboratorních zkoušek, ale jejich účel a správné zaměření na změnu napjatosti při přechodu z původního do projektovaného stavu, včetně změn hydraulického režimu a vývoje pórových tlaků.

V případě stabilitních úloh musí být laboratorní program zaměřen především na stanovení pevnostních parametrů zemin a hornin, jejich deformačních charakteristik a parametrů ovlivňujících proudění podzemní vody. U násypů je naopak nezbytné zaměřit se zejména na stanovení stlačitelnosti, rychlosti konsolidace a prostorové proměnlivosti mechanických vlastností s hloubkou. Je nutné zohlednit například rozdílnou míru předchozího zatížení, stupeň překonsolidace, cementaci nebo změny mineralogického složení jílové frakce (např. zastoupení smektitu, vermikulitu nebo slíd). V obou případech mají klasifikační laboratorní zkoušky pouze podpůrný význam a nemohou nahradit přímé stanovení mechanických parametrů potřebných pro geotechnické výpočty.

Průkazná laboratorní analýza, kvalitní odběr neporušených vzorků podle ČSN EN ISO 22475-1, polní geotechnické zkoušky, geofyzikální profilování a geologická interpretace musí tvořit jeden vzájemně provázaný celek. Nepřímé metody je nezbytné kalibrovat metodami přímými a laboratorní výsledky vždy vztahovat ke skutečné prostorové proměnlivosti geologického prostředí. Ve složitých geologických podmínkách je vhodné využít geofyzikální

metody, například mělká refrakční seismika (MRS) nebo elektrickou odporovou tomografii (ERT), které umožňují zpřesnit geologický model mezi jednotlivými sondami (u předkvartérních hornin lze vyhledat i tektonické zlomy).

V horninovém prostředí představují významný zdroj informací také karotážní měření ve vrtech. Získané údaje lze za pomocí vrtného jádra převést na geomechanické charakteristiky, jako jsou *TCS, SCR, RQD, JRC a GSI* (např. Hoek 2007, ČSN EN 1997-2 ed.2), a následně je využít při sestavení Hoekova–Brownova modelu porušeného horninového masivu. Při hodnocení stability horninových svahů je přitom nezbytné věnovat zvláštní pozornost diskontinuitám, neboť ke ztrátě stability zpravidla dochází překročením smykové pevnosti na puklinách, poruchových zónách nebo silně zvětralých polohách. Teprve propojením výsledků laboratorních zkoušek, terénních měření a geologické interpretace vzniká geomechanický model, který nepředstavuje pouze popis geologických vrstev, ale poskytuje technický podklad pro numerické modelování a návrh geotechnických opatření.

$$TCR = \left(\frac{l_{\text{sum of pieces}}}{l_{\text{tot core run}}} \right) \times 100\%$$

$l_{\text{sum of pieces}}$ = Sum of length of core pieces

$l_{\text{tot core run}}$ = Total length of core run

$$SCR = \left(\frac{l_{\text{total length of core in pieces with full core diameter}}}{l_{\text{tot core run}}} \right) \times 100\%$$

$l_{\text{sum of solid core pieces with full diameter}}$ = Sum of length of solid, cylindrical, core pieces

$l_{\text{tot core run}}$ = Total length of core run

$$RQD = \left(\frac{l_{\text{sum of length of core pieces >100mm}}}{l_{\text{tot core run}}} \right) \times 100\ \%$$

$l_{\text{sum of length of core pieces >10cm}}$ = Sum of length of core pieces that are > 100 mm (4 inches) measured along the centerline

$l_{\text{tot core run}}$ = Total length of core run

Laboratorní program by proto neměl být navrhován podle rozsahu běžně objednávaných zkoušek (TP76, SŽ S4), ale podle parametrů, které budou skutečně vstupovat do geotechnických výpočtů. U nestabilních svahů a násypů tento princip platí dvojnásob. Laboratorní i terénní zkoušky musí být navrženy tak, aby simulovaly podmínky, které nastanou během výstavby i v průběhu následného provozu stavby; tedy změny napjatosti, pórových tlaků, nasycení a dlouhodobé konsolidace. Pouze tak lze získat vstupní parametry, které budou odpovídat skutečnému chování geotechnické konstrukce.

Literatura a technické podklady

Hoek, E. (2007). Practical Rock Engineering. Rocscience. - https://www.rocscience.com/learning/practical-rock-engineering

Matys M., Ťavoda O., Čuninka M. (1990): Poľné skúšky zemín. - Alfa Bratislava.

Robertson, P. & Cabal, K. (2024): Guide to Cone Penetration testing. - https://cpt-robertson.com/wp-content/uploads/2024/09/cpt-guide-7th-2024.pdf

AASHTO R 13: *Standard Practice for Geotechnical Engineering Field Investigations*.

AS 1726:2017: *Geotechnical Site Investigations*.

ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla.

ČSN EN 1997-2 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy.

ČSN EN ISO 17892-5: Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 5: Zkouška stlačitelnosti v edometru postupným přitěžováním

ČSN EN ISO 17892-10 Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 10: Krabicová smyková zkouška

ČSN EN ISO 22475-1 Geotechnický průzkum a zkoušení – Odběr vzorků a měření podzemní vody.

ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací.

EN 1997-2 (ed. 2) – Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing

NZGS: *Ground Investigation Specification*.

NZS 4402: *Methods of Testing Soils for Civil Engineering Purposes*.

SŽ S4: Železniční spodek

TP 76: Geotechnický průzkum pro pozemní komunikace.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE), EM 1110-1-1804: *Geotechnical Investigations*.

VLIV VARIABILITY STANOVENÍ REZIDUÁLNÍ PEVNOSTI ZEMIN NA STABILITNÍ VÝPOČTY: PŘÍPADOVÁ STUDIE SESUVU BŘEZNO U POSTOLOPRT

Jakub Roháč

E-mail: jakub.rohac@natur.cuni.cz
Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, 12800 Praha 2

Další autoři: Bianca Georgina Severini, Jan Jerman, Jan Najser

Abstrakt:
Příspěvek prezentuje výsledky experimentálního ověření opakovatelnosti a reprodukovatelnosti zkoušek reziduální pevnosti zemin v rotačním smykovém přístroji. Experimentální část zahrnovala 23 smykových zkoušek pro stanovení vnitřní opakovatelnosti. Pro posouzení reprodukovatelnosti byla využita data z mezilaboratorního porovnání šesti externích pracovišť (ČR i zahraničí), která testovala referenční zeminu z lokality Březno u Postoloprt.

Výzkum prokázal vysokou vnitřní opakovatelnost rotačních smykových zkoušek (φ_{res} = 7,34° ±0,39°). Výsledky reprodukovatelnosti však vykazují výrazně vyšší rozptyl (φ_{res} = 8,17 ±1,27°), což ukazuje na nekonzistentnost mezi různými typy rotačních smykových přístrojů. Překvapivým zjištěním je, že preciznost přípravy vzorku neměla na výsledný reziduální úhel statisticky významný vliv. Hlavní příčinou variability výsledků je tak spíše technická konstrukce přístrojů než lidský faktor při přípravě vzorků.

Získané výsledky a jejich odchylky jsou dále využity pro demonstraci vlivu této variability na inženýrskogeologickou praxi formou modelování stability sesuvu Březno u Postoloprt. Na tomto konkrétním příkladu je sledováno, jaký rozsah hodnot faktoru bezpečnosti (FoS) vykazuje dané území při zohlednění zjištěného rozptylu laboratorních dat. Na základě těchto zjištění jsou v příspěvku formulována praktická doporučení pro standardizaci postupů při provádění rotačních smykových zkoušek a interpretaci jejich výsledků v laboratorní praxi.

Sekce 13

Prostor pro zlepšení inženýrskogeologických průzkumů

VSTUPY NA POZEMKY PŘI GEOLOGICKÝCH PRŮZKUMECH

ENTRANCE TO PROPERTY DURING GEOLOGICAL SURVEY

František Dragoun[1], Filip Olejár[2]

[1] *SUDOP PRAHA a.s., Olšanská 2643/1a, 130 00 Praha 3, e-mail: frantisek.dragoun@sudop.cz*
[2] *SUDOP PRAHA a.s., Olšanská 2643/1a, 130 00 Praha 3, e-mail: filip.olejar@sudop.cz*

Abstrakt: Příspěvek se zabývá právními aspekty a problematikou vstupů na soukromé pozemky při přípravě a provádění průzkumných prací v inženýrské geologii a hydrogeologii. Pozornost je věnována zejména vymezení práv a povinností jednotlivých účastníků (zpracovatel průzkumu, majitel pozemku, zástupce investora) podle zákona o geologických pracích, dále pak zvláštnímu režimu pro vybrané stavby řešené dle liniového zákona a jejich návaznostech na stavební legislativu, a to primárně z pohledu zpracovatele průzkumných prací. V praxi se průzkumné práce často realizují v situaci, kdy je pro hladký průběh a dodržení časového harmonogramu, nezbytné sladit potřebu získání co nejpřesnějších geologických dat s ochranou vlastnického práva a se souvisejícími požadavky veřejné správy a investora. Cílem příspěvku je proto pojmenovat nejčastější problémy z praxe, zejména rozsah oprávnění ke vstupu, informování vlastníků, náhradu škod, součinnost dotčených osob a rozdíly mezi běžným režimem geologických prací dle zákona o geologických pracích a postupy u liniového zákona. Důraz je kladen na praktické důsledky pro projektovou přípravu, koordinaci s vlastníky a předcházení sporům, které mohou vést k prodlení průzkumu i následného povolování stavby, která není v zájmu ani zpracovatele průzkumu, ani investora. Příspěvek zároveň ukazuje, že kvalitně připravený právní a organizační postup je podmínkou efektivního a současně legitimního provedení průzkumných prací.

Abstract: The paper deals with legal aspects and issues of entry into private property during the preparation and implementation of exploration work in engineering geology and hydrogeology. Attention is paid to the definition of the rights and obligations of individual participants (surveyor, landowner, investor representative) under the Geological Works Act, as well as to the special regime for selected structures designed according to the Line Act and their links to construction legislation, primarily from the perspective of the surveyor. In practice, survey work is often carried out in a situation where, for a smooth process and adherence to the schedule, it is necessary to reconcile the need to obtain the most accurate geological data with the protection of property rights and the related requirements of the public administration and the investor. The aim of the contribution is therefore to name the most common problems in practice, particularly the scope of entry authorization, informing owners, compensation for damages, cooperation of affected persons and differences between the normal regime of geological works according to the Geological Works Act and the procedures under the Line Act. Emphasis is placed on practical consequences for project preparation, coordination with owners, and prevention of disputes that may lead to delays in the survey and subsequent permitting of construction, which is not in the interest of either the surveyor or the investor. The paper also shows that a well-prepared legal and organizational procedure is a condition for the effective and at the same time legitimate execution of survey work.

Klíčová slova: geologický průzkum, vstup na pozemek, kompenzace škod, legislativní rámec, spory

Key words: geological survey, entrance to property, compensation for damages, legislative framework, conflicts

1. Úvod

Povolení vstupu na pozemek je prvotním předpokladem možnosti provádět terénní část inženýrskogeologického a hydrogeologického průzkumu na soukromých pozemcích, které nejsou ve vlastnictví investora. Autoři článku mají dlouholeté zkušenosti se vstupy na pozemky i s jejich vývojem v čase – od vstupu na pozemek po ústní dohodě v minulosti (i když to bylo v rozporu s legislativou), až po co do délky vyjednávání složité procesy, se kterými jsou vstupy na soukromé pozemky spojené dnes.

Základní rámec vstupu na cizí nemovitosti a s tím související činnosti (ochrana děl, náhrada škody) při záměru provádění geologických prací stanovují § 14 až § 16 Zákona č. 62/1988 Sb. o geologických pracích a o Českém geologickém úřadu.

V případě průzkumů prováděných pro strategicky významnou infrastrukturu státu (mimo geologické práce vyjmenované v § 14 odst. 2 Zákona č. 62/1988 Sb.) lze v posledních letech postupovat dle tzv. liniového zákona (Zákon č. 416/2009 Sb. o urychlení výstavby strategicky významné infrastruktury) a to zejména podle § 2f tohoto zákona. Vybrané infrastrukturní a další strategické stavby jsou pak vyjmenované v přílohách 1-3 tohoto zákona. Náhrada škod je pak stanovena jako dvojnásobek částky stanovené podle Zákona č. 151/1997 Sb. o oceňovaní majetku a o změně některých zákonů (dále jen zákon o oceňovaní majetku).

2. Vstupy na pozemky dle Zákona č. 62/1988 Sb.

V případě standardního postupu dle Zákona č. 62/1988 Sb. o geologických pracích a o Českém geologickém úřadu (dále jen geologický zákon) jsou v § 14 stanoveny podmínky vstupu na cizí nemovitosti a jejich využívání.

§ 14 odst. 1 říká: *"Při záměru provádět geologické práce spojené se zásahem do pozemku jsou organizace povinny před vstupem na cizí pozemek uzavřít s vlastníkem pozemku nebo, není-li možné zjistit vlastníka, s nájemcem pozemku písemnou dohodu o provádění geologických prací, zřizování pracovišť, přístupových cest, přívodu vody a energie, jakož i provádění nezbytných úprav půdy a odstraňování porostů, popřípadě zřizování staveb; ustanovení zvláštních právních předpisů zůstávají nedotčena."*

§ 14 odst. 2 pak říká: *"Nedojde-li k dohodě podle odstavce 1, rozhodne příslušný krajský úřad o omezení vlastnických práv vlastníka nebo nájemce nemovitosti uložením povinnosti strpět provedení geologických prací. Rozhodnutí o omezení práv vlastníka nebo nájemce nemovitosti lze vydat pouze ve veřejném zájmu, není-li v rozporu se státní surovinovou politikou, v nezbytném rozsahu, na dobu určitou, za náhradu, a pokud tento zákon nestanoví jinak, podle zvláštního právního předpisu, pro*

a) vyhledávání ložisek ropy nebo zemního plynu,

b) vyhledávání ložisek vyhrazených nerostů hrazené plně z prostředků státního rozpočtu,

c) vyhledávání a průzkum zdrojů podzemních vod pro hromadné zásobování pitnou vodou nebo přírodních léčivých zdrojů (minerálních a termálních vod, plynů a emanací),

d) zjišťování a hodnocení geologických údajů pro tvorbu a ochranu životního prostředí,

e) vyhledávání a průzkum geologických struktur vhodných pro ukládání rizikových a radioaktivních odpadů,

f) vyhledávání a průzkum přírodních horninových struktur vhodných pro budování podzemních zásobníků pro uskladňování zemního plynu nebo ropy, nebo pro ukládání oxidu uhličitého,

g) geologické práce potřebné pro jiné činnosti prováděné ve veřejném zájmu,

h) zjišťování a vyhodnocování geologických údajů nezbytných pro prevenci nebo likvidaci stavů veřejného ohrožení zdraví a bezpečnosti obyvatelstva,

i) geologické práce prováděné při výkonu státní geologické služby."

Další specifika pak řeší odst. 3 předmětného paragrafu (zařízení sloužící obraně a bezpečnosti státu).

Geologický zákon tedy stanovuje povinnost uzavření dohody o vstupu na pozemek pro potřeby provádění geologických prací (vyjma činností uvedených v odst. 2 příslušného paragrafu). Tato dohoda nemá standardizovanou podobu, nicméně měla by obsahovat, mimo iniciál smluvních stran, specifikaci a umístění průzkumných prací/děl, domluvené podmínky pro vstup na pozemek a specifikaci výpočtu případné náhrady škody.

Geologický zákon pak v § 16 odst. 2 a 3 říká, že je povinností provádějící organizace *"uvést použité nemovitosti neprodleně do předešlého stavu, popřípadě pozemky po dohodě s vlastníkem nemovitosti rekultivovat. Pokud není možné nebo hospodářsky účelné nahradit způsobenou škodu uvedením do předešlého stavu, má vlastník nemovitosti právo na náhradu škody v penězích."* To již v dnešní době standardně řeší dohoda o vstupu na pozemek (viz. výše).

V případě trvale vystrojených průzkumných vrtů je jejich umístění a uchování věcí dohody, a to zpravidla mezi majitelem nemovité věci a investorem (lze se mimo jiné řídit dle § 16 odst. 4).

3. Vstupy na pozemky dle Zákona č. 416/2009 Sb.

V případě strategicky významných staveb (projektů), které jsou uvedeny v přílohách 1 až 3 Zákona o urychlení výstavby strategicky významné infrastruktury – dálnice a silnice I. třídy, vybrané úseky celostátních dráhy a železniční uzly, vysokorychlostní tratě, energetická vedení, infrastruktura pro vodní a leteckou dopravu, vodní infrastruktura a dále vybrané podnikatelské parky – lze při vstupu na pozemky postupovat dle § 2f Zákona č. 416/2009 Sb. (dále jen liniový zákon).

§ 2f liniového zákona přímo říká: "*Každý je povinen umožnit provádění měření a průzkumných prací v rámci přípravy stavby dopravní, vodní, energetické nebo těžební infrastruktury, infrastruktury pro ukládání oxidu uhličitého nebo strategické investiční stavby prováděné stavebníkem, správcem nebo provozovatelem veřejné dopravní nebo veřejné technické infrastruktury, těžební infrastruktury, infrastruktury pro ukládání oxidu uhličitého nebo strategické investiční stavby (dále jen „oprávněný investor"), a to i před zahájením řízení, kterým se stavba povoluje. Za tímto účelem má oprávněný investor a jím zmocněné osoby právo vstupovat a vjíždět na cizí nemovité věci. Oprávněný investor nebo jím zmocněné osoby jsou povinni co nejvíce šetřit práv vlastníků dotčených nemovitých věcí a nejméně 14 dní předem jim provádění měření nebo průzkumných prací na jejich nemovité věci písemně oznámit na adrese podle § 3 odst. 2. V oznámení podle předchozí věty musí být uveden důvod provádění měření nebo průzkumných prací na nemovité věci, popis činností, které mají být provedeny, rozsah, způsob, termín a upřesnění místa jejich provedení, označení oprávněného investora, jeho kontaktní údaje, datum vyhotovení oznámení a jméno, příjmení, funkce a podpis osoby oprávněné zastupovat oprávněného investora. Po skončení prací jsou oprávněný investor nebo jím zmocněné osoby povinni uvést nemovité věci do předchozího stavu, a není-li to možné s ohledem na povahu provedených prací, do stavu odpovídajícímu předchozímu účelu nebo užívání dotčené nemovité věci a bezprostředně písemně oznámit tuto skutečnost vlastníku nemovité věci na adrese podle § 3 odst. 2. Pokud byl vlastník nebo uživatel nemovité věci v důsledku výkonu práv oprávněného investora nebo jím zmocněné osoby podle tohoto odstavce omezen v obvyklém užívání nemovité věci nebo mu vznikla újma na majetku, má právo na přiměřenou jednorázovou náhradu ve výši dvojnásobku částky stanovené podle zákona o oceňování majetku."*

Liniový zákon tedy explicitně říká to, že v případě, kdy podle něj lze postupovat (viz. výše), není vstup na pozemek podmíněn písemnou dohodou s vlastníkem nemovitosti, nebo s jejím nájemcem – oprávněný investor a jím zmocněné osoby mají právo vstupovat a vjíždět na cizí nemovité věci. Liniový zákon ale od oprávněného investora, případně jím zmocněné osoby vyžaduje písemné oznámení nejméně 14 dní před začátkem prací, které musí obsahovat všechny výše uvedené náležitosti.

Náhrada škody za poškozené plodiny/nemovitou věc je následně řešena dle zákona o oceňovaní majetku. Konkrétně podle § 2 daného zákona a principu tzv. obvyklé ceny. Obvyklou cenou se v případě zemědělských plodin, na základě praxe autorů článku, rozumí průměrná cena dané plodiny v posledním statisticky zpracovaném roce získaná z dat veřejné databáze Českého statistického úřadu. Přičemž se počítá zpravidla s vyšší cenou z dvojice celostátní a lokální (podle kraje) ceny plodiny. S ohledem na § 2f liniového zákona se jedná o dvojnásobek ceny obvyklé. Výjimkou pak může být případ, kdy lze ověřit významně nižší cenu za danou plodinu v posledním roce, a to zejména z důvodu nestandardních klimatických podmínek apod. V tomto případě autoři článku postupují průměrováním ceny plodiny za více předchozích let.

V případě, že poškozený subjekt s výše uvedeným výpočtem náhrady škody nesouhlasí, je následně nutné náhradu škody dopočítat znaleckým posudkem.

4. Zkušenosti, specifika a porovnání postupů dle obou zmíněných zákonů

Z pohledu odpovědného řešitele inženýrskogeologického a hydrogeologického průzkumu je vyřešení vstupů na soukromé pozemky v přípravné fázi průzkumných prací jedním z nejcitlivějších a v četných případech i nejnáročnějších kroků ve sledu geologických prací. Do doby schválení liniového zákona a jeho příloh se vstupy na pozemky řídili pouze geologickým zákonem. Vstupy na pozemky tak byly jednoznačně podmíněné písemnou dohodou o vstupu na pozemek. Po schválení liniového zákona s příslušnými přílohami, pak u vybraných projektů liniových a jiných strategických staveb, je umožněno při geologických průzkumech vstupovat na soukromé pozemky i bez předchozího souhlasu majitele pouze po splnění oznamovací povinnosti (viz výše).

V případě, že geologický průzkum dovoluje výběr mezi oběma přístupy (projekt je součástí příloh liniového zákona) je nutné přistupovat ke každému z dotčených subjektů (majitelů/nájemců) individuálně, a to zejména s ohledem na to, že liniový zákon ke vstupům na pozemky přistupuje značně restriktivně. Primárně je proto, minimálně z pohledu korektnosti a lidského přístupu, co nejvíce využívat postup podle geologického zákona.

Autoři článku mají za to, že vysoká míra restrikce liniového zákona, v části případů zbytečně komplikuje vyjednávání vedoucí k oboustranné spokojenosti. Již vícenásobná plošná aplikace liniového zákona u vybraných průzkumů, která byla podmínkou investora, zpočátku u části subjektů zbytečně zkomplikovala jednání o vstupech na soukromé pozemky. Zejména v případech, kdy majitel pozemku, respektive jeho nájemce měl zájem se na vstupu na pozemek racionálně domluvit. Je proto důležité přistupovat u povolování vstupů na pozemek selektivně a restriktivní postup aplikovat až po tom, co jiné postupy nefungují, případně mají tendenci výrazně prodlužovat samotné průzkumné práce.

Samotné uzavření dohody má konec konců pozitivnější dopady i na majitele/nájemce pozemku, který má mnohem větší prostor k vyjednávání o náhradě škody. Toto pozitivum ostatně mohou potvrdit i autoři článku z nesčetných situací, kdy si majitel/nájemce pozemku dokázal vyjednat nadstandardní podmínky, a to stále s ohledem na

ekonomickou efektivnost průzkumu – něco co v případě postupu dle liniového zákona, kde jsou striktně vymezené hranice, dvojnásobkem ceny obvyklé, uplatnit nelze. Ve vybraných případech tedy lze pro zdárný průběh vyjednávaní ohledně vstupu na pozemek argumentovat i striktně danou maximální výše odškodného dle liniového zákona. Samozřejmě vždy s ohledem na to, jestli následná dohoda dává ekonomický smysl. Předchozí dohoda s majitelem pozemku často významně přispívá k efektivnímu postupu navazujících projekčních prací (další etapy IGP). Včasná komunikace také napomáhá k nalezení technicky i majetkoprávně vhodného řešení, což přispívá k plynulé realizaci celého projektového záměru.

5. Závěr

Ve výše uvedeném textu je řešena specifikace vstupů na soukromé pozemky s ohledem na platnou legislativu při provádění geologických (průzkumných) prací. Text je rozdělen na základní celky podle použité legislativy (geologický vs. liniový zákon). V kapitole 4 pak autoři uvádějí své zkušenosti s použitím obou přístupů a jejich specifika a porovnání.

Je na uvážení každého odpovědného řešitele geologických prací (pokud investor neurčí jinak), které principy pro komunikaci s dotčenými subjekty využije, pokud má na výběr mezi oběma legislativními postupy, nicméně nelze s jistotou určit, který postup je v případě možnosti využít oba, efektivnější (ať už se co do rychlosti vyjednávání, nebo ekonomičnosti týče) – v neposlední řadě všichni jsme pouze lidé a s každým člověkem, nebo subjektem je nutné komunikovat individuálně a na základě aktuální situace.

Seznam literatury

Zákony pro lidi. Zákon č. 151/1997 Sb. o oceňování majetku a o změně některých zákonů [online]. 2026 [cit. 2026-06-26]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-151

Zákony pro lidi. Zákon č. 416/2009 Sb. o urychlení výstavby strategicky významné infrastruktury [online]. 2026 [cit. 2026-06-26]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-416

Zákony pro lidi. Zákon č. 62/1988 Sb. o geologických pracích a o Českém geologickém úřadu [online]. 2026 [cit. 2026-06-26]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1988-62

VÝSTUPY INŽENÝRSKÝCH GEOLOGŮ Z POHLEDU PRAKTIKUJÍCÍHO GEOTECHNIKA

The Findings of Engineering Geologists from the Perspective of a Practicing Geotechnical Engineer

Vojtěch Ježek

Havengore, s.r.o., V Podbabě 36/11, 160 00 Praha 6, e-mail: vojta@ok-jzk.cz

Abstrakt: Příspěvek popisuje výhrady geotechnika k informační hodnotě nezanedbatelné části geologických průzkumů; co chybí i co je nadbytečné či zavádějící.

Abstract: This article describes a geotechnical engineer's objections to the informational value of a significant portion of geological surveys; it discusses what is missing, as well as what is superfluous or misleading.

Klíčová slova: kvalita inženýrskogeologických průzkumů, nedostatečnost, parametry zemin

Key words: quality of geological surveys, insufficiency, soil parameters

1. Úvod

Jako masivní konzument inženýrskogeologických průzkumů z lokalit po celé republice a od rozsáhlé kohorty autorů mám možnost srovnání, jak jsou tyto práce přínosné pro návrhy geotechnických konstrukcí – jsa zainteresován na hospodárnosti i bezpečnosti návrhu. V dalším se pokusím popsat svá zjištění. Vzhledem ke své obchodní politice – kdy se snažím nepracovat pro stát ani pro municipality – se má poznání týkají především průzkumů, vypracovávaných většinou bez projektu průzkumných prací pro „běžné“ investory (byty, administrativa, továrny) a architekty. Smutné je, že dost často zvažuji, zda by průzkum jako podklad – s odkazem na nedostatečnost – nebylo rozumnější odmítnout.
Následující text není primárně kritikou, ale spíše povzdechem nad tím, že se nedaří najít společnou řeč dvou velmi blízkých – a přesto zcela odlišných oborů, kdy jeden popisuje „přírodní“ realitu a druhý tento popis aplikuje na správný návrh geotechnické konstrukce. Snad příště pomůže autorům průzkumů v rozhodování, čemu se vyhnout a co doplnit.

2. Autoři

Úroveň kvality výstupů konkrétních autorů je v podstatě neměnná v čase. Někteří autoři jsou standardně zodpovědní a skvělí, jiní jsou téměř vždy průměrní a pár se jich jen výjimečně trefí do reality. U některých autorů je, bohužel (téměř vždy) jasné, že průzkum vznikl jen kvůli fakturaci…..
Je velmi znát, že nemálo autorů jsou „přeškolení“ specialisté z jiných oborů. Průzkumy tak poskytují jen minimum (a ještě ke všemu začasté nevalné úrovně) informací pro geotechnické navrhování, ale jsou zaplevelené přemírou zjištění z mateřského oboru autora. Samostatnou kapitolou jsou autoři, kteří nemají oprávnění k provádění inženýrskogeologických průzkumů, ale mají potřebu je vypracovávat; tyto průzkumy automaticky odmítám a přenáším zodpovědnost za ně na objednatele. V poslední době též posílám stížnost na MŽP.

3. Nedostatečnost

Naprosto běžně se stává, že rozsah průzkumu nepokrývá úmysly stavebníka. Jsem přesvědčený, že každý geolog by si měl zajistit co nejvíce informací o projektované stavbě a promítnout je, po srovnání s předpokládanou geologickou realitou místa, do své nabídky a, a to především, vynaložit úsilí k obhajobě rozsahu před objednatelem. Ve většině případů se tak evidentně neděje….a autoři průzkumů zcela zbytečně ustupují ekonomickému tlaku objednatele nikoli snižováním jednotkových cen, ale zmenšováním rozsahu. Výsledkem je nepoužitelný – zcela či z velké míry – výstup, který nutí geotechnika k improvizaci a vyviňování. Přitom by stačilo v nové verzi normy na IG průzkum zakotvit povinnost vypracovat, vyjma snad prvé geotechnické kategorie, projekt průzkumných prací. Třeba i pro vlastní potřebu.
Velmi kontraproduktivně v této věci působí nešťastná věta z výše zmíněné normy ČSN P73005 Inženýrskogeologický průzkum . V článku 4.5 se píše o tom, že *objednatel má geologovi, nedohodnou-li se jinak, předat jednoznačné zadání průzkumu a jeho cíle*. Ve zpracovateli tak může vzniknout klamný pocit, že za rozsah

průzkumu nenese zodpovědnost. Skutečnost je samozřejmě opačná, protože se dost dobře nelze aplikací ustanovení z normy vyvinit z povinnosti, uložené zákonem (§ 2594 Zák. 89/2014 Sb.).
Z mně nepochopitelných důvodů – zřejmě pod vlivem kontraproduktivní a zakalující „vědecké“ metodiky pro určení geotechnické kategorie v uvedené normě – řadí často autoři své průzkumy do třetí geotechnické kategorie, aniž by i jen vzdáleně naplnili normové požadavky na průzkum pro stavbu kategorii druhé. To chtějí odběratele vystrašit a/či jej donutit k objednání dalšího průzkumu? Nebylo by lepší rovnou obhájit řádný rozsah prací?

4. Rozumbradové a Lokální Elvisové

Zvláštností některých zpracovatelů jsou povzdechy nad všemi újmami, kterým jsou vystaveni – od nesprávných norem i legislativy přes údajné ústrky ze strany druhých až po skryté konstatování, že odběratel má štěstí, že autor šel zrovna kolem…. Realita je taková, že průzkumy od těchto autorů patří většinou mezi ty slabší. Někdy rozsah autorových výlevů přesáhne výčet důležitých informací.
Samostatnou kapitolou jsou všelijaká doporučení, která ale ve skutečnosti nemají oporu v legislativě či ekonomice. Typickým příkladem jsou doporučení ohledně způsobu založení – rozhodně už dávno neplatí školní poučka o tom, že je správné preferovat plošné založení; ve skutečnosti to může být cesta sice schůdná, ale podstatně nákladnější či zdlouhavější. Dalším příkladem může být dohled při realizaci pilot – protože geolog v podstatě nikdy nemá k dispozici údaje o jejich zatížení a návrhu, je jeho kompetencí (a dovedností!) popis reality a předání této informace stavbě; další už je na geotechnikovi. Jinými slovy – geologa řídí Geologický zákon, zatímco stavba a geotechnik podléhají Stavebnímu zákonu. Myslím, že je to správné rozdělení a že je dobré jej ctít. Smutné je, že nesprávná doporučení z průzkumů mají tuhý kořínek v hlavách projektantů, dodavatelů i investorů a dá velkou práci je překonat.

Nejodpornější větou ze všech průzkumů je: „Rozsah průzkumu je dán objednávkou“. Přiznání geologa, že pracuje jen pro peníze a profesní čest šla stranou.

5. Parametry zemin

Stará neplatná norma ČSN 731001 Základová půda pod plošnými základy je dobrý sluha, ale zlý pán. Jsme na ni všichni zvyklí - i ti, co v podstatě nezažili její platnost. Bohužel ale obsahuje tabulku s informacemi o parametrech zemin…. a skoro všichni tyto hodnoty opisují, aniž by si uvědomili jejich univerzálnost „od Šumavy k Tatrám“ a tedy velkou rezervu, kterou v sobě mají. Jejich další nevýhodou je, že ve většině případů pro jednotlivé typy zemin jsou v tabulce uvedena rozpětí hodnot – a jejich přenesení do průzkumu znamená, že se autor zbavil zodpovědnosti a určení (volbu) správné hodnoty nechává na projektantovi. Konstrukce, navržené podle spodních hodnot rozpětí, budou podstatně odlišné od těch, na které byly aplikovány hodnoty horní hranice. Rozdíl, vyjádřený v cenách těch konstrukcí, je v desítkách procent. A při pohledu z druhé strany – pokud geolog uvedl rozpětí hodnot, tak je legitimní používat ty hodnoty, které jsou v mezích a vedou k nejefektivnější (tj. nejlevnější) konstrukci. Jak by to pak bylo se zodpovědností? Eo ipso – to rozpětí nemá cenu používat; správné je prezentovat vždy konkrétní hodnotu a uvést, jak k ní zpracovatel došel. Jestli vyhodnotil zkoušky, nebo zda vyšel z tabulky a zohlednil svou lokální zkušenost.
Dále je třeba si uvědomit, že ta norma byla určena pro plošné základy – a tedy, že by měl autor při znalosti běžně používaných návrhových metod – měl též doporučit parametry k použití například při návrhu pilot (což je velmi jednoduché) či pažících konstrukcí. Pro jejich návrh se totiž v současné době používá nejčastěji metoda závislých tlaků, kdy použití vyšší hodnoty soudržnosti vede k velmi subtilním konstrukcím; správnější by tedy bylo definovat pro takovéto konstrukce i náhradní úhel vnitřního tření.

6. Další nešvary

Jsem přesvědčen, že stanovení rozsahu průzkumu včetně určení průzkumných metod, polohy i hloubky sond a rozsah potřebných zkoušek, je plně v gesci geologa a statik či geotechnik by jim jen „měl být k ruce“. Informace o stavbě jsou totiž snadno získatelné či odvoditelné, ale informace o místním geologickém prostředí zná jen geolog, a tak je dobré to nechat na něm.
Potkávám se s tím, že sondy nejsou zaměřeny či že nejsou lokalizovány vůči budoucí konstrukci. Geologické prostředí tak buď vůbec (nebo velmi obtížně s vynaložením spousty práce a času) nelze „spasovat“ se stavbou a průzkum má v podstatě nulovou hodnotu.
Zapomíná se také na rozbory vody, nebo se nedělají řádně – uhličitanová agresivita se musí, a je to uvedeno v zde již zmíněné normě ČSN P731005, zkoumat Heyerem A poznamenám, že na neagresivní vodu se nemá používat beton s odolností XA1, ale stačí ten bez odolnosti.
Velmi důležité – například pro rozhodování o způsobu pažení stavební jámy či čerpání – je i pečlivé určení naražené a ustálené hladiny podzemní vody. Pokud se dá očekávat, že hlubší zvodeň bude tlaková a víme, že to

nějak může ovlivnit způsob provádění – třeba provalením dna jámy či ztíženou realizací pilot – tak je tomu potřeba uzpůsobit postupy realizace průzkumu a nesmířit se s propojením a hladin a zaměřením výsledné úrovně.
Dost dobře se neumím smířit ani s často používanou větou „Navážky jsou nevhodné pro zakládání“, kterou je pokryta informovanost o často výrazně mocné geologické vrstvě. To je ale jen část pravdy – my v ní totiž často projektujeme pažení stavebních jam a pro tento návrh potřebujeme o navážkách „uchopitelné“ informace. Zajímá nás podrobnější popis a hlavně jejich parametry, použitelné pro návrh..

7. Závěr

Jsem přesvědčen, že zájmy a potřeby geologů a geotechniků se v současné době nikterak nekříží; jen k sobě neumíme najít cestu. Snažím se v poslední době vyvíjet tlak na časté objednatele průzkumů v mém okolí – investory a architekty a vysvětlovat jim, že každá ušetřená tisícovka na průzkumu se velmi často přemění na statisícové vícenáklady při realizaci. Někteří na to slyší – a bylo by dobré, kdyby v této věci i geologové odvedli svůj díl práce a důsledněji obhajovali potřebu průzkumů, které jsou přiměřené stavbě i místu.

JAK CHÁPAT TERMINOLOGICKÉ POJMY „INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY, INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ PODMÍNKY, PODMÍNKY A FAKTORY SVAHOVÝCH POHYBŮ“

Ing. Jan Novotný, CSc.

E-mail: jan.novotny@geology.cz
Česká geologická služba, Klárov 3, Praha 1

Abstrakt:
Příspěvek stručně komentuje terminologické rozdíly ve významu inženýrskogeologické poměry, inženýrskogeologické podmínky, podmínky a faktory svahových pohybů. To vše v obecné rovině oboru inženýrské geologie a současně i v terminologii, která je užívána v tématu svahových pohybů.

Literaura:
Matula M. – Pašek, J. (1986): Regionálna inžinierska geológia ČSSR. ALFA Bratislava/SNTL Praha

Ondrášik, R. – Rybář J. (1991): Dynamická inžinierska geológia. – Slovenské pedagogické

nakladateľstvo. Bratislava.

Parry, S. – Baynes, F.J. – Culshaw, M.G. – Eggers, M. – Keaton, J.F. – Lentfer, K. – Novotný, J. – Paul, D. (2014): Engineering geological models: an introduction: IAEG commission 25. Bull Eng Geol Environ (2014) 73:689–706, DOI 10.1007/s10064-014-0576-x

Petro, L. – Frankovská, J. – Matys, M. – Wagner, P. a kol. (2008): Inžinierskogeologický a geotechnický terminologický slovník. Štátny geologický ústav Dionýza Štura, Bratislava

PROJEKT SKENERU HORNINOVÉHO JÁDRA

Mgr. Radek Onysko

E-mail: radek.onysko@geotechnika.cz
SG Geotechnika a.s., Geologická 988/4, 152 00 Praha 5

Abstrakt:
Tématem příspěvku bude konstrukce a využití "skeneru" horninového jádra založeného na principu fotogrammetrie pro modernizaci dokumentace vrtného jádra (vrty vrtané dvojitou jádrovkou s vodním výplachem). Příspěvek bude obsahovat teoretickou část zabývající se popisnými charakteristikami horninového jádra/masivu a principem fungování různých metod použitelných pro vytváření 3D modelů (fotogrammetrie, metoda strukturovaného světla či laserová triangulace). Bude probrána vlastní konstrukce přístroje, metodika softwarového zpracování modelů a jejich finalizace. Výstupní modely budou korelovány s výstupy karotážních měření ve vrtech (optická a akustická kamera). Součástí příspěvku bude diskuze přesnosti dané metody, její klady a zápory a porovnání s komerčním řešením DMT CoreScan 3.

STOLETÍ ČESKÉ INŽENÝRSKÉ GEOLOGIE – VYŠLA NOVÁ PUBLIKACE K JUBILEU SG GEOTECHNIKY

A CENTURY OF CZECH ENGINEERING GEOLOGY – A NEW PUBLICATION FOR THE CENTENARY OF SG GEOTECHNIKA

Tereza Šmejkalová[1], Klára la Torre[1]

[1] *SG Geotechnika a.s., Geologická 988/4, 152 00 Praha 5, e-mail: jmeno.prijmeni@geotechnika.cz*

Abstrakt: U příležitosti stého výročí založení prvního inženýrskogeologického pracoviště u nás vznikla v jeho nástupnické organizaci – SG Geotechnice – kniha, která prostřednictvím její historie zachycuje i širší vývoj celého odvětví. Publikace *„Nemyslete si, že budete dělat geologii někde na Václaváku" – Sto let české stavební geologie očima SG Geotechniky* (Grada, 2026) kombinuje osobní vzpomínky pamětníků a pamětnic, získané převážně metodou orální historie, s věcným výkladem i populárně naučnými okénky. Textovou část doprovází bohatá obrazová dokumentace a rozsáhlý soupis související literatury. Publikace tak nabízí unikátní vhled do dějin české inženýrské geologie i geotechniky a odborníkům může posloužit jako východisko pro hlubší studium řady témat – od významných staveb přes neobvyklé řešené výzvy až po klíčové osobnosti. Zároveň přístupnou formou přibližuje obor i laické veřejnosti.

Abstract: On the occasion of the centenary of the founding of the first Czech engineering geology workplace, its successor organization – SG Geotechnika – has published a book that captures, through its history, the broader development of the entire field. The publication *"Don't Think You'll Be Doing Geology Somewhere on Wenceslas Square" – 100 Years of Czech Engineering Geology and Geotechnics Through the Eyes of SG Geotechnika* (Grada, 2026 – in Czech) combines personal memories of the company's long-serving employees, gathered mainly through the oral history method, with factual commentary and popular science sections. The text is accompanied by numerous photographs and illustrations and an extensive bibliography of related literature. The publication thus offers a unique insight into the history of Czech engineering geology and geotechnics and may serve specialists as a starting point for deeper study of a range of topics – from important construction projects and uncommon challenges to key personalities in the field. At the same time, it presents the discipline in an accessible form to the general public.

Klíčová slova: Quido Záruba, inženýrská geologie, orální historie, dějiny vědy a techniky, 20. století

Key words: Quido Záruba, engineering geology, oral history, history of science and technology, 20th century

1. Úvod

Když mladý Quido Záruba-Pfeffermann v roce 1926 zakládal v rámci stavební firmy svého otce malé pracoviště specializované na inženýrskou geologii, těžko by si představil, že se rozroste až na centrální státní organizaci s až 1200 zaměstnanci, která bude řešit úkoly výjimečné i v mezinárodním měřítku – ani že tou dobou firma už dávno nebude patřit rodině a země bude mít za sebou další světovou válku. Dvacáté století, se všemi svými geopolitickými i společenskými zvraty, bylo také stoletím inženýrské geologie a geotechniky. Ty se během Zárubova dlouhého života (1899–1993) z obdobně skromných počátků vyvinuly v moderní disciplíny využívající pestrou škálu metod k získávání dat i k jejich zpracování, opírající se o pokročilou teorii mechaniky zemin a hornin i bohaté zkušenosti z terénu a úzce spolupracující s řadou příbuzných specializací. Jak sám Quido Záruba, tak i jeho Sondovací oddělení ve svých různých dobových reinkarnacích (Ústav stavební geologie, Stavební geologie Praha ap.) byli vzhledem ke svému klíčovému postavení v oboru přímými účastníky všech těchto změn, a to nejen jako jejich svědkové, ale často i jako jejich aktivní původci. Dějiny firmy, která dnes nese název SG Geotechnika a.s. a v uplynulém století stála za úspěšnou realizací většiny významných inženýrských staveb v Česku, jsou tak úzce spjaty s dějinami jejího odvětví u nás – a naopak. A právě z přesvědčení, že pohled do její minulosti může být atraktivní a přínosný i pro kolegy a kolegyně z jiných organizací a příbuzných oborů, a dokonce i pro zájemce z řad laické veřejnosti, vznikla publikace, kterou dnes představujeme.

2. Publikace ke stoletému výročí SG Geotechniky

Přípravu výroční publikace iniciovala a editorsky řídila Tereza Šmejkalová; knihu vydalo nakladatelství Grada v srpnu 2026 pod názvem *„Nemyslete si, že budete dělat geologii někde na Václaváku" – Sto let české stavební geologie očima SG Geotechniky.* Na 416 stranách představuje klíčové osobnosti oboru, vývoj jeho jednotlivých specializací, určující momenty a významné projekty doma i v zahraničí, výzkumnou činnost i kontakty

s mezinárodní odbornou scénou. Nechybí ale ani oddíly věnované dramatickým příhodám z terénu či mimořádným kolegům včetně čtyřnásobného olympijského vítěze Emila Zátopka.
Kniha se opírá o vzpomínky 28 firemních pamětníků a pamětnic, získané převážně metodou orální historie a reprodukované v co nejautentičtější podobě. Celkem bylo zpracováno 30 hodin zvukových nahrávek, pořízených v průběhu let 2023–2025, i množství doplňujících textů a anekdot předaných pamětníky v písemné formě. K prohloubení této živé paměti dále do minulosti byla jejich vyprávění doplněna o písemně zaznamenané vzpomínky tří pamětníků in memoriam. Takto získané příspěvky byly utříděny do tematických celků a zasazeny do odborného kontextu ve formě zastřešujícího výkladu a populárně naučných okének.
Nedílnou součástí knihy je bohatá obrazová dokumentace – více než čtyři sta unikátních a často dosud nepublikovaných fotografií i reprodukcí dobových dokumentů. Fotografie byly získány z osobních archivů současných i bývalých zaměstnanců a zaměstnankyň i dalších osob a institucí z oboru; významně jsou zastoupeny vzácné historické snímky pořízené Quidem Zárubou či jeho spolupracovníky, které pocházejí z archivu rodiny Zárubových a ze sbírky spravované Ústavem struktury a mechaniky hornin AV ČR. Připojeny jsou ale i fotografie moderní, zachycující významné stavby současnosti.
Příprava publikace zahrnovala rovněž rozsáhlé archivní rešerše, při nichž bylo nashromážděno a zpracováno velké množství dobových odborných pramenů a citací. Výstupem těchto činností je nejen pestrý poznámkový aparát, ale zejména soupis související literatury k jednotlivým kapitolám, který je ve zkrácené podobě uveden v tištěném vydání a v úplném znění online na webu publikace. Kniha tak zároveň plní funkci rozcestníku, který dnešní zájemce o dílčí témata nasměruje ke vhodným historickým primárním i sekundárním zdrojům pro hlubší studium.

3. Závěr

Během uplynulých sta let prošla inženýrská geologie i příbuzné obory výrazným vývojem. Kapacita Zárubova formátu, schopná obsáhnout veškeré potřebné vědomosti a zkušenosti v jediné osobě, už se nejspíš neobjeví – i proto, že jejich objem neustále narůstá. O to důležitější je tak odborná spolupráce a vzájemné sdílení poznatků napříč organizacemi. Přirozený zájem o aktuální dění by při tom neměl zcela zastínit význam historických zkušeností, které mohou mít mnohdy zásadní přínos i v současné praxi. Věříme, že představená publikace bude v tomto ohledu podnětným počinem a odborné veřejnosti poskytne nejen příjemný čtenářský zážitek, ale i řadu užitečných informací spolu s dobrým rozhledem v dobovém kontextu.

4. Dostupnost publikace

Zájemci si mohou knihu po dobu trvání kongresu prohlédnout na stánku SG Geotechniky; od druhé poloviny září pak bude k dostání v omezeném počtu výtisků v regionálních pobočkách a sekretariátu firmy v Praze na Barrandově. Další výtisky budou trvale přístupné formou výpůjčky v knihovnách odborných institucí (předběžně předpokládáme následující: ČGS-Geofond, PřF UK, FSv ČVUT, NTK Praha, PřF MU, FAST VUT, FAST VŠB-TUO) a v institucích ukládajících povinné výtisky neperiodických publikací (Městská knihovna v Praze).

Na stránkách SG Geotechniky bude dále vytvořen doprovodný web publikace, kde bude možné najít řadu unikátních materiálů ke stažení.

5. Seznam literatury

Šmejkalová T. (ed.), 2026: *„Nemyslete si, že budete dělat geologii někde na Václaváku“. Sto let české stavební geologie očima SG Geotechniky*. Grada. Praha.

ODBORNÁ POZŮSTALOST QUIDA ZÁRUBY – SOUČASNÝ STAV

THE SCIENTIFIC ESTATE OF QUIDO ZÁRUBA – CURENT STATE

Tereza Šmejkalová[1], Milan Aue[2], Tomáš Nýdl[3]

[1] SG Geotechnika a.s., Geologická 988/4, 152 00 Praha 5, e-mail: tereza.smejkalova@geotechnika.cz
[2] Česká geologická služba, Klárov 131/3, 118 00 Praha 1, e-mail: milan.aue@geology.cz
[3] ÚSMH AV ČR, v. v. i., V Holešovičkách 94/41, 182 09 Praha 8, e-mail: nydl@irsm.cas.cz

Abstrakt: Podobně jako se mluví o dopravním uzlu, osobnost Quida Záruby by jednoznačně šlo charakterizovat jako „odborný uzel“. Přes osobu zakladatele československé školy inženýrské geologie proudilo veškeré podstatné odborné dění na domácí půdě, ale zrovna tak i klíčové informace z dění mezinárodního. Byl v kontaktu s předními specialisty a jako uznávaný expert a vážený učitel byl zván ke všem velkým odborným problémům své doby. Na dnešní podobě oboru má zcela zásadní podíl, jeho odkaz bývá ovšem často chápán zejména v nehmotném smyslu. Jaký je stav fyzických památek na jeho činnost, jejichž je původcem nebo které s ním souvisejí, existují ještě všechny vůbec a kde by je měli dnešní zájemci hledat? U příležitosti stoletého výročí založení prvního inženýrskogeologického pracoviště u nás autoři provedli systematický průzkum ve všech souvisejících institucích a představují jeho výsledky. Hlavní části Zárubovy odborné pozůstalosti jsou uloženy u následujících organizací: SG Geotechnika (knihovna, zprávy), Česká geologická služba (zprávy, mapy), Ústav struktury a mechaniky hornin (fotografie), Masarykův ústav a Archiv Akademie věd ČR (písemnosti), PUDIS (dokumentační body), Národní muzeum (sbírka hornin). Zároveň probíhá aktualizace Zárubovy bibliografie včetně zjištění dnešní dostupnosti jednotlivých položek.

Abstract: Just as we speak of a transport hub, Quido Záruba could unquestionably be described as a “professional hub.” All significant Czechoslovak developments in the field passed through the founder of our engineering geology, as did key information from the international scene. He was in contact with leading specialists and, as a recognized expert and respected teacher, was consulted on all major professional challenges of his time. He played a fundamental role in shaping the discipline as it exists today; his legacy is, however, often understood primarily in an intangible sense. What is the state of physical relics of his work that he authored or that are connected with him? Do they all still exist, and where should those interested look for them today? On the occasion of the centenary of the establishment of the first engineering geological workplace in the country, the authors undertook a thorough investigation across all relevant institutions and present its findings. Main parts of Záruba’s scientific estate are held by the following organisations: SG Geotechnika (library, reports), Czech Geological Survey (reports, maps), Institute of Rock Structure and Mechanics (photographs), Masaryk Institute and Archives (documents), PUDIS (documentation points), and the National Museum (rock collection). In addition, Záruba's bibliography is being updated, including a check of the current availability of individual items.

Klíčová slova: Quido Záruba, inženýrská geologie, písemná pozůstalost, odborné sbírky, bibliografie, archiv

Key words: Quido Záruba, engineering geology, written estate, professional collections, bibliography, archive

1. Úvod

Inženýrskogeologické poznatky se vyznačují jednak relativně nízkou rychlostí zastarávání, jednak relativně vysokými náklady na jejich získání. Jejich archivace je proto účelná a žádoucí, stejně jako jejich vzájemné sdílení mezi různými organizacemi např. prostřednictvím Geofondu. S obměnami profesních generací se ovšem zákonitě vytrácí povědomí o dřívějších pracích i jejich širších souvislostech – kdo neví, co přesně hledá či že by to vůbec hledat mohl, ten to nalézt nemusí, ani když je to stále někde uložené a teoreticky přístupné. Pro efektivní řešení aktuálních úkolů je tak nezbytné tuto oborovou paměť aktivně obnovovat – pracovat s historickými podklady, zajímat se o osudy archiválií, udržovat kontakt s pamětníky a svá zjištění dále sdílet.
Tento článek vznikl právě z motivace podělit se s odbornou obcí o poznatky získané při práci s množstvím archivních pramenů během přípravy dvou letos vydaných knih (viz seznam literatury) a během pořádání Zárubovy knihovny (viz dále). Díky šťastné shodě náhod byl pro náš obor na základě informace od profesionálního archiváře objeven inženýrskogeologické odborné veřejnosti dříve neznámý Zárubův osobní fond uložený v Masarykově ústavu (viz dále) a dalším šetřením se podařilo identifikovat položky pocházející ze Zárubou uspořádané sbírky hornin (viz dále) ve fondech Národního muzea. Letošní stoleté výročí založení prvního inženýrskogeologického pracoviště u nás jsme tak uchopili jako příležitost doplnit svá zjištění o systematické pátrání ve všech institucích spojených se Zárubovou osobou, aby bylo možné sestavit úplný přehled současného stavu celé jeho odborné pozůstalosti.

Tímto termínem označujeme souhrn všech hmotných památek na jeho odbornou činnost – obecně řečeno předmětů, které se během profesní kariéry nahromadí každému v kanceláři (resp. dnes v počítači), od posudků, fotografií a korespondence přes vlastní i cizí odborné články, monografie, oborová periodika či kongresové sborníky až po vzorky horninového prostředí. V případě Quida Záruby není jejich revize v žádném případě samoúčelná – jako otec inženýrské geologie u nás a uznávaná autorita i v mezinárodním měřítku byl přímo či prostřednictvím svých žáků a zahraničních kolegů v kontaktu se všemi velkými odbornými problémy své doby. Jeho odborná pozůstalost tak představuje klíč k pochopení vývoje celého oboru a zároveň může posloužit jako rozcestník k dobovým zdrojům pro hlubší studium dílčích témat.
Poslední předchozí iniciativou podobného druhu byl sborník Hrocha (2000), který podává kompletní přehled Zárubovy publikační činnosti a také obsahuje řadu badatelsky cenných informací. Během uplynulého čtvrtstoletí jednak zemřela většina přispěvatelů této publikace, jednak se proměnila dostupnost archivních materiálů: některé byly fyzicky ztraceny v důsledku stěhování či organizačních změn, další se naopak nově vynořily v elektronické podobě díky digitalizaci dobového tisku i odborných periodik. Naše pátrání tak vycházelo nejen z tohoto zdroje, ale i přímo ze všech známých informací o Zárubově životě. Jejich shrnutí a interpretace jsou předmětem následujících dvou kapitol; navazuje popis aktuálního zjištěného stavu zárubovských archiválií v jednotlivých relevantních institucích a poté aktualizace Zárubovy bibliografie dle Hrocha včetně odkazu na informace o dnešní dostupnosti jednotlivých položek.

2. Stručný životopis Quida Záruby

Zakladatel československé školy inženýrské geologie se narodil roku 1899 jako Quido Pfeffermann, od roku 1921 stejně jako otec a bratr používal příjmení Záruba-Pfeffermann a po roce 1947 už jen Záruba. Vystudoval inženýrské stavitelství na ČVUT v Praze; již za studií se seznámil s Radimem Kettnerem, který zde tou dobou vyučoval geologii, a zúčastnil se s ním geologického mapování na Slovensku. Záhy si tak uvědomil význam geologie pro stavebnictví a roku 1926 ve stavební firmě svého otce založil první české pracoviště zabývající se inženýrskogeologickým průzkumem – Sondovací oddělení. To disponovalo vlastními vrtnými soupravami a pro realizaci polních a laboratorních zkoušek spolupracovalo s odbornými pracovišti, jako byl Výzkumný a zkušební ústav hmot a konstrukcí stavebních při ČVUT či oddělení mechaniky zemin založené Aloisem Myslivcem v rámci Státního ústavu hydrologického v Praze-Podbabě.
Záruba díky svému zaujetí pro geologii udržoval kontakt nejen se svou alma mater, ale působil také jako externí spolupracovník Státního geologického ústavu a pedagog Přírodovědecké fakulty UK, kde se již v roce 1931 habilitoval pro obor všeobecné geologie. O pět let později získal docenturu také na ČVUT, a to pro obor zemních prací, silničního a tunelového stavitelství. Stejně jako v pozdějších obdobích života touto dobou již intenzivně publikoval výstupy ze své výzkumné činnosti, zkušenosti z působení na stavbách i zajímavosti z mezinárodního odborného dění, s nímž byl v intenzivním kontaktu nejen jako aktivní účastník zahraničních kongresů, ale také jako odběratel i přispěvatel řady cizojazyčných oborových periodik. Po smrti otce v roce 1938 se spolu s bratrem začal podílet na vedení celé rozrůstající se firmy Záruba-Pfeffermann; ve svém Sondovacím oddělení i nadále působil jako znalec a odborný vedoucí.
S koncem války byl hned 12. května 1945 povolán na ČVUT, aby zde zajistil obnovení výuky geologie pro budoucí stavební inženýry. Za pomoci studentů, které po dobu uzavření vysokých škol zaměstnával ve firmě, zrekonstruoval geologické sbírky zpustošené při náletu na Prahu 14. února 1945 a začal přednášet; brzy byl jmenován profesorem a zároveň vedoucím Geologického ústavu tehdejší Fakulty inženýrského stavitelství. Jeho přednášky, které prokládal pestrými praktickými příklady, se setkávaly s velkým ohlasem; vedl rovněž nepovinný seminář o aktuálních problémech řešených v praxi a vybraným studentům nabízel možnost spolupráce na mapovacích zakázkách. Účastníci těchto akcí (mezi jinými šlo i o pozdější přispěvatele Hrochova sborníku) se postupně stali jeho blízkými spolupracovníky i samostatně uznávanými odborníky.
Po znárodnění rodinné firmy v roce 1948 se Záruba naplno oddal pedagogické a výzkumné činnosti. Stále ovšem také udržoval kontakt s praxí a podílel se na velkém množství domácích i zahraničních projektů jako expertní konzultant pro komplikované problémy. Roku 1957 založil vědeckovýzkumné pracoviště inženýrské a kvartérní geologie při ČSAV, které následně řadu let vedl a působili zde také jeho žáci. Členem korespondentem ČSAV byl již od jejího vzniku v roce 1952; o patnáct let později byl zvolen akademikem. Na XXIII. mezinárodním geologickém kongresu v Praze, zmařeném invazí vojsk Varšavské smlouvy, se stal prvním zvoleným předsedou nově založené Mezinárodní asociace pro inženýrskou geologii (IAEG). V roce 1971 odešel do důchodu, stále ovšem pravidelně docházel na stavební fakultu, působil v ČSAV jako vědecký spolupracovník a současně byl až do roku 1984 zaměstnán v Projektovém ústavu dopravních a inženýrských staveb. Zemřel v roce 1993.

3. Východiska a směry pátrání po Zárubově odborné pozůstalosti

Během Zárubova dlouhého života zažila země řadu politických a společenských změn, které se odrazily i na fungování institucí s jeho osobou spojených. Pátrání po osudu hmotných předmětů souvisejících s jeho odbornou

kariérou tak v prvním kroku vyžadovalo zjištění aktuálních nástupnických organizací všech jeho odborných působišť zjištěných v rámci rešerše Zárubových životopisů (přehled zdrojů viz Šmejkalová 2026) a uvedených v předchozí kapitole. (Všechny níže uvedené organizace se nacházejí v Praze.)

- Sondovací oddělení firmy Záruba-Pfeffermann postupně prošlo řadou reorganizací včetně sloučení s Myslivcovým podbabským pracovištěm. Během let působilo pod mnoha názvy (např. Ústav stavební geologie, Stavební geologie Praha n.p.); aktuálně tvoří společnost SG Geotechnika a.s. (dále SGG) a sídlí na Barrandově.
- Výzkumný a zkušební ústav hmot a konstrukcí stavebních byl roku 1963 rozdělen na dvě části, které dnes tvoří Ústav teoretické a aplikované mechaniky (ÚTAM) pod AV ČR a Kloknerův ústav (KÚ) pod ČVUT.
- Státní geologický ústav (později Ústřední ústav geologický a Český geologický ústav) dnes působí pod názvem Česká geologická služba (ČGS) a zahrnuje rovněž původně samostatný archiv Geofondu.
- Přírodovědecká fakulta (PřF) UK od Zárubových dob název nezměnila; jeho odbornému zaměření zde dnes odpovídá Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky (ÚHIGUG).
- Geologický ústav (GÚ) ČVUT byl v době Zárubova postupného odchodu na odpočinek (70. léta) přestěhován z původního pracoviště v Trojanově ulici do areálu ČVUT v Dejvicích. Aktuálně již neexistuje; jeho pokračovatelem je katedra geotechniky (KG) Fakulty stavební (FSv).
- Geologický ústav (GÚ) ČSAV, kam bylo v roce 1961 převedeno Zárubovo pracoviště inženýrské a kvartérní geologie, byl roku 1979 sloučen s Hornickým ústavem a transformován na Ústav geologie a geotechniky. Původní sídlo Zárubovců na Spořilově bylo téhož roku přestěhováno do centrály nového ústavu v ulici V Holešovičkách. Ten od roku 1994 nese jméno Ústav struktury a mechaniky hornin, v. v. i. (ÚSMH) a pokračovatelem Zárubova pracoviště je zde oddělení inženýrské geologie (OIG).
- Nástupnickou organizací Projektového ústavu dopravních a inženýrských staveb (PÚDIS) je společnost PUDIS a.s. (PUDIS), dnes sídlící v Podbabě.

Druhým krokem souhrnného pátrání byly rozhovory s pamětníky a/nebo zaměstnanci těchto institucí a pokud možno i jejich návštěva. Klíčovými podklady, o které se pátrání v tomto kroku opíralo, byly drobné zmínky v pramenech zabývajících se Zárubovým životem: kromě publikace Hrocha (2000) jde zejména o rozhovor Štajfa (1989) a vzpomínky samotného Záruby (1979). Bylo tak možné vyvodit, že zásadním momentem v osudech Zárubovy odborné pozůstalosti jako celku bylo stěhování GÚ ČVUT do nové budovy FSv v Dejvicích, kde mu bylo vyhrazeno výrazně méně místa. Ve stejném období, tedy v průběhu 70. let až do začátku 80. let, zároveň Záruba s odchodem do důchodu postupně utlumoval své odborné aktivity. Byl tak hned ze dvou různých důvodů nucen vypořádat otázky kolem jejich hmotných památek („vzpomínám si, jak pan profesor, plný smutku, listuje ve starých posudcích a mapách, jak přemýšlí, které z nich zachovat a které vyřadit“ – Schütznerová-Havelková in Hroch 2000). Svou odbornou knihovnu tehdy věnoval PÚDISu, s podmínkou, že bude zpřístupněna odborné veřejnosti a bude k ní vypracován katalog; tamtéž předal i svou kartotéku s posudky. Sbírka hornin GÚ ČVUT byla rozdělena: část byla uložena v Dejvicích v depozitáři, část věnována Národnímu muzeu.

4. SG Geotechnika – knihovna, zprávy

SGG jako nástupnická organizace Sondovacího oddělení uchovává řadu Zárubových posudků z 30. a 40. let (zajímavostí je například předválečný průzkum pro pražské metro). Tyto zprávy jsou zároveň součástí databáze ČGS-Geofondu, kde jsou vedeny pod signaturami řady SG; fyzicky se nenacházejí na pracovišti v Kostelní ulici, ale právě v archivu SGG na Barrandově.

Hlavní zárubovskou památkou v SGG je ovšem jeho knihovna, kterou PÚDIS otevřel v roce 1979 a předal SGG z důvodu stěhování v roce 1990. Od roku 2025 je nově zpřístupněna ve zvláštní studovně, kde je jí vyhrazeno 16 velkých skříní. Knihovna zahrnuje šanony se separáty článků předních odborných osobností Zárubovy doby i Záruby samotného, dále desítky ročníků domácích i zahraničních odborných periodik, kongresové sborníky, odborné publikace a učebnice pojednávající o množství přírodovědných i technických témat v řadě jazyků. Původní knihovní jednotky jsou označeny červeným sedmimístným inventárním číslem, které odpovídá lístkové kartotéce zpracované PÚDISem položku po položce přímo během jejich předávání ve spolupráci s Quidem Zárubou. Podobu knihovny před stěhováním nebylo možné zrekonstruovat, původní knihovní katalog tak má spíše již jen historickou hodnotu a bylo vytvořeno řazení nové. Odborná veřejnost může knihovnu navštívit po předchozí domluvě.

5. Česká geologická služba / Geofond – zprávy, články, mapy

V rámci ČGS je Zárubova pozůstalost soustředěna jednak v knihovně, jednak v bývalém Geofondu, který dnes tvoří jednu z organizačních složek ČGS. V Geofondu jsou uloženy převážně nepublikované zprávy ze Zárubovy průzkumné činnosti. Evidováno je zde zhruba 150 závěrečných zpráv (nebo jejich částí), na kterých se podílel jako hlavní řešitel či spoluřešitel. Několik zpráv se nachází také v pozůstalosti Milana Špůrka (†2018), která je v současné době spravována pobočkou v Brně.

Veřejná knihovna ČGS své fondy zpřístupňuje v hlavní studovně v Praze a také v pobočkách Brno a Kutná Hora. Nacházejí se v ní zejména separáty Zárubových článků a knižních publikací. Mapový archiv ČGS také obsahuje několik map a terénních záznamů z geologického mapování, kde byl Záruba autorem či spoluautorem.

6. Ústav struktury a mechaniky hornin – fotografie, články, zprávy

OIG ÚSMH spravuje rozsáhlý archiv více než 40 000 fotografií, negativů a diapozitivů zobrazujících následky různých geologických procesů, které pořídil Záruba sám či jeho následovníci v době od 20. let 20. století téměř až po současnost. Část z nich je dostupná v online podobě na adrese https://www2.irsm.cas.cz/ext/qz/.
Pokud jde o Zárubovy písemnosti, v archivu OIG ÚSMH se z nich zachoval pouze zlomek, a to hlavně díky pečlivosti Jana Rybáře (†2017), který byl jedním z jeho žáků, celý odborný život s ním spolupracoval, předkládal mu své články k recenzi a měl také vlastní archiv jeho separátů. Je zde uloženo rovněž několik zpráv z let 1949–1987 – inženýrskogeologické průzkumy, posouzení sesuvů a cestovní zprávy – a dvě fotoalba.

7. Masarykův ústav a Archiv Akademie věd ČR – písemnosti

Tato instituce (dále MÚA) uchovává osobní fondy (tj. písemnosti typu osobní dokumenty, korespondence, fotografie, rukopisy ap.) vědců z různých oborů. Zárubův osobní fond získala po jeho úmrtí (přesné okolnosti již nejsou známy) a uchovává jej pod číslem NAD 475. Fond o rozsahu 4,52 bm zatím nebyl uspořádán, je proto veřejně nepřístupný. Díky udělení mimořádného přístupu jsme mohli fond jako zřejmě vůbec první badatelé zběžně prozkoumat, pořídit jeho stručný soupis a ověřit v něm dostupnost jednotlivých položek Zárubovy bibliografie (viz kapitolu 11). Soupis byl předán správci badatelny Janu Chodějovskému.
Fond obsahuje řadu rukopisných i publikovaných verzí Zárubových odborných textů, jeho korespondenci s předními osobnostmi domácí i zahraniční odborné scény (např. Andrusov, Arnould, Berkey, Bjerrum, Bukovanský, Casagrande, Dearman, Hutchinson, Hynie, Kettner, Koutek, Legget, Mencl, Müller, Novosad, Pašek, Purkyně, Rybář, Shadmon, Skempton, Ter-Stepanian, Terzaghi, Woznica), zápisníky z terénních prací i zahraničních kongresů, fotografie, zápisy z jednání institucí, jichž byl členem, výstupy z posudkové činnosti, osobní dokumenty (legitimace, vysvědčení, ocenění) a další související písemnosti (cizí publikace, kongresové materiály, mapy, výstřižky z novin ap.).
Jde o badatelsky mimořádně cenný materiál, který poskytuje představu o různých okolnostech Zárubova života, odborných osobnostech a úkolech, které jej formovaly, i o těch, které následně sám ovlivnil, o jeho způsobu práce (od terénních náčrtů a poznámek přes rukopisy s úpravami až po finální publikace) i o zákulisí fungování IAEG a dalších institucí. Zmínit lze například dokumenty z příprav inženýrskogeologické sekce zmařeného kongresu v roce 1968, z nichž lze vyčíst, že již tehdy měli autoři Nemčok a Rybář připravenou klasifikaci svahových pohybů (recenzentem článku byl sám Záruba; publikaci zamítl z důvodu, že nová klasifikace nebyla dosud prodiskutována domácí odbornou veřejností). Fond obsahuje rovněž finální rukopis 4. vydání *Inženýrské geologie* – rozšířeného a přepracovaného oproti 3. vydání a dále upraveného na základě připomínek recenzentů (Rybář, Škopek). Nakladatelství Academia rukopis přijalo a uzavřelo s autory smlouvu v roce 1989; po revoluci nicméně v důsledku změny systému financování od vydání odstoupilo. (V Hrochově bibliografii je kniha chybně uvedena jako reálně vydaná v roce 1990.)

8. PUDIS – dokumentační body, zprávy

Svou mnohaletou kartotéku s dokumentací průzkumných prací a stavenišť na území Prahy Záruba zúročil při zpracování *Geologické mapy území vnitřní Prahy 1 : 12 500* (1948); následně posloužila také jako základ pro inženýrskogeologické mapy 1 : 5 000, které se zpracovávaly v PÚDISu. Zárubovy sondy v nich na řadě mapových listů figurují jako prvotní dokumentační body s nízkými pražskými čísly, jejich popisy v publikované podobě jsou ovšem zpravidla nově přepsané (nejde o reprodukce originální dokumentace). PÚDIS od Záruby kartotéku převzal a jeho původní zdrojové posudky stále uchovává, seřazené podle příslušnosti k daným mapovým listům; v případě potřeby zde tak lze dohledat i originály.

9. Národní muzeum – sbírka hornin

Národní muzeum (NM) v rámci své petrologické sbírky aktuálně eviduje 1273 vzorků hornin označených „převedeno z Geologického ústavu české techniky v Praze“ nebo „převedeno z Geologického ústavu ČVUT v Praze“. (Celkem NM uchovává zhruba 50 000 vzorků hornin.) Převod z ČVUT proběhl v roce 1980 a k zapsání do sbírek NM došlo v letech 1982–1984. Vzorky jsou vedeny pod 42 inventárními čísly, jsou plně katalogizované a fyzicky přístupné v zásuvkových skříních v muzejním depozitáři v Horních Počernicích.

Jde převážně o navětralé až zdravé horniny v podobě formátů, ojediněle též o vrtná jádra či jiné typy vzorků. Vzorky zahrnují celé spektrum hornin a pocházejí převážně z různých částí Československa; významně jsou zastoupeny vltavské břehy, zejména prostor nádrže Orlík. 238 vzorků pochází ze světových lokalit. U některých vzorků se dochovaly původní štítky, které dokládají pestré kořeny sbírky: od hlavičky Geologického ústavu Německé vysoké školy technické (tj. vzorky z předválečného GÚ ČVUT, zabrané za okupace Arthurem Winklerem-Hermadenem a později přeživší výbuch spojenecké bomby) přes rukopis Radima Kettnera až po příspěvky Zárubových asistentů. Sbírka jako celek je petrologicky hodnotná, pro běžné inženýrskogeologické účely ovšem nemá praktický význam – snad s výjimkou možnosti ztotožnění vrtných jader s odpovídající dokumentací v Geofondu či pro studium horninových typů v dnešní zátopě děl vltavské kaskády. Kontaktní osobou v NM je Marek Chvátal.

10. Další instituce spojené s Quidem Zárubou

Posledním významným pracovištěm, na němž Záruba dlouhodobě působil, je ČVUT v Praze. V knihovně KG FSv je uložena řada dokumentů z jeho publikační činnosti (převážně separáty článků); v důsledku aktuálně probíhající rekonstrukce budovy B, kde se katedra nachází, je nicméně tento fond dočasně nepřístupný. Nebylo tak možné jeho obsah detailně katalogizovat. ČVUT má rovněž archiv v areálu strahovských kolejí, kde lze ovšem nalézt pouze drobné články a zmínky v odborné literatuře. Nejvýznamnější archiválií zde uloženou je Zárubova disertační práce z roku 1926 (její závěry byly publikovány jako QZ 7 – viz dále).
Záruba vyučoval rovněž na PřF UK; pokud se tak dělo i v poválečném období (ještě zde figuruje na Tableau učitelského sboru z roku 1946), pak ale pravděpodobně již jen velmi omezeně, a fakultě tedy nezanechal žádný významný soubor předmětů ze své pozůstalosti. Ve fakultní knihovně lze nalézt některé položky z jeho bibliografie; není známo, že by se jakékoliv zvláštní zárubovské archiválie uchovávaly v rámci ÚHIGUG. V archivu UK na Ovocném trhu je uloženo několik starších dokumentů vztahujících se k jeho předválečné pedagogické činnosti (program přednášek, habilitační řízení).
Pokud jde o ÚTAM AV ČR, KÚ ČVUT a IAEG, žádná jakkoliv podstatná či zajímavá část Zárubovy pozůstalosti se zde nenachází.
Rodina Zárubových neuchovává žádné památky na odborné působení Quida Záruby s výjimkou rodinných fotoalb a malého sešitku se studijními výpisky na téma nerostných surovin a podzemního stavitelství cca z roku 1916 (Alexandr Rozsypal – osobní sdělení). Fotoalbum z 30. let zachycuje momentky z návštěv na stavbách jako vodní nádrž Vrané, sanatorium Vyšné Hágy ap. SGG se souhlasem rodiny pořídila jejich skeny.

11. Aktualizace Zárubovy bibliografie

Nejúplnější známý soupis Zárubových děl uvádí Hroch (2000). V jeho bibliografii jsou jednotlivým článkům a monografiím přidělena čísla 1–257, která zde přebíráme s označením QZ, tištěným mapám čísla 1–6, která přebíráme s označením QZM, a zprávám a posudkům čísla 1–24, která přebíráme s označením QZZ. Aktuální dostupnost Hrochových položek QZ, QZM a QZZ v archivech SGG, ČGS, ÚSMH, MÚA a PUDIS jsme nově prověřili; při té příležitosti bylo zároveň nalezeno 11 zcela nových položek QZ, kterým jsme přidělili čísla QZ 258–268, 6 zcela nových položek QZM, kterým jsme přidělili čísla 7–12, a velké množství (minimálně v řádu vyšších desítek) zcela nových položek QZZ. Vzhledem k vysoké časové náročnosti katalogizace a ztotožňování položek QZZ napříč několika převážně nedigitalizovanými a často ani nekatalogizovanými archivy tuto činnost nebylo možné dokončit do odevzdání článku. Její částečné výsledky tak budou představeny až v době konání kongresu.
Aktualizovanou bibliografii zpracováváme do excelového souboru, který bude po dokončení zpřístupněn na webu SGG, případně na vyžádání u autorů článku. V souboru jsou na třech listech QZ, QZM a QZZ uvedeny po řádcích jednotlivé položky; ve sloupcích označených názvy institucí spravujících zárubovské archiválie je uvedeno „ano“ v případě, že daná položka je aktuálně v dané instituci dostupná. U některých položek se Hrochovy údaje ukázaly jako neúplné či nepřesné; v takovém případě je v souboru červeně uvedeno správné znění. Nově nalezené položky jsou uvedeny zeleně.

12. Závěr

Zkoumání a pořádání archiválií umožňuje získat nenahraditelný rozhled v dobovém kontextu a obnovit kontakt s dílem předchozích profesních generací. To s uplynulým časem neztrácí na relevanci a již prokázalo svou užitečnost i pro aktuálně řešené úkoly. V rámci pátrání po osudech Zárubovy odborné pozůstalosti se podařilo dohledat všechny její aktuálně známé či očekávatelné části; existenci dalšího významnějšího souboru dosud neznámých zárubovských archiválií považujeme za nepravděpodobnou. Detailní katalogizace dosud nijak nezpracovaných položek se ovšem ukázala jako časově velmi náročný úkol obtížně slučitelný s běžnou pracovní činností; aktuálně zpracovávaný soupis navíc nemůže být úplný před opětovným zpřístupněním archivu KG FSv.

Aktualizace Zárubovy bibliografie tak bude probíhat jako dlouhodobý projekt, jehož veřejné výstupy budou průběžně doplňovány.
Zorientovat se v Zárubově odborné pozůstalosti a prověřit její současný stav by nebylo možné bez spolupráce s řadou kolegů a kolegyň z našich i příbuzných institucí, kteří jsou uvedeni v poděkování níže. Jméno Quida Záruby i dnes otevírá dveře a respekt k jeho osobě stále spojuje všechny, kdo pečují o část jeho široce rozesetého odkazu, byť jej již osobně třeba ani nepoznali. Oživení této sounáležitosti tak vnímáme jako další z výsledků našeho výzkumného projektu a věříme, že bude odborné komunitě přínosné stejně jako jeho fyzické výsledky.

Poděkování

PhDr. Eva Boháčová, PhDr. Marek Brčák, Ph.D., RNDr. Hana Breiterová, Mgr. Anna Hlaváčková, RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., PhDr. Jan Chodějovský, Ph.D., Mgr. Marek Chvátal, doc. Ing. Josef Jettmar, CSc., Dr. phil. Matěj Kotalík, RNDr. Jan Král, Jana Mašková, Mgr. Zdeňka Pastyriková, Ph.D., Mgr. Andrea Veverková, RNDr. Josef Vorel.

Seznam literatury

Záruba Q., 1979: Jak jsme začínali u nás s inženýrskou geologií. – *Acta Polytechnica. Práce ČVUT v Praze*, č. 1.
Štajf O., 1989: Hosť Nového Slova. Akademik Quido Záruba je presvedčený, že inžiniersky geológ je prvý znalec prírody. – *Nové Slovo* 22. 6. 1989, str. 13.
Hroch Z. (ed.), 2000: *Inženýrský geolog Quido Záruba*. – Český geologický ústav. Praha.
Dvořáčková V. et al, 2018: *Věda pod Rokoskou. Dějiny Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i. a jeho předchůdců*. – Ústav struktury a mechaniky hornin, Masarykův ústav a Archiv AV ČR. Praha.
Novotný J., Kycl P., Aue M., 2026: *Sesuvy na území Prahy*. – Česká geologická služba. Praha.
Šmejkalová T. (ed.), 2026: *„Nemyslete si, že budete dělat geologii někde na Václaváku“. Sto let české stavební geologie očima SG Geotechniky*. – Grada. Praha.

PEDOLOGICKÝ PRŮZKUM A JEHO NÁLEŽITOSTI

Václav Tejnecký

E-mail: tejnecky@af.czu.cz
Česká zemědělská univerzita, Fakulta agrobiologie, potravin a přírodních zdrojů, Katedra pedologie a ochrany půd, Kamýcká 129, 165 00 Praha – Suchdol, ČR

Další autoři: Martina Tejnecká Englmaierová, Juraj Krumnikl

Abstrakt:
Půda představuje dynamický přírodní útvar na rozhraní litosféry, hydrosféry, atmosféry a biosféry. Půdní vlastnosti jsou výsledkem dlouhodobé interakce půdotvorných faktorů, mezi něž patří klima, organismy, reliéf, matečná hornina a čas. V současnosti do procesu pedogeneze vstupuje velmi výrazně i člověk.

Samotný vznik půdy je proces extrémně pomalý, naopak proces její degradace bývá neporovnatelně rychlejší a často se jedná o nevratný proces. Půda je proto vnímána jako neobnovitelný přírodní zdroj a je legislativně chráněna. Jedná se zejména o zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu a prováděcí vyhlášku MŽP č. 271/2019 Sb., o stanovení postupů k zajištění ochrany zemědělského půdního fondu. Zde jsou uvedeny náležitosti pedologického průzkumu. Konkrétní parametry pedologického průzkumu jsou dále specifikovány v metodických pracích, mimo jiné v publikaci Vopravil et al. (2024).

Cílem příspěvku je upozornit na občasný nesoulad mezi požadavky státní správy na straně jedné a reálnými možnostmi při provádění pedologického průzkumu (především u velkých liniových staveb) na straně druhé. Budeme se snažit představit možnosti řešení pedologického průzkumu v souvislosti s legislativou, ale i současnými znalostmi v oboru pedologie.

Součástí příspěvku je rovněž představení základních zúrodnitelných půdních horizontů a diskuse jejich prostorové variability v terénu. Kvalitně provedený pedologický průzkum je klíčovým nástrojem nejen pro vědecké studium půd a jejich vývoje, ale také pro praktickou ochranu půdy jako neobnovitelného přírodního zdroje v kulturní krajině.

Literatura

Vopravil, J., Khel, T., Kohoutová V. 2024: Definice technických parametrů pedologického průzkumu ve vazbě na ustanovení § 9 odst. 6 písm. g) zákona č. 334/1992 Sb. VÚMOP, Praha, 39 str.
https://mzp.gov.cz/system/files/2025-02/M%C5%BDP_jednotn%C3%BD%20postup%20prov%C3%A1d%C4%9Bn%C3%AD%20pedologick%C3%A9ho%20pr%C5%AFzkumu.pdf

Sekce 15

Vsakování srážkových vod, odvodnění, meliorace, drenáže, stavební čerpání

EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM POHYBŮ HUMÓZNÍ VRSTVY SVAHŮ LINIOVÝCH STAVEB PŘI UMĚLÉM ZADEŠTĚNÍ POMOCÍ VLÁKNOVĚ OPTICKÝCH SENZORŮ

Experimental monitoring of upper soil-layer stability on linear-infrastructure slopes using rainfall simulation and fibre-optic sensors

Petr Kavka[1], Martin Neumann[1], Tomáš Laburda[1], Adam Tejkl[1], Matěj Komanec[2], Radek Nesnídal[2], Dušan Dufka[3], Aleš Kulhánek[3], Vlastimil Mužík[4]

[1] Fakulta stavební ČVUT v Praze; [2] Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze; [3] STRIX Chomutov, a.s.; [4] INSET s.r.o.; kontaktní e-mail: [petr.kavka@fsv.cvut.cz]

Abstrakt: Příspěvek představuje experimentální část projektu zaměřeného na prevenci poruch svrchních humózních vrstev svahů liniových staveb pomocí vláknově optických senzorů. Cílem je představit metody testování chování humózní vrstvy náspů a zářezů při dešťových událostech a postupném sycení vodou a vývoj systému detekce deformací předcházejících mělkým svahovým pohybům. Základem systému jsou kalibrované senzorické lamely s vláknovými Braggovými mřížkami (FBG), které převádějí lokální posun a ohyb půdní vrstvy na změnu Braggovy vlnové délky.

Laboratorní ověření probíhalo na dešťovém simulátoru ČVUT s plochou 1 × 4 m. Půdní profil byl zatěžován srážkou nízké intenzity tak, aby docházelo k postupnému sycení bez výrazného povrchového odtoku a eroze. Odezva lamel byla porovnávána s fotogrammetrickým měřením povrchu. FBG senzory jsou schopny zaznamenat milimetrové deformace při jednotlivých srážkových událostech, včetně změn obtížně zachytitelných srovnávacími fotogrammetrickými metodami.

V podmínkách blízkých reálným stavbám jsou ověřovací experimenty prováděny na experimentálních plochách v Jirkově ve třech sklonech 22°, 30° a 34° na plochách 4 × 2 m vybavených stacionárními dešťovými simulátory a doplňkovým hydrometeorologickým monitoringem. Výsledky slouží k návrhu uložení a kotvení lamel a ke stanovení prahových stavů porušení svrchní vrstvy svahu.

Klíčová slova: liniové stavby, mělké svahové pohyby, dešťový simulátor, vláknové Braggovy mřížky, fotogrammetrie

Abstract: The paper presents the experimental part of a project focused on preventing failures of the upper soil layers of linear-infrastructure slopes using fibre-optic sensors. It investigates the behaviour of the humic layer of embankment and cut slopes during water saturation and assesses the possibility of detecting deformation preceding shallow slope movements.

The monitoring system is based on calibrated sensing lamellae with fibre Bragg gratings, which convert local soil-layer displacement and bending into a shift of the Bragg wavelength.

Laboratory verification was performed on the CTU rainfall simulator with a 1 × 4 m plot. Low-intensity rainfall was used to gradually saturate the soil profile without generating substantial surface runoff or erosion. Lamella response was compared with photogrammetric surface measurements.

The FBG sensors detected millimetre-scale deformation during individual rainfall events, including changes unresolved by photogrammetry, and recorded partial relaxation during drying. Outdoor verification continues in Jirkov in three containers with slopes of 22°, 30° and 34°, equipped with stationary rainfall simulators and supplementary hydroclimatic monitoring. The results support the design of lamella placement and anchoring and the definition of threshold states for failure of the upper slope layer.

Key words: linear infrastructure, shallow slope movement, rainfall simulator, fibre Bragg grating, photogrammetry

1. Úvod

Výstavba rychlostních komunikací a železničních tratí vyžaduje budování svahů násypů a zářezů. Porucha této technické infrastruktury představuje zároveň riziko pro okolí konstrukce. Tyto umělé svahy jsou zejména v období po dokončení stavby citlivé na svahové pohyby humózní vrstvy, vznik povrchového odtoku a vodní erozi. Mělké deformace svrchní půdní vrstvy mohou předcházet lokálnímu odtržení nebo plošnému sesunutí humózního horizontu. Vývoj a mechanismus poruch na silničních svazích dokumentují například Zhang et al. (2023).

Významnými spouštěcími mechanismy jsou nejen konvektivní srážky, ale i dlouhodobé nebo opakované srážkové události. Infiltrující voda zvyšuje vlhkost a hmotnost půdní vrstvy a může se akumulovat nad méně propustným zhutněným podložím. Na rozhraní humózní vrstvy a vlastního zemního tělesa tak může vzniknout dočasně zavěšená hladina a laterální proudění na tomto rozhraní. Postupné sycení vede ke změně napěťového stavu a k pohybu vrstvy po svahu. Tyto pohyby a deformace nemusí být na povrchu viditelné. Plouživý pohyb přechází od počáteční deformace přes fázi přibližně ustálené rychlosti až ke zrychlenému pohybu před porušením (Miao et al., 2017; Šilhán, 2024) a možným kolapsovým stavům.

Standardně se pro sledování svahových pohybů používají geodetická měření, fotogrammetrie, LiDAR a pozemní radarová interferometrie (Jaboyedoff et al., 2012; Lombardi et al., 2016; Casagli et al., 2023). Tyto metody umožňují prostorově zachytit stav povrchu, jejich použití však může být omezeno vegetací a nutností opakovaného měření.

Pro kontinuální měření přímo ve svahovém tělese jsou využívány vláknově optické senzory s Braggovými mřížkami. Mechanická deformace optického vlákna vyvolá změnu Braggovy vlnové délky (Yassin et al., 2024). Výhodou této metody je vysoká citlivost, možnost zapojení více měřicích bodů do jednoho systému a možnost relativně velké vzdálenosti od vyhodnocovací jednotky. FBG senzory jsou v geotechnice integrovány do inklinometrických tyčí a sond určených k identifikaci hlubších smykových zón (Wang et al., 2015; Allil et al., 2021; Zhang et al., 2019). Pro mělké, prostorově rozptýlené pohyby v horních přibližně 20 cm půdního profilu však klasický inklinometr není optimální.

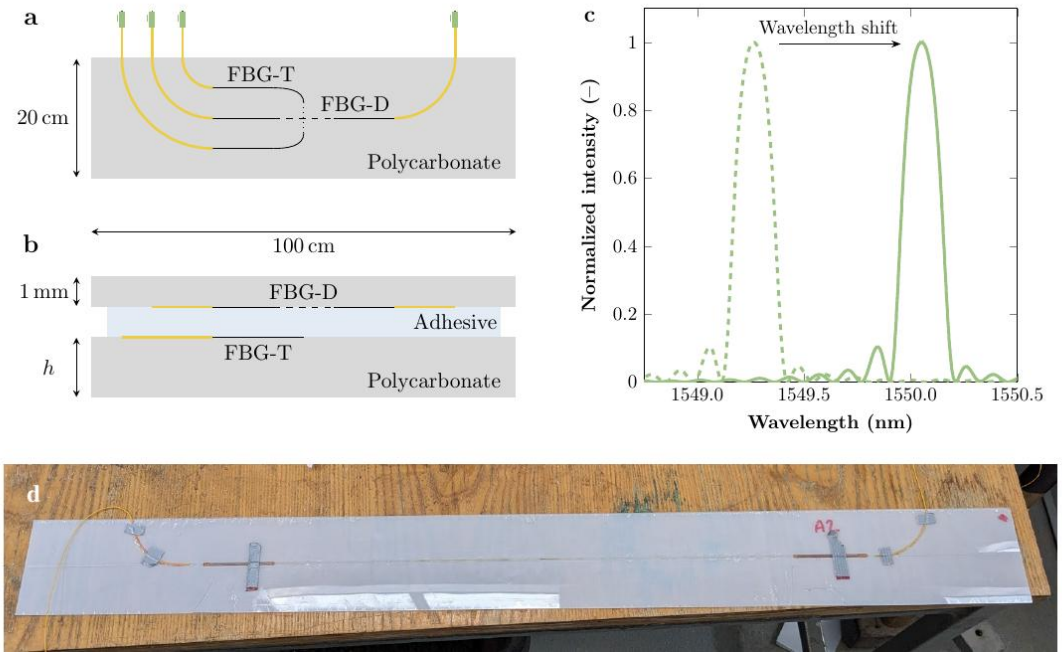
V rámci projektu CK04000144 byl proto vyvinut systém založený na FBG senzorech uložených v pružné polykarbonátové lamele. Relativní pohyb zeminy vyvolává ohyb lamely a změnu Braggovy vlnové délky deformačního senzoru. Druhý FBG senzor je mechanicky oddělen od ohybu a slouží ke kompenzaci teplotního driftu, který je při dlouhodobém venkovním měření nezbytné oddělit od mechanické odezvy (Xiong et al., 2019). Cílem příspěvku je popsat konstrukci a kalibraci lamel, laboratorní experiment při opakovaném srážkovém zatížení, porovnání s fotogrammetrií a navazující ověření ve venkovní laboratoři v Jirkově.

Jednou ze základních experimentálních metod vhodných pro testování hydrologické odezvy a eroze jsou experimenty s umělou srážkou pomocí tzv. dešťových simulátorů. Tato zařízení vytvářejí nad vymezenou plochou umělou srážku s řízenou intenzitou, dobou trvání a prostorovým rozložením. Umožňují opakovat experiment za definovaných okrajových a počátečních podmínek. Nejčastěji se používají při výzkumu povrchového odtoku, erozního odnosu a vzniku erozních rýh (Abudi et al., 2012; Kavka et al., 2018, 2019). V předkládaném výzkumu jsou zadešťovací experimenty využívány odlišně. Cílem není tvorba povrchového odtoku a eroze, ale řízené sycení půdy a sledování její deformace.

2. Materiál a metody

2.1 Senzorická lamela a měřicí systém

Senzorická lamela je tvořena dvěma polykarbonátovými deskami o šířce 20 cm. U laboratorních prototypů měla aktivní část délku 1 m, u ověřovacích experimentů 1,7, resp. 2 m. Horní deska měla tloušťku 1 mm a dolní deska 2 nebo 3 mm. Deformační FBG senzor (FBG-D) byl předepnut a přilepen k podélné části silnější desky. Při ohybu sendvičové konstrukce se poloha senzoru mimo neutrální osu projeví podélnou deformací vlákna a změnou Braggovy vlnové délky. Referenční FBG senzor (FBG-T) byl umístěn kolmo k hlavnímu směru ohybu a nebyl pevně spojen s namáhanou podélnou částí tak, aby reagoval především na změnu teploty. Konstrukce zároveň chrání optické vlákno proti lokálnímu poškození a mikroohybům.



Obr. 1 Konstrukce senzorické lamely, poloha deformačního a teplotního FBG senzoru a ukázka vyrobeného prototypu (Nesnídal, 2026).

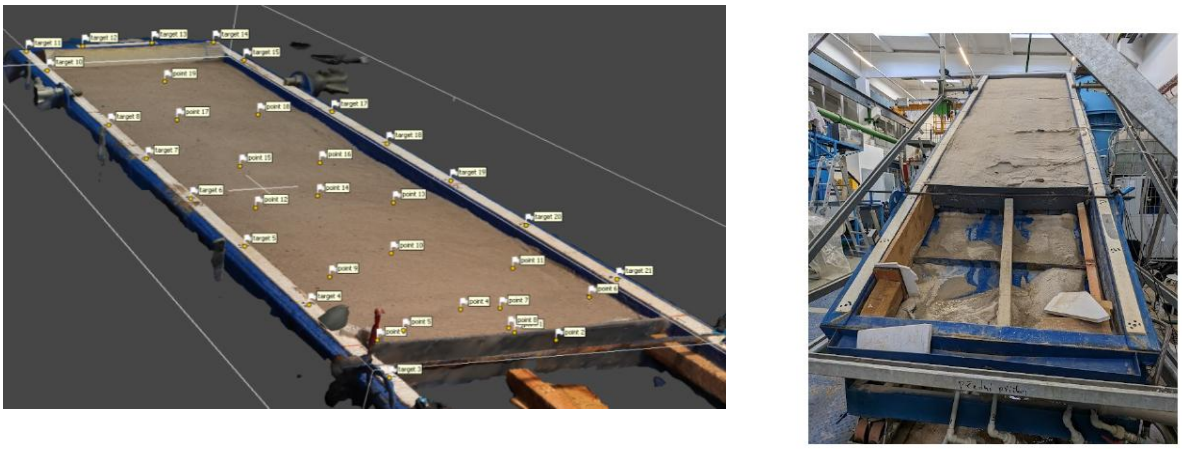
Fig. 1 Sensing-lamella structure, position of the displacement and temperature FBG sensors, and the manufactured prototype.

Optický signál byl snímán čtyřkanálovým interrogátorem s intervalem záznamu 3,5 s, rozlišením vlnové délky 0,1 pm. Před instalací byly lamely zatěžovány řízeným průhybem a pro každý zatěžovací stav byla zaznamenána změna Braggovy vlnové délky. Tato kalibrace je pak klíčová pro převod změny vlnové délky na posun. Zároveň bylo ověřeno, že ohyb lamely nevyvolává významnou odezvu referenčního FBG-T. Teplotně kompenzovaný signál byl stanoven odečtením teplotní složky od změny vlnové délky FBG-D.

2.2 Laboratorní dešťový simulátor ČVUT v Praze

Laboratorní experiment byl proveden na dešťovém simulátoru Fakulty stavební ČVUT v Praze. Zařízení tvoří sklopný kontejner o rozměrech 4 × 1 m a systém trysek umožňující řízenou aplikaci umělé srážky. Experimentální plocha byla naplněna zeminou nad ponechanou drenážní písčitou vrstvou podle standardního postupu přípravy simulátoru (Kavka et al., 2019) a zhutněna ručním válcem naplněným vodou. V další fázi experimentů pak bylo nahrazeno propustné podloží nepropustným jílem. Sklon byl nastaven na 20°. V ploše byly instalovány dvě lamely s odlišným způsobem kotvení. Horní lamela byla umístěna 2 m od spodní hrany a kotvena uprostřed, spodní lamela byla umístěna 1 m od spodní hrany a kotvena na okrajích. Uspořádání umožnilo porovnat rozdílný přenos pohybu půdní vrstvy na průhyb senzoru.

Půdní profil byl zatěžován pěti srážkovými událostmi o intenzitách 20–40 mm·h^{-1} a délkách 30–120 min. Nízká intenzita a nízká kinetická energie srážky byly zvoleny s ohledem na postupné sycení bez výrazného povrchového odtoku a rozvoje erozních rýh. Experiment byl zaměřen nejen na změny během sycení, ale také na následnou konsolidaci při vysychání. Signál FBG byl vyhodnocován během srážky, bezprostředně po ní a s odstupem 1 a 24 hodin.



Obr. 2 a) 3D model svahu na laboratorním DS s označenými referenčními terči a identickými body v ploše, b) Uspořádání laboratorního dešťového simulátoru, kotvení lamel
Fig. 2 a.) 3D model RS with reference points, b) Laboratory rainfall-simulator setup, lamella anchoring and the interrogation unit.

2.3 Venkovní experimentální lokalita v Jirkově

Zatímco laboratorní testy slouží především k testování lamel a jejich odezvy, venkovní experimenty v prostředí blízkém reálným svahům probíhají v experimentální laboratoři v Jirkově. Lokalitu tvoří tři samostatné kontejnery o rozměrech 4 × 2 m se sklony 22°, 30° a 34°. Profil je tvořen svrchní humózní vrstvou uloženou na méně propustném zhutněném podloží. Každý kontejner je vybaven stacionárním dešťovým simulátorem umožňujícím opakované srážkové zatížení při současném působení přirozených venkovních teplotních a vlhkostních podmínek. Do každého svahu byly instalovány dvě senzorické lamely délky přibližně 1,7 m s odlišným způsobem kotvení. Jedna varianta sleduje relativní pohyb humózní vrstvy vůči stabilnějšímu podloží, druhá umožňuje hodnotit přenos deformace při jiném upevnění lamely. Měřicí systém je doplněn čidly půdní vlhkosti a teploty, měřením aplikované a přirozené srážky a dalšími hydroklimatickými veličinami. Uspořádání umožňuje porovnat vliv sklonu, kotvení, počáteční vlhkosti a opakovaného srážkového zatížení.

Obr. 3 Instalace senzorických lamel v lokalitě Jirkov: a) usazení senzorické lamely do půdního profilu, b) kotva pro uchycení lamely do hlubších půdních vrstev, c) experimentální plocha připravená pro měření pohybu svrchní půdní vrstvy včetně osazených a zaměřených fotogrammetrických terčů.

2.4 Verifikace pomocí dalších metod

Srovnávací metody jsou v rámci experimentu využívány dvě. Jednak porovnáván se změnami zatížení zaznamenanými pomocí tlakové podušky umístěné v půdním profilu. Tlaková poduška nesleduje přímo posun půdní vrstvy, ale změnu kontaktního tlaku vyvolanou sycením, přeskupováním zeminy a rozvojem deformace. A dale pak porovnáním s přesným fotogrametrickým měřením, kdy je povrch půdy a jeho změny vyhodnocován pomocí metody SfM ze snímků pořízených před a po každé simulaci. Vzájemná přesná poloha snímků je možná díky zaměřovacím terčům na rámu kontejneru se vzorkem. Následně byly v programu Agisoft Metashape

vytvořeny digitální modely povrchu a ortofotosnímky s výsledným rozlišením přibližně 0,23 mm·pixel^{-1}. Další zpracování proběhlo v prostředí ArcGIS Pro. Přes šířku plochy byly v pravidelných rozestupech 5 cm vytvořeny souběžné měřicí linie. Pro každý ortofotosnímek byly ručně vymezeny polohy obou lamel a změna souřadnice průsečíků s měřicími liniemi byla použita jako ukazatel pohybu ve směru svahu.
Přesnost jednotlivých modelů byla hodnocena pomocí RMSE kontrolních bodů ve směru svahu. Při porovnání dvou modelů byla kombinovaná nejistota stanovena jako odmocnina součtu čtverců chyb obou měření. FBG a fotogrammetrie nesledují totožné místo ani stejný mechanismus: FBG reaguje na ohyb zakotvené lamely uvnitř profilu, zatímco fotogrammetrie zachycuje změnu povrchu.

3. Výsledky

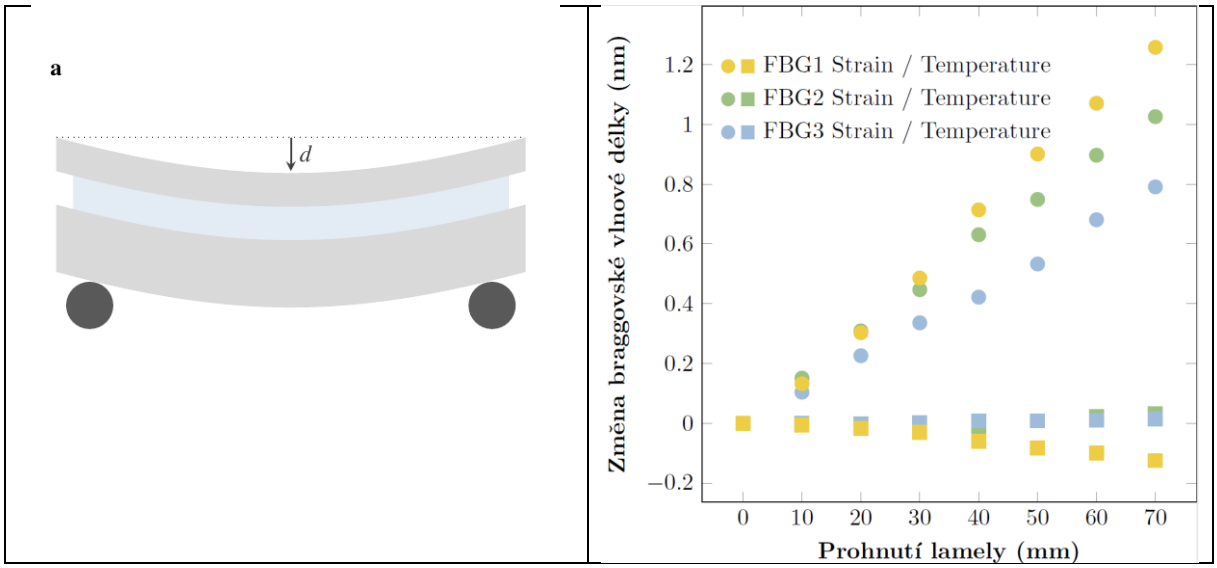
3.1 Kalibrace senzorických lamel

Všechny deformační FBG-D vykázaly při řízeném průhybu výraznou lineární odezvu. Koeficient determinace kalibračního vztahu byl u všech tří prototypů nejméně 0,997. Nejvyšší citlivost 0,0185 nm·mm^{-1} byla dosažena u lamely se silnější, 3mm dolní polykarbonátovou deskou. U prototypů s dolní deskou tloušťky 2 mm činila citlivost 0,0148 a 0,0112 nm·mm^{-1}. Odezva referenčních FBG-T na průhyb byla přibližně o jeden až dva řády menší. Kalibrace tak potvrdila jejich použitelnost pro teplotní kompenzaci. Praktické rozlišení lamely použité při laboratorním experimentu bylo stanoveno na 2,7 mm.

Tab. 1 Parametry FBG senzorů získané kalibrací průhybu lamely.

Tab. 1 Parameters of the FBG sensors obtained by lamella-deflection calibration.

Senzor	Tloušťka dolní desky [mm]	Klidová vlnová délka [nm]	Citlivost [nm·mm^{-1}]	R^2
FBG-D1	3	1551,917	0,0185	0,997
FBG-T1	–	1554,345	−0,0019	0,586
FBG-D2	2	1549,424	0,0148	0,999
FBG-T2	–	1548,670	0,0005	0,973
FBG-D3	2	1549,766	0,0112	0,997
FBG-T3	–	1548,612	0,0002	0,840



Obr. 4 a) Princip kalibračního průhybu a závislost změny Braggovy vlnové délky na deformaci, b) výsledky kalibračních testů

Fig. 4 Calibration-deflection principle and Bragg wavelength shift as a function of deformation.

3.2 Testování průhybu lamel a porovnání s dalšími metodami

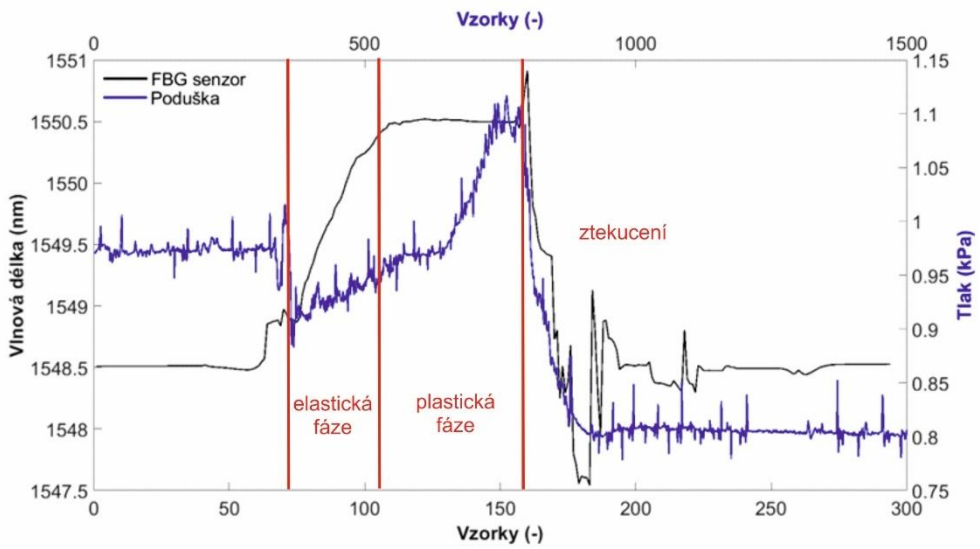
Experimenty na dešťovém simulátoru probíhaly v první fázi s pískem a v další fázi se zeminou.

Ověření funkčnosti FBG senzoru – písek

Na laboratorním dešťovém simulátoru byla provedena sada úvodních experimentů s pískem místo zeminy zaměřených na ověření funkce senzorických lamel při různých typech zatížení. Testován byl vliv změny sklonu, postupného sycení půdního profilu, opakovaného srážkového zatížení, rozdílného způsobu podepření a působení teplotních změn při zmrazování a rozmrazování půdy. Výsledky prokázaly schopnost systému zachytit počáteční i výraznější deformace svahu.

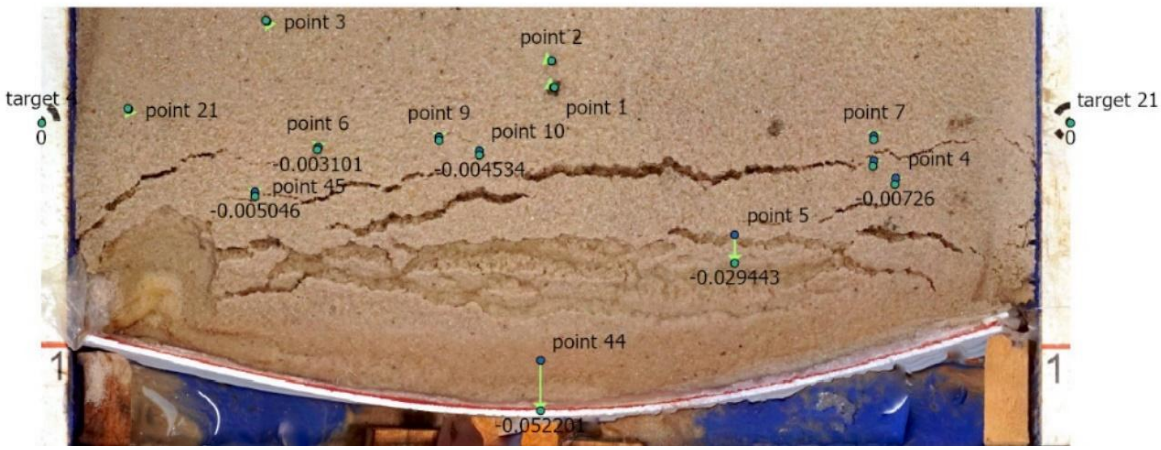
Ukázkou jsou výsledky porovnání průběhu průhybu FBG lamely, tlaků změřených pomocí tlakové podušky a posunů změřených fotogrammetrickou metodou, jak je uvedeno na následujících obrázcích.

Pro ověření mechanické interpretace odezvy FBG senzoru byl průběh deformace lamely porovnáván také se změnami zatížení zaznamenanými pomocí tlakové podušky umístěné v půdním profilu. Tlaková poduška nesleduje přímo posun půdní vrstvy, ale změnu kontaktního tlaku vyvolanou sycením, přeskupováním zeminy a rozvojem deformace. Časové porovnání obou signálů umožňuje posoudit, zda změna průhybu senzorické lamely souvisí se změnou napěťového stavu v jejím okolí, a odlišit vlastní pohyb vrstvy od odezvy způsobené pouze změnou vlhkosti nebo teploty. Současné vyhodnocení FBG senzoru, tlakové podušky a fotogrammetrie tak propojuje informaci o vnitřní mechanické odezvě půdního profilu s měřením lokální deformace a povrchového posunu.



Obr. 5 Porovnání odezvy FBG senzoru a průběhu tlaků změřených pomocí tlakové podušky.

Díky opěrným bodům na stranách zadešťovacího kontejneru jsou maximální deformace soustředěny především do oblasti čela svahu v okolí senzorické lamely. Největší posun odpovídal průhybu lamely přibližně 5 cm, zatímco další měřitelné deformace se vyskytovaly pouze v její bezprostřední blízkosti.



Obr. 6 Ukázka detailu prohnutí lamely při experimentu s vyznačenými sledovanými body posunu

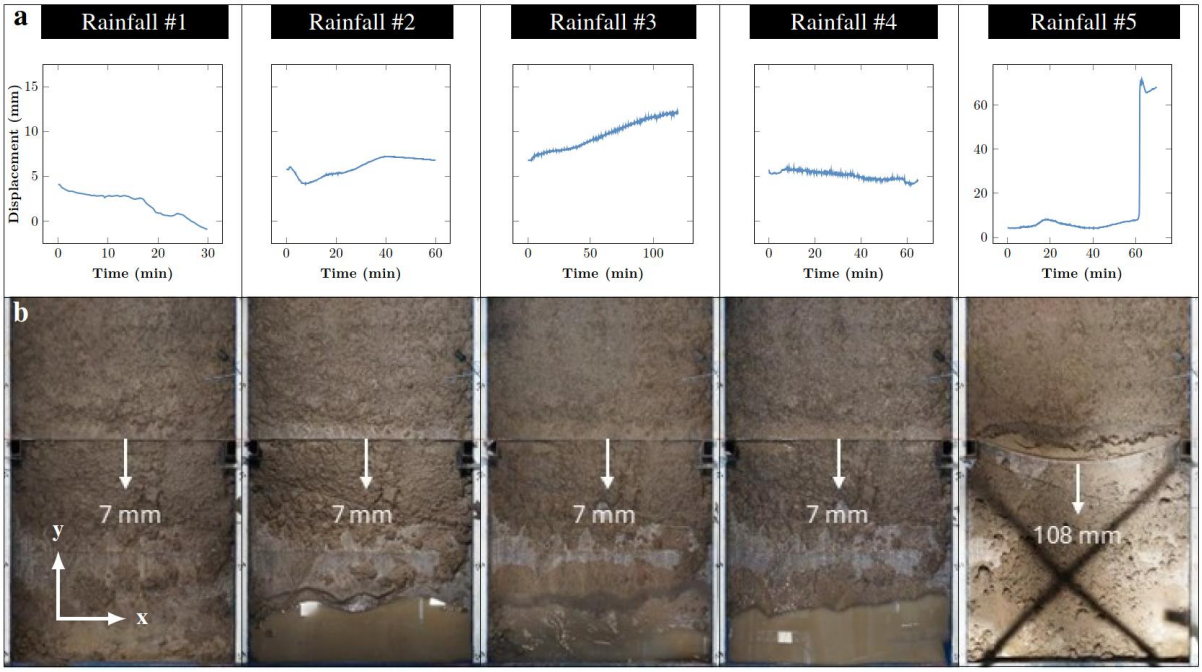
Porovnání s fotogrammetrickou metodou – zemina

RMSE jednotlivých fotogrammetrických modelů ve směru svahu se pohybovala od 0,67 do 1,16 mm. Kombinovaná nejistota dvojice porovnávaných modelů dosahovala přibližně 0,96–1,53 mm. Posuny větší než přibližně 2 mm proto lze považovat za spolehlivě rozlišené. Menší změny se pohybují na úrovni nejistoty fotogrammetrického vyhodnocení a jejich průběh je vhodnější sledovat kontinuálním optickým měřením. Při prvních čtyřech událostech fotogrammetrie vykázala shodný celkový posun povrchu 7 mm, a povrch se tak z hlediska této metody jevil jako stabilizovaný. FBG však při druhé až čtvrté události zaznamenal změny průhybu v řádu jednotek až desítek milimetrů. Tento návrat během 1–24 hodin odpovídá částečné relaxaci při vysychání a ukazuje, že odezva obsahuje trvalou i vratnou složku.

Tab. 2 Parametry srážkových událostí a posuny stanovené fotogrammetrií a FBG senzorem.
Tab. 2 Rainfall-event parameters and displacements derived from photogrammetry and the FBG sensor.

Událost	Intenzita [mm·h⁻¹]	Doba [min]	DPhoto [mm]	DFBG [mm]	DFBG po 1 h [mm]	DFBG po 24 h [mm]
Počáteční stav	0	–	0	4	–	–
Srážka 1	40	30	7	0	0	0
Srážka 2	40	60	7	7	6	5
Srážka 3	20	120	7	12	11	4
Srážka 4	20	60	7	5	5	3
Srážka 5	20	60	108	68	72	70

Největší odezva před konečným porušením byla zaznamenána při nejdelší, 120minutové srážce. Poslední experiment byl koncipován tak, aby došlo k viditelné deformaci a porušení půdního vzorku a byl simulován kolapsový stav.



Obr. 7 Průběh deformace z FBG měření a fotogrammetrický stav povrchu po pěti srážkových událostech.
Fig. 7 FBG-derived deformation and photogrammetric surface state after five rainfall events (Nesnídal, 2026).

4. Diskuse

Výsledky potvrzují, že senzorická lamela s FBG je schopna zachytit mělké svahové pohyby svrchní půdní vrstvy. Z hlediska chování zemní konstrukce je podstatná detekce jak počáteční částečně vratné deformace, tak dlouhodobých mikroposunů před nástupem výrazných deformací vedoucích ke kolapsovému stavu. Laboratorní experimenty ukazují, že FBG lamely umožňují sledovat deformace v reakci na různé srážkové události. Pokles průhybu během vysychání ukazuje, že měřená změna nemusí být pouze nevratným posunem, ale zahrnuje i vratnou deformaci vlhké zeminy a kontaktu mezi půdou a senzorem. Způsob kotvení proto přímo ovlivňuje odezvu. Příliš volné uložení nemusí přenést malý pohyb na lamelu, příliš tuhé kotvení může naopak změnit lokální deformační mechanismus. Porovnání středového a okrajového kotvení v laboratoři a dvou variant v Jirkově je proto součástí návrhu instalační metodiky. Výsledky zároveň ukazují nutnost eliminace dalších faktorů ovlivňujících měření, především teplotu, bobtnání a vysychání zeminy. Eliminace těchto faktorů je nad rámec tohoto příspěvku a je řešena v jiné části projektu.

Použití dešťového simulátoru odlišné od simulace konvektivních srážek zaměřené na erozní procesy ukazuje další možnosti využití tohoto zařízení. Odlišné typy trysek s nižší intenzitou a nižší kinetickou energií byly voleny tak, aby dominantním procesem byla infiltrace vody do půdního profilu, nikoli destrukce povrchu. Výhodou laboratorního zařízení je opakovatelnost a možnost přímého porovnání se senzory. Omezením je uměle připravený půdní profil, malá plocha a zjednodušené okrajové podmínky. Venkovní kontejnery v Jirkově mají ověřit, zda se kalibrovaná odezva zachová při přirozeném teplotním režimu, vysychání a opakovaném zatěžování.

Nejistota fotogrammetrického porovnání dosahovala až 1,53 mm. Hranice přibližně 2 mm je proto praktickým limitem spolehlivé detekce změny povrchu v použité konfiguraci. FBG měl experimentální rozlišení 2,7 mm, jeho výhodou však byla kontinuální časová řada a odezva na vnitřní pohyb. Rozdílné principy měření vysvětlují, proč se absolutní hodnoty při konečné poruše neshodují. Pro další ověření je vhodné doplnit prostorové měření o nezávislé bodové snímače posunu a zemního tlaku a vyhodnocovat je společně s vlhkostí a vznikem dočasně zavěšené hladiny.

5. Závěr a výhled

Vývoj vláknově optických senzorů pomocí experimentálního výzkumu slouží ke sledování mělkých deformací svrchních vrstev svahů liniových staveb. Řešení zahrnuje celý řetězec od identifikace vodou podmíněných mechanismů porušení přes konstrukci a kalibraci senzorických lamel až po jejich instalaci v půdě, přenos dat a vyhodnocení možného rizikového stavu. Zde prezentovaná experimentální část tvoří základ monitorovacího systému určeného pro kontinuální sledování deformací, které mohou předcházet viditelnému porušení povrchu svahu.

Laboratorní experimenty ověřily odezvu senzorických lamel při změně sklonu, postupném sycení půdy, opakovaném srážkovém zatížení i při zmrazování a rozmrazování profilu. Součástí řešení byl vývoj konstrukce lamel, teplotní kompenzace a různých způsobů jejich podepření a ukotvení. Další součástí řešení je vývoj kotev, který ukázal, že tyto referenční body musí být dostatečně zapuštěny do stabilní vrstvy a nesmějí se během deformace monitorované zeminy posouvat ani ohýbat. Pro správnou interpretaci optického signálu je rozhodující nejen citlivost FBG senzoru, ale celý mechanický přenos mezi zeminou, lamelou a kotevním prvkem.

Odezva vláknově optických senzorů byla porovnávána s nezávislými metodami měření. Fotogrammetrické snímání a digitální modely povrchu umožnily sledovat prostorový rozsah deformace, zatímco měření zemního tlaku, půdní vlhkosti, teploty a srážky poskytovalo informace o podmínkách jejího vzniku. Experimenty prokázaly schopnost senzorických lamel zachytit také malé posuny, které se pohybují na hranici přesnosti fotogrammetrického vyhodnocení.

Přenos laboratorních výsledků do venkovních podmínek byl ověřován v experimentální laboratoři STRIX v Jirkově. Toto ověřování ukazuje další limity spojené s reálným nasazením technologie FBG senzorů. Navazující práce budou zaměřeny na dokončení a ověření prototypu celého monitorovacího systému. Konečným cílem je testovat monitorovací systém v reálném prostředí. Experimentální měření bude pokračovat na svahových plochách, které umožní systematicky měnit půdní skladbu, sklon, způsob uložení senzorických lamel a podmínky srážkového zatížení. Cílem je rozšířit soubor testovaných stavů, lépe popsat vliv jednotlivých faktorů na odezvu FBG senzorů a optimalizovat model chování svrchní půdní vrstvy.

Současně bude systém ověřován na více reálných svazích a výsledky laboratorních a terénních měření budou statisticky porovnány. Důraz bude kladen na dlouhodobou stabilitu měření, způsob kotvení lamel, teplotní kompenzaci a stanovení kritérií pro rozlišení běžných změn od počínající svahové deformace. Na experimentální část naváže dokončení softwaru pro zpracování a vizualizaci senzorických dat, finální konstrukční úpravy prototypu a příprava technické dokumentace a ochrany řešení formou užitného vzoru.

Poděkování

Příspěvek vznikl s podporou Technologické agentury České republiky v programu DOPRAVA 2020+ v rámci projektu CK04000144 - Systém prevence poruch a kolapsových stavů svahů liniových staveb s použitím vláknových senzorů a dále aplikačnímu garantovi projektu ŘSD s.p.

Seznam literatury

Abudi, I., Carmi, G., Berliner, P. 2012. Rainfall simulator for field runoff studies. Journal of Hydrology 454–455, 76–81. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.056.

Allil, R. C. S. B., Lima, L. A. C., Allil, A. S., Werneck, M. M. 2021. FBG-Based Inclinometer for Landslide Monitoring in Tailings Dams. IEEE Sensors Journal 21, 16670–16680. https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3081025.

Casagli, N., Intrieri, E., Tofani, V., Gigli, G., Raspini, F. 2023. Landslide detection, monitoring and prediction with remote-sensing techniques. Nature Reviews Earth & Environment 4, 51–64. https://doi.org/10.1038/s43017-022-00373-x.

Jaboyedoff, M. et al. 2012. Use of LIDAR in landslide investigations: a review. Natural Hazards 61, 5–28. https://doi.org/10.1007/s11069-010-9634-2.

Kavka, P., Strouhal, L., Jachymova, B., Krasa, J., Báčová, M., Laburda, T., Dostál, T., Devátý, J., Bauer, M. 2018. Double size FullJet field rainfall simulator for complex interrill and rill erosion studies. Stavební obzor – Civil Engineering Journal 27, 183–194. https://doi.org/10.14311/CEJ.2018.02.0015.

Kavka, P., Neumann, M., Laburda, T., Zumr, D. 2019. Developing of the laboratory rainfall simulator for testing the technical soil surface protection measures and droplets impact. 17th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE 2019 – Proceedings. https://doi.org/10.32075/17ECSMGE-2019-0392.

Lombardi, L. et al. 2016. The Calatabiano landslide (southern Italy): preliminary GB-InSAR monitoring data and remote 3D mapping. Landslides 14, 685–696. https://doi.org/10.1007/s10346-016-0767-6.

Miao, F., Wu, Y., Xie, Y., Li, Y. 2017. Prediction of landslide displacement with step-like behavior based on multialgorithm optimization and a support vector regression model. Landslides 15, 475–488. https://doi.org/10.1007/s10346-017-0883-y.

Šilhán, K. 2024. Dendrogeomorphic analysis of creep: possibilities and specifics of spatio-temporal reconstruction. Landslides 22, 1077–1086. https://doi.org/10.1007/s10346-024-02417-3.

Wang, Y. L. et al. 2015. Introduction to an FBG-based inclinometer and its application to landslide monitoring. Journal of Civil Structural Health Monitoring 5, 645–653. https://doi.org/10.1007/s13349-015-0129-4.

Xiong, L., Jiang, G., Guo, Y., Kuang, Y., Liu, H. 2019. Investigation of the Temperature Compensation of FBGs Encapsulated With Different Methods and Subjected to Different Temperature Change Rates. Journal of Lightwave Technology 37, 917–926. https://doi.org/10.1109/JLT.2018.2883817.

Yassin, M. H., Farhat, M. H., Soleimanpour, R., Nahas, M. 2024. Fiber Bragg grating (FBG)-based sensors: a review of technology and recent applications in structural health monitoring (SHM) of civil engineering structures. Discover Civil Engineering 1. https://doi.org/10.1007/s44290-024-00141-4.

Zhang, J., Zhang, S., Ding, Y., Zhu, D. Z. 2023. Evolution process and failure mechanism of a large expressway roadside landslide. Scientific Reports 13. https://doi.org/10.1038/s41598-023-32055-z.

Zhang, L. et al. 2019. An Fiber Bragg Grating-Based Monitoring System for Slope Deformation Studies in Geotechnical Centrifuges. Sensors 19, 1591. https://doi.org/10.3390/s19071591.

HYDROGEOLOGICKÝ PRŮZKUM PRO ODVODNĚNÍ VÝPRAVNÍ BUDOVY V ŽST. HAVÍŘOV A NÁVRH OPATŘENÍ VČETNĚ REALIZACE PROJEKTU

Ing. Ondřej Lubojacký

E-mail: lubojacky@geotec-gs.cz
GeoTec-GS a.s., Chmelová 2920/6, 106 00 Praha 10 (Pracoviště Ostrava: Janáčkova 1194/12, 702 00 Ostrava)

Další autoři: Ing. Lukáš Holub, Mgr. Petr Karlín

Abstrakt:
Příspěvek řeší odvodnění výpravní budovy v žst. Havířov, kde dochází k dlouhodobým přítokům podzemní vody do suterénu. Při rekonstrukci došlo k poškození starých hydroizolací a voda v suterénu negativně ovlivňuje novou slabo i silnoproudou elektroinstalaci. Cílem bylo objasnit HG poměry území a na základě jejich interpretace navrhnout účinné tech. opatření pro eliminaci nežádoucího zatápění. Řešení vychází z komplexního HG a IG průzkumu, který zahrnoval vrtné práce, hydrodynamické i stopovací zkoušky a hydrogeologický monitoring.

Výsledky průzkumu prokázaly existenci zvodně vázané na kvartérní fluviální štěrkopísky s mírně napjatou hladinou, propustnost kolektoru byla stanovena v rozmezí n×10-6 až n×10-5 m/s, což odpovídá prostředí s omezenou, avšak významnou infiltrační schopností. Podzemní voda proudí generelně od severozápadu k objektu, přičemž stavba samotná narušuje přirozený drenážní režim a vytváří hydraulickou bariéru. Významný vliv mají rovněž antropogenní navážky, které fungují jako lokální kolektor a zesilují přítoky vody k základům budovy.

Hydrogeologické výpočty a monitoring prokázaly, že přítoky podzemní vody jsou výrazně závislé na srážkové činnosti a mohou kolísat v širokém rozmezí přibližně 0,9–4,3 l/s. Tento fakt, spolu s nehomogenitou prostředí, zásadně ovlivnil návrh odvodnění. Byla posouzena řada variant řešení, přičemž jako nejvhodnější byla vyhodnocena koncepce snížení hladiny podzemní vody pomocí hloubkového drenážního systému situovaného na přítokové straně objektu. Navržený drén je koncipován jako liniový prvek vetknutý do nepropustného podloží, jehož funkcí je zachycení a řízený odvod podzemní vody mimo objekt.

Součástí návrhu je rovněž čerpací systém se šachtou a výtlačným potrubím zaúsťujícím do blízkého vodního toku. Navržené řešení zohledňuje nejen hydraulické parametry prostředí, ale i technologické a ekonomické aspekty realizace, přičemž preferována byla varianta realizace drénu pomocí převrtávaných štěrkových pilot, která se ukázala jako technicky i ekonomicky nejefektivnější.

Pro HG monitoring bylo v drénu navrženo 5 monit. vrtů s automatickými hladinoměry a průtokoměr v čerpací šachtě.

Studie poukazuje na nutnost komplexního přístupu k problematice odvodnění staveb v podmínkách komplikovaných antropogenně ovlivněných HG struktur. Realizace odvodnění již proběhla, a v průběhu roku 2026 bude předána investorovi do užívání. Již nyní můžeme, dle zkušebního provozu odvodňovacího systému, opatření považovat za účinné.

VÝZKUM ZVÝŠENÍ OBJEMU PODZEMNÍCH VOD INTENZIFIKACÍ INFILTRACE ČIŠTĚNÝCH POVRCHOVÝCH VOD

Mgr. Jarmila Skálová

E-mail: jskalova@watrad.cz
WATRAD, spol. s r.o., Osadní 26, Praha 170 00

Další autoři: Mgr. Michal Vaněček, Mgr. Jana Michálková, Mgr. Hana Semíková, Ing. Jiří Záruba MBA, Mgr. Dana Otrubová, Mgr. Petr Stöhr, RNDr. Karel Sosna, Ph.D., Ing. Martina Blahutová, Ing. Jaroslav Nosek Ph.D., Ing. Tomáš Pluhař, Mgr. Kamil Nešetřil, Ph.D., Ing. Tomáš Lederer Ph.D.

Abstrakt:
Výzkumný projekt byl realizován jako reakce na aktuální situaci v oblasti hospodaření s vodou a na snahy o efektivní zadržování zvýšených objemů povrchových i srážkových vod v krajině pro období jejich deficitu.

Při řešení projektu byla potvrzena možnost infiltrace povrchových vod do přirozeného horninového prostředí s intenzifikovaným puklinovým systémem. Zvýšení infiltrační schopnosti bylo dosaženo prostřednictvím speciálně vyvinuté technologie, která za pomoci lineárního a pulsního hydraulického štěpení rozšiřuje puklinovou síť horninového prostředí.

Na lokalitě Skýšov byl v granitoidech zbudován výzkumný polygon se třemi infiltračními vrty a se 3 okolními vrty monitorovacími, každý o hloubce cca 30 m.

Byly intenzifikovány 3 vrty. Na základě vodních tlakových zkoušek bylo vybráno v součtu 13,23 m k intenzifikaci. Průběh štěpení horniny byl monitorován tlakovými čidly rozmístěnými v systému a citlivým průtokoměrem s kontinuálním záznamem. Účinnost technologie byla potvrzena vodními tlakovými zkouškami, které prokázaly zvýšení propustnosti, jejíž ukazatelem je koeficient hydraulické vodivosti.

Za účelem zjištění účinnosti hydraulického štěpení horninového masívu ve vrtu na schopnost vrtů zasakovat infiltrovanou vodu byla provedena série identických infiltračních zkoušek. Zkoušky byly provedeny před a po intenzifikaci horninové propustnosti. Nejvýraznějším ukazatelem úspěšnosti zvýšení horninové propustnosti ve vrtu při infiltračních zkouškách je množství vody, které je vrt schopen v čase pojmout. Výsledky zkoušek prokázaly trojnásobný nárůst infiltrační schopnosti u jednoho vrtu z 0,29 m3.h-1 na 0,90 m3.h-1. U dalších dvou vrtů došlo k navýšení infiltrovaného množství vody o 0,07 m3.h-1 a o 0,33 m3.h-1.

Projekt FW01010446 Výzkum zvýšení objemu podzemních vod intenzifikací infiltrace čištěných povrchových vod byl spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu TREND.

JAK SE LIŠÍ DOTACE PODZEMNÍ VODY V OBCÍCH V PROSTŘEDÍ HYDROGEOLOGICKÉHO MASIVU OD KRAJINY BEZ ZÁSTAVBY? VÝSLEDKY PILOTNÍHO MĚŘENÍ VLIVU SOUSTŘEDĚNÉ INFILTRACE VE STŘEDNÍCH ČECHÁCH

HOW DOES GROUNDWATER RECHARGE DIFFER IN SETTLEMENTS IN HARD ROCK ENVIRONMENT COMPARED TO LANDSCAPE WITHOUT BUILDING? RESULTS OF A PILOT MONITORING OF EFFECT OF LOCALISED INFILTRATION IN CENTRAL BOHEMIA

Kateřina Šabatová[1,2], Jiří Bruthans[2]

[1]Česká geologická služba, Klárov 131/3, 118 00 Praha 1, e-mail: katerina.sabatova@geology.cz
[2] Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, 128 00 Praha 2, e-mail: bruthans@natur.cuni.cz

Abstrakt: V obcích, kde se střídají nepropustné plochy se zahradami, může být dotace podzemní vody zvýšená díky soustředěné infiltraci stoku z nepropustných ploch. Tento příspěvek shrnuje výsledky pilotního měření v obci v prostředí hydrogeologického masivu, kde byla sledována jak rozptýlená infiltrace přes půdní profil, tak soustředěná infiltrace z trativodu ze střechy, a jejich vliv na hladinu podzemní vody v domovní studni. Zatímco rozptýleně se v průměru infiltrovalo pouze 5 % srážkových úhrnů, u soustředěné infiltrace to bylo 72 %. Soustředěná infiltrace způsobovala vzestupy hladiny ve studni i v létě, kdy rozptýlená infiltrace kvůli vysoké spotřebě vody rostlinami zcela ustala. Když se podaří podobný monitoring rozšířit na více lokalit, bude možné na základě zjištěných vztahů přesněji odhadovat dostupné zdroje podzemních vod v obcích a získat tak lepší podklady pro povolování odběrů podzemní vody.

Abstract: In settlements with alternating impervious surfaces and gardens, groundwater recharge can be increased because of localised infiltration of runoff from the impervious surfaces. This contribution sums up the results of an experimental monitoring in a settlement in hard rock environment, where both distributed infiltration through soil profile and localised infiltration from drainage of roof, and their impact on the water table level in well were monitored. While only 5% of precipitation infiltrated in a distributed way, localised infiltration amounted to 72% of precipitation. The localised infiltration caused rises in water table in well even during summer, when distributed infiltration ceased due to high water demand of plants. If a similar monitoring is extended to other locations, the found relationships will make it possible to estimate available water resources more precisely, and thus obtain better background material for groundwater withdrawal permissions.

Klíčová slova: dotace podzemní vody, soustředěná infiltrace, hydrogeologický masiv, zástavba, kolísání hladiny podzemní vody

Key words: groundwater recharge, localised infiltration, hard rock, built-up area, water table fluctuation

1. Úvod

Dvě třetiny území ČR tvoří hydrogeologický masiv, tedy vyvřelé a přeměněné horniny nebo zvrásněné a silně cementované sedimenty s nízkou propustností, které zpravidla neumožňují získávat podzemní vodu z rozsáhlého území. V takovém prostředí leží i většina obcí, a proto lze domovními studnami obvykle jímat jen omezené množství vody z blízkého okolí. Voda navíc bývá vázána jen na vrstvu zvětrání a rozšíření puklin při povrchu (Lachassagne et al., 2021), a s hloubkou propustnost i storativita (zásobnost) prostředí rychle klesá, proto ani prohloubením studní se často nezíská více vody. Nedostatek vody může vést až k sousedským sporům, k jejichž řešení nebo předcházení je nutné znát dostupné množství podzemní vody.
Množství podzemní vody, které se v daném místě tvoří a lze tedy udržitelně jímat, nezávisí jen na srážkách, ale je také významně ovlivňováno evapotranspirací (výpar a spotřeba vody rostlinami). V nižších polohách ČR mohou rostliny spotřebovávat i přes 80 % srážkové vody, na rychlý odtok a dotaci podzemní vody tedy celkově zbývá pouhých 20 % srážek. V prostředí obcí může proces dotace dále komplikovat například podíl zastavěných ploch nebo úniky z vodovodů. Na nepropustných plochách, jako jsou střechy, příjezdové cesty, silnice nebo dvorky, nemůže docházet k infiltraci srážkové vody. Ta stéká povrchovým odtokem na vhodnější místo v okolí, kde se pak infiltruje ve velkém množství, proto může snáz přesáhnout potenciální evapotranspiraci (PET), nasytit půdní profil a dotovat podzemní vodu. Soustředěná infiltrace, např. zasakování vody ze střech, má proto potenciál lokálně zvýšit dotaci podzemní vody oproti nezastavěné krajině.
Pro větší území lze průměrnou dotaci podzemní vody (za >10 let) určit ze základního odtoku, separovaného z průtoku místních toků (např. Kille, 1970). Tento postup však nevystihuje specifické vlastnosti zástavby, která

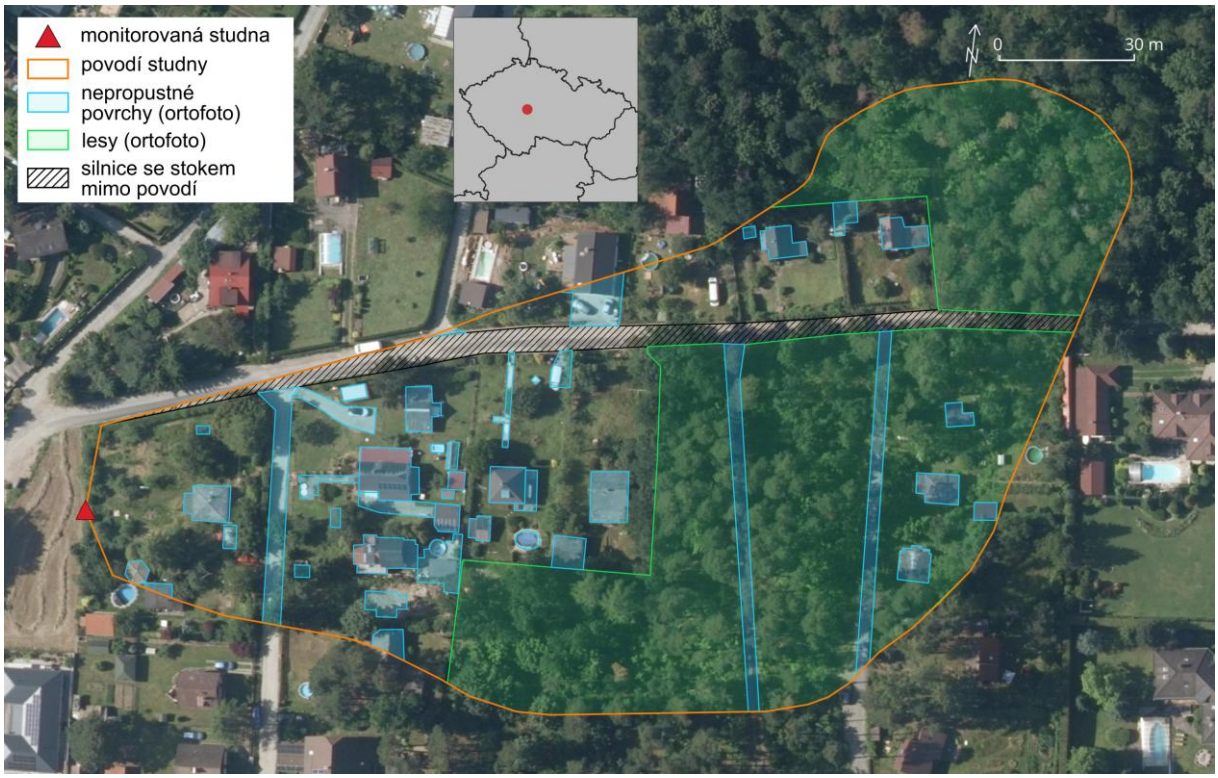
zpravidla tvoří jen malou část povodí toku, a reprezentuje tedy spíše nezastavěnou krajinu. Pro určení dotace v obcích je proto třeba použít více lokální přístup, jaký nabízí např. analýza kolísání hladin v jednotlivých studnách. V praxi je ale obtížné získat detailní data z obcí, kde je většina pozemků v soukromém vlastnictví. V tomto příspěvku prezentujeme výsledky pilotního měření, pro spolehlivější určení dotace podzemní vody v obcích by ale bylo potřeba provést podobná měření na více lokalitách.

2. Metodika

2.1 Studovaná lokalita

Pro pilotní měření byla zvolena chatová osada Nové Městečko, která je součástí Čerčan ve středních Čechách. V osadě se střídají rodinné domky a chaty se zahradami. V době monitoringu zde nebyl zaveden vodovod ani kanalizace (obojí zprovozněno v létě 2026). Vzhledem k těmto podmínkám zde bylo možné pozorovat vliv soustředěné infiltrace vody, která stéká z nepropustných povrchů (střechy, příjezdové cesty, silnice) a infiltruje se do půdy zpravidla přímo na pozemcích.

Bylo vymezeno orografické povodí studny vybrané pro monitoring (obr. 1). Povodí se nachází v granitoidech středočeského plutonu (https://mapy.geology.cz/geocr50/), v hydrogeologickém rajonu 6320 – Krystalinikum v povodí Střední Vltavy. Jde o prostředí hydrogeologického masivu, kde hydrogeologické povodí zpravidla odpovídá orografickému. Ve vymezeném povodí byly podle ortofoto mapy (ČÚZK, 2025) rozlišeny tři druhy povrchů: nepropustné plochy (střechy, příjezdové cesty, silnice), lesy a zahrady. Nepropustné povrchy, které po dešti generují povrchový odtok, který se následně na propustných plochách soustředěně infiltruje, tvoří 13 % plochy povodí. Lesy pokrývají 51 % plochy povodí a zahrady 36 % (obr. 1). Z povodí byla vyčleněna silnice vedoucí po spádnici (západ–východ), protože povrchový odtok z ní stéká mimo povodí.



Obr. 1 Ortofoto mapa s vyznačenou pozicí monitorované studny (červený trojúhelník), orografickým povodím (oranžová linka) a rozlišenými typy povrchů: nepropustné (modře), lesy (zeleně), zahrady (bez barvy) a silnice vyčleněná z povodí, protože se drénuje mimo něj (černá šrafa). Zdroj ortofoto mapy: ČÚZK, 2025.
Fig. 1: Aerial map showing the location of studied well (red triangle), its orographic catchment (orange outline), and identified types of surfaces: impervious (blue), wood (green), gardens (no colour), and an asphalt road excluded because it is drained outside the catchment (hashed black). Aerial map by Czech Office for Surveying, Mapping and Cadastre (ČÚZK, 2025).

Výsledky byly porovnávány s monitorovacím vrtem ČHMÚ VP1324 a s mapou základního odtoku pro ČR (https://mapy.geology.cz/hydro_rajony/). Vrt VP1324 Poříčí nad Sázavou leží nad údolím Sázavy, 850 m jižně od monitorované studny.

2.2 Monitoring podzemní vody a experimenty

Na jednom z pozemků byla od roku 2013 monitorována hladina podzemní vody v domovní studni. Jde o skruženou studnu s hloubkou 4,99 m pod odměrným bodem (OB) a vnitřním průměrem 102,5 cm, hladina podzemní vody je v průměrné hloubce 2,5 m pod OB. Studna se využívá k zásobování přilehlé chaty. Snížení hladiny způsobené čerpáním je jasně odlišitelné od přirozeného kolísání a bylo před dalším zpracováním ze záznamu odstraněno. Hladina podzemní vody se po vypnutí čerpadla rychle vrací na původní úroveň a není čerpáním dlouhodobě ovlivněna. Na studni bylo provedeno 9 čerpacích zkoušek s pozorovacím objektem pro učení storativity. Vzhledem k tomu, že se jedná o mělkou a širokou studnu ve zvodni s volnou hladinou, a podstatná část čerpání tak pouze vyprazdňovala statické zásoby, byl přínos čerpacích zkoušek pro určení storativity omezený.

Kromě studny byla měřena hladina podzemní vody také ve třech piezometrech, tedy úzkých trubkách otevřených jen při bázi. Jeden z piezometrů byl instalován v místě, kde do hloubky asi 30 cm ústí trativod svádějící dešťovou vodu ze střechy. Tento piezometr byl monitorován kontinuálně od září 2024, aby bylo možné určit podíl vody stékající z nepropustných povrchů. Vztah mezi odtokem z trativodu (a tedy stokem ze střechy, což je zdroj soustředěné infiltrace) a hladinou v piezometru byl ověřen pokusem, kdy bylo do trativodu naléváno konstantní množství vody a sledováno ustálení hladiny v piezometru. Dva zbylé piezometry sloužily jako pozorovací objekty při čerpacích zkouškách na studni.

Dále byly v části pozemku neovlivněné stokem ze střechy instalovány dva gravitační lyzimetry. Jde o velké nádoby, zapuštěné do úrovně okolního terénu, vyplněné stejným půdním profilem jako v okolí, a pokryté vegetací. Lyzimetry umožňují sledovat perkolaci vody do dané hloubky skrz vegetační kryt a půdu, a tedy měřit, jaká část srážkové vody ještě v dané hloubce nebyla spotřebována na evapotranspiraci. Voda pronikající na dno lyzimetru s drenážní vrstvou štěrčíku se odvádí PVC hadičkou do válcové sběrné nádoby, kde se lze měřit vzestupy hladiny. Lyzimetr hluboký 35 cm pokrytý sekanou trávou byl sledován od roku 2022, v květnu 2024 byl instalován 95 cm hluboký lyzimetr s keři.

K monitorování hladin ve studni, piezometrech a sběrných nádobách lyzimetrů byla použita tlaková čidla Solinst levelogger (Solinst, Kanada), s automatickým záznamem v intervalu 30 minut. Pro výpočty a modelování byla dále použita meteorologická data (denní srážky a teplota) z blízké stanice ČHMÚ Ondřejov.

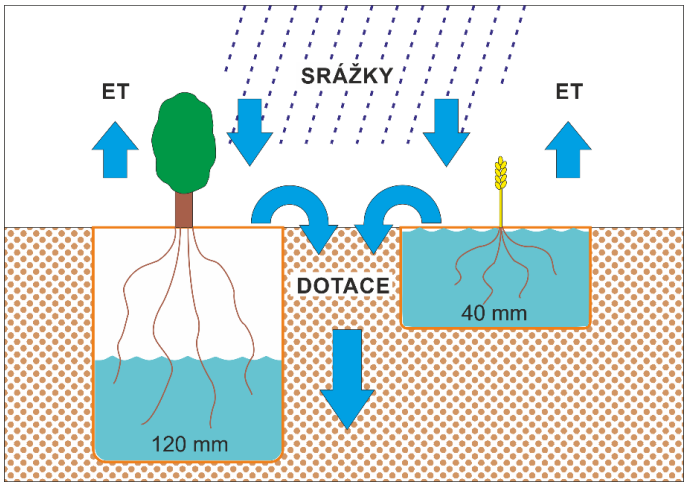
2.3 Hydrologické modelování

Měřené kolísání hladiny podzemní vody ve studni bylo vyhodnoceno pomocí metody Water Table Fluctuation (WTF) (Healy and Cook, 2002; Sophocleous, 1991). Tato metoda předpokládá, že každý vzestup hladiny podzemní vody je způsoben dotací podzemní vody. Z výšky vzestupu a známé storativity zvodně pak lze vypočítat množství vody, které daný vzestup hladiny způsobilo, podle rovnice:

$$R = \Delta H/\Delta t \times S_y \qquad (1)$$

kde R je dotace podzemní vody (mm/den), ΔH je vzestup hladiny podzemní vody (mm), Δt je trvání vzestupu hladiny (dny), S_y je storativita zvodně (-) (Healy and Cook, 2002). Zásadním problémem při využití této jinak velmi jednoduché metody je to, že pro většinu prostředí není storativita běžně známá. Zde byla velikost storativity přibližně zjištěna čerpacími zkouškami s pozorovacími objekty, a dále upřesněna pomocí hydrologického modelování.

Pro kalibraci storativity byl využit Soil Moisture Deficit model (SMD) (Šabatová et al., 2025). Jde o jednoduchý hydrologický model typu tzv. bucket modelů (Finch, 2001; Romano et al., 2011), který umožňuje simulovat dotaci podzemní vody na základě měřených srážek a PET odvozené z teploty (Oudin et al., 2005). V modelu se veškeré srážky zachycují v systému rezervoárů, kde se přidají k zásobě půdní vody. Z rezervoárů se následně odebírá voda na pokrytí PET. Pokud po odečtení PET zbývá voda, musí nejprve doplnit rezervoáry, které simulují deficit půdní vody, vytvořený rostlinami. Teprve pokud je kapacita rezervoárů zcela zaplněna, zbývající voda pomyslně přetéká a dotuje podzemní vodu (obr. 2).



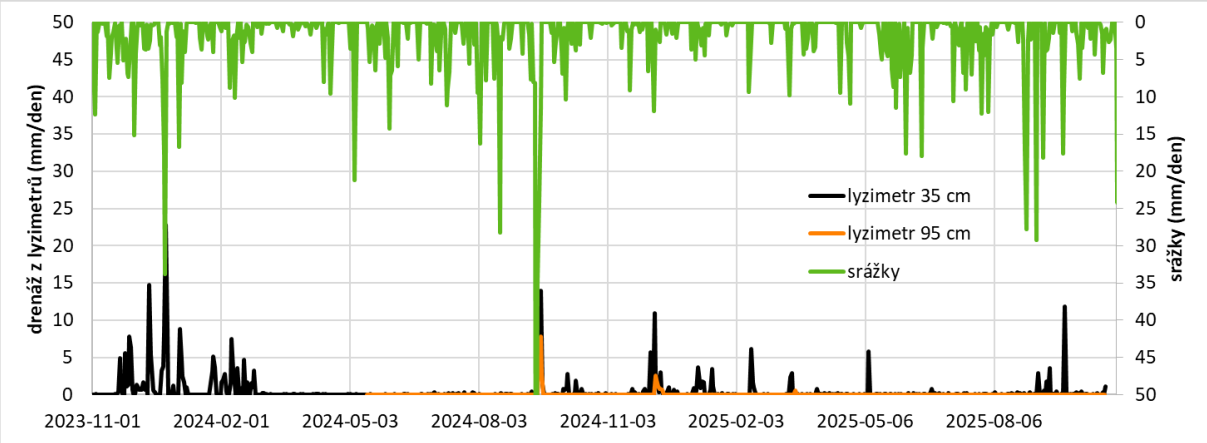
Obr. 2 Schéma dvou rezervoárů simulujících deficit půdní vody. Rezervoáry zadržují srážkovou vodu pro budoucí evapotranspiraci (ET), přebytek vody generuje dotaci podzemní vody. Zobrazené velikosti rezervoárů jsou pouze orientační. (Šabatová et al., 2025)
Fig. 2 Illustration of two reservoirs simulating the soil moisture deficit. The reservoirs store precipitation for future evapotranspiration (ET), the remaining water generates groundwater recharge. The depicted sizes of reservoirs are indicative only. (Šabatová et al., 2025)

Dotace podzemní vody, získaná pomocí SMD modelu, byla následně převedena na simulovaný průběh hladiny podzemní vody. Model byl kalibrován na co nejlepší shodu (nejnižší střední kvadratickou chybu) mezi simulovanou a měřenou hladinou. Cílem kalibrace bylo získat co nejlepší reprezentaci parametrů zvodně, především storativity potřebné pro metodu WTF.

3. Výsledky a diskuse

3.1 Zdroje dotace podzemní vody

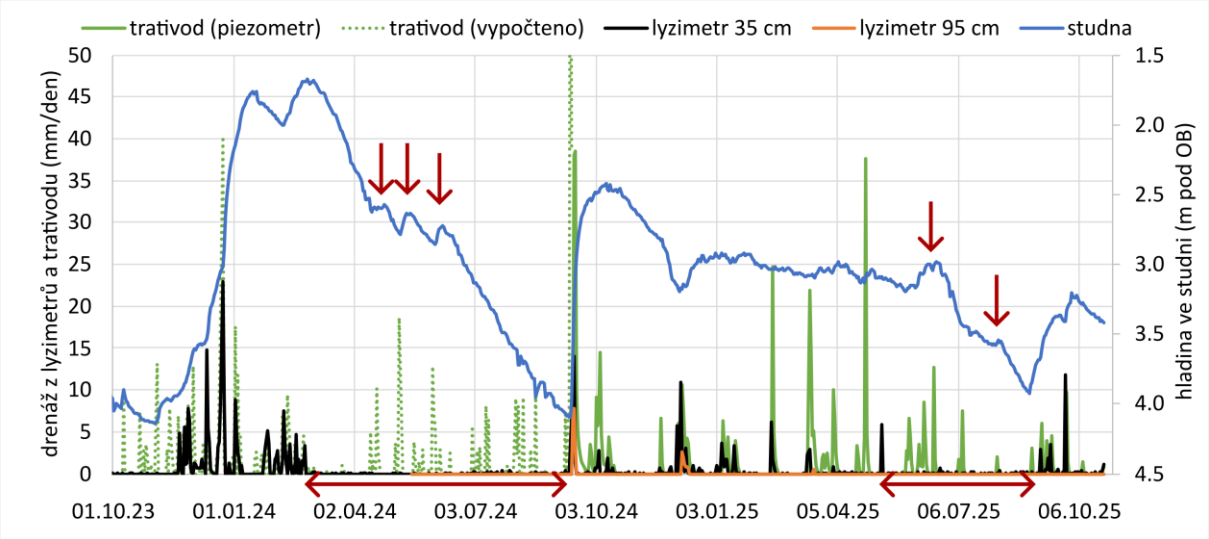
Monitoring odtoku z gravitačních lyzimetrů potvrdil, že spotřeba vody vegetací zásadně snižuje perkolaci srážkové vody do hlubších vrstev. Ze srovnání odtoku se srážkovými úhrny vyplývá, že z 35 cm mocného půdního profilu pokrytého sečenou trávou (mělčí lyzimetr) se drénovalo v průměru 32 % srážek, už profil poměrně malé hloubky tedy na evapotranspiraci spotřeboval 68 % srážkových úhrnů. U hlubšího lyzimetru s 95 cm mocným půdním profilem a keři se drénovalo pouze 5 % srážek, na evapotranspiraci se tedy spotřebovalo dokonce 95 % srážek. K dotaci podzemní vody skrz půdní profil tedy dochází mnohem méně často, než by naznačovala četnost srážek. Především v létě, kdy vegetace vyčerpá zásoby půdní vody, k dotaci prakticky nedochází, jak je vidět na datech od března do září 2024 a od května do září 2025 (obr. 3). V období od května 2024 do října 2025, kdy byly monitorovány oba lyzimetry, došlo k intenzivní dotaci, která se projevila i v 95 cm hlubokém lyzimetru, pouze dvakrát, poprvé v důsledku extrémních srážek (173 mm), a podruhé jako výsledek nasčítání několika po sobě jdoucích srážek nižší intenzity (1–12 mm).



Obr. 3 Srovnání naměřené drenáže z lyzimetru hloubky 35 cm (černě) a 95 cm (oranžově) se srážkami (zeleně). Srážky jsou vykreslené na vedlejší ose s hodnotami v obráceném pořadí. Rozsah hlavní i vedlejší osy je stejný (50 mm/den).

Fig. 3 Comparison of observed drainage from lysimeters 35 cm (black) and 95 cm deep (orange) with precipitation (green). Precipitation is plotted on secondary axis with values in reversed order. The range of values on both axes is the same (50 mm/day).

Piezometr u trativodu ukazuje na významný přítok vody z nepropustných povrchů. Z experimentu, kdy bylo do trativodu opakovaně naléváno konstantní množství vody a sledováno ustálení hladiny v piezometru, byla odvozena závislost výšky hladiny v piezometru na odtoku z trativodu. To umožnilo vypočítat, že během 1 roku sledování piezometru (říjen 2024 až září 2025) dosahoval odtok ze střechy 72 % srážkových úhrnů. Zbylých 28 % připadá zřejmě na výpar. Následně byl dopočítán teoretický průběh odtoku z trativodu na základě srážek a výparu z volné hladiny i pro dřívější období. Vzhledem k tomu, že se voda stékající z 18 m^2 střechy infiltruje soustředěně na malé ploše u trativodu, snadno dojde k nasycení půdního profilu a dotaci podzemní vody.
Oba tyto zdroje dotace podzemní vody, tedy rozptýlená infiltrace přes půdní profil s vegetací a soustředěná infiltrace vody z nepropustných povrchů, byly porovnány s průběhem hladiny podzemní vody v monitorované studni (obr. 4). V záznamu je patrné, že i v letních obdobích, kdy dotace přes půdní profil neprobíhá (vodorovné šipky), hladina ve studni místy stoupá (svislé šipky). Načasování těchto vzestupů koresponduje s vrcholy odtoku ze střechy (a potažmo i z ostatních nepropustných povrchů v povodí), který vede k soustředěné infiltraci. Zjevně je tedy podzemní voda v letních měsících dotována převážně soustředěnou infiltrací. Ve vlhčích obdobích se pak zřejmě sčítá jak soustředěná infiltrace z nepropustných povrchů, tak i rozptýlená infiltrace přes půdní profil.

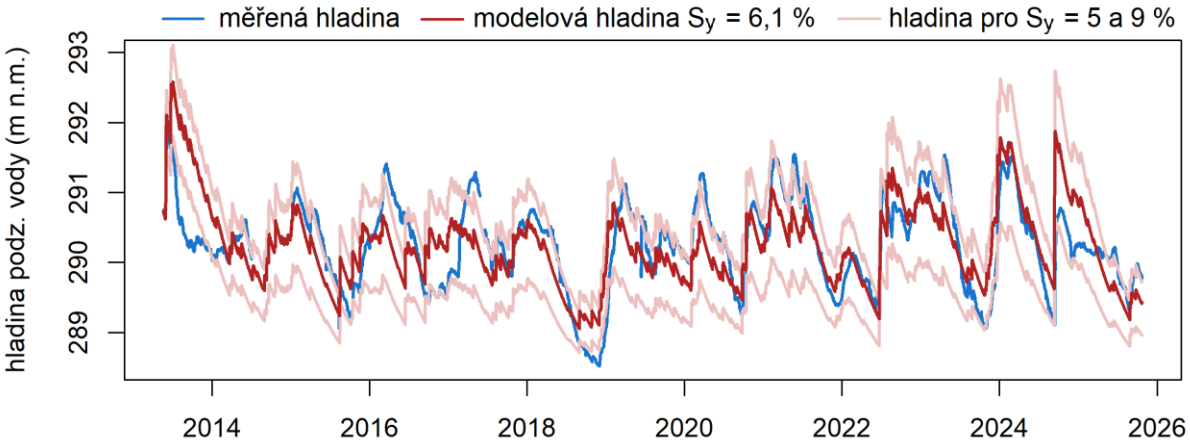


Obr. 4 Srovnání kolísání hladiny podzemní vody ve studni (modře, vedlejší osa v metrech pod odměrným bodem) s drenáží z lyzimetrů (černě lyzimetr hloubky 35 cm, oranžově 95 cm) a z trativodu ze střechy (zelená plná čára – přepočet z měření piezometrem, zelená tečkovaná čára – přibližný výpočet ze srážek), všechny drenáže v mm/den. Červené šipky vyznačují období bez rozptýlené infiltrace přes půdní profil (vodorovné šipky) a vzestupy hladiny v těchto obdobích (svislé šipky).

Fig. 4 Comparison of water table fluctuations in well (blue line, secondary axis in meters below reference point) with drainage from lysimeters (lysimeter 35 cm deep in black, 95 cm deep in orange) and from roof drainage (green solid line – calculated from measurement by piezometer, green dotted line – estimated from precipitation), all drainage data in mm/day. Red arrows mark periods without distributed infiltration through soil profile (horizontal arrows) and water table rises during those periods (vertical arrows).

3.2 Modelování dotace podzemní vody

Byla vytvořena simulace dotace podzemní vody pro monitorovanou studnu pomocí modelu SMD. Cílem modelování bylo kalibrovat storativitu zvodně, aby mohla být následně využita pro výpočet dotace podzemní vody metodou WTF. Z čerpacích zkoušek byl zjištěn přibližný rozsah storativity, z kterého byla vybrána počáteční hodnota pro SMD model. Ta byla následně kalibrována pro co nejlepší shodu modelové hladiny s hladinou měřenou ve studni (obr. 5). Modelováním byla storativita upřesněna na 5,5–9 %, přičemž nejlepších výsledků bylo dosaženo se storativitou 6,1 %. V obr. 5 jsou pro ilustraci vlivu storativity vykresleny průběhy hladiny také pro 5 a 9 % (světlé červené čáry). Obdobný postup byl použit i v případě monitorovacího vrtu VP1324 (zde byla počáteční hodnota storativity pouze odhadnuta), kalibrovaná storativita byla 11 %, s pravděěpodobným rozsahem 10–15 %.



Obr. 5 Shoda měřeného průběhu hladiny podzemní vody ve studni (modře) s hladinou získanou z modelu SMD pro různé hodnoty storativity: optimální hodnota podle kalibrace modelu 6,1 % (tmavá červená) a ilustrace rozsahu hodnot 5–9 % (světlá červená – vyšší hladiny odpovídají storativitě 5 %, nižší storativitě 9 %), všechny hladiny v metrech nad mořem.

Fig. 5 Agreement between observed water table course in well (blue line) and water table obtained from SMD model for different values of specific yield: optimal value according to model calibration 6.1% (dark red), and illustration of the range 5–9% (light red – higher water table levels correspond to specific yield 5%, lower to specific yield 9%), all water table levels in meters above sea level.

Metodou WTF byla zjištěna dotace podzemní vody na základě měřeného kolísání hladin. Byla uvažována storativita v realistickém rozsahu od nejlepší kalibrované hodnoty, i dotace je tedy prezentována jako rozsah hodnot (tab. 1). Pro domovní studnu byla průměrná dotace 6,5–10 l/s/km^2, u monitorovacího vrtu VP1324 to bylo 3,5–5,5 l/s/km^2. Dotace v běžné krajině bez zástavby, převzatá z mapy základního odtoku pro ČR, byla pro toto území v rozsahu 0,9–1,7 l/s/km^2 (zde je rozsah dán deklarovanou nejistotou mapy). Studna, jejíž povodí je přímo v obci, měla tedy asi 6x vyšší dotaci než krajina bez zástavby. Povodí vrtu VP1324, který se nachází na říční terase Sázavy, zahrnuje jak rozsáhlé nepropustné povrchy se zasakováním z průmyslových areálů (35 tis. m^2), tak i pole a obce, a jeho dotace byla asi 4x vyšší než v průměrné krajině. I když připustíme určitou nejistotu hodnot, výsledky ukazují, že vliv soustředěné infiltrace z nepropustných povrchů na dotaci podzemní vody je značný.

Tab. 1 Dotace podzemní vody v domovní studni a monitorovacím vrtu VP1324, zjištěná metodou Water Table Fluctuation, a dotace v krajině bez zástavby podle mapy základního odtoku pro ČR (https://mapy.geology.cz/hydro_rajony/).

Tab. 1 Groundwater recharge in a domestic well and observation well VP1324, found using Water Table Fluctuation method, and groundwater recharge in landscape without building according to map of baseflow in the Czech Republic (https://mapy.geology.cz/hydro_rajony/).

dotace podzemní vody:	min. (l/s/km^2)	max. (l/s/km^2)
domovní studna	6,5	10
vrt VP1324	3,5	6,5
mapa základního odtoku	0,9	1,7

4. Závěr

Pilotní měření v chatové kolonii ve středních Čechách, kde se střídají rodinné domy a chaty se zahradami, ukázalo, že soustředěná infiltrace z nepropustných povrchů výrazně zvyšuje dotaci podzemní vody. Tento jev potvrzují jak naměřená data z domovní studny a piezometru umístěného u ústí trativodu, tak i srovnání dotace vypočtené z kolísání hladiny ve studni a blízkém monitorovacím vrtu VP1324 s průměrným základním odtokem v širší oblasti.

Vliv soustředěné infiltrace je v naměřených datech nejvíce patrný v letním období. Zatímco rozptýlená infiltrace přes půdní profil (měřená gravitačními lyzimetry) kvůli vysoké spotřebě vody rostlinami prakticky neprobíhá, díky soustředěné infiltraci (pozorované v piezometru u trativodu ze střechy) dochází i v létě po větších srážkách k dotaci podzemní vody a vzestupu hladiny ve studni. V zimě se pak zřejmě oba zdroje infiltrace sčítají.

V obcích s individuálním zásobováním v prostředí hydrogeologického masivu, kde už v současnosti může docházet k přečerpávání místních zdrojů podzemní vody a zaklesávání hladin ve studnách, má tedy zasakování srážkové vody z nepropustných povrchů výrazně pozitivní vliv. Pro zpřesnění znalostí o dotaci podzemní vody v obcích by bylo potřeba monitorovat hladiny podzemní vody na více lokalitách.

Poděkování: Výzkum byl podpořen projektem SS02030040 "PERUN – Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku", spolufinancovaným se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Prostředí pro život.

Seznam literatury

ČÚZK, 2025. *Ortofoto České republiky.*

Finch, J.W., 2001. *Estimating change in direct groundwater recharge using a spatially distributed soil water balance model.* Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol. 34, str. 71–83. https://doi.org/10.1144/qjegh.34.1.71

Healy, R.W., Cook, P.G., 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeol. J. 10, str. 91–109. https://doi.org/10.1007/s10040-001-0178-0

Kille, K., 1970. *Das verfahren MoMNQ, ein Beitrag zur Berechnung der mitteleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe den monatlichen Niedrigwasserabflüsse.* Z. Dtsch. Geol. Ges. 89–95.

Lachassagne, P., Dewandel, B., Wyns, R., 2021. *Review: Hydrogeology of weathered crystalline/hard-rock aquifers—guidelines for the operational survey and management of their groundwater resources.* Hydrogeol. J. 29, 2561–2594. https://doi.org/0.1007/s10040-021-02339-7

Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F., Loumagne, C., 2005. *Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall–runoff model? Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall–runoff modelling.* J. Hydrol. 303, 290–306. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.026

Romano, N., Palladino, M., Chirico, G.B., 2011. *Parametrization of a bucket model for soil-vegetation-atmosphere modeling under seasonal climatic regimes.* Hydrol. Earth Syst. Sci. 15, 3877–3893.

Šabatová, K., Bruthans, J., Weiss, T., 2025. *New groundwater recharge model for water table fluctuation method calibration using easily available data.* J. Hydrol. 661, 133685. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.133685

Sophocleous, M.A., 1991. *Combining the soilwater balance and water-level fluctuation methods to estimate natural groundwater recharge: Practical aspects.* J. Hydrol. 124, 229–241. https://doi.org/10.1016/0022-1694(91)90016-B

VSAKOVACÍ ZKOUŠKY V HYDROGEOLOGICKÉ PRAXI: VARIABILITA POSTUPŮ, NEJISTOTY VE VÝSLEDCÍCH A CESTA K METODICKÉ SJEDNOCENOSTI

Mgr. Magdalena Šeflová

E-mail: rizkm7aa@natur.cuni.cz
Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Albertov 6, Praha 2; Glaukos. s.r.o.; Koželužská 172, Tábor 39001

Další autoři: Mgr. Tomáš Weiss, Ph.D.

Abstrakt:
Hospodaření se srážkovými vodami nabývá v České republice stále většího legislativního i praktického významu. Hydrogeolog hraje při průzkumu klíčovou roli – posuzuje místní podmínky, často navrhuje typ vsakovacího zařízení a zodpovídá za odborné stanovení jeho parametrů. Investoři často vyžadují stanovení koeficientu vsaku dle ČSN 75 9010, přičemž ale konkrétní způsob provedení průzkumu závisí na odborném úsudku hydrogeologa. To je samo o sobě v pořádku, neboť hydrogeologická interpretace vždy vyžaduje odborné posouzení širších souvislostí. Otázkou však je, zda různé přístupy – ať jde o způsob provedení zkoušky, její délku, nebo způsob vyhodnocení – vedou k výsledkům dostatečně spolehlivým a vzájemně porovnatelným pro návrh zařízení.

Koeficient vsaku se vypočítá jako kv=Qzk/Azk, kde Qzk je přítok vody do průzkumného objektu a Azk je zkušební vsakovací plocha. Tento zdánlivě jednoduchý vztah však skrývá rozhodnutí, která výsledek zásadně ovlivňují. Rychlost vsakování se v průběhu zkoušky mění a kv je proto funkcí času a norma přitom nestanovuje, ze které části zkoušky má být kv vyhodnocen – zda z počáteční fáze, ze závěrečné části nebo jako průměr přes celou dobu zkoušky. Výsledek se tak může až řádově lišit v závislosti na tomto rozhodnutí. Krátkodobá zkouška zachytí především iniciální fázi a vede k nadhodnocení kv oproti hodnotám odpovídajícím dlouhodobému provozu zařízení. I výpočet vsakovací plochy Azk má vliv na výsledek – např. norma podrobně nedefinuje způsob zahrnutí bočních stěn vrtu v závislosti na aktuální výšce vodního sloupce. Nejednoznačná je také volba vhodné metody průzkumu s ohledem na typ navrhovaného zařízení.

Cílem příspěvku a navazující práce je tyto zdroje variability kvantifikovat prostřednictvím numerického modelování, tedy simulovat vliv různých kombinací parametrů na výslednou hodnotu kv. Vstupní scénáře pro modelování budou vycházet z reálně používaných postupů při provádění a vyhodnocování zkoušek v praxi (dotazníkového šetření i na tomto HGIG kongresu) – např. typ a geometrie průzkumného objektu; použitý typ zkoušky a délka jejího trvání; nebo použitý výpočetní postup.

Práce přispěje k tomu, aby výsledek hydrogeologického průzkumu pro vsakování lépe odpovídal skutečným podmínkám lokality, a pomohl hydrogeologům volit postup průzkumu, který je metodicky správný, ale zároveň časově a finančně úměrný dané situaci. Výstupy práce tak poslouží jako podklad pro metodické doporučení ke sjednocení přístupu k vsakovacím zkouškám v praxi.

NOVINKY VE VSAKOVÁNÍ ANEB JAK SE SLUČUJÍ NORMY

NEWS IN RAINWATER INFILTRATION OR HOW STANDARDS ARE HARMONIZED

Pavel Špaček[1]

[1]TERAMED, s.r.o., Nad Kamínkou 1345, 156 00 Praha - Zbraslav, e-mail: spacek@teramed.cz

Abstrakt: V polovině roku 2024 byl na pokyn MMR zahájen proces sloučení dvou norem zabývajících se hospodařením se srážkovými vodami. Jednou z podmnožin takového hospodaření je i jejich vsakování do horninového prostředí. Jedná se o doposud platnou ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod a stejně tak platnou TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami. Cílem kolektivu autorů z Asociace pro vodu ČR (CzWA) pod vedením doc. Ing. Davida Stránského Ph.D. bylo vytvořit jednu ČSN s předpokládaným názvem Hospodaření se srážkovými vodami a připravit tím podklad pro následnou implementaci tohoto komplexního technického předpisu do stavebních právních přepisů, konkrétně do Vyhlášky 146/2024 Sb. o požadavcích na výstavbu.

Abstract: In mid-2024, at the direction of the Ministry of Regional Development, the process of merging two standards dealing with stormwater management was initiated. One aspect of such management is the infiltration of stormwater into the rock environment. These are the currently valid ČSN 75 9010 "Rainwater Infiltration Systems" and the equally valid TNV 75 9011 "Rainwater Management". The goal of the team of authors from the Czech Water Association, led by Assoc. Prof. Ing. David Stránský, Ph.D., was to create a single ČSN standard with the proposed title "Rainwater Management" and thereby lay the groundwork for the subsequent implementation of this comprehensive technical regulation into construction legislation, specifically into Decree No. 146/2024 Coll. on Construction Requirements. (Translated with DeepL.com - free version)

Klíčová slova: hospodaření se srážkovými vodami, slučování norem, geologický průzkum pro vsakování

Key words: stormwater management, harmonization of standards, geological survey for infiltration

1. Úvod

Cílem předkládaného příspěvku, alespoň v době jeho podání, bylo připomenout současný stav pojmu „geologický průzkum pro vsakování" na poli technické normalizace, osvěžit zpracovatelům geologických průzkumů základní pojmy dvou doposud platných norem v oblasti hospodaření se srážkovými vodami, ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod a TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami, a v neposlední řadě popsat proces slučování těchto dvou norem a přípravu implementace nové komplexní technické normy do stavebních právních přepisů, konkrétně do Vyhlášky 146/2024 Sb. o požadavcích na výstavbu. Vzhledem k tomu, že po dvouletém úsilí kolektivu autorů z CzWA, po mnoha kolech připomínkových řízení, se v době přihlášení tohoto příspěvku na konferenci již proces slučování blížil ke svému závěru, nezdál se být vytýčený cíl nedosažitelným. Ale jak už to někdy bývá, věci se nakonec vydaly jiným směrem, přesněji vrátily na začátek.

2. Rekapitulace současného stavu

ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod

1.Předmět normy

Norma popisuje rozsah a způsoby provádění geologického průzkumu pro vsakování srážkových povrchových vod. Stanovuje omezující podmínky pro vsakování srážkových povrchových vod. Norma přináší základní přehled v současnosti používaných povrchových a podzemních vsakovacích zařízení. Norma uvádí postup a příklady výpočtů retenčních objemů vsakovacích zařízení, zabývá se mírou bezpečnosti proti přeplnění vsakovacích zařízení a přetékání srážkových vod na povrch. Do normy jsou přiloženy aktualizované tabulky návrhových úhrnů srážek v České republice.

ČSN 75 9010 vznikala pod vedením TNK 95 Kanalizace v letech 2010 až 2011 a byla vydána v únoru 2012. Zpracovatelem byl HYDROPROJEKT CZ a.s. Praha. Prakticky ve stejné době (březen 2012) vznikala také TNK 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami. Zpracovatelem byl tým pod vedením ČVUT Praha za spolupráce Ministerstva zemědělství ČR a Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR (SOVAK).

TNK 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami

1.Předmět normy

Tato norma řeší nakládání se srážkovými vodami zejména na pozemku stavby (decentrální způsob odvodnění), ale jsou uvedena i centrální opatření, která jsou řazena za opatření decentrální (řetězení do série) tak, aby byl vytvořen funkční systém přírodě blízkého odvodnění. V této normě jsou uvedena také opatření pro snížení (případně prevenci vzniku) srážkového odtoku.
Tato norma obsahuje návod ke správné volbě příjemce srážkových vod a ke správnému technickému řešení. Norma zahrnuje problematiku znečištění srážkových vod, kdy je nezbytné důsledně oddělovat nakládání s mírně znečištěnými a silně znečištěnými srážkovými vodami. Norma dává do souvislosti typické druhy znečištění s typem plochy, která je odvodňována, a s typem zařízení či opatření, které je vhodné pro odstranění specifického druhu znečištění. Dále norma popisuje decentrální objekty používané k hospodaření se srážkovými vodami, stanovuje výpočetní postupy pro jejich dimenzování a předkládá základní informace k jejich údržbě a provozu.

Již v době vzniku těchto technických předpisů panovala mezi týmy zpracovatelů určitá rivalita, která nezmizela ani po vydání Změny Z1 ČSN 759010 v srpnu 2017. Přesto se nezdálo nemožné, aby jako reakce na potřebu vzniku nového technického předpisu, který by naplňoval požadavky Vyhlášky 146/2024 Sb. o požadavcích na výstavbu, nevznikla nová (sloučená) ČSN 759010 Hospodaření se srážkovými vodami.

3. Legislativní rámec

Určujícími právními předpisy (paragrafy), které se týkají hospodaření se srážkovými vodami, jsou:

§ 5 Zákona 254/2001 Sb. o vodách (Vodní zákon)

Základní povinnosti

(3) Při provádění staveb nebo jejich změn nebo změn jejich užívání je stavebník povinen podle charakteru a účelu užívání těchto staveb je ... povinen zabezpečit omezení odtoku povrchových vod vzniklých dopadem atmosférických srážek na tyto stavby (dále jen „srážková voda“) akumulací a následným využitím, popřípadě vsakováním na pozemku, výparem, anebo, není-li žádný z těchto způsobů omezení odtoku srážkových vod možný nebo dostatečný, jejich zadržováním a řízeným odváděním nebo kombinací těchto způsobů.

§ 140 Zákona 283/2021 Sb. Stavební zákon

Požadavky na vymezování stavebních pozemků

(3) Stavební pozemek se vždy vymezuje tak, aby na něm bylo vyřešeno

c) hospodaření se srážkovými vodami jejich

1. akumulací a následným využitím, vsakováním nebo výparem, pokud to hydrogeologické poměry, velikost pozemku a jeho výhledové využití umožňují a pokud nejsou vsakováním ohroženy okolní stavby nebo pozemky,

2. odváděním do vod povrchových prostřednictvím dešťové kanalizace, pokud jejich vsakování ani akumulace s následným využitím není možná, nebo

3. regulovaným odváděním do jednotné kanalizace, není-li možné odvádění do vod povrchových.

§ 8 Vyhlášky č. 146/2024 Sb. o požadavcích na výstavbu (tento § 8 byl s účinností od 1.7.2026 zrušen)

Hospodaření se srážkovými vodami

(1) Stavba musí být navržena a provedena tak, aby splňovala požadavky na hospodaření se srážkovými vodami a zachycení znečištění srážkových vod v souladu s normou (pozn. odkaz na předmětnou ČSN).

(2) Stavba musí být navržena a provedena tak, aby odtok srážkové vody neohrožoval pozemek stavby a okolí.

(3) Hospodaření se srážkovými vodami musí být navrženo a provedeno s ohledem na propojení srážkové vody s vegetací, je-li to technicky možné.

4. Norma, která nevznikla

Reakcí na výše uvedený výběr z legislativy měl být vznik nové ČSN 759010 Hospodaření se srážkovými vodami

1.Předmět normy

Tato norma řeší hospodaření se srážkovými vodami (HDV) zejména na stavebním pozemku (decentrální způsob odvodnění), uvedena jsou i centrální opatření, která jsou řazena za opatření decentrální (řetězení do série) tak, aby byl vytvořen funkční systém přírodě blízkého odvodnění. V normě jsou uvedena také opatření pro snížení (případně prevenci vzniku) srážkového odtoku.

POZNÁMKA Samostatná centrální řešení nakládání se srážkovými vodami mimo stavební pozemek jsou předmětem ČSN EN 752 a ČSN 75 6261 a nezabývají se principy přírodě blízkého odvodnění. Konstrukční řešení vegetačních střech (resp. střešních zahrad) je obsaženo v ČSN 73 1901-4. Proto se jim ČSN 75 9010 věnuje pouze tak, aby je zasadila do kontextu uvedených technických norem.

Norma obsahuje návod ke správnému výběru způsobu HDV a ke správnému technickému řešení, a to včetně problematiky znečištění srážkových vod a ochrany jakosti půdy, podzemních vod a povrchových vod. Norma dává do souvislosti typické druhy znečištění s typem plochy, která je odvodňována, a s typem zařízení či opatření, které je vhodné pro odstranění specifického druhu znečištění. Dále norma popisuje technická řešení objektů používaných k hospodaření se srážkovými vodami, stanovuje výpočetní metody a postupy pro jejich dimenzování a předkládá základní informace k jejich údržbě a provozu. Norma uvádí i základní specifikaci údržby objektů HDV.
Jedním ze základních požadavků na návrh a provedení HDV je důraz na propojení srážkové vody s vegetací do systémů modrozelené infrastruktury. Pro její efektivní návrh je nutné zásady dané touto normou aplikovat společně s požadavky na výsadbu a údržbu vegetace. Zásadní je též koordinace s požadavky na pozemní stavby, komunikace, pokládku a obnovu inženýrských sítí a vodohospodářské stavby.

Hlavní záměry vzniku nové ČSN 75 9010, tj. sloučení dvou původních norem, lze shrnout do následujících bodů:

1. dostát skutečnosti, že hospodaření se srážkovými vodami (HDV) na pozemku stavby je povinností stavebníka již od roku 2009.
2. vytvořit jeden dokument, zahrnující témata původní ČSN (geologický průzkum pro vsakování, vsakovací objekty a jejich dimenzování, ochranu podzemních vod, základy dimenzování, návrhová srážková data) i TNV (koncepce HDV na stavbě - vsak - regulované odvedení do povrchových vod - regulované odvedení do jednotné kanalizace, ohrožení jakosti vod, kritéria technické proveditelnosti, základy k technickému řešení objektů, základy dimenzování).
3. zajistit závaznost nového dokumentu navázáním na Vyhlášku 146/2024 Sb. o požadavcích na výstavbu

5. Změny, které nenastaly

Základní myšlenky navrhovaného sloučení norem lze vyjádřit v následujících bodech:

a) podpora přímého propojení srážkového odtoku s městskou zelení (dle dikce Vyhlášky č. 146/2024 Sb.), v souladu s původní TNV, původní ČSN toto neřešila,
b) důraz na rozhodování o příjemci srážkových vod,
c) prioritizace přírodě blízkých řešení, tj. 1. vsak, výpar, akumulace, 2. regulované odvádění do povrchových vod (přímo či prostřednictvím oddílné dešťové kanalizace), 3. regulované odvádění do jednotné kanalizace, opět v souladu s původní TNV, původní ČSN toto neřešila,
d) volba řešení na základě posouzení kritérií přípustnosti a proveditelnosti
e) definování limitních podmínek pro použití vsaku koeficientem vsaku $k_v = 5.10^{-6}$ m/s, s tím, že doporučení vsakovat či nevsakovat je na závěrech geologického průzkumu. Původní TNV ani ČSN toto neřešily, bylo pouze uvedeno, že limitní hodnotou je zpravidla $K = 1.10^{-6}$ m/s, přičemž K je jinak definovaný parametr než k_v,
f) stanovení limitu pro vsakování „omezeně proveditelné“ v rozmezí $k_v = 10^{-8}$ až 5.10^{-6} m/s, kdy je možno kombinovat vsak s regulovaným odtokem - při $k_v < 10^{-8}$ m/s je vsak považován za neproveditelný,

g) řešení zpevněných propustných povrchů – v původní TNV nebylo povoleno na ně přivést odtok ze sousedních ploch, v novém návrhu bylo v určitých specifických podmínkách povoleno, původní ČSN toto neřešila,
h) povolení specifického odtoku z pozemku stavby (když nejde vsakovat) – 3 l/s/ha – stejné jako v původní TNV, původní ČSN neřešila, definice výjimek - za splnění určitých podmínek možná nižší i vyšší hodnota specifického odtoku,
i) aktualizace pravidel geologického průzkumu pro vsakování v souladu s kap. 4 původní ČSN,
j) doplnění dalších potřebných průzkumů s doporučeným obsahem,
k) podrobnější popis technických řešení objektů – popis konstrukčních zásad, konstrukčních vrstev a materiálů, vybavenosti objektů, předčištění a čištění, typické konstrukční uspořádání,
l) terminologické úpravy názvů jednotlivých objektů dle vývoje za posledních 10 let,
m) podrobnější popis vybavenosti objektů HDV, zejména v oblasti vegetačního krytu – propojení srážkové vody s městskou vegetací; návrh neřešil taxony, ale pouze věci, které jsou podstatné pro správnou vodohospodářskou funkci objektů HDV,
n) podrobnější popis metod dimenzování oproti původní ČSN a TNV spolu se závaznými návrhovými parametry a okrajovými podmínkami při dimenzování objektů:
    - návrhový déšť – 5ti letý, ve specifických případech 10ti letý – odpovídá původním TNV i ČSN.
    - doba prázdnění – původní ČSN povolovala až 72 h u vsakovacích objektů, TNV 24 h u objektů s regulovaným odtokem - upraveno jednotně na vyprázdnění do 72 h, v případě možné poškození vegetace zaplavením zkráceno na max. 36 h,
    - minimální regulovatelný odtok (z hlediska technické spolehlivosti) 0,5 l/s – beze změny oproti původní TNV, původní ČSN neřešila.

6. Závěr

Z pohledu inženýrského geologa či hydrogeologa lze považovat nedokončení procesu slučování výše uvedených norem za nešťastné, neboť jak bylo výše uvedeno, nová verze technického předpisu akcentovala význam geologického zhodnocení lokality před návrhem jakéhokoli využití vsakování v rámci projektu hospodaření se srážkovými vodami. O správnosti takového postupu nás opakovaně přesvědčuje praxe. Při navázání nové normy na Vyhlášku 146/2024 Sb. by se navíc tato potřeba právně zakotvila.
Z pohledu členů realizačního i oponentního týmu, kteří se dvouletého procesu slučování norem zúčastnili, lze jeho ukončení považovat za zbytečné plýtvání lidskými i finančními zdroji.
Autor tohoto příspěvku skutečné důvody zabránění vzniku nové ČSN 759010 Hospodaření se srážkovými vodami až do jeho vytištění v tomto sborníku nepochopil.

Poděkování: Děkuji panu docentu Ing. Davidu Stránskému za poskytnutou konzultaci.

www.hgig.cz

Sekce 16

Využití metod užité geofyziky, dálkového průzkumu a dalších moderních metod v hydrogeologii a inženýrské geologii

INTEGRATED ERT AND SEISMIC SURVEY FOR DELINEATION OF GRAVEL HORIZONS IN QUATERNARY SEDIMENTS

Vladimír Budinský, Jaroslav Buša, Marta Prekopová, Ladislav Tometz, Ján Nyárhidy

email: vladimir.budinsky@tuke.sk

Ústav Geovied, FBERG TU Košice

Abstrakt: INTEGROVANÝ ERT A SEISMICKÝ PRŮZKUM PRO VYMEZENÍ ŠTĚRKOVÝCH HORIZONTŮ V KVARTÉRNÍCH SEDIMENTECH

Príspevok prezentuje porovnanie elektrickej odporovej tomografie (ERT) a seizmickej refrakcie pri identifikácii a priestorovom vymedzení štrkových horizontov v kvartérnych sedimentoch Košickej kotliny. Cieľom prieskumu bolo lokalizovať priepustné štrkové polohy predstavujúce potenciálne kolektory podzemnej vody. ERT umožnila rozlíšiť ílovité, piesčito-ílovité a štrkové sedimenty na základe rozdielov v ich elektrickom odpore, zatiaľ čo seizmická refrakcia charakterizovala rovnaké prostredie prostredníctvom zmien rýchlosti šírenia seizmických vĺn. Výsledky oboch metód vykazovali dobrú priestorovú koreláciu pri identifikácii štrkových horizontov. Následné hydrogeologické vrty potvrdili ich výskyt v hĺbkach predpokladaných geofyzikálnou interpretáciou. Výsledky poukazujú na vhodnosť kombinácie ERT a seizmickej refrakcie pre efektívne vyhľadávanie a vymedzenie potenciálne vodonosných štrkových vrstiev v litologicky heterogénnom kvartérnom prostredí.

The study presents a comparison of electrical resistivity tomography (ERT) and seismic refraction for the identification and spatial delineation of gravel horizons within Quaternary sediments of the Košice Basin, Slovakia. The survey aimed to locate permeable gravel layers representing potential groundwater aquifers. ERT differentiated clayey, sandy-clayey and gravel sediments based on variations in electrical resistivity, whereas seismic refraction characterized the same geological environment using contrasts in seismic-wave velocity. The results of both methods showed good spatial correlation in the identification of gravel horizons. Subsequent hydrogeological boreholes confirmed the occurrence of gravel layers at depths predicted by the geophysical interpretation. The results demonstrate that the integration of ERT and seismic refraction provides an effective approach for locating and delineating potentially water-bearing gravel horizons in lithologically heterogeneous Quaternary environments.

VYUŽITÍ DATOVÝCH SAD EUROPEAN GROUND MOTION SERVICE PRO DETEKCI DEFORMACÍ ZEMSKÉHO POVRCHU

Mgr. Kateřina Fárová, Ph.D.

E-mail: katerina.farova@geology.cz

Česká geologická služba, Klárov 131/3, 11800 Praha 1

Další autoři: Mgr. Jan Jelének

Abstrakt:
Služba European Ground Motion Service (EGMS) poskytuje ucelené informace o deformacích zemského povrchu napříč celým evropským kontinentem, a to souvisle od roku 2019. Tato data vycházejí z multitemporální radarové interferometrie (InSAR) využívající snímky konstelace družic Sentinel-1. Ačkoliv lze multitemporální interferometrii provádět z dostupných dat i samostatně, tento proces vyžaduje hlubokou znalost radarového dálkového průzkumu Země (DPZ), nákladný specializovaný software a kvalitní validační data. Metoda je tak obvykle omezena na úzkou komunitu expertů. Služba EGMS tuto bariéru úspěšně překonává a zpřístupňuje profesionálně zpracované a validované výsledky zdarma.

Webové rozhraní umožňuje vizualizaci povrchových deformací a náhled časového průběhu pohybů vybraných bodů, zatímco integrované nástroje dovolují stažení datových sad pro vlastní zpracování v GIS. Tento příspěvek službu krátce představuje, shrnuje přednosti jednotlivých úrovní zpracování dat a upozorňuje na limity, které je nutné při interpretaci zohlednit.

V rámci projektu RENS – Horninové prostředí a suroviny byla tato data využita k tvorbě automatizované nadstavbové metodiky pro identifikaci území s potenciálně významnými povrchovými deformacemi, která byla testována na vybraných zájmových lokalitách. Představená metodika je založena na shlukové a navazující prostorové analýze v prostředí GIS s cílem vymezit signifikantní anomálie. Klíčovými parametry výběru jsou počet bodů, jejich variabilita a celkový trend deformace. Výsledky jsou exportovány do formátu KMZ, což umožňuje jejich interaktivní zobrazení v aplikaci Google Earth a snadné sdílení i s uživateli bez znalosti GIS. Každá identifikovaná plocha je navíc doplněna grafem časového vývoje deformace a stručnou statistikou.

Prezentovaná ukázka analýzy demonstruje vysoký aplikační potenciál těchto pokročilých dat a nabízí široké možnosti pro jejich další využití, nejen v prostorových analýzách svahových deformací. Služba EGMS představuje efektivní nástroj zejména pro inženýrské geology a hydrogeology, ale také pro širší odbornou veřejnost.

ZKUŠENOSTI KAROTÁŽE Z PRŮZKUMU V BUDOUCÍ TRASE ŽELEZNIČNÍ TRATI PRAHA-BEROUN

WELL-LOGGING EXPERIENCES FROM THE EXPLORATION OF THE FUTURE PRAGUE-BEROUN RAILWAY ROUTE

David Hanák[1]

[1]*SG Geotechnika a.s., Geologická 988/4, 152 00 Praha 5, e-mail: david.hanak@geotechnika.cz*

Abstrakt: Příspěvek prezentuje výsledky a praktické zkušenosti z geofyzikálních karotážních měření realizovaných v rámci inženýrskogeologického průzkumu pro plánovanou trasu železničního tunelu Praha–Beroun. Tento strategický dopravní projekt, jehož cílem je kapacitní i časové zrychlení spojení mezi Prahou a západními Čechami v návaznosti na západoevropskou železniční síť, klade vysoké nároky na detailní poznání horninového prostředí v trase budoucího podzemního díla.
Karotážní měření byla prováděna ve vrtech rozmístěných podél navrhované trasy tunelu a zahrnovala široké spektrum metod, včetně radiometrických, odporových, akustických a také metody orientované na identifikaci puklinových systémů a na vyhledávání přítoků vody. Cílem bylo nejen zpřesnění litologického členění horninového masivu, ale především charakterizace jeho fyzikálně-mechanických vlastností, stupně porušení včetně detekce jednotlivých puklin a hydrogeologických poměrů.
Zvláštní pozornost byla věnována interpretaci dat v geologicky složitém prostředí Barrandienu, kde se střídají pevné paleozoické sedimentární horniny s tektonicky porušenými zónami a lokálními projevy zvětrání. Karotážní měření umožnila identifikovat diskontinuity, jejich prostorovou orientaci, zóny oslabení a potenciálně problematické úseky z hlediska ražby tunelu. Výsledky byly korelovány s geologickým popisem vrtných jader a laboratorními analýzami, čímž došlo k významnému zpřesnění geotechnického modelu.
Příspěvek dále shrnuje praktické aspekty realizace karotáže v náročných podmínkách hlubokých průzkumných vrtů, včetně omezení vyplývajících z technického stavu vrtů a vlivu geologie a podzemní vody na kvalitu měření. Získané zkušenosti potvrzují, že komplexní geofyzikální karotáž představuje klíčový nástroj pro minimalizaci geotechnických rizik a optimalizaci návrhu liniových podzemních staveb v komplikovaných geologických podmínkách.

Abstract: The paper presents the results and practical experience from geophysical logging measurements carried out as part of the engineering geological survey for the planned route of the Prague–Beroun railway tunnel. This strategic transport project, the aim of which is to accelerate the capacity and time of the connection between Prague and Western Bohemia in connection with the Western European railway network, places high demands on detailed knowledge of the rock environment in the route of the future underground work.
Logging measurements were carried out in boreholes located along the proposed tunnel route and included a wide range of methods, including radiometric, resistivity, acoustic and methods oriented towards the identification of fracture systems. The aim was not only to refine the lithological classification of the rock massif, but above all to characterize its physical and mechanical properties, the degree of failure including the detection of individual fractures and hydrogeological conditions.
Special attention was paid to the interpretation of data in the geologically complex environment of Barrandien, where solid Paleozoic sedimentary rocks alternate with tectonically disrupted zones and local manifestations of weathering. Logging measurements made it possible to identify discontinuities, their spatial orientation, zones of weakening and potentially problematic sections from the point of view of tunnel excavation. The results were correlated with the geological description of the drill cores and laboratory analyses, which significantly refined the geotechnical model.
The paper also summarizes the practical aspects of logging in demanding conditions of deep exploration wells, including limitations resulting from the technical condition of the wells and the influence of geology and groundwater on the quality of measurements.
The experience gained confirms that comprehensive geophysical logging is a key tool for minimizing geotechnical risks and optimizing the design of linear underground structures in complicated geological conditions.

Klíčová slova: karotáž, geofyzika ve vrtech, inženýrskogeologický průzkum, geotechnická rizika, liniové stavby, Barrandien

Key words: well-logging, borehole geophysics, engineering geological survey, geotechnical risks, line structures, Barrandien

1. Úvod a cíle projektu

24.7 Km – taková je délka projektovaného železničního tunelu z Prahy do Berouna. V hotovém tunelu by se tak dal uběhnout celý půlmaraton, a ještě by zbývaly 4 kilometry na konec tunelu. V našich podmínkách jde o naprosto výjimečný projekt, kdy je navíc trasa vedena pestrým horninovým prostředím Barrandienu v hloubce průměrně 150 m pod povrchem, což klade vysoké požadavky na geotechnickou bezpečnost. Plánovaný tunel má být konstruován jako dvoutubusový, pro rychlosti vlaků až 200 km/h a slibuje zkrácení dopravního spojení do Berouna na 13 minut. Investor stavby (Správa železnic) jako další přínosy na svých webových stránkách uvádí zkapacitnění trati Praha-Beroun, vyšší kapacitu pro nákladní dopravu, uvolnění kapacity na stávající trati podél Berounky a tím i prostor pro posílení příměstských spojů a následně menší zatížení silnic. Podle posledních zpráv dostupných v médiích se má cena celkové stavby pohybovat kolem 76 miliard korun, stavba má začít v roce 2032 a trvat by měla přibližně 12 let.

2. Rozsah provedených prací

Od roku 2023 probíhá podrobný geotechnický průzkum, v rámci kteréhož provádíme karotážní měření širokým spektrem metod. Od podzimu roku 2023 jsme do sepsání tohoto textu provedli celkem měření ve 102 vrtech o souhrnné délce 11 600 m. Nejkratší z vrtů měl pouze 15 metrů, hloubka nejdelšího byla 204 m. Vlastním měřením jsme dosud strávili 217 pracovních dní. Takový objem získaných dat se samozřejmě také promítá do doby zpracování, kterým jsme strávili doposud přibližně 750 pracovních dní. Projekt podrobného průzkumu stále běží, v době psaní tohoto textu se předpokládalo karotážní měření dalších 14 vrtů. Vzhledem k technické náročnosti a hloubce se jedná o jeden z nejrozsáhlejších karotážních projektů na liniových stavbách u nás za poslední roky.

3. Použitý komplex karotážních metod

Pro komplexní popis horninového masivu byla zvolena široká škála metod citlivých na různé fyzikální parametry. Radiometrické metody (přirozená gama aktivita, neutron neutron karotáž a gama gama karotáž v hustotní modifikaci), které vzhledem ke zvolenému postupu prací pokrývají vždy prakticky celou délku vrtu, elektromagnetické metody (odporová karotáž, indukční karotáž a karotáž magnetické susceptibility), akustické metody (vlnová akustická karotáž), skenování stěny vrtu (optický skener OBI a akustický skener ABI), měření technického stavu vrtu (inklinometrie a kavernometrie) a měření hydrodynamických podmínek ve vrtech (termometrie, fotometrie, rezistivimetrie v aplikaci metody ředění, popřípadě i metody čerpání označené kapaliny). Při zdárném provedení těchto metod potom můžeme provést spolehlivé litologické členění hornin na základě jejich fyzikálních vlastností, určit stupeň porušení hornin, zjistit základní geomechanické vlastnosti hornin na základě akustické a hustotní karotáže (objemová hmotnost, rychlost šíření podélných a příčných seismických vln, Youngův modul pružnosti hornin, smykový modul, příp. Poissonovo číslo), zjistit informace o struktuře zastižených hornin, lokalizovat plochy nespojitosti v horninovém masivu (otevřené pukliny nebo vyplněné nehomogenity) a určit jejich úklon a směr úklonu a charakterizovat horninový masiv z hlediska jeho celkové kompaktnosti, ověřit hydrodynamické poměry ve vrtech za ustálených přírodních podmínek (místa přítoků a ztrát, rychlosti proudění vody ve vrtu, a to jak horizontálního proudění puklinovým systémem, tak i přetékaní vody vrtem z jednoho puklinového systému do druhého), zjistit vlastnosti kapaliny ve vrtu (měrný odpor, vodivost, teplota a průzračnost), zjistit prostorový průběh vrtu.

4. Zvolený postup prací a technické výzvy

Při plánování postupu prací bylo potřeba vyřešit několik protichůdných požadavků: Kvůli nestabilitě stěn vrtů v tektonicky porušených zónách Barrandienu nebylo možné nechat vrty otevřené v celé délce. Rovněž nebylo možné riskovat uvíznutí a ztrátu sondy s radioizotopy v otevřené části vrtu. Ale bylo potřeba zajistit maximální možnou délku vrtu bez pažení (hlavně kovového) kvůli metodám, kde je pažení překážkou pro vlastní měření (skenery, elektromagnetické a akustické metody). Kvůli navazujícím zkouškám ve vrtech (VTZ, dilatometry) a osazování vrtů měřiči pórových tlaků zde byl požadavek na konečný průměr vrtů NQ – 76 mm. Dále se také jako riskantní ukázalo používání dočasné plastové výstroje, neboť hrozí její uvíznutí a komplikace pro navazující zkoušky. Bylo tedy zvoleno kompromisní řešení, kdy se ihned po dovrtání do konečné hloubky vrtu provede měření radiometrických metod ještě ve vrtných tyčích. Následně vrtná osádka vnitřní kolonu vrtných tyčí vytěží a v úseku vrtného průměru NQ je provedeno karotážní měření celého komplexu metod. Následují vodní tlakové zkoušky a dilatometrické měření, po jejichž skončení je částečně (či zcela) vytěžena pažnicová kolona většího vrtného průměru (obvykle HQ nebo PQ) do hloubky, která je považována za bezpečnou na základě předběžných výsledků radiometrických metod a porušení vrtného jádra. Následně je opět provedeno měření celého komplexu karotážních metod. V několika případech, kdy byla za pažnicovou kolonou předpokládána výrazně nestabilní poruchová zóna,

se měření dále dělilo na další úseky a celý cyklus „vytěžit pažnicovou kolonu / provést měření“ se opakoval. Po skončení všech karotážních prací jsou vrty trvale osazovány snímači pórových tlaků.

5. Výsledky geofyzikálních měření a litologická interpretace

V rámci komplexu karotážních měření realizovaných ve studovaných vrtech byly postupně zachyceny horninové formace vykazující značnou stratigrafickou pestrost. Konkrétně se jednalo o horniny devonského, silurského, ordovického a křídového stáří, což odráží složitou geologickou stavbu Barrandienu v oblasti projektovaného tunelu. Výsledky detailní analýzy geofyzikálních dat potvrdily, že zvolená kombinace radiometrických, elektromagnetických a akustických metod vykazuje vysokou rozlišovací schopnost pro identifikaci klíčových litotypů.
Na základě naměřených fyzikálních parametrů (především přirozené gama aktivity, magnetické susceptibility, hustoty a měrného odporu) jsme schopni od sebe velmi spolehlivě odlišit sedimentární i vulkanické horniny. V rámci sedimentárních sekvencí jde o rozlišení vápenců, pískovců, prachovců, břidlic a jílovců. V segmentech s projevy paleozoického vulkanismu nám pak interpretace karotážních dat umožňuje přesně separovat tělesa bazaltů, hyaloklastitů a tufů. Tato vysoká spolehlivost litologické interpretace je klíčová pro zpřesnění geologického profilu podél celé 24,7 km dlouhé trasy.

6. Strukturní analýza a specifické geologické fenomény

Integrace dat z optického skeneru (OBI) a akustického skeneru (ABI) poskytla zásadní informace pro strukturní analýzu masivu. Pomocí těchto metod jsme schopni v naprosto detailním měřítku lokalizovat a orientovat puklinové systémy, určit jejich úklon i směr úklonu. Velkým přínosem se stala možnost *in situ* hodnocení strukturních vlastností horninového masivu i v hloubkových úsecích, kde bylo vrtné jádro mechanicky zcela rozdrceno a nebylo možné jej standardně geologicky zdokumentovat na povrchu.
Během průzkumných prací byla zaznamenána řada anomálních geologických fenoménů, které ilustrují technologickou náročnost ražby. Mezi nejzajímavější nálezy zastižené ve vrtech patří:

- Krasová kaverna: V jednom z hlubokých vrtů byla v profilu devonských vápenců zastižena rozměrná krasová dutina, která představuje potenciální geotechnické riziko z hlediska stability nadloží a náhlých přítoků podzemních vod.
- Přetok proplyněné slané vody: Ve specifickém úseku došlo po dovrtání k náhlému výronu (přetoku) vysoce mineralizované, proplyněné slané vody
- Extrémní tektonická deformace: V zónách s intenzivním tektonickým namáháním byly detailně zdokumentovány silně provrásněné vrstvy sedimentů. Tyto sekvence vykazovaly specifický strukturní střídavý sled tenkých vrstev o různé kompetenci (plasticitě), který byl morfologicky výrazně podobný s mechanickým jevem budináže.

7. Závěr

Prováděný geotechnický průzkum pro projekt 24,7 km dlouhého železničního tunelu Praha–Beroun představuje svým rozsahem, metodickým komplexem a objemem získaných dat naprosto unikátní a v českých poměrech dosud nerealizovaný geofyzikální projekt na liniových stavbách. Úctyhodná bilance 102 dosud úspěšně odměřených vrtů o souhrnné délce 11 600 m poskytuje unikátní soubor dat v uceleném formátu, který nabízí prostor pro další technologický rozvoj karotážní metodiky prostřednictvím implementace moderních algoritmů zaměřených na automatizovanou litologickou a strukturní interpretaci geofyzikálních záznamů.
Navzdory náročným a často nestabilním geologickým podmínkám Barrandienu se nám díky flexibilnímu postupu prací (kombinujícímu měření v pažnicích i v otevřeném vrtu) podařilo eliminovat rizika ztráty sond a získat kontinuální, vysoce kvalitní karotážní data. Zvolený metodický přístup umožnil detailní litologické členění od křídových sedimentů až po složité paleozoické vulkanoklastické komplexy. Nasazení optických a akustických skenerů přineslo neocenitelné informace *in situ* i v úsecích se zcela rozdrceným či chybějícím vrtným jádrem, kde by povrchová dokumentace nemohla poskytnout požadované informace. Přitom jsou to právě zóny intenzivně porušené horniny, které jsou z hlediska geotechnického hodnocení stavby ty nejdůležitější. Významným benefitem získaných dat je rovněž skutečnost, že i v úsecích s celistvým vrtným jádrem umožňují měření ze skenerů in situ nezávislou a vysoce přesnou kontrolu primární geologické dokumentace – zda nedošlo k posunu či přetočení uložených jader před provedením vlastního geologického popisu.

GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM K ŘEŠENÍ OTÁZEK NESTABILIT DRÁŽNÍHO TĚLESA

Mgr. Jaroslav Jirků, Ph.D.

E-mail: jirku@gimpuls.cz
G IMPULS Praha spol. s r.o., J.Nerudy 232, Jeneč, 252 61

Další autoři: Ing. Jan Ďurove

Abstrakt:
Otázka nestabilit drážního tělesa je velmi častou a aktuální problematikou řešenou v rámci geotechnických a inženýrsko-geologických průzkumů kolejové lože, zemní pláně nebo obecně geologického podloží pod železniční tratí. V podmínkách Českého masivu jsou typickým problém mj. svahové pohyby spojené s transportem podzemní vody napříč drážním tělesem. Důsledky mohou být jak malého měřítka přibližně v řádu centimetrů, až po destruktivní následky mající vliv na větší celistvé úseky železničních tratí. Praktickým dopadem jsou nutné pomalé jízdy nebo i uzavření jednotlivých úseků tratě.

IG nebo GT průzkum obvykle vychází z bodových informací získaných v rámci více či méně husté sítě průzkumných vrtů nebo dynamických či statických penetrací. Jakkoliv přináší tato průzkumná díla bodově přesnou informaci, celkový stav zkoumaného traťového úseku může podat pouze geofyzika propojující provedené vrtné práce. V rámci této prezentace budou uvedeny příklady z různých nestabilních traťových úseků, kdy geofyzikální metody přispěly k identifkaci potenciálních odlučných ploch pro svahové pohyby, směru a přítomnosti proudění podzemní vody nebo lokalizaci významných tektonických poruch. Rovněž bude prezentována korelace s provedenými pracemi IG a GT průzkumu včetně zhotovených sanačních opatření.

MYŠLENKA NENEWTONSKÉ POROZIMETRIE VE VRTECH

Mgr. Martin Lanzendörfer, Ph.D.

E-mail: martin.lanzendorfer@natur.cuni.cz
Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 00 Praha 2

Abstrakt:
Navážeme na dvě nedávno navržené metody nenewtonské porozimetrie, yield-stress metodu (YSM) a příbuznou metodu autorů Abou Najm, Atallah (ANA). Ty reprezentují idealizované proudění porézním prostředím jako proudění souběžnými kapilárními trubičkami (zjevné zjednodušení, od kterého snad lze později ustoupit) a určují odpovídající funkční rozložení velikosti pórů (fPSD, functional pore size distribution) na základě sady saturovaných průtokových experimentů s nenewtonskými tekutinami. Přesněji, YSM využívá jednu yield-stress tekutinu a sadu hydraulických gradientů, zatímco ANA metoda pracuje s jedním hydraulickým gradientem, zato ale vyžaduje sadu různých shear-thinning tekutin. Obě metody přirozeně předpokládají uniformní proudění vzorkem jedním směrem. V příspěvku prozkoumáme, co se pokazí, změníme-li uvažované proudění na radiální, tedy takové, jaké odpovídá ustálenému proudění v okolí injektovaného vrtu.

Po krátkém přehledu obou metod (ve sjednocené úpravě, tak, aby byla lépe vidět společná myšlenka i podstatné rozdíly), probereme inverzní úlohu pro ustálené radiální proudění. Zatímco ANA metodu lze v případě power-law tekutin zobecnit triviálně, složitější reologie naopak přímé zobecnění neumožňují. Zejména ztrácíme jedno z hlavních východisek YSM: přímý vztah mezi působícím hydraulickým gradientem a velikostí aktivních pórů. I tak ale navrhneme pro Herschel–Bulkley (yield-stress) tekutiny alespoň zjednodušenou numerickou strategii a uvidíme, že odpovídající zjednodušený radiální YSM algoritmus úspěšně určí fPSD na základě simulovaných pozorování. Což je jistě povzbuzující pro další výzkum.

UKÁZKA KONTROLY INTERPRETACE ODPOROVÉHO PROFILOVÁNÍ OPAKOVANÝM ŘEŠENÍM PŘÍMÉ ÚLOHY PROGRAMEM RES2DMOD

USING REPEATED FORWARD MODELING BY RES2DMOD SOFTWARE
TO CHECK THE INTERPRETATION OF RESISTIVITY PROFILING - EXAMPLE

Josef Matouš[1], Richard Gürtler[2]

[1]*Josef Matouš, IČO, Jelínkova 1616/1, 182 00 Praha 8 - Kobylisy, e-mail: geof.matous@volny.cz*
[2]*Richard Gürtler, 142 00 Praha 4 - Braník, e-mail: RichardGurtler@seznam.cz*

Abstrakt: Program RES2DMOD (H.M. Loke, 2016) řeší přímou úlohu odporového profilování. V příspěvku ukážeme, že opakovaným řešením přímé úlohy lze provést kontrolu správnosti a upřesnění interpretace grafu odporového profilování. Vybrali jsme si profil přes kontakt tiského granitu s permokarbonem u Žihle, který jsme změřili dipólovým odporovým profilováním s ekvatoriálním uspořádáním elektrod (DOP-E) s rozestupem elektrod A1B15M1N. Na vybraném profilu bylo popsaným postupem dosaženo relativní střední chyby 13 % mezi změřenými a modelovanými hodnotami odporů.

Abstract: RES2DMOD software (H.M. Loke, 2016) is used for forward problem solution of resistivity profiling. In this paper we want to show that repeated usage of forward problem solution can be used to check and improve the interpretation of resistivity profiling measurement. We have chosen a profile across the contact between „tiský“ granite massife and Permo-Carboniferous rocks near Žihle. The line was measured using equatorial dipole-dipole resistivity profiling with electrode spacing of A1B15M1N. On the chosen line the described procedure was used and a relative standard error of 13 % was reached between measured and calculated resistivity values.

Klíčová slova: dipólové odporové profilování s ekvatoriálním uspořádáním elektrod, vertikální odporové sondování, program RES2DMOD.

Key words: equatorial dipole, vertical resistivity sounding, program RESDMOD

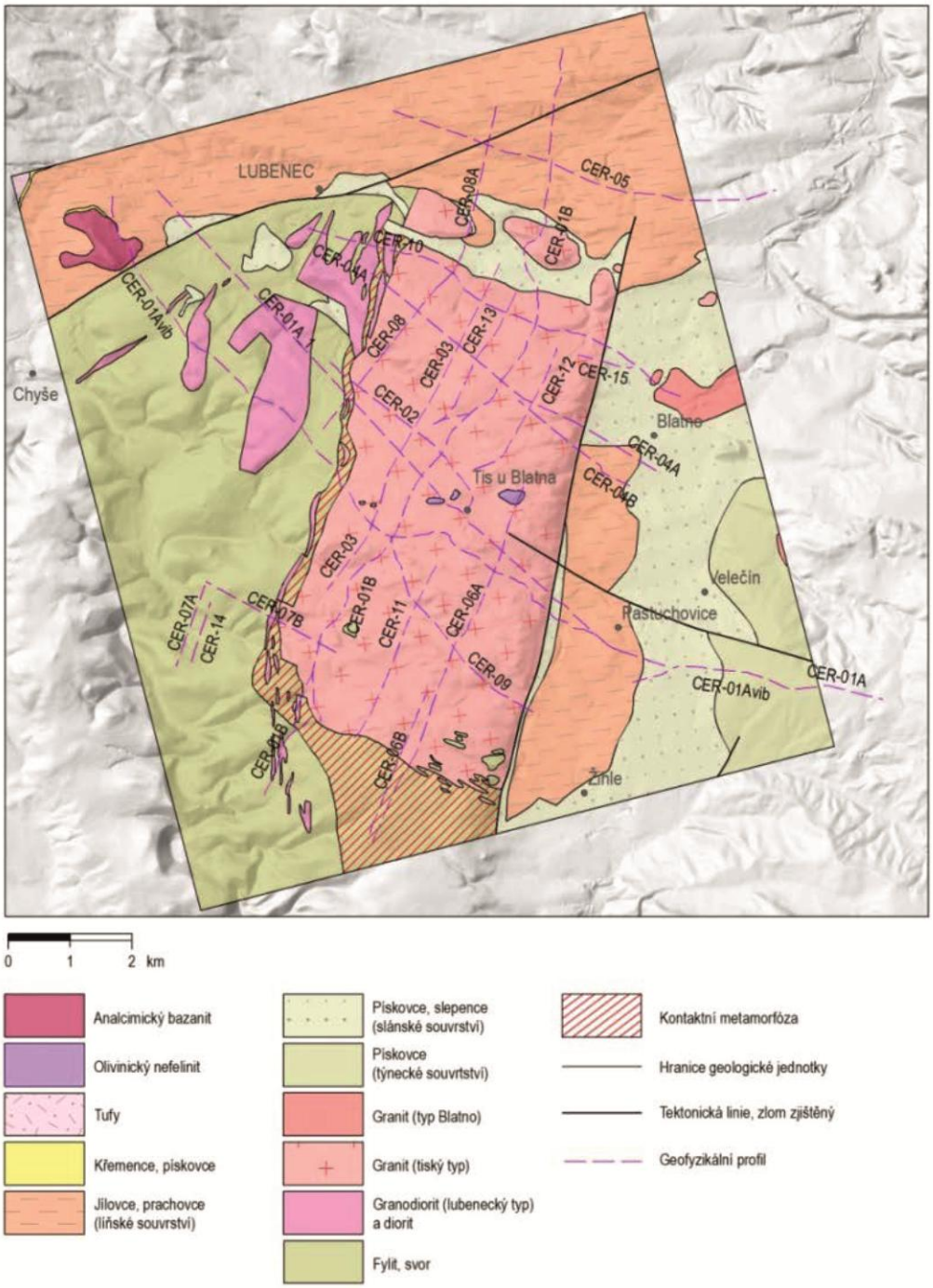
1. Úvod

Kontrola interpretace odporového profilování modelovacím programem RES2DMOD se u nás dosud běžně neprovádí, i když program tu je k dispozici od roku 1995. Pro demonstraci jsme si vybrali profil přes významný regionální žihelský zlom, což je kontakt tiského granitu s žihelskou permokarbonskou pánví. Profil je na SZ od obce Žihle. Náš výběr byl ovlivněn tím, že jsme se v digitálním archivu zpráv SÚRAO seznámili se závěrečnou zprávou geofyzikálního průzkumu z lokality Čertovka (Levý O. et al., 2019). Ve zprávě je přes žihelský zlom vedeno 7 profilů a na všech bylo aplikováno dipólové odporové profilování (DOP) a gravimetrie, nicméně grafy z těchto metod nebyly ve zprávě k dispozici. Ve spolupráci s kolegou Petrem Rajlichem jsme proto profil (P1), který on vybral, změřili sami a následně doplnili měřením vertikálního odporového sondování VES. Po úmrtí P. Rajlicha v loňském roce jsem chtěl na jeho památku dotáhnout spolupráci s ním k efektivnímu výstupu. Podařilo se mě získat ke spolupráci Richarda Gürtlera, který má praxi s interpretací metody ERT a kromě práce s programem RES2DINV má za sebou i řadu aplikací i s programem RES2DMOD, který přímou úlohu řeší. Výsledek naší spolupráce předkládáme.

2. Geologie

Měřený profil (situce viz obr. 2) se nachází na kontaktu tiského masívu s permokarbonem žihelské pánve. Tiský masiv je tvořen granitem a předpokládá se, že je součástí podstatně rozsáhlejšího tělesa, z větší části překrytého permokarbonskými sedimenty a označovaného jako čistecko-jesenický pluton nebo lounský pluton. Stáří tělesa je kambrické či kambro-ordovické. Kontakt mezi granitem a permokarbonem má směr SSV-JJZ, je tektonický a v literatuře je uváděn pod názvem žihelský zlom.
Podle geologické mapy v obr. 1 (Levý O. et al., 2019, zdroj ČGS) náš profil vstupuje do žihelské pánve v místě, kde přiléhá k žihelskému zlomu tenká poloha sedimentů slánského souvrství, na kterou nasedá rozsáhlý blok sedimentů líňského souvrství, který končí až JZ od Blatna. Porovnávali jsme geologickou mapu z obr. 1 s geologickou mapou ČR 1 : 50 000. V ní je blok sedimentů líňského souvrství podstatně menší – končí už JZ od Pastuchovic a pak jsou již sedimenty týneckého souvrství. Poloha sedimentů slánského souvrství není mapována. Podle obou zmíněných geologických podkladů náš profil DOP vstupuje do pánve v místě, kde by se daly očekávat největší mocnosti pánevních sedimentů, které se uvádějí až 400 m.

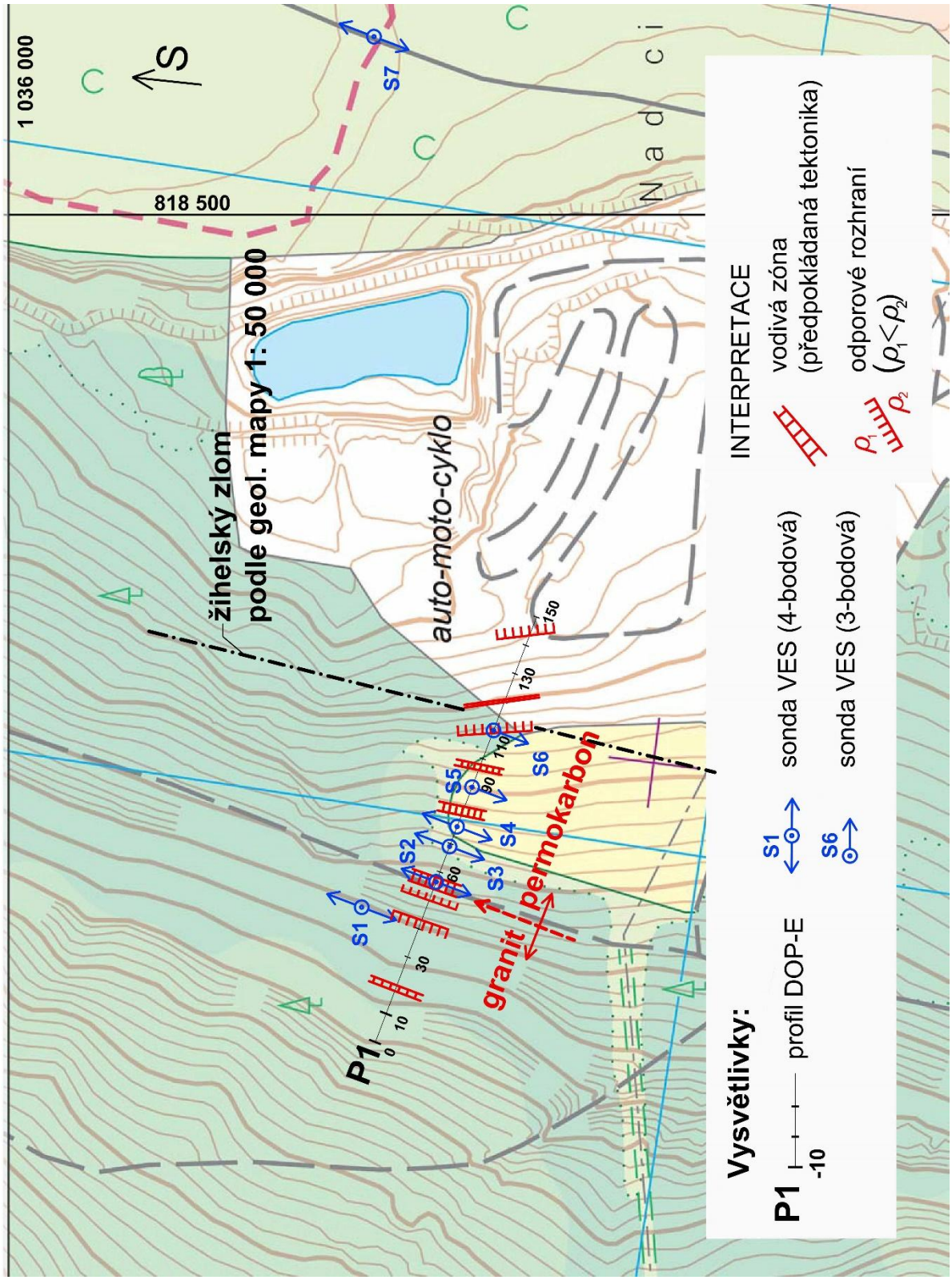
Litologicky je sedimentární výplň nepravidelně cyklická. V sedimentárním sledu se střídají jílovce, prachovce, pískovce, arkózovité pískovce, arkózy a slepence. Ve slánském a kladenském souvrství se vyskytují uhelné slojky.



Obr. 1: Geologická mapa (Levý O. et al., 2019)
Fig. 1: Geological map (Levý O. et al., 2019)

2. Popis metody VES a interpretace

Metoda VES byla realizována až po změření a interpretaci DOP-E. Šest sond (č. 1-6) bylo lokalizováno na profilu P1 (viz obr. 2) podle výsledku interpretace DOP-E a podle průchodnosti terénu. Jedna sonda (č. 7) byla lokalizována asi 200 m V od profilu P1.



Obr. 2: Situace a interpretace – M 1 : 2 000
Fig. 2: Location and interpretation - Scale 1 : 2 000

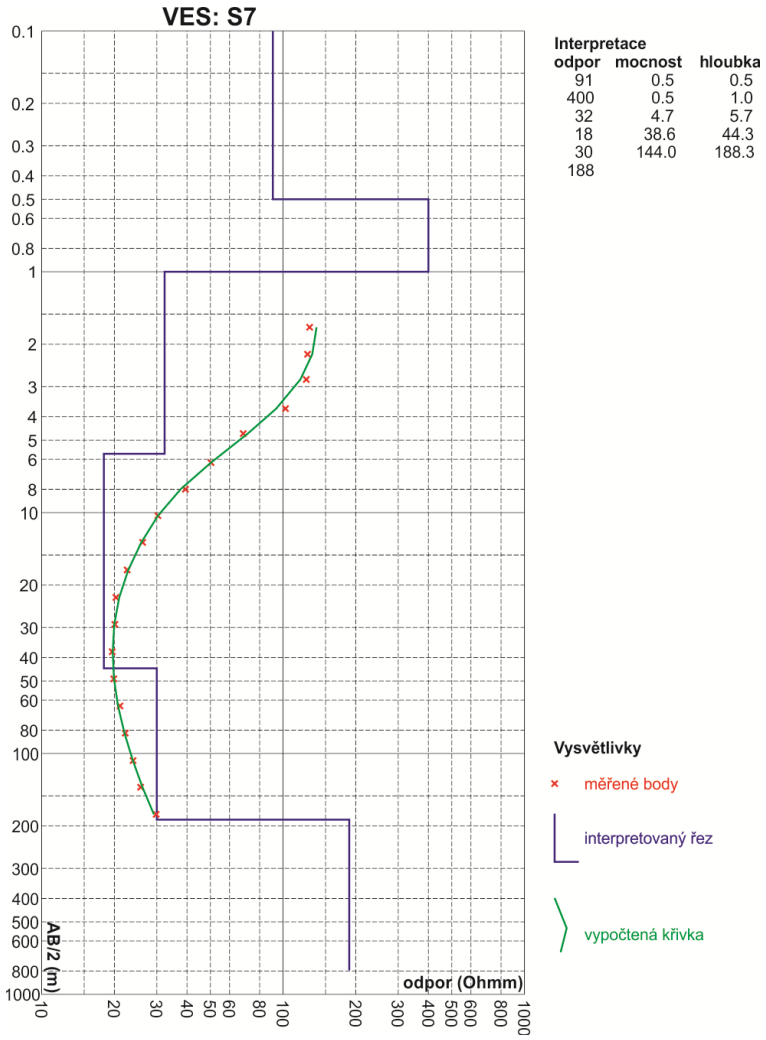
Sonda č. 1 byla lokalizována v granitech, sonda č. 2 na výchozu žihelského zlomu, sondy č. 3-7 v permokarbonu. Maximální délka roztažení sond je uvedena v tab. 1. Měření bylo provedeno soupravou geoelektrických aparatur MIMI II, GEVY 100 nebo 1000 a GESTA. Měřeno bylo se Schlumbergerovým uspořádáním elektrod, sondy č. 5 a 6 byly měřeny s 3bodovým uspořádáním elektrod (el. C 800 m). Pro interpretaci naměřených křivek VES byl použit výpočetní program IPI2win.

Od metody VES jsme očekávali především potvrzení rozhraní granit-permokarbon a získání vstupních odporových informací pro řešení přímé úlohy. Výsledek kvantitativní interpretace všech sond VES uvádíme v tab. 1 spolu s orientačním litologickým popisem vrstev. Naměřený a interpretovaný graf s odporovým řezem uvádíme pouze u sondy č. 7 v obr. 3, která má největší hloubkový zásah, a tedy i značnou dokumentační hodnotu.
Výsledek kvantitativní interpretace v tab. 1 krátce shrneme. Jediná sonda v granitech neposkytla objektivní informaci o odporu kompaktních granitů, byla ovlivněna nehomogenitami v blízkosti žihelského zlomu. Sonda č. 2 přímo na žihelském zlomu naznačila, že měrný odpor tektonické výplně v granitech může být přes 100 ohmm, což se pak potvrdilo i v modelu. Sondy č. 3 až 6 jsou lokalizovány v tektonicky exponovaném úseku pánve u žihelského zlomu. Už u sondy č. 3 nejblíže žihelskému zlomu lze předpokládat, že mocnost pánevní výplně bude výrazně větší než 100 m, a to byl hlavní důvod, proč jsme sondy realizovali. Ve svrchní části řezu, kde je interpretace přesnější, je zachycen horizont kvartérních svahových hlín vesměs kamenitých o mocnosti 1 - 4 m. Nelze vyloučit, že čtyřmetrové mocnosti signalizují drobnější sesuvná tělesa. Pod kvartérem lze v sondách č. 3 a 4 vysledovat asi 10 m mocný horizont arkóz či pískovců (200-300 ohmm), na sondách č. 5 a 6 je už vyšší jílovitost. Směrem do hloubky se jílovitost zvyšuje na všech 4 sondách, na sondách 5 a 6 už jíly v hloubce převažují. Poslední sonda č. 7 je mimo profil P1, chtěli jsme v příznivém místě získat alespoň částečnou představu o hlubší výplni pánve. Z výsledku interpretace vyplývá, že pod kvartérem je cca 188 m mocné souvrství s výrazně převažující jílovitou sedimentací. V jejím podloží byl odhadem interpretován odpor 188 ohmm, který rozhodně ještě blízkost podloží pánve nenaznačuje.

Tab. 1: Kvantitativní interpretace VES a odhad litologie
Tab.1: Quantitative interpretation of VES and lithology estimate

Sonda č. /AB/2$_{MAX}$	Poř. č. vrstvy	Hloubkový Interval (m)	Měrný odpor (ohmm)	Litologie
S1 22,5 m	1	0 – 3,44	428	navětralý granit
	2	3,44 –	700	granit
S2 29,1 m	1	0 – 0,98	472	Sonda je záměrně umístěna na výchozu tektoniky. Je zřejmé, že zpočatku se uplatňuje zpevněná cesta, pak písčitá výplň tektoniky a v další vrstvě vliv granitů. Závěr sondy již ovlivňuje permokarbon s nižšími měrnými odpory.
	2	0,98 – 2,11	136	
	3	2,11 – 5,18	833	
	4	5,18 -	120	
S3 49 m	1	0 – 0,49	919	kamenitá hlína
	2	0,49 – 1,24	3308	kamenitá hlína, suť
	3	1,24 – 12	338	zahliněná suť, nebo arkózy či pískovce permokarbonu
	4	12 -	78,1	písčitojílovitá sedimentace, hlouběji možný přechod do jílů
S4 49 m	1	0 – 1,04	2975	kamenitá hlína, suť
	2	1,04 – 3,83	755	zahliněná suť
	3	3,83 – 14	246	arkózy či pískovce permokarbonu
	4	14 -	64,5	písčitojílovitá sedimentace, hlouběji možný přechod do jílů
S5 82,3 m	1	0 – 0,91	825	suchá kamenitá hlína nebo suť
	2	0,91 – 2.35	134	kamenitá hlína
	3	2,35 – 4,53	652	kamenitá suť
	4	4,53 – 71,1	71,7	písčitojílovitá sedimentace
	5	71,1 -	36,4	jílovitopísčitá sedimentace
S6 107 m	1	0 – 0,84	1085	suchá kamenitá hlína nebo suť
	2	0,84 – 4,1	256	kamenitá hlína, suť nebo pískovce
	3	4,1 – 19,8	51,6	písčitojílovitá sedimentace
	4	19,8 – 36,1	101	pískovce
	5	36,1 –	27,8	jílovitopísčitá sedimentace
	Pozn.: Určení vrstev 4 a 5 je sporné, sonda mohla přecházet přes příčnou tektoniku			

Sonda č. /AB/2$_{MAX}$	Poř. č. vrstvy	Hloubkový Interval (m)	Měrný odpor (ohmm)	Litologie
S7 179 m	1	0 – 0,48	90,7	písčitá hlína
	2	0,48 – 1	400	kamenitá hlína nebo štěrk
	3	1 – 5,72	32,3	jíly, jílovce
	4	5,72 – 44,3	18,1	jíly, jílovce
	5	44,3 – 188	30	jíly, jílovce
	6	188 -	188	převažující písčitá a arkozózová sedimentace
	Pozn.: Mocnost 5. vrstvy je jen odhad, ale vceku reálný, mocnost pánve nelze určit, může však výrazně přesahovat 200 m, přesnost v určeni hloubky pánve metodou VES bude ale vždy nízká.			



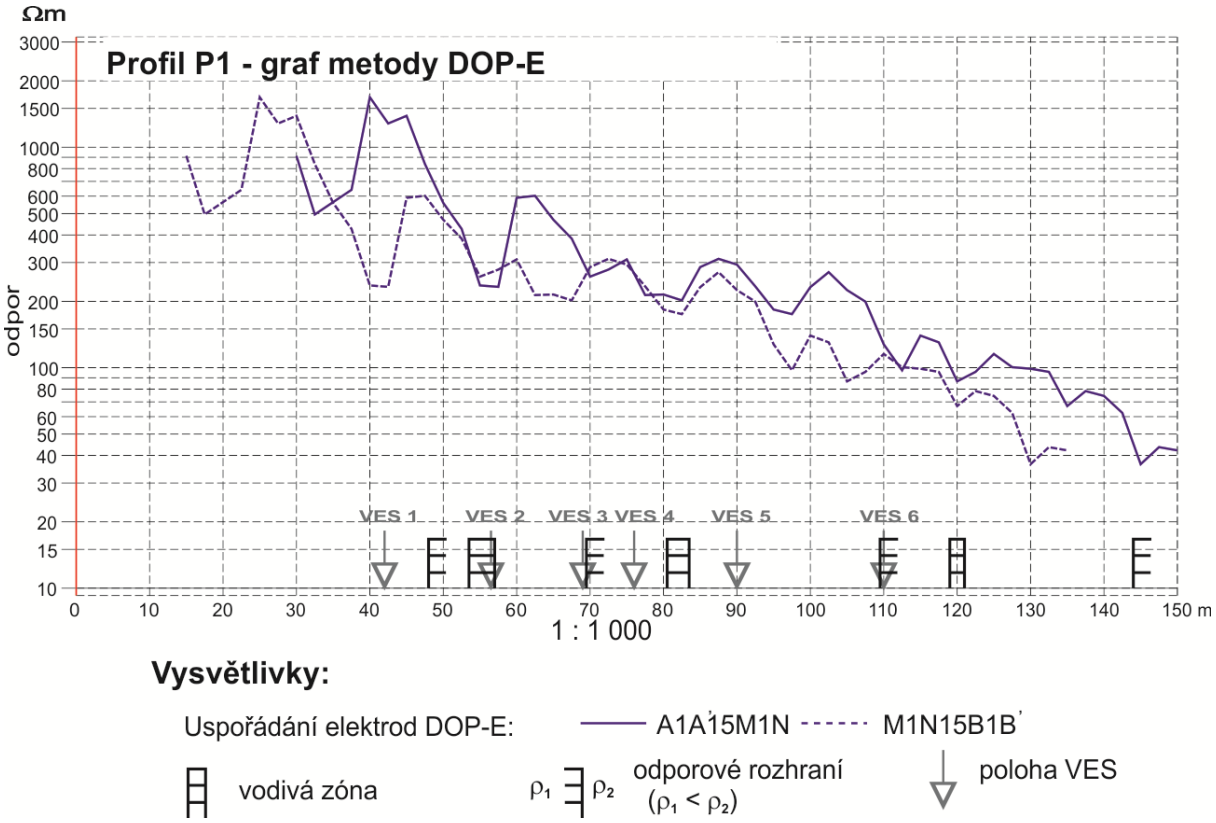
Obr. 3: Sonda č. 7 - Naměřený a interpretovaný graf, vertikální odporový řez v grafu a tabulce

Fig.: 3: Sounding no. 7 – Measured and interpreted graph, vertical resistivity section in graph and table

4. Popis metody DOP-E a interpretace

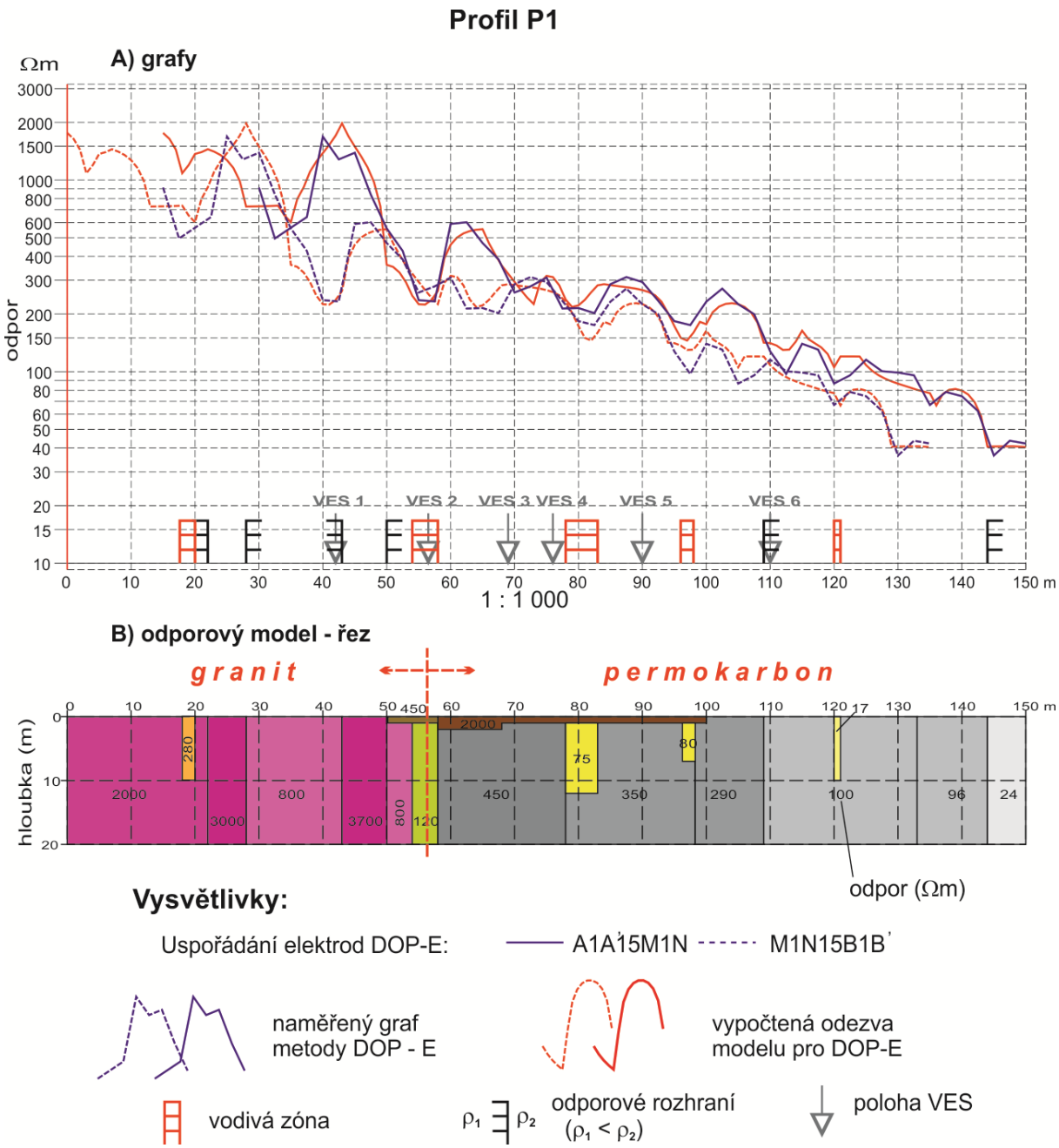
My jsme pro měření na vybraném profilu zvolili dipólové odporové profilování s ekvatoriální orientací dipólů (DOP-E). Zvolili jsme délku dipólů **a**=1 m a vzdálenost mezi středy dipólů L´=15 m. Pro informaci uvádíme, že

efektivní hloubka (**Z_e**) podle Edwardse (1977) tohoto roztažení je 5,7 m, pro vyhledávání tektoniky ve většině geologických prostředí plně vyhovuje. Výjimku tvoří terény s větší mocností pokryvu s vysokým měrným odporem (vyšší tisíce ohmmetrů).
Krátké vysvětlení proč používáme DOP-E. Vlastníme digitální milivoltmetr FRPA, výroba Geofyzika Brno závod Praha, který pracuje na frekvenci 0,55 Hz a 5 Hz. Měří s uspokojivou přesností hodnoty od 0,1 mV. V proudovém okruhu se spokojí s aparaturou GEVY100 v kompletu s aparaturami GEP a GESTA. S délkou dipólů 1 až 1,5 m je možno měřit až do vzdálenosti mezi dipóly 30 m, což pro vyhledávání tektoniky plně vyhovuje a hlavně to umožňuje dvoumužnou obsluhu. Při frekvenci 5 Hz trvá měření na bodě 5 až 10 vteřin, takže používáme krok měření většinou 2,5 nebo 5 m. Se střídavým proudem odpadá polarizace elektrod, takže používáme tenké ocelové elektrody u obou dipólů, které se dobře uzemňují. Aparatura umožňuje i rychlé a technicky nenáročné měření vyzvané polarizace ve frekvenční doméně. Aparatura byla vyrobena v sérii několika kusů v letech 1988-1990.
Naměřené hodnoty zdánlivého měrného odporu uvádíme v obr. 4 v měřítku 1:1 000. V grafech je vyznačena poloha sond VES a vyznačeny jsou interpretovaná odporová rozhraní a vodivé zóny. Tyto interpretační prvky jsou interpretovány s přihlédnutím k paletkám I.M. Blocha (1962) a podle našich zkušeností s řešením přímé úlohy odporového profilování s programem RES2DMOD (H.M. Loke, 2016).



Obr. 4: Naměřený graf DOP-E s prvotní interpretací
Fig. 4: Measured graph of DOP-E with primary interpretation

Odporová rozhraní představují kontakty hornin s rozdílným měrným odporem. V našem geologickém prostředí jde konkrétně především o kontakt granitu s permokarbonem. Tak se konkrétně projevil severní okraj tiského masivu proti permokarbonu v práci Levého et al (2019). V prostředí permokarbonu vznikají odporová rozhraní na styku odporově odlišných hornin (arkóz, pískovců a jílovců). Odporová rozhraní mohou být i tektonického původu, pro západní okraj tiského masívu to velmi pravděpodobně platí. Určitě je dobré podepřít takovou interpretaci vhodně situovanými sondami VES, nebo kontrolou řešením přímé úlohy v programu RES2DMOD.
Vodivé zóny, pokud jejich mocnost výrazně nepřesahuje 10 m, interpretujeme jako projev tektonických poruch. Vzhledem k použitému zásahu se jedná o mocnost ve výchoze. V permokarbonu, pokud měrný odpor klesá pod 30 ohmm tedy v jílovitých sedimentech, je možnost lokalizovat tektonické poruchy jako vodivé zóny problematická vzhledem k malému rozdílu v měrných odporech. Nám se styk granitů s permokarbonem na P1 projevil jako vodivá zóna díky tomu, že na straně permokarbonu vystupovaly k povrchu pískovce nebo arkózy, takže výplň poruchy měla snížený odpor.
Interpretaci uvedenou v obr. 4, doplněnou údaji ze sond VES jsme použili pro vytvoření odporového řezu, který byl zadán do vstupního modelu pro první řešení přímé úlohy programem RES2DMOD (viz kap.5)



Obr. 5: A) graf metody DOP-E na profilu P1 a odezva výsledného odporového modelu
B) finální odporový model
Fig.: 5: A) graph of the DOP-E method and and response of final resistivity model
B) final resistivity section

5. Řešení přímé úlohy pro profil P1 programem RES2DMOD

Teoretický základ výpočtu a vývoj programu provedl Dr. M.H.Loke, Ph.D. na School of Earth Sciences, The University of Birmingham v r. 1994. Firma se věnuje hlavně softwaru pro 2D a 3D inverzní úlohy pro zpracování výsledků měření elektrické odporové tomografie (u nás též někdy nazývané „multielektrodová metoda“). Zdarma poskytovaný software je plně funkční pro řešení přímé úlohy, tj. výpočtu odporového řezu podle uživatelem zadaného 2D odporového modelu. Užití programu probíhalo v několika krocích:

1) Nejprve byl vytvořen první (startovní) model odporového řezu podle interpretovaných odporových rozhraní a vodivých zón v obr. 4 a s přihlédnutím k výsledkům VES v tab. 1,
2) vytvoření vstupního souboru podle modelu pro program RES2DMOD,

3) výpočet přímé úlohy a export výsledného odporového řezu programem RES2DMOD,
4) výběr příslušných odporových dat, která odpovídají v terénu použitému uspořádání elektrod při profilovém měření (DOP-E, a=1 m, L=15 m),
5) Na základě porovnání grafu terénního měření s grafem vypočteným ad4) následoval návrh úprav modelu odporového řezu.

Postup ad2) až ad5) byl mnohokrát opakován, přičemž byl vždy poopraven předcházející model až bylo metodou „pokus – omyl“ dosaženo co nejlepší shody mezi terénní a vypočtenou profilovou odporovou křivkou. Tak byl získán výsledný odporový řez – obr. 5 B).
Součástí modelovacího programu RES2DMOD je nástroj pro tvorbu a úpravy vstupního souboru, ale je to poměrně časově náročná činnost náchylná k chybám. Proto byl pro převod modelového odporového řezu do vstupního souboru (ad2) vytvořen pomocný program v tabulkovém procesoru (Excel), který výrazným způsobem urychluje a zjednodušuje přípravu vstupního souboru pro RES2DMOD. Použitý algoritmus vychází z excelové tabulky, kde jsou zadány jednotlivé tvary a parametry řezu (odpor prostředí a další volitelné a násobně použitelné: odpor a mocnost pokryvu, odpor, mocnost a sklon anomální desky, 2D těleso obecně polygonového průřezu – odpor, počet vrcholů a jejich souřadnice). Po té je v pořadí zadaných tvarů pro všechny buňky vstupního souboru zjišťováno, zda střed buňky leží uvnitř příslušného tělesa. Znamená to, že tvar zadaný v excelové tabulce níže může překrýt tvar zadaný výše (např. se tak dá vyřešit, zda vodivá deska začíná od povrchu nebo až pod pokryvem). Základní síť buněk vstupního modelu měřila v horizontálním směru 160 m s krokem 0,25 m a hloubkové úrovně báze buněk tvořily geometrickou řadu od 0,2 m do 47,5 m s kvocientem 1,2.
Další pomocný program byl vytvořen v Excelu pro výběr příslušných odporových dat (ad4)) z výstupního souboru z RES2DMOD (uloženého ve formátu RES2DINV), který tento krok víceméně automatizuje tím, že vybere vypočtená data pro zadané uspořádání elektrod.
Konečným cílem bylo nalézt pomocí programu RES2DMOD takový odporový řez, který by na profilu P1 dával graf pro DOP-E v co nejlepší shodě s grafem naměřeným na obr. 1. se stejným uspořádáním. Výsledek modelování uvádíme na obr. 5, pro lepší přehlednost jsme zvolili měřítko zpracování 1:1 000, včetně odporového řezu, který je nepřevýšený.

6. Závěr

Výsledek mnohonásobně opakovaného řešení přímé úlohy programem RES2DMOD na profilu 1 je uveden na obr. 5. Sami ho považujeme za uspokojivý, nikoliv za skvělý. Určitým objektivním posouzením výsledku je výpočet relativní střední chyby mezi grafem naměřeným a stejným grafem získaným výpočtem z výsledného modelu. Relativní střední chyba z celého grafu (50 bodů) nám vyšla $\pm$13,01 %, když jsme vynechali prvních 6 bodů v granitech, kde je shoda grafů evidentně horší, klesla střední chyba na $\pm$11,27 %.
Práce na modelu je za současného stavu softwaru časově náročná. Na druhé straně lze říci, že opakované editace řezu a možnost bezprostředního sledování jejich projevu v grafu je pro interpretátora jednoznačným přínosem. V podstatě nutnou pomůckou pro editaci jsou Blochovy paletky (Bloch, I.M., 1962). Nejde přitom jen o to, mít jasnou představu o projevu tenkých vodivých desek a odporových rozhraní ve smyslu paletek. Abychom dosáhli výše uvedené chyby měření, museli jsme např. do řezu vložit i dvě nevodivé desky, jejichž mocnost byla pro sledovaný rozestup někde mezi tenkou a mocnou vodivou deskou.
Podle výsledného modelu jsme v obr. 5 upravili i interpretaci odporových rozhraní a vodivých zón v naměřeném grafu proti vstupní interpretaci z obrázku 4. U vodivých zón v metráži 54-58 a 120-121 předpokládáme s vysokou pravděpodobností, že jsou projevem tektoniky. U vodivých zón v metráži 18-20, 78-83 a 96-98 se nám jeví vazba na tektoniku jako méně pravděpodobná. U odporových rozhraní v metráži 109 a 143 je vazba na tektoniku velmi pravděpodobná, i když jsme vodivou tektonickou výplň na rozhraní nenamodelovali.
Výše jsem zmínil Blochovy paletky jako nutnou pomůcku pro kontrolu interpretace naměřených grafů programem RES2DMOD. Je to logické – třetina grafů v paletkách byla získána výpočtem (zbytek měřením nad modely). Několik grafů z paletek jsme programem RES2DMOD kontrolovali a shoda byla dobrá. Závěr je z toho jediný – Blochovy paletky rozhodně nejsou zastaralé, jsou s programem RES2DMOD kompatibilní a jako orientační interpretační pomůcka odvedou dobrou službu.
V souvislosti s našimi poznatky získanými při řešení přímé úlohy si dovolím na závěr následující poznámku: Je běžnou praxí, že pro indikaci vodivé desky (tektoniky) se používá pouhý vodivý průsečík obou větví grafu DOP jako postačující indikace pro lokalizaci vodiče. Pokud v místě průsečíku byl naměřen i pokles měrného odporu a podobné poklesy byly registrovány o délku středů dipólů na větvi A za průsečíkem a stejný pokles na větvi B před průsečíkem, tak je taková interpretace jistě správná a obstojí při zběžné kontrole podle paletek Blocha i detailní kontrole programem RES2DMOD. V běžném nehomogenním prostředí však interpretace jen podle vodivého průsečíku produkuje podle mých zjištění významné procento chybných interpretací. Už jen důsledné sledování dalších významných interpretačních piků ve smyslu paletek Blocha by podíl chybných interpretací výrazně snížilo. Ověřování klíčových strukturních prvků programem RES2DMOD by byl jistě nadstandard, ale vyplatil by se.

Seznam literatury

Bloch I. M., 1962: *Elektroprofilirovanie metodom soprotivlenij*. Moskva
ČGS: *Geovědní mapy ČR 1 : 50 000, list 11-24*
Edwards, L.S., 1977: *A Modified Pseudosection for Resistivity and IP.* Geophysics, Vol. 42, No 5.
Levý O. et al., 2019: *Ověření geologických struktur lokality Čertovka geofyzikálními metodami.* – Sdružení INSET – Geonika
Loke H. M., 2016: Rapid *2D Rezistivity and IP Forward Modelling using the finit-difference and finit-element methods, ver. 3.03, Geotomosoft Solution, Penang, Malaysia*

INFORMACE O APARATUŘE FRPA A SEZNÁMENÍ S NĚKOLIKA APLIKACEMI ODPOROVÉHO PROFILOVÁNÍ PRO GEOLOGICKÉ MAPOVÁNÍ

INFORMATION ABOUT THE FRPA INSTRUMENT AND AN OVERVIEW OF SEVERAL APPLICATIONS OF RESISTIVITY PROFILING FOR GEOLOGICAL MAPPING

Josef Matouš[1]

[1]*Josef Matouš, IČO, Jelínkova 1616/1, 182 00 Praha 8 - Kobylisy, e-mail: geof.matous@volny.cz*

Abstrakt: Frekvenční přijímač pro měření odporu a vyzvané polarizace FRPA byl vyvinut v letech 1988-9. Konstruktérem byl Ing. Karel Příhoda z Geofyziky a. s. Brno, závod Praha. V příspěvku uvádíme základní parametry apratury. Hlavními přednostmi aparatury jsou vysoká přesnost a rychlost měření zejména při práci s frekvencí 5 Hz. Plně se uplatní zejména v odporovém profilování s ekvatoriálním dipólovým uspořádání elektrod. Připojeno je několik ukázek odporového profilování s aparaturou pro účely geologického mapování.

Abstract: A frequency receiver for measuring resistance and induced polarisation (FRPA) was developed between 1988 and 1989. It was designed by Ing. Karel Příhoda of Geofyzika a. s., Brno, Prague branch. In this paper, we present the basic parameters of the apparatus. The main advantages of the apparatus are its high accuracy and measurement speed, particularly when operating at a frequency of 5 Hz. It is particularly well suited to resistivity profiling using an equatorial dipole electrode aray. Several examples of resistivity profiling carried out with the apparatus for geological mapping purposes are included.

Klíčová slova: Frekvenční přijímač pro měření odporu a vyzvané polarizace (FRPA), odporové profilování s ekvatoriálním dipólovým uspořádání elektrod.

Key words: A frequency receiver for measuring resistance and induced polarisation (FRPA), resistivity profiling using an equatorial dipole electrode aray.

1. Úvod

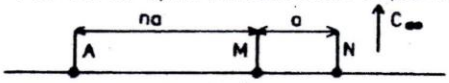
Frekvenční přijímač pro měření odporu a vyzvané polarizace FRPA byl vyvinut v letech 1988-89. Konstruktérem byl Ing. Karel Příhoda z Geofyziky, a. s., Brno, závod Praha, který je také autorem návodu k obsluze (Příhoda K.,1988) a metodiky měření (Příhoda K.,1988). Po roce 1989 bohužel již nikdy nevznikl „Servisní návod“, ale zachovalo se alespoň elektrické schéma prototypu aparatury.
Se souhlasem konstruktéra, který z osobních důvodů odmítl účast jako spoluautor, chci v příspěvku jako dlouhodobý uživatel aparatury seznámit odbornou veřejnost s jejími parametry a možnostmi při aplikaci v metodě vertikálního odporového sondování, odporovém profilování a vyzvané polarizaci. S aparaturou jsem pracoval asi 36 let, v současné době je aparatura pro poruchu mimo provoz a pravděpodobně se ji již nepodaří opravit.

2. Technické parametry a vyhodnocení praktických možnosti aparatury

FRPA je principiálně selektivni střídavý milivoltmetr - geoelektrický přijímač, jenž ve spolupráci s moduly GEP, GESTA a GEVY v proudovém okruhu umožňuje produktivní měření zdánlivého odporu a VP i v oblastech s velmi silným rušením. FRPA je pohyblivá v terénu nezávisle na vysílači, bez drátového nebo radiového spojení. Používá kovové M-N elektrody a samočinnou kompenzaci SP. FRPA pracuje na 2 frekvencích 0,5555 a 5 Hz. Kmitočet 0,5555 Hz je určen zejména pro sondážní měření s rozestupy AB až 2 700 m. Kmitočet 5,00 Hz je určen zejména pro profilovací měření. Pro rekognoskační střídavé měření VP se používají dva mechanicky i elektricky spojené přijímače FRPA pracující v režimu MASTER-SLAVE. FRPA ve funkci MASTER je naladěna na kmitočet 0,5555 Hz a měří úroveň signálu základní harmonické obdélníkového průběhu 0,5555 Hz generovaného vysílačem GEVY a GEP. FRPA ve funkci SLAVE je naladěna na 5,00 Hz a měří devátou harmonickou téhož průběhu. Relativní rozdíl úrovní signálu základní a deváté harmonické (tzv. frekvenční efekt - PFE) je zobrazen na SLAVĚ v rozsahu 0 až 20 %. Měření se samočinně opakuje, doba měření je 31 s (1. cykl měření) a 22 s (každý další cykl). Typický rozestup elektrod AB je 140 m až 700 m. Rozsáhlým měřením v městském prostředí se silným rušením bylo zjištěno, že ve srovnání s pulzními VP přijímači je rozptyl měření VP FRPY 5x až 15x nižší, což umožňuje snížit výkon vysílače 25x až 225x při docílení stejné přesnosti a doby měření.
Obdobné výsledky platí i pro odporová měření, kde při frekvenci 5 Hz je doba měření 5 s (1. cykl měření) a 4 s (každý další cykl).

Aparatura má vysokou přesnost (±0,5 %) v rozsahu od 0,1 až 2000 mV a vysokou rychlost měření. Citlivost na náhodné (průmyslové) rušení je nízká. Na druhé straně je tu synchronní rušení kapacitní a induktivní (skinefekt), které je při frekvenci 5 Hz již nutno řešit.
Metodická příručka (Příhoda K.,1989) se synchronním rušením podrobně zabývá. Pokud jde o rušení kapacitní, hraje roli u Schlumbergerova (symetrického), Wennerova a kombinovaného (pól-dopól) uspořádání. Lze ho řešit použitím stíněných kabelů, případně ještě s pomocnou zemnící eletrodou. U osového a ekvatoriálního profilování, kde mezi okruhem AB a MN není živé kabelové propojení, kapacitní rušení nevzniká vůbec, a to použití přijímače FRPA splňuje.
Metodická příručka (Příhoda K.,1989) se zabývá i rušením induktivním (skinefekt). Výsledek provedeného výzkumu v této věci pro frekvenci 5 Hz je shrnut v tabulce v obr. 1. Je zřejmé, že u odporového profilování s délkou roztažení do 70 m nemá skinefekt vliv na kvalitu měření.

PÓL-DIPÓL (pro kombinované uspoř.)

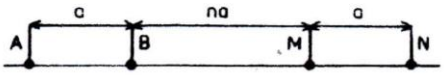


f = 5 Hz

n \ a	10 m	20 m	50 m	100m	200m
1	0,25	1	6	25	100
2	0,6	2,5	16	60	250
3	0,8	3,3	20	80	330
4	1,2	5	30	120	500
5	2	8	50	200	800

$\Delta\rho$ je záporné, takže snižuje hodnoty měřeného ρ. Pro ρ_{min} přibl. 10x nižší vzroste chyba $\Delta\rho$ na - 10 %.

DIPÓL-DIPÓL

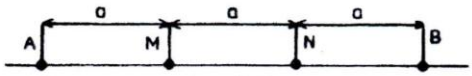


f = 5 Hz

n \ a	10 m	20 m	50 m	100m	200m
1	0,05	0,2	1,2	5	20
2	0,15	0,6	3,7	15	60
3	0,25	1	6	25	100
4	0,4	1,6	10	40	160
5	0,65	2,6	16	65	260

$\Delta\rho$ je záporné, takže snižuje hodnoty měř. ρ. Pro ρ_{min} přibl. 5x nižší vzroste chyba $\Delta\rho$ na - 10 %.

WENNER

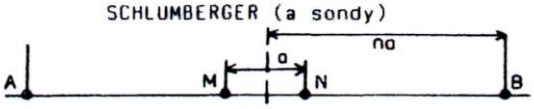


f = 5 Hz

a	20 m	50 m	100m	200m	500m
min	0,6	4	15	60	400

$\Delta\rho$ je kladné, takže zvyšuje hodnoty měřeného ρ. Pro ρ_{min} přibl. 4x nižší vzroste chyba $\Delta\rho$ na + 10 %.

SCHLUMBERGER (a sondy)



f = 5 Hz

n \ a	1 m	5 m	10 m	20 m	50 m	100m
2	0,002	0,06	0,25	1	6	25
3	0,005	0,12	0,5	2	12	50
4	0,015	0,37	1,5	6	37	150
5	0,02	0,5	2	8	50	200
6	0,03	0,75	3	12	75	300
7	0,04	1	4	16	100	400
8	0,05	1,4	5,5	22	140	550
9	0,06	1,6	6,5	26	160	650
10	0,08	2	8	32	200	800

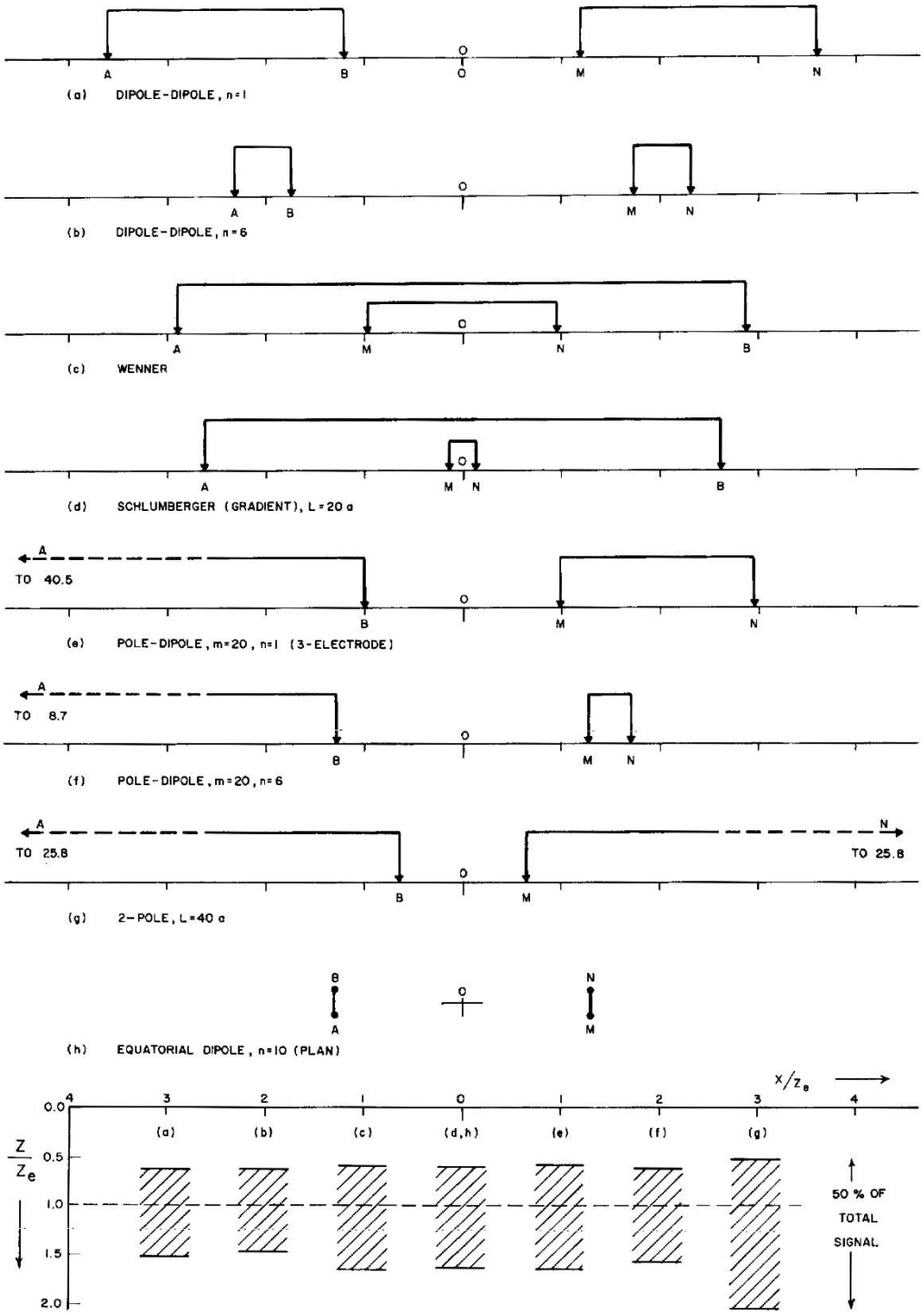
$\Delta\rho$ je kladné, takže zvyšuje hodnoty měř. ρ. Pro ρ_{min} přibl. 4x nižší vzroste chyba $\Delta\rho$ na + 10 %.

Obr. 1: Nejnižší hodnoty zdánlivého měrného odporu [ohmm] pro relativní stř. chybu měření ±1 %. Hodnoty odporu platí pro frekvenci 5 Hz, pro frekvenci 0,5555 Hz platí hodnoty 10x nižší

Fig. 1: The lowest apparent resistivity values [ohmm] for a relative mean measurement error of ±1%. The resistance values apply to a frequency of 5 Hz; for a frequency of 0.5555 Hz, the values are 10 times lower.

Z výše uvedeného vyplynulo, že nejefektivnější využití aparatury FRPA je při odporovém profilování s dipólovým uspořádáním elektrod. Rozhodnutí zda použít dipólové osové nebo ekvatoriální uspořádání nám umožnila znalost práce Edwardse L.S. (1977), kde jsou v obrázku (viz obr. 2 níže) porovnána všechna známá uspořádání podle efektivní hloubky, která je v obrázku i definována. Z obrázku jasně vyplývá, že při stejné délce roztažení má ekvatoriální dipól dvojnásobnou efektivní hloubku proti osovému dipólu. Převedeno do u nás obvyklé terminologie má ekvatoriální dipol dvojnásobný hloubkový zásah proti osovému dipólu. V obr. 1 totéž platí i pro porovnání ekvatoriálního dipólu se Schlumbergerovým uspořádáním, to je důvod, proč se při vertikálním elektrickém sondování do velkých hloubek používá ekvatoriální dipól.

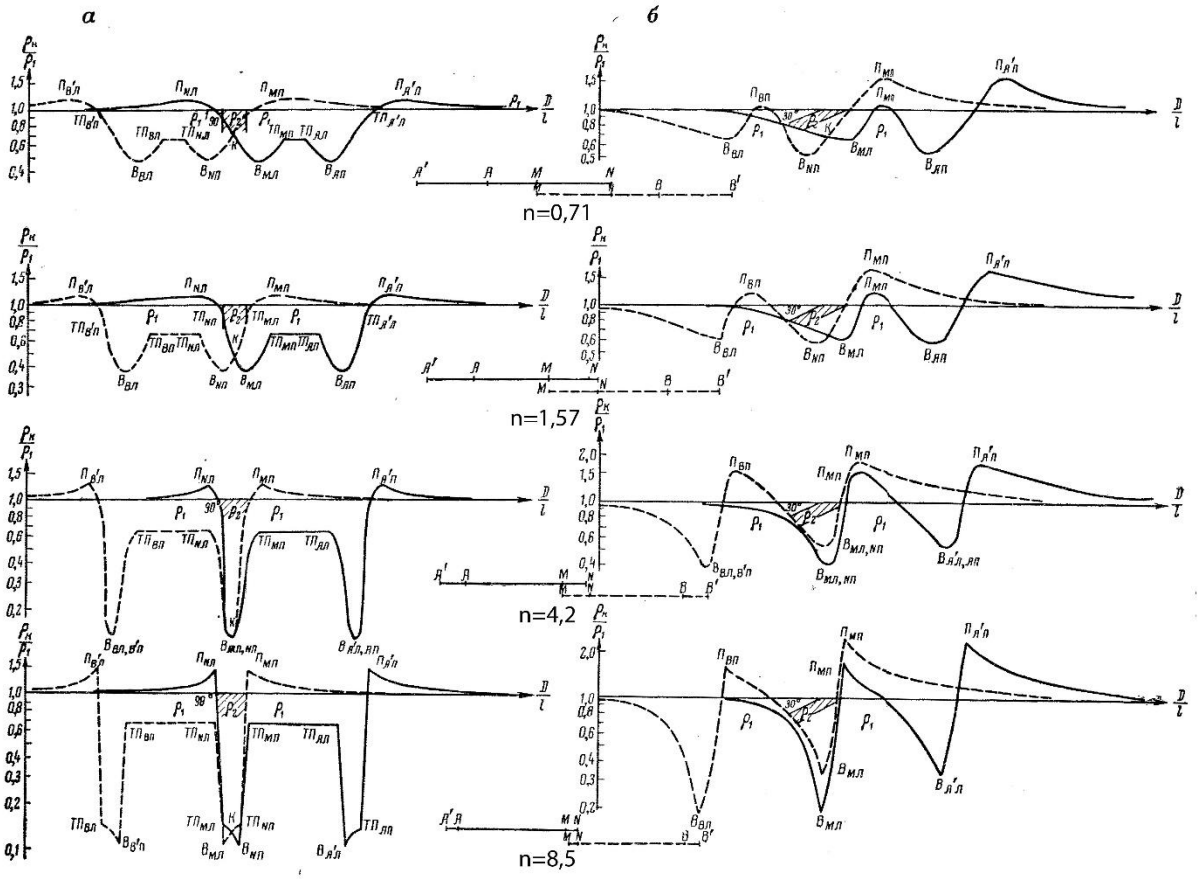
Obr. 2 nás jasně nasměroval na používání ekvatoriálního dipólu. Zkrácení délky uspořádání znamená i zkrácení délky projevu interpretovaných indikací, a tedy lepší interpretovatelnost v běžném odporově nehomogenním prostředí.



Obr. 2: Elektrodová uspořádání která mají stejnou efektivní hloubku pro homogenní prostředí. Spodní obrázek ukazuje hloubkový interval, který přispívá 50procenty k celkovému signálu na povrchu, pro představu vertikálního rozlišení.

Fig. 2: Electrode arrays which give the same (unit) efective depth for a homogeneous earth. The lower figure shows the depth interval which contributes 50 percent of the total signal at surface, as a measure of vertical resolution.

V obr. 2 je u uspořádání dipole-dipole uveden parametr „n“, který vyjadřuje, kolikrát je vzdálenost mezi dipóly větší než délka dipólu „a“. Vliv velikosti parametru „n“ na naměřené grafy osového dipólu ukazuje obr. 3 převzatý z Blochových paletek (Bloch I.M., 1962), kde jsme doplnili velikost parametru „n“ Je zřejmé, že čím větší je parametr „n“, tím detailněji je měřená anomálie vykreslena. S aparaturou FRPA jsme vesměs měřili s parametrem „n“ větším jak 10, takže anomálie, zejména tektonika, byly změřeny detailně. Tomu jsme přizpůsobili i krok měření, který byl 2,5 až 5 m.



Obr. 3: Grafy osového dipólu s konstantní vzdáleností mezi středy dipólů a s různou délkou dipólů nad tenkou vodivou deskou (ró$_1$=1 ohmm, ró$_2$=0,14ohmm)

Fig. 3: Graphs of an axial dipole with a constant distance between the dipole centres and with varying dipole lengths above a thin conductive plate (ró$_1$=1 ohmm, ró$_2$=0,14ohmm)

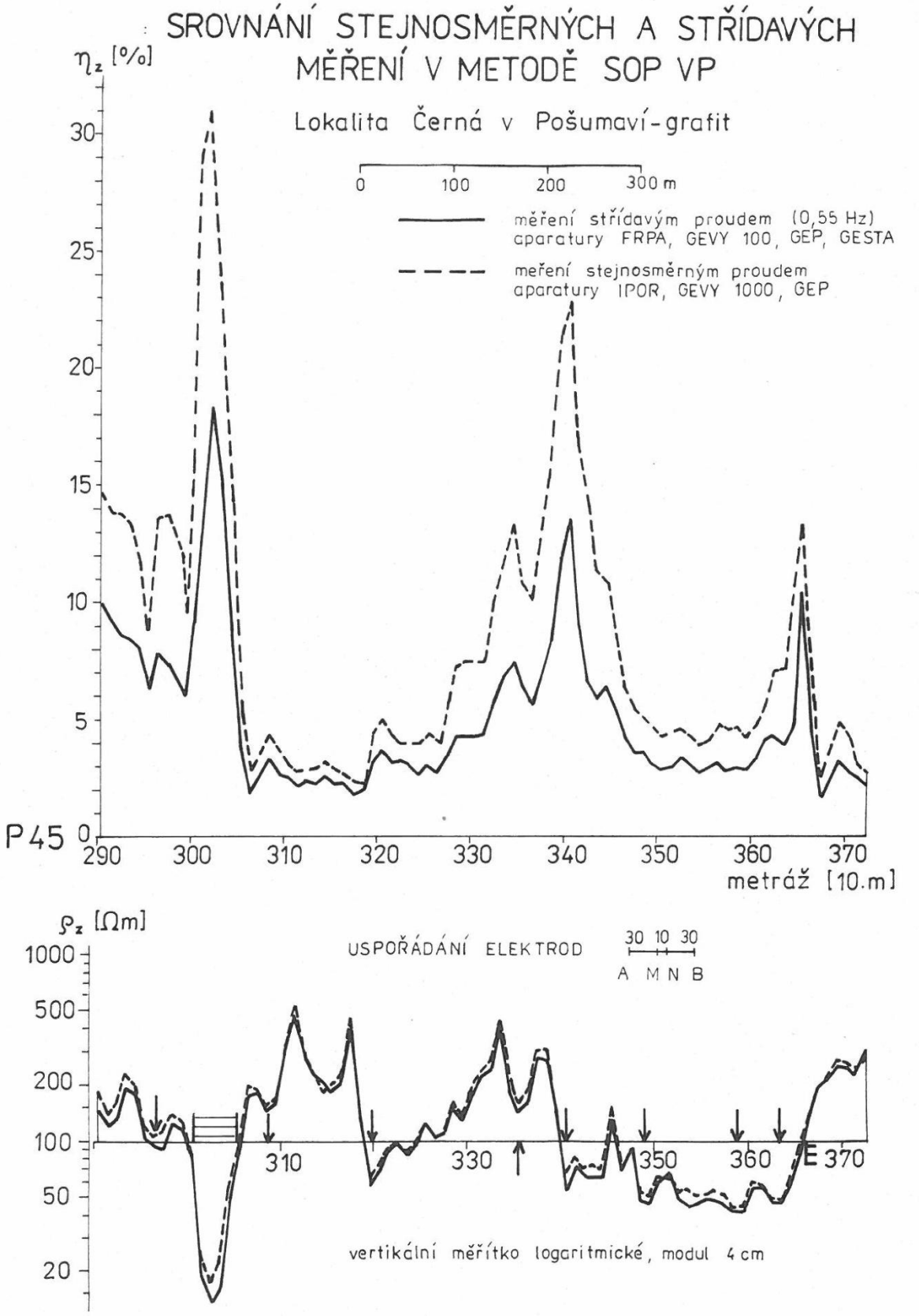
Praktická měření v terénu potvrdila vysokou přesnost při měření nízkých hodnot napětí kolem 0,1 mV. To umožnilo zkracovat délku dipólů až na 1,5 a 1 m, kdy už je možné obsluhovat dipól jednou osobou, což znamenalo skokové zvýšení produktivity práce. Reálné výsledky potvrdily možnost měřit s délkou dipólů 1 až 1,5 m až do vzdálenosti mezi dipóly 25 až 30 m.

V měřícím okruhu je možno používat tenké ocelové zašlapávací elektrody. Vzdálenost mezi elektrodami dipólů je možno udržovat nevodivým silonovým provazem a distanci mezi dipóly izolovaným kabelem s ocelovou vložkou. Vyplývá z toho, že použití aparatury FRPA při frekvenci 5 Hz umožňuje řešit rychle a efektivně běžné úkoly geologického mapování. Vysoký poměr délky roztažení ku délce dipólů (n) umožňuje při kroku měření maximálně 5 m detailnější podchycení anomálií a usnadňuje interpretaci.

3. Ukázky aplikací odporového profilování s aparaturou FRPA pro mapovací účely

První ukázka je převzata z měření, které bylo prováděno přímo pro metodickou příručku (Příhoda K., 1989). Obr. 4 porovnává měření symetrického odporového profilování (SOP) metodou vyzvané polarizace (VP) se stejnosměrným proudem (aparatury IPOR, GEVY1000, GEP) a střídavým proudem 0,55 Hz (aparatury FRPA, GEVY100, GEP, GESTA). U měření střídavým proudem byl v okruhu AB použit stíněný kabel. Shoda odporových grafů je dobrá. Rozdíl v hodnotách polarizovatelnosti se vysvětluje tím, že u IPORu docházelo k samočinné kompenzaci vybíjecí křivky už po 4 vteřinách, kdy spádová křivka ještě neklesla k nule. To zvětšuje

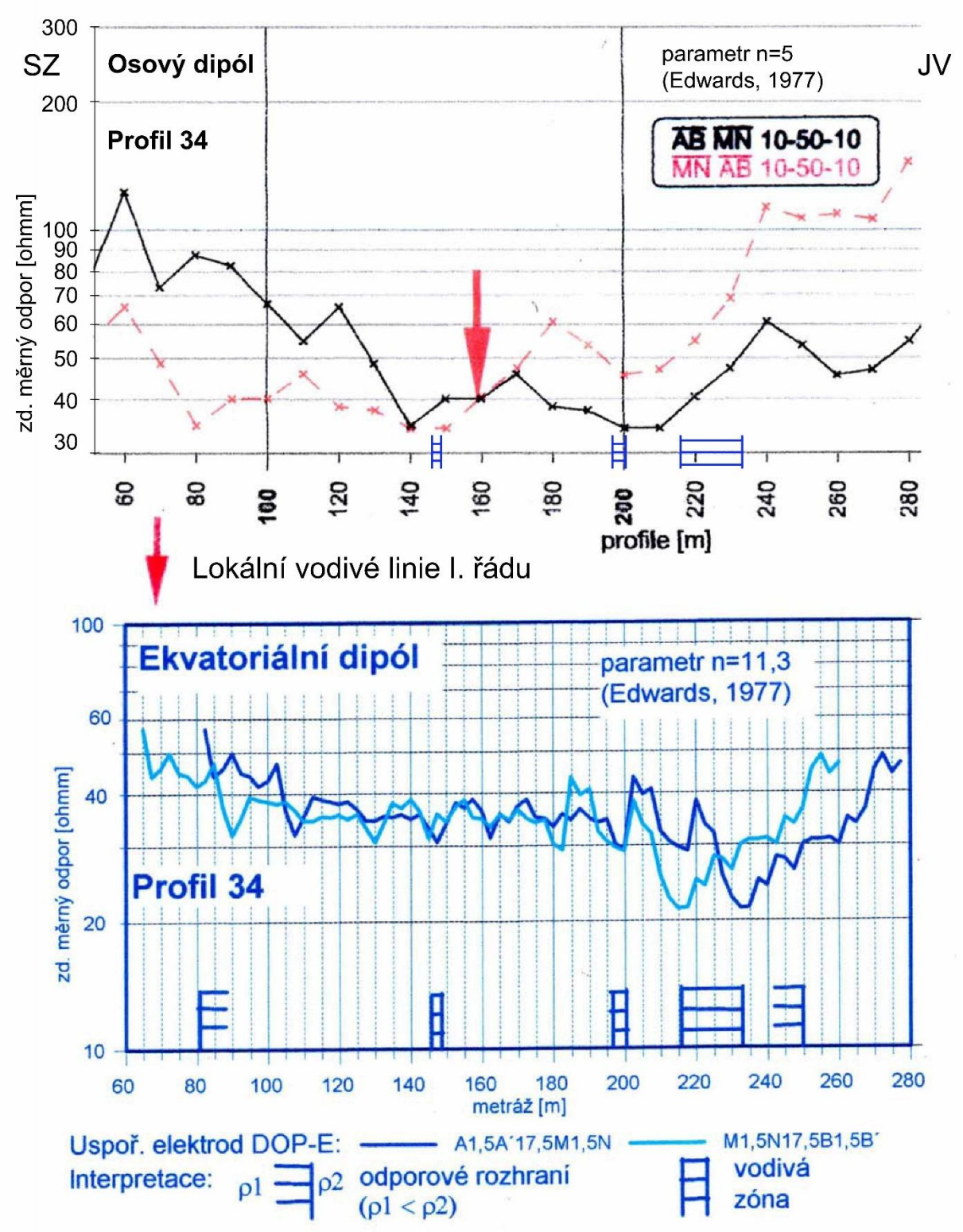
polarizovatelnost největších anomálii ž o 7 %. Z hlediska výsledku se měření stejnosměrným a střídavým proudem neliší. Měření střídavým proudem má výhodu v potřebě nižšího výkonu a vyšší rychlosti měření.



Obr. 4: Porovnání stejnosměrných a střídavých měření v metodě SOP VP. Lokalita Černá v Pošumaví - grafit

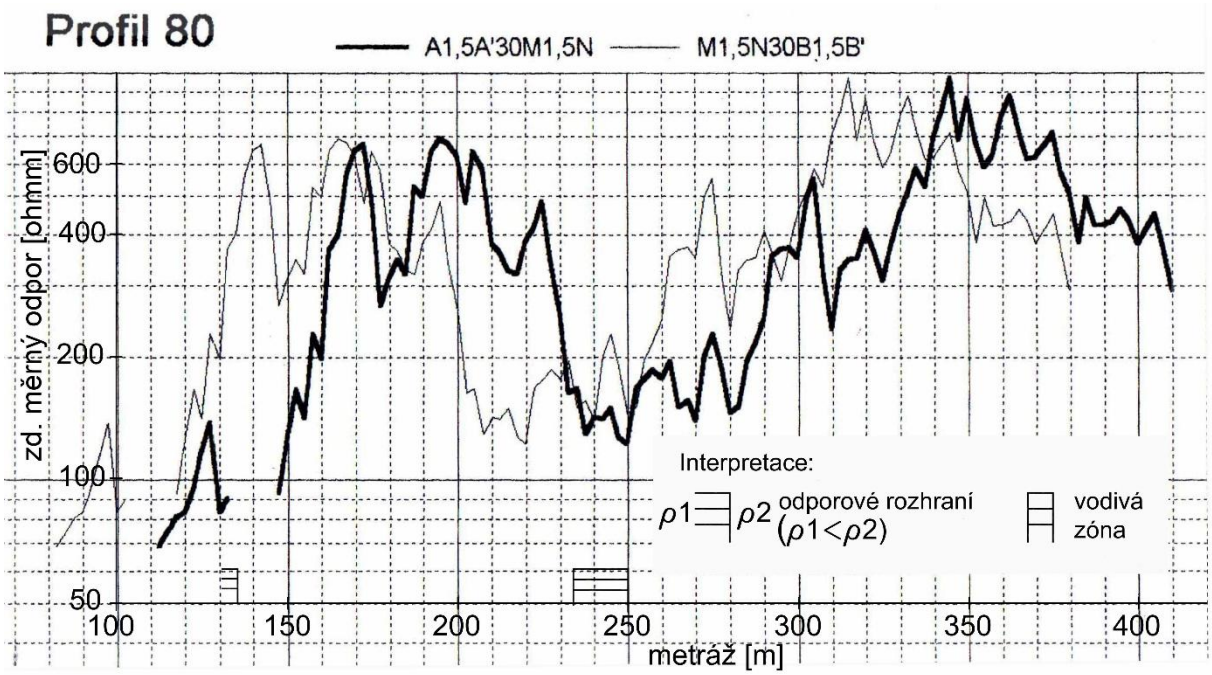
Fig. 4: Comparison DC and AC measurings in Schlumberger aray resistivity and IP. Locality Černá v Pošumaví - graphite

Další ukázka je z lokality Řitka, kde si řešitel firma K2H, s. r. o., v rámci hydrogeologického průzkumu nechala udělat od jiné geofyzikální firmy na ploše cca 900 x 400 m odporový průzkum osovým dipólovým profilováním v ortogonální profilové síti s krokem měření 10 m. Na dvou profilech byla použita i metoda elektrické odporové tomografie (ERT).
Já jsem byl následně řešitelem vyzván k přeměření dvou úseků na dvou profilech. Tyto profily jsem přeměřil ekvatoriálním dipólovým profilováním s krokem 2,5 m.



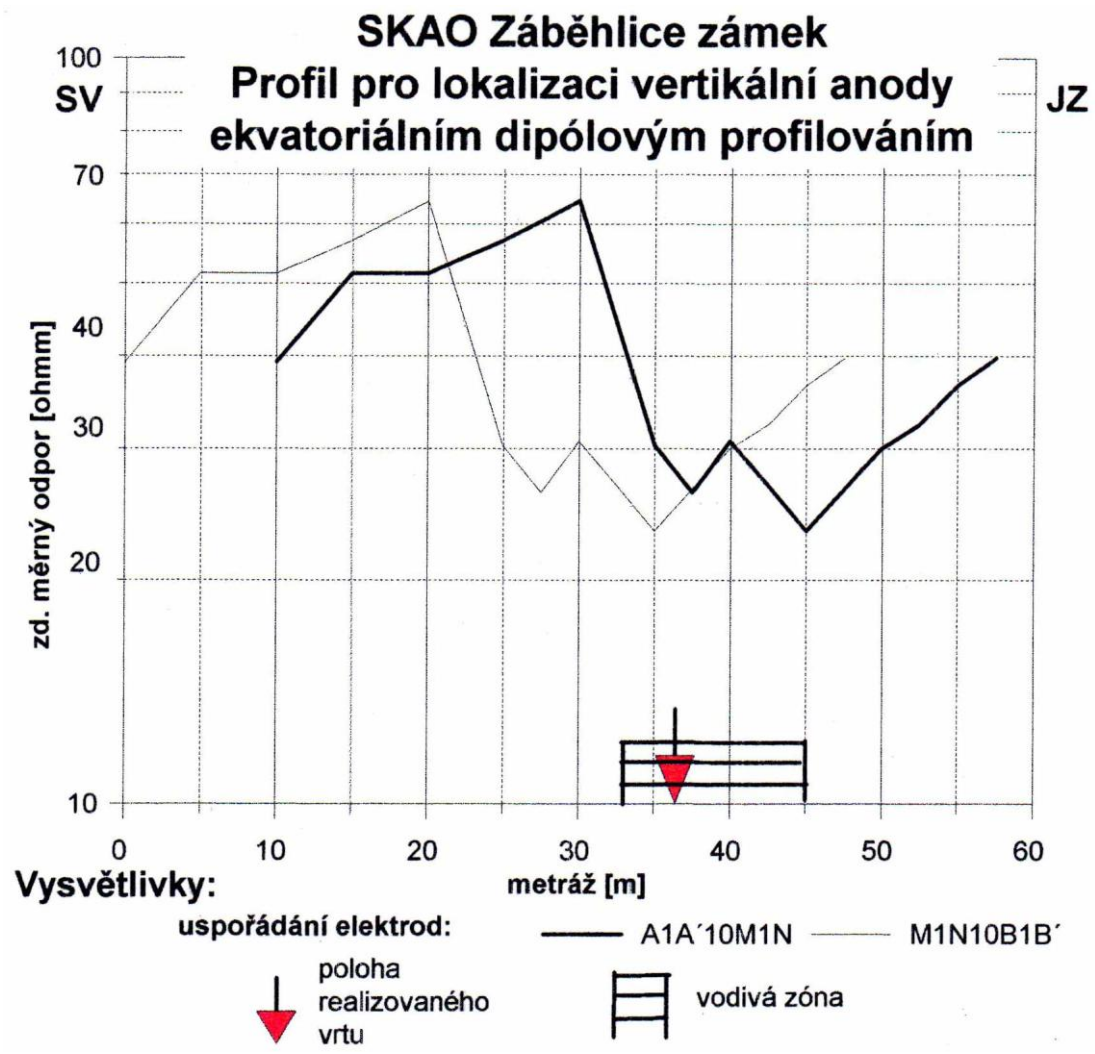
Obr. 5: Lokalita Řitka – Porovnáni měření osovým a ekvatoriálním dipólem
Fig. 5: Lokality Řitka – Comparison measurings dipole – dipole and equatorial dipole

Mým záměrem je provnat projevy těchto dvou značně rozdílných roztažení. Původní profilová síť již v době mého měření nebyla úplná, takže porovnání je provedeno pouze u profilu 34 (viz obr. 5), kde garantuji identitu obou měření.
Před porovnáním výsledků zmíníme stručně geologii (geol. mapa 1 : 50 000, list 12-41). Na profilu 34 (směr SZ-JV) z obr. 5 probíhá zhruba kolmo na metráž 80 závistský přesmyk (ordovik – neoproterozoikum). Podle odporových měření se tu nachází odporový kontakt – vyšší odpory v nižších metrážích by náležely do ordoviku. Neoproterozoikum je zakryto velkou mocností svahových hlín v souladu s nízkými odpory podle odporovky. Podloží vychází k povrchu až v metráži cca 240 na JV konci profilu 34.
Na úvod k obrázku 5 porovnáme obě uspořádání z pohledu Edwardse (1977). Délka roztažení osového dipólu je čtyřnásobná proti ekvatoriálnímu – 70 ku 17,5. Poměr vzdálenosti mezi dipóly k délce dipólů (n) je u osového 5, u ekvatoriálního 11,3. Efektivní hloubka (z_e) činí u osového uspořádání 14,76, u ekvatoriálniho 5,76.
Interpretace grafu osového dipólu je prováděna zřejmě jen podle vodivého průsečíku a interpretována je tu lokální vodivá linie prvního řádu. Graf ekvatoriálního dipólu je interpretován podle paletek.Blocha (Bloch I.M., 1962). Interpretace je uvedena v grafu. Vynechán byl, kvůli přehlednosti, pouze projev tenké vertikální desky zvýšeného odporu v metráži 200-207,5.
Z porovnání výsledků obou dípólů vyplývá snazší interpretovatelnost ekvatoriálního dipóĺu. Přesto indikují schodně odporové minimum v metráži 140-150. Tenkou vodivou desku v metráži 195-200 a mocnou vodivou desku v metráži. 215-233 už v osovém dipólu indikovat nelze. V metodě ERT se tento úsek projevil výrazně, v interpretaci to však zmíněno není. Domnívám se, že problémem použitého osového dipólu je příliš dlouhá délka roztažení i délka dipólu.
Ještě poznámka k výsledku celé hydrogeologické akce. Jeden realizovaný vrt v širší zóně závistského přesmyku dopadl dobře. Byl situován ve vodivé zóně široké 60 m asi 100 m SV od profilu 34.



Obr. 6: Lokalita Ohrazenice – Graf ekvatoriálního dipólu
Fig. 6:Lokality Ohrazenice - Graph of an equatorial dipole

Třetí ukázka je z lokality Ohrazenice, kde bylo třeba na stavební parcele najít místo pro vrt. Pozemek se nacházel v křemenných slepencích ohrazenického souvrsví kambria. Vzdálenost od Ohrazenického potoka byla asi 400 m, pozemek byl asi 55 m nad úrovní potoka.
Na pozemku byly změřeny 2 profily. Jeden kratší profil vedl podél 4 negativních padesátimetrových vrtů, které byly bez vody. Indikace tektoniky jsme tu nezaznamenali. Druhy profil JZ-SV směru, delší než 300 m vedl podél celého protáhlého pozemku. Výledek měření ekvatoriálního dipólu s uspořádáním elektrod A1,5B30M1,5N předkládám na obr. 6. Přiznám se, že délka dipólu 30 m byla zbytečně velká, 10 nebo 15 m by plně postačilo. Z pohledu na graf je zřejmé, že interpretace není problém, vodivá zóna v metráži 234-250 je nepřehlédnutelná. Tektonické by mohlo být i odporové rozhraní v metráži 136, ale je na samém okraji pozemku.
Zbývá jen dodat, že v místě vodivé zóny byl realizován vrt 90 m hluboký, voda byla naražena v hloubce 57 m a vystoupala 54, vydatnost byla asi 0,4-0,6 l/sek.



Obr. 7: Lokalita Záběhlice zámek – Graf ekvatoriálního dipólu s polohou realizovaného vrtu
Fig. 7:Lokality Záběhlice zámek – Graph of an equatorial dipole with position implemented bore hole

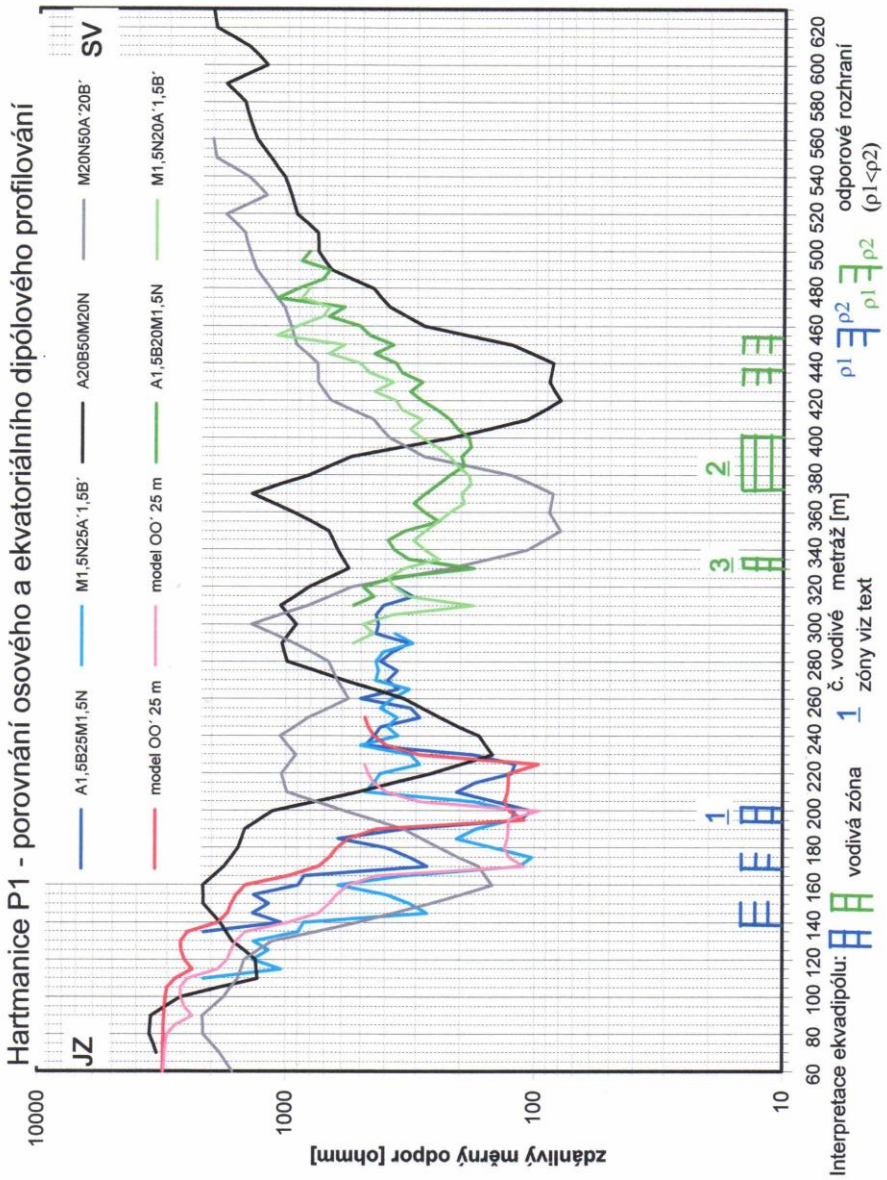
Další ukázka je z úplně jiného rezortu hospodářství. Při budování či rekonstrukcích stanic katodické ochrany (SKAO) závisí výkon stanice na kvalitě anodového uzemnění. Kvalitu lze posoudit velikostí odporu [ohm] anody proti zemi. Kvalitní anoda má odpor v jednotkách ohmů. Původně se používaly anody horizontální, Těleso anody představovala ocelová trubka s průměrem v decimetrech o délce kolem 150-200 m, která se ukládala do hloubky 1-3 metry.

Nyní se stále častěji uplatňují vertikální anody, kdy se ferosilitové trubky o délce 1m postupně od spoda vkládají do nezapaženého vrtu. Ideální je situovat vrty do hornin s nízkým měrným odporem jako jsou jíly, jílovce či slínovce.

V následujícím uvedu příklad, kdy v údolí Chodoveckého potoka v Praze 10 byla vybudována SKAO Záběhlice zámek s anodou v jednom 50metrovém vrtu v břidlicích vinického souvrství ordoviku. Stanice měla nízký výkon a byl vypracován projekt rekonstrukce anody včetně realizace odporového průzkumu metodou VES a ekvatoriálním dipólovým profilováním. Metoda VES ukázala, že ordovické břidlice mají vyvinuto eluvium s měrným odporem kolem 40 ohmm o mocnosti menší než 10 m a odpor horniny pod eluviem je kolem 80 – 100 ohmm. Ekvatoriálním dipólovým profilováním se na profilu, který uvádíme na obr. 7, podařilo cca 10 m od starého vrtu s anodou lokalizovat výraznou vodivou zónu, do které byl následně lokalizován první vrt ze 3 projektovaných 50metrových vrtů v rámci rekonstrukce. Podle prostorových podmínek projektu už nebylo možno další dva vrty umístit do směrného pokračování vodivé zóny. Ty musely být již umístěny do odporového prostředí, které charakterizuje graf v metráži 0-30 v obr. 7. První vrt měl ze všech 3 vrtů nejnižší odpor. Aktuálně, po deseti letech od realizace, má anoda stále celkový odpor výrazně pod 3 ohm.

Poslední ukázka je z lokality Hartmanice, kde se v rámci mapování provádělo odporové měření osovým dipólem. Využili jsme svolení autora a profil P1 jsme přeměřili ekvatoriálním dipólem. Samotný profil byl obnoven podle poskytnutých souřadnic s chybou nejvýše $\pm$3 m. Vysledek – porovnání obou měření - jsme pak předali i autorovi

osového dipólu, včetně modelového grafu tenké vodivé desky kolem metráže 200 programem RES2DMOD. Zde uvádíme porovnání obou měření níže v obr. 8.



Obr. 8: Lokalita Hartmanice – Porovnáni měření osovým a ekvatoriálním dipólem

Fig. 8: Lokality Hartmanice – Comparison measurings dipole – dipole and equatorial dipole

Na úvod je třeba zmínit stručně geologickou situaci profilu P1. Profil je v pararulách moldanubika, kde směr honinových pruhů je SZ-JV, profil P1 má směr SV-JZ, tedy kolmý na směr horninových pruhů. Tektonika SZ-JV je v geologické mapě uvedena pouze podél koryta Volšovky, kde má osový dipól v metráži 600 drobné minimum, ale druhá větev k potoku nedosáhla.

Osový dipól byl měřen s délkou dipólů 20 m, vzdáleností mezi dipóly 50 m a krokem měření 10 m. Ekvatoriální dipol byl měřen s délkou dipoĺů 1,5 m, vzdáleností mezi dipóly 20 a 25 m a krokem měření 5 m. Délka roztažení osového dipólu je zhruba čtyřnásobná proti ekvatoriálním. Poměr vzdálenosti mezi dipóly k délce dipólů (n) je u osového 2,5, u ekvatoriálních je to cca 13,3 a 16,6. Efektivní hloubka (z_e) podle Edwardse (1977) činí u osového uspořádání 16,6, u ekvatoriálnich 7,9 a 9,8.

Osovým dipólem byly indikovány dva vodivé průsečíky v metráži 205 a 395, přesný výsledek interpretace neznáme.

Ekvatoriálním dipólem jsme lokalizovali na profilu 3 vodivé zóny, první odpovídá vodivému průsečíku osového dipólu v metráži 205, druhá průsečíku v metráži 395 a třetí nebyla osovým dipólem indikována. Toto číslování je i v obr. 8. Předpokládáme, že mocnost zón vyznačená v obr. 8, odpovídá mocnosti ve výchoze. Vzhledem k použitému roztažení lze zóny č. 1 a 3 aproximovat jako tenké vodivé desky a předpokládáme, že odpovídají běžným tektonickým poruchám. Zóna č. 2 je mimořádná svoji mocností cca 29 m, ale i zde předpokládáme

tektonický původ. Krátce se vrátíme k zóně č. 1. Z modelování vyšla mocnost zóny 6 m od povrchu až do hloubky 10 m, pak byla mocnost zúžena na 2,5 m, odpor výplně vyšel 13 ohmm.
Z porovnání osového a ekvatoriálního dipólu vyplývá, že použitý osový dipól neposkytuje dostatečně přesné informace o výchozu vodivých zón.

4. Závěr

Ve svém příspěvku seznamuji geologické a geofyzikální uživatele s frekvenčním přijímačem pro měření odporu a vyzvané polarizace FRPA, který ve spolupráci s moduly proudového okruhu (GEP, GESTA a GEVY 100 nebo GEVY1000) umožňuje produktivní měření zdánlivého odporu a VP i v oblastech s velmi silným rušením. Aparatura pracuje nejefektivněji zejména na frekvenci 5 Hz v odporovém profilování. Vysoká citlivost aparatury v dolní mezi 0,1 až 0,2 mV umožnila přechod na odporové profilování s ekvatoriálním uspořádáním elektrod. Toto uspořádání, které nebylo se stejnosměrnými aparaturami při běžných hloubkových zásazích vůbec realizovatelné, se nyní dalo měřit nikoliv s běžnou 4 člennou obsluhou, ale jen ve dvou lidech, protože bylo možno snížit délku dipólů na 1 až 1,5 m. K tomu je třeba přičíst vyšší rychlost měření proti měřením stejnosměrným. S dvoučlennou obsluhou se přitom měří elektrodová uspořádání s poměrem délky uspořádání ku délce dipólu (parametr *n*) mezi 10 až 20. To přináší další výhodu v detailním proměření odporových anomálií (viz obr. 3 výše), a tedy i snazší interpretovatelnost grafů.
Záměrem příspěvku nebyla propagace aparatury FRPA, ale snaha upoutat zájem uživatelů o frekvenční přijímače pro měření měrného odporu a vyzvané polarizace obecně. Jsem přesvědčen, že takové aparatury dnes na západním trhu existují a mají pravděpodobně lepší parametry než aparatura FRPA. Jde jen o to zjistit, co trh konkrétně nabízí.
Ještě před uvedením aparatury FRPA do provozu byl na závodě Praha Geofyziky, a. s., v 80. letech k dispozici frekvenční příjímač I.P. RECEIVER R401 GEOMITE firmy GEOTRONICS CORPORATION. Přístroj byl bez vysílače, ale tehdy byl již k dispozici modul GEP, se kterým měl příjímač řadu frekvencí společných. Sám jsem s přístrojem měřil symetrické profilování s rozestupem A120M20N120B v předpolí lomu Merkur na Chomutovsku na dohled od pásových dopravníků a rypadel s dobrou přesností při frekvenci 0,3 nebo1 Hz. Přístroj má konkrétně nejnižší rozsah 0,1 mV, mohl tedy být již tehdy citlivější než FRPA.
Pak je tu ještě další možnost, nepochybně nepříliš reálná, že by se výroby frekvenčního vysilače a přijímače ujala česká firma na základě vysoké poptávky a s potřebnou dotací pro vývoj od ministerstva.

Seznam literatury

Bloch I.M., 1962: *Elektroprofilirovanie metodom soprotivlenij*. Moskva
ČGS: *Geovědní mapy ČR 1 : 50 000, list 11-24*
Edwards, L.S. 1977: *A Modified Pseudosection for Resistivity and IP.* Geophysics, Vol. 42, No 5.
Příhoda K., 1988: *Frekvenční přijímač pro měření odporu a vyzvané polarizace FRPA. Návod k obsluze a údržbě.* Geofyzika s. p. BRNO, závod Praha
Příhoda K., 1989: *Metodika měření zdánlivého odporu a vyzvané polarizace s frekvenčním přijímačem FRPA.* Geofyzika s. p. BRNO, závod Praha

DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ NA BLÍZKO VE SLUŽBÁCH PAMÁTEK

USING CLOSE-RANGE REMOTE SENSING FOR CULTURAL HERITAGE

Eva Matoušková[1], Kateřina Kovářová[2], Michal Cihla[3]

[1]*Fakutla stavební ČVUT v Praze, katedra geomatiky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, e-mail: eva.matouskova@fsv.cvut.cz*
[2] *Fakulta stavební ČVUT v Praze, katedra geotechniky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, e-mail: katerina.kovarova@fsv.cvut.cz*
[3] *Fakulta stavební ČVUT v Praze, katedra geotechniky, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, e-mail: michal.cihla@fsv.cvut.cz*

Abstrakt: Metody dálkového průzkumu Země na blízko představují přesný a neinvazivní nástroj pro dokumentaci, analýzu a diagnostiku historických kamenných artefaktů a staveb. Jejich hlavním přínosem je získávání prostorových a spektrálních dat s vysokým rozlišením, která umožňují hodnotit stav materiálů bez odběru vzorků. Hodnocení povrchových změn je založeno na fotogrammetrickém snímání a tvorbě přesných 3D modelů, jejichž vzájemné porovnání pomocí metrik cloud-to-cloud distance nebo M3C2 umožňuje detekovat i velmi jemné změny povrchu a účinnost restaurátorských zásahů. Provenience historických stavebních materiálů je určována pomocí odrazivostní spektrometrie v blízké a střední infračervené oblasti, kdy jsou spektrální signatury porovnávány s referenčními databázemi za využití klasifikačních algoritmů. Analýza biokolonizace využívá hyperspektrální snímkování v oblasti VNIR, které umožňuje identifikovat biologické povlaky, rozlišovat jejich typy a sledovat jejich vývoj v čase na základě charakteristických spektrálních projevů. Integrace fotogrammetrie, spektrometrie a hyperspektrálního snímkování vytváří komplexní diagnostický rámec pro výzkum kulturního dědictví a poskytuje podklady pro konzervaci, restaurování i dlouhodobý monitoring historických objektů.

Abstract: Remote sensing methods represent an accurate and non-invasive tool for the documentation, analysis and diagnosis of historical stone artefacts and structures. Their main benefit lies in the acquisition of high-resolution spatial and spectral data, which enable the evaluation of the material condition without the need for sampling. The assessment of surface changes is based on photogrammetric imaging and the creation of precise 3D models; comparing these models using cloud-to-cloud distance (M3C2) metrics makes it possible to detect even very subtle surface changes and to evaluate the effectiveness of restoration work. The provenance of historical building materials is determined using reflectance spectroscopy in the near- and mid-infrared regions, whereby spectral signatures are compared with reference databases using classification algorithms. Bio-colonisation analysis utilises hyperspectral imaging in the VNIR region, which enables the identification of biological coatings, the differentiation between their types, and the monitoring of their development over time based on characteristic spectral features. The integration of photogrammetry, spectrometry and hyperspectral imaging creates a comprehensive diagnostic framework for cultural heritage research and provides a basis for the conservation, restoration and long-term monitoring of historic buildings.

Klíčová slova: fotogrammetrie, odrazivostní spektrometrie, hyperspektrální snímkování, historický kámen, průzkum památek, restaurování.

Key words: photogrammetry, reflectance spectroscopy, hyperspectral imaging, historic stone, heritage surveying, restoration.

1. Úvod

Kamenné stavební prvky, architektonické články, sochařská díla i archeologické artefakty představují významnou součást kulturního dědictví. Jejich dlouhodobé zachování vyžaduje detailní poznání materiálových vlastností, mechanismů degradace i účinků konzervačních zásahů. Tradiční analytické metody jsou často založeny na odběru vzorků, což je u historických památek nežádoucí nebo zcela nemožné.
Významnou alternativu proto představují blízké metody dálkového průzkumu Země (DPZ), které byly původně rozvíjeny především pro potřeby geologie, kartografie či environmentálního výzkumu. V posledních letech nacházejí stále širší uplatnění také v oblasti péče o kulturní dědictví, kde umožňují získávat přesná prostorová a spektrální data bez fyzického zásahu do zkoumaného objektu (Matoušková et al., 2024; Hodač et al., 2023).
Mezi nejvýznamnější metody využívané při výzkumu historického kamene patří blízká fotogrammetrie, odrazivostní spektrometrie a hyperspektrální snímkování. Každá z těchto metod poskytuje odlišný typ informací, které se navzájem vhodně doplňují. Zatímco fotogrammetrie umožňuje detailní dokumentaci tvaru a topografie

povrchu, spektrometrické a hyperspektrální metody poskytují informace o spektrální odrazivosti, která vychází z mineralogického složení materiálů a biologických procesů probíhajících na jejich povrchu (Matoušková et al., 2025; Matoušková et al., 2024).

2. Fotogrammetrie

2.1 Identifikace historických stop opracování kamene

Povrch historických kamenných prvků představuje významný zdroj informací o stavební historii objektu, použitých technologiích i úrovni řemeslného zpracování. Stopy po opracování jsou nedílnou součástí autenticity památky a často představují jediný dochovaný doklad pracovních postupů středověkých a novověkých kameníků. Každý nástroj používaný při opracování kamene zanechává na povrchu charakteristický soubor stop. Tvar, rozměry, hloubka i vzájemné uspořádání těchto stop umožňují identifikovat konkrétní typ nástroje a často také rekonstruovat způsob jeho použití. Zachované opracování proto poskytuje cenné informace o technologických postupech, organizaci kamenické výroby i regionálních tradicích jednotlivých kamenických hutí (Cihla et al., 2022).

Výzkum těchto stop vychází z metod mechanoskopie a trasologie, původně rozvíjených v kriminalistice. Mechanoskopie se zabývá identifikací nástroje, který stopu vytvořil, zatímco trasologie studuje samotný tvar a charakter stopy. V archeologii a památkové péči se tyto přístupy využívají k rekonstrukci historických nástrojů a pracovních postupů (Cihla et al., 2022).

Základním dokumentačním prostředkem je reliéfní fotografie s bočním osvětlením, při níž jednotlivé záseky vytvářejí stíny zvýrazňující strukturu povrchu. Pro podrobné vyhodnocení však dnes stále větší význam získávají metody blízkého DPZ, zejména vícesnímková fotogrammetrie. Ta umožňuje vytvořit přesný trojrozměrný model povrchu, na němž lze analyzovat jednotlivé stopy v milimetrovém či submilimetrovém měřítku (Cihla et al., 2022; Hodač et al., 2023).

Digitální modely následně umožňují vytvářet podélné a příčné profily stop, analyzovat jejich geometrii a měřit parametry, které by byly při běžném vizuálním hodnocení obtížně zjistitelné. Z podélného profilu lze například určit dynamiku úderu nástroje, zatímco příčné řezy slouží k rekonstrukci tvaru ostří. Díky tomu lze odlišit stopy po špičáku, dlátu, sekerách s plochými zuby nebo po dvojhrotých nástrojích (Cihla et al., 2022).

Významným přínosem digitální dokumentace je možnost vytváření databází historických stop a jejich porovnávání mezi jednotlivými objekty. Na území Pražské památkové rezervace tak byla vytvořena rozsáhlá databáze kamenických stop dokumentující vývoj kamenického řemesla od románského období po novověk. Ukázalo se, že některé způsoby opracování jsou charakteristické pouze pro určité historické období a mohou být využity jako pomocné datovací kritérium. Typickým příkladem je používání sekery s plochými zuby (obr. 1) od druhé poloviny 13. století do konce 14. století v Čechách (Cihla et al., 2022).

Obr. 1 Opracování sekerou s plochými zuby, Staroměstská mostecká věž, 14. století.
Fig. 1 Working with a flat-toothed axe, Old Town Bridge Tower, 14th century.

Identifikace stop po opracování má zásadní význam také při plánování restaurátorských zásahů. Historické stopy představují autentickou součást památky a jejich poškození může znamenat nevratnou ztrátu informací. Fotogrammetrické modely pořízené před a po restaurátorském zásahu umožňují objektivně vyhodnotit, zda došlo ke změnám povrchu nebo deformaci kamenických stop. Lze tak kvantifikovat míru zásahu a vybrat šetrnější restaurátorské postupy (Hodač et al., 2023). Spojení trasologické analýzy s přesnou digitální dokumentací tak představuje významný příklad využití blízkého dálkového průzkumu Země v památkové péči. Metody původně vyvinuté pro geodézii a dálkový průzkum umožňují nejen dokumentovat současný stav historických objektů, ale také rekonstruovat technologické postupy jejich vzniku a přispívat k hlubšímu poznání stavebních dějin.

2.1 Fotogrammetrie jako nástroj dokumentace povrchových změn

Fotogrammetrie patří v současnosti mezi nejrozšířenější metody prostorové dokumentace historických objektů. Moderní postupy založené na algoritmech Structure from Motion (SfM) a Multi-View Stereo (MVS) umožňují vytvořit velmi podrobné trojrozměrné modely z běžných digitálních fotografií. Významnou výhodou této metody je relativně nízká cena vybavení při současném dosažení velmi vysoké geometrické přesnosti. Při dokumentaci historických kamenných artefaktů byly za přesného dodržení vhodné metodiky dosaženy přesnosti modelů v rozmezí 0,05 až 0,20 mm. Přesnost vzájemného zarovnání modelů pořízených před a po restaurátorském zásahu dosahovala přibližně 0,15 mm, což umožňuje spolehlivě identifikovat i velmi drobné změny topografie povrchu. Vytvořená mračna bodů běžně obsahují 13 až 25 milionů bodů, v některých případech i více než 90 milionů bodů. Takto detailní data umožňují analyzovat změny způsobené čištěním, degradací nebo restaurováním kamenných povrchů (Hodač et al., 2023).

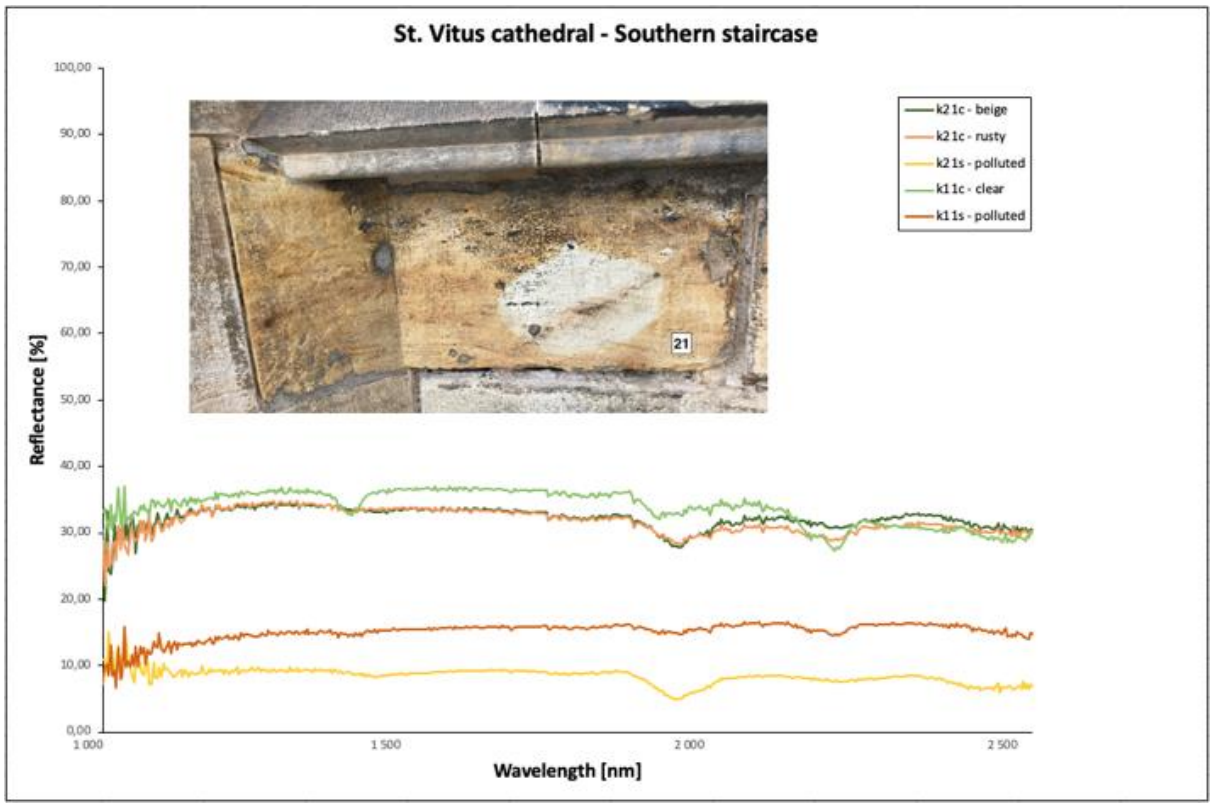
Porovnání modelů v čase lze provádět pomocí metod cloud-to-cloud distance nebo pokročilých algoritmů M3C2. Tyto přístupy umožňují kvantifikovat úbytek materiálu a identifikovat poškození historických kamenických stop. Praktické aplikace ukázaly, že fotogrammetrie dokáže odhalit rozdíly mezi šetrnými a destruktivními restaurátorskými metodami, které nejsou pouhým okem snadno rozpoznatelné. Výsledky experimentů ukázaly, že například čištění laserem nebo použití čpavkové vody nevedlo k měřitelným změnám historických kamenických stop na povrchu opuky, zatímco čištění ocelovým kartáčem způsobilo významný úbytek materiálu a deformaci povrchových detailů, viz obr. 2 (Hodač et al., 2023).

Obr. 2 Opukový fragment ošetřený čpavkovou vodou (A) a ocelovým kartáčem (B) (uprostřed vpravo), s vyznačením řezů použitých k vyhodnocení změn po restaurátorských zásazích (uprostřed vlevo), detail povrchu očištěný čpavkovou vodou (dole vlevo) a detail povrchu s jasně viditelnými rýhami po použití kovového kartáče (dole vpravo) (převzato z Hodač et al., 2023).
Fig. 2 Marlstone fragment treated with ammoniac water (A) and steel brush (B) (centre right), with an indication of sections used to evaluate changes after restoration interventions (centre left), surface detail cleaned with ammoniac water (bottom left) and surface detail with clear grooves after using a metal brush (bottom right) (taken from Hodač et al., 2023).

3. Odrazivostní spektrometrie a určování provenience kamene

Identifikace původu stavebního kamene představuje jeden z klíčových problémů památkové péče. Znalost provenience historického materiálu je důležitá nejen pro poznání stavební historie objektu, ale také pro výběr vhodného materiálu při rekonstrukcích a doplňování poškozených částí. Klasické petrografické analýzy vyžadují odběr vzorků a často nedokážou jednoznačně určit původ horniny. Proto narůstá význam nedestruktivních metod, jako např. odrazivostní spektrometrie (Matoušková et al., 2025).
Metoda využívá měření odrazivosti materiálu ve spektrálním rozsahu 900 až 2500 nm pomocí přenosného spektrometru, který v daném spektrálním rozsahu měří více než 500 pásem. Každý materiál vykazuje charakteristickou spektrální signaturu, která odráží jeho mineralogické složení a strukturu. Naměřené spektrum

lze následně porovnat s referenční databází známých hornin a určit nejpravděpodobnější materiálovou shodu (Clark, 1999; Van der Meer, 2018). Ve spektrální oblasti SWIR se u pískovců vyskytují diagnostické absorpční pásy odpovídající především hydroxylům, molekulám vody a karbonátům. Absorpční pás kolem 2200 nm bývá spojován s jílovými minerály, například kaolinitem či illitem. Oblast kolem 2300 nm umožňuje identifikovat přítomnost karbonátů nebo chloritů (Bowitz a Ehling, 2008; Laukamp et al., 2021).
Pro porovnávání křivek se používají matematické klasifikační algoritmy. Velmi dobrých výsledků dosahuje metoda Spectral Angle Mapper (SAM), která hodnotí podobnost spekter pomocí výpočtu spektrálního úhlu mezi referenční a neznámou křivkou. Čím menší je vypočtený úhel, tím vyšší je pravděpodobnost materiálové shody (Kruse et al., 1993; Matoušková et al., 2025).
Praktické ověření metody a potvrzení jejího potenciálu proběhlo například při výzkumu jižního schodiště katedrály sv. Víta v Praze. Pomocí této metody se nám podařilo přesvědčivě určit původ vybraných kamenných kvádrů z realizovaných oprav na přelomu 19. a 20. století a ve 20. století. Ve všech případech byly mezi prvními pěti opticky nejpodobnějšími horninami pískovce hořické skupiny (Podhorní Újezd a Boháňka), jejichž použití v tomto období je pro opravy katedrály doloženo písemně (Matoušková et al., 2025).
Přes vysoký potenciál a užitečnost metody je třeba počítat s určitými omezeními. Výsledky mohou být ovlivněny povrchovým znečištěním, biologickými povlaky, produkty zvětrávání nebo dříve aplikovanými restaurátorskými prostředky (obr. 3).



Obr. 3 Příklad ovlivnění křivek spektrální odrazivosti přítomností povrchových nečistot u zkoumaného kvádru jižního schodiště katedrály sv. Víta (převzato z Kovářová et al., 2025).

Fig. 3 Example of stone impurities impact on spectral reflectance curves, observed at the southern staircase of St. Vitus Cathedral (taken from Kovářová et al., 2025).

3. Hyperspektrální snímání biologické degradace

Biologické procesy patří mezi významné faktory degradace historického kamene. Mechy, lišejníky, řasy nebo sinice mohou produkovat organické kyseliny, zadržovat vlhkost a urychlovat chemické i fyzikální zvětrávání hornin (Winkler, 1997).
Pro sledování těchto procesů se stále více využívá hyperspektrální snímání. Na rozdíl od multispektrálních systémů zaznamenávají hyperspektrální senzory stovky úzkých spektrálních pásem a poskytují spojitou spektrální křivku pro každý pixel obrazu (Kruse et al., 2002; Matoušková et al., 2024).
Pro analýzu biokolonizace historického kamene se obvykle využívá oblast VNIR v rozsahu přibližně 400 až 1000 nm. V této oblasti lze identifikovat charakteristické projevy biologických povlaků, zejména absorpční pásy

chlorofylu, zvýšenou odrazivost v zelené části spektra a tzv. red-edge přechod mezi přibližně 680 a 750 nm (Matoušková et al., 2024).
Vyhodnocení dat může probíhat pomocí vegetačních indexů, například NDVI, RGRI, CRI1 nebo VREI1. Ty umožňují sledovat vitalitu vegetace, sezónní změny nebo stresové reakce organismů (Rouse et al., 1973; Gamon a Surfus, 1999; Gitelson et al., 2002).
Další možností je využití klasifikace založené na spektrálních křivkách. V případě historických kamenných povrchů byly rozlišovány třídy reprezentující mechy, lišejníky, maltu, samotný pískovec a další povrchové typy. Klasifikace pomocí algoritmu Spectral Angle Mapper umožnila sledovat změny rozsahu jednotlivých biologických společenstev během roku (Matoušková et al., 2024).
V rámci experimentálního výzkumu byla použita hyperspektrální kamera Headwall VNIR A-series pracující v rozsahu 400 až 1000 nm s 810 spektrálními pásmy. Při snímací vzdálenosti 2 m bylo dosaženo prostorového rozlišení přibližně 0,2 mm na pixel, což umožnilo sledovat velmi drobné biologické struktury na povrchu kamene. Výsledky např. ukázaly sezónní pokles vegetace během podzimních a zimních měsíců a naopak zvýšenou aktivitu během vegetační sezóny. Hyperspektrální metody tak poskytují cenné informace nejen o aktuálním stavu biokolonizace, ale i o jejím vývoji v čase (Matoušková et al., 2024).

4. Závěr

Blízké metody dálkového průzkumu Země představují moderní a vysoce efektivní soubor nástrojů pro výzkum historických kamenných objektů. Fotogrammetrie umožňuje sledovat změny topografie povrchu s přesností v řádu desetin milimetru a poskytuje objektivní podklady pro hodnocení restaurátorských zásahů. Odrazivostní spektrometrie nabízí nedestruktivní možnost určování provenience stavebního kamene na základě jeho spektrálních vlastností a představuje perspektivní alternativu k tradičním petrografickým metodám. Hyperspektrální snímání umožňuje detailní sledování biologické degradace, identifikaci různých typů biokolonizace a monitoring jejich časového vývoje.
Největší přínos blízkých metod dálkového průzkumu Země spočívá v možnosti jejich vzájemné kombinace. Kombinace geometrických a spektrálních metod vytváří robustní diagnostický rámec, který významně rozšiřuje možnosti neinvazivního průzkumu kulturního dědictví a přináší nové možnosti pro konzervaci, restaurování i dlouhodobou ochranu historických kamenných památek.
S rozvojem hyperspektrálních senzorů, automatizovaných klasifikačních algoritmů a metod strojového učení lze očekávat další zvyšování přesnosti i rychlosti zpracování dat. Zároveň se rozšiřují referenční databáze hornin a biologických materiálů, což přispívá k vyšší spolehlivosti interpretace výsledků.

Poděkování: Tento příspěvek vznikl za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci programu INTER-EXCELLENCE II č. LUABA24083 „Paměť vepsaná do kamene“.

Seznam literatury

Bowitz, J., Ehling, A., 2008: *Non-destructive infrared analyses: a method for provenance analyses of sandstones*. – Environ Geol 56, str. 623-630.
Cihla, M., Kovářová, K., Matoušková, E., Valach, J., Bartoš, L., Semerád, M., Tryml, M., Ebelová, I., Suchý, M., Rafl, T., Panáček, M., Měchura, P., Malát, R., Veselý, L., 2022: *Praha kamenná*. – Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, Praha.
Clark, R.N., 1999: *Chapter 1: Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy*. – Manual of Remote Sensing. Remote Sensing for the Earth Sciences, 3, str. 1-77.
Gamon, J., Surfus, J. 1999: *Assessing Leaf Pigment Content and Activity with a Reflectometer*. – The New Phytologist 143(1), str. 105-117.
Gitelson, A., Zur, Y., Chivkunova, O. B., Merzlyak, M. N., 2002: *Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy*. – Photochemistry and Photobiology 75(3), str. 272-281.
Hodač, J., Kovářová, K., Cihla, M.; Matoušková, E., Frommeltová, E., 2023: *Photogrammetric Documentation of Stone Surface Topography Changes as a Tool in Conservation Praxis*. – Buildings 13(439), str. 1-19.
Kovářová, K., Matoušková, E., Cihla, M., Dáňová, H., Roháček, J., 2025: *New methods collection to identify the building and decoration stones provenance*. – npj Herit. Sci. 13(42), str. 1-14.
Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. B., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J., Goetz, A. F. H., 1993: *The spectral image processing system (SIPS)—interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data*. – Remote Sensing of Environment 44(2–3), str. 145-163.
Laukamp, C., Rodger, A., LeGras, M., Lampinen, H., Lau, I.C., Pejcic, B., Stromberg, J., Francis, N., Ramanaidou, E., 2021: *Mineral physicochemistry underlying feature-based extraction of mineral abundance and composition from shortwave, mid and thermal infrared reflectance spectra*. – Minerals 11, str. 1-37.

Matoušková, E., Kovářová, K., Cihla, M., Hodač, J., 2024: *Monitoring biological degradation of historical stone using hyperspectral imaging*. – European Journal of Remote Sensing 57(1), str. 1-14.
Matoušková, E., Kovářová, K., Cihla, M., 2025: *Reflectance Spectroscopy as a Tool for Identification of Historic Stone*. – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVIII-M-7-2025, str. 163-168.
Rouse, J., Haas, R., Schell, J., Deering, D., 1973: *Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS*. – Third ERTS Symposium, NASA, Goddard Space Flight Center, str. 309-317.
Van der Meer, F., 2018: *Near-infrared laboratory spectroscopy of mineral chemistry: a review*. – Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf 65, str. 71-78.
Winkler, E.M., 1997: *Stone in Architecture: Properties, Durability 3rd. edn*. Springer, Berlin.

LOKALIZACE ZASYPANÝCH VĚTRACÍCH ŠACHET NAD DŮLNÍM KOMPLEXEM RICHARD II

LOCATION OF BURIED VENTILATION SHAFTS ABOVE THE RICHARD II MINE COMPLEX

Jiří Nedvěd[1], Jiří Činka[2]

[1]SG Geotechnika a. s., Geologická 988/4, 152 00 Praha e-mail: jiri.nedved@geotechnika.cz
[2] GT – IG s. r. o., Dělená 957/1, 155 00 Praha 5, e-mail: gt-ig@seznam.cz

Abstrakt: V důlním komplexu Richard II je od roku 1964 provozováno úložiště radioaktivního institucionálního odpadu spravované SÚRAO. V rámci zajištění bezpečného provozu byla řešena lokalizace větracích šachet, jejichž vyústění byla známa v podzemí, avšak jejich poloha na povrchu je nejasná.. Průzkum byl proveden ve čtyřech polygonových plochách 20 × 20 m, vymezených na základě předpokládané polohy šachet odvozené z podzemní dokumentace. Lokalizace byla řešena komplexním přístupem kombinujícím analýzu historických map, leteckých snímků, analýzu výškopisu a povrchový geofyzikální průzkum využívající komplex vzájemně se doplňujících metod. Výsledná interpretace byla ve všech případech úspěšně ověřena strojně kopanými sondami ve kterých byl dále proveden geotechnický a báňský průzkum.

Abstract: Since 1964, a repository of radioactive institutional waste managed by SÚRAO has been operating in the Richard II mine complex. To ensure safe operation, the location of ventilation shafts was solved, the outlets of which were known underground, but their location on the surface was not knownt. The survey was carried out in four polygon areas of 20 × 20 m, defined on the basis of the expected position of the shafts derived from the underground documentation. The localization was solved by a comprehensive approach combining the analysis of historical maps, aerial photographs, altimetry analysis and surface geophysical survey using a complex of mutually complementary methods. The resulting interpretation was in all cases successfully verified by machine-dug probes, in which a geotechnical and mining survey was further carried out.

Klíčová slova: větrací šachty, geofyzikální metody, letecké snímky, geotechnika, sondy

Key words: ventilation shafts, , geophysical methods, aerial photograps, , geotechnics, pits

1. Úvod

Součástí stavebních činností na dole RICHARD bylo také budování svislých důlních děl (jam, komínů a velkoprofilových vrtů) pro účely větrání a dopravy. Tato díla byla zlikvidována zásypem z bezpečnostních důvodů buď přímo po válce, nebo nejpozději v souvislosti s výstavbou úložiště RAO. Místa těchto svislých nehomogenit v nadloží dolu jsou dnes jediné preferenční cesty pro srážkovou vodu do podzemí. Z těchto důvodů je nutné tato díla na povrchu nalézt a získat informace o jejich stavu.
Investorem bylo zadáno:
A – **lokalizovat svislá důlní** díla (dále jen SDD) na zadané ploše 15 x 15 m, jedná se o komíny či větrací šachty, jejichž poloha na povrchu se předpokládá na základě souřadnic paty SDD v podzemí. Předmětem je lokalizace čtyř větracích šachet označených 2, 21/4, 38 a 44. Byly zadané geofyzikální metody – radar, seismické metody, magnetometrie, elektrická odporová tomografie a dipólové elektromagnetické profilová ní.
B - popsat stav svislých důlních děl a jejich výplně, provést dynamické penetrace a strojně hloubené sondy – geotechnická část úkolu.
V příspěvku se věnujeme především vyhledání vyústění větrací komínů pod povrch terénu komplexním přístupem zahrnujícím geofyzikální měření a analýzu historických leteckých snímků, archivních plánů dolu RICHARD a výškopisu terénu.

2. Stručně historie dolu RICHARD

- Rozsáhlý systém důlních chodeb vzniklý těžbou vápence
- První zmínky o těžbě okolo roku 1860, pravděpodobně, právě podle jména předsedy představenstva důlní společnosti Richarda Mayera, byl důl pojmenován „Richard“. Společnost byla poprvé v obchodním rejstříku zapsána 22. 3. 1871 a na jmenované přepsána 20. 2. 1940.
- Těžilo se hlubinným způsobem na třech místech pod vrchem Bídnice, RICHARD I, II a III
- 1943 zastavena těžba vápence a němci rozjíždí projekt podzemní továrny, upravovány chodby na větší profil, duben 1945 v RICHARDU II haly dokončeny, těžba však již nezahájena
- Od roku 1964 do dnes SÚRAO provozuje úložiště institucionálního radioaktivního odpadu v části dolu RICHARD II a provádí další stavební úpravy

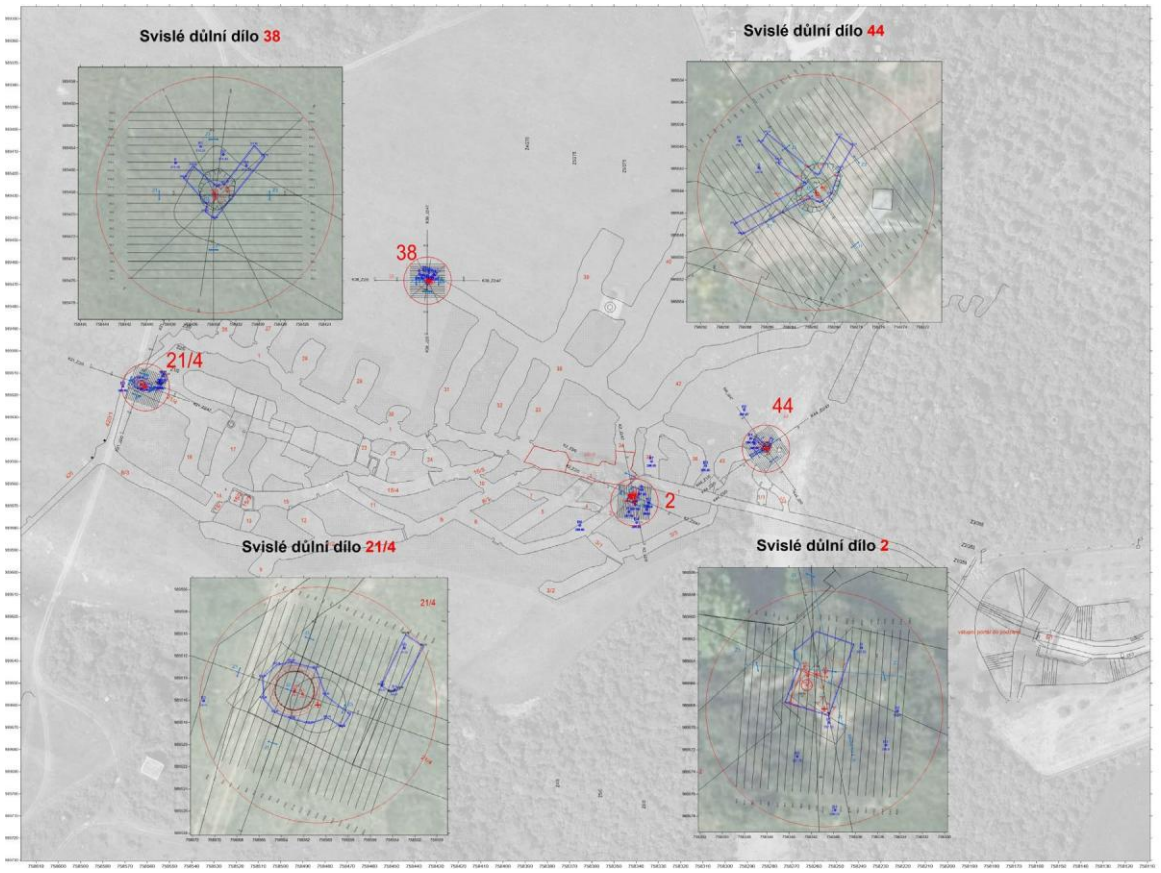
3. Použité podklady

- Německá mapa (projekt úprav v RICHARDU II) z roku 1944
- Letecké snímky 1945, 1957 a 1965 (CÚZK)
- Bodové pole v RICHARDU II
- Aktuální plán úložiště RICHARD II
- DMR 5G
- Předpokládané souřadnice pat hledaných větracích šachet v podzemí

4. Metodika vyhledávacích prací

1. Analýza archivních map a leteckých snímků a výškopisu
2. Plošné měření georadarem a případně magnetometrie v profilech s odstupem 0.75 m v polygonu 15 x 15 m
3. V interpretované anomálii z radaru provedení měření ERT, MRS, DEMP na dvou kolmých profilech o délce 47 m
4. V geofyzikální anomálii byla umístěna lehké dynamická penetrace a zároveň další mimo polygon pro srovnání
5. Větší dosažená hloubka lehké dynamické penetrace vůči srovnávacím potvrdila správnost interpretace geofyzikálního měření a byla v daném místě provedena strojně hloubená sonda s geotechnickým zhodnocením.

Obr. 1 Georadarové měření na větrací šachtě 21/4
Fig. 1 GPR Survey at Ventilation Shaft 21/4



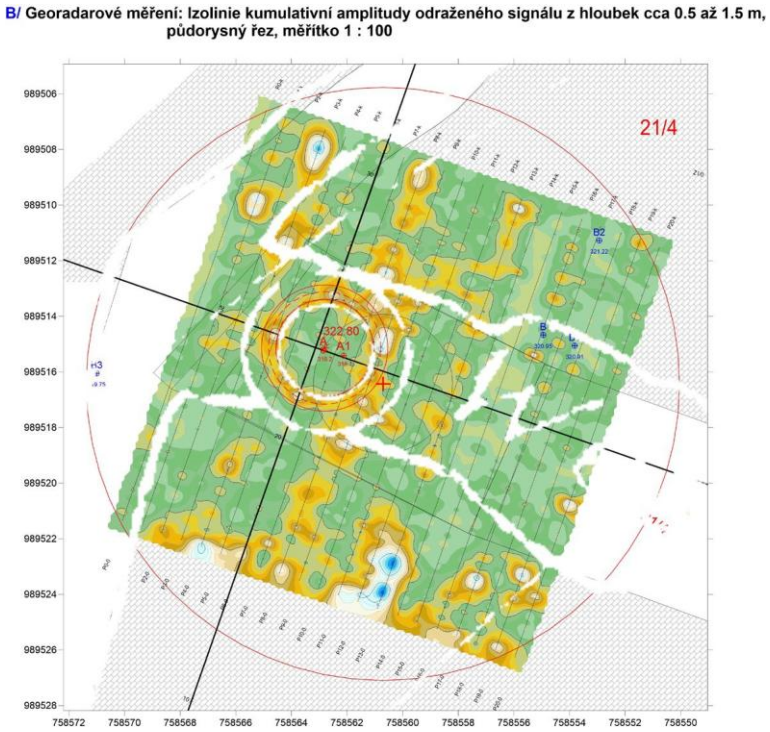
Obr. 2 Situace průzkumných prací
Fig. 2 Site plan of the investigation works

Obr. 3 Letecký snímek 1957 (CÚZK) + Übersichtsplan, Bauvorhaben Richard, Planungsstab B5, 9.11.1944
Fig. 3 Aerial photograp 1957 (CÚZK) + Übersichtsplan, Bauvorhaben Richard, Planungsstab B5, 9.11.1944

.

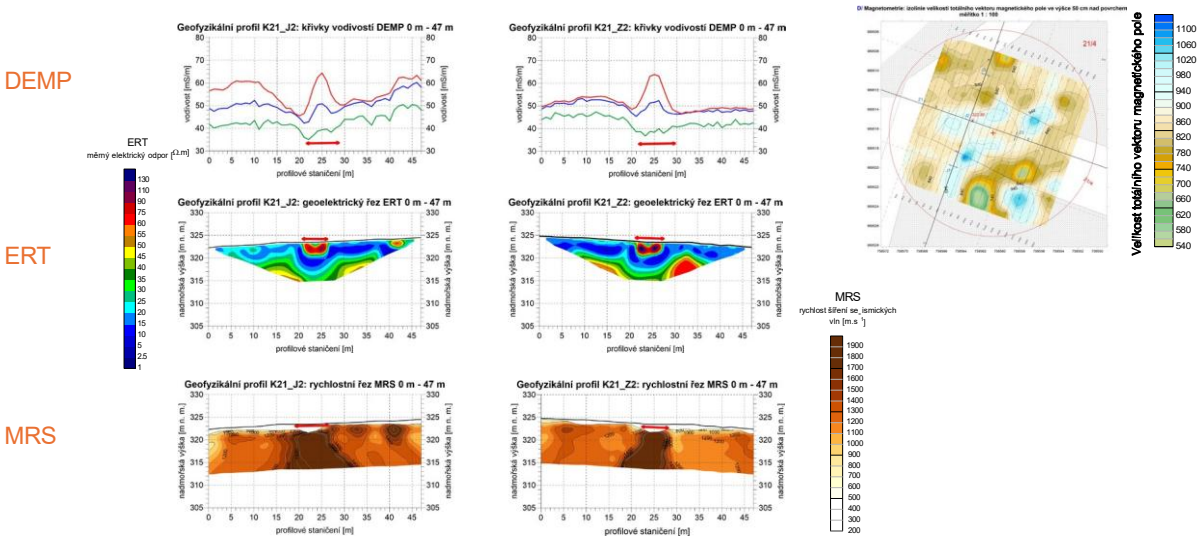
5. Větrací šachta 21/4

Plocha pro dohledání ústí větrací šachty 21/4 je bez rušivých prvků pro geofyzikální měření viz obr. 1. V archivní německé mapě z roku 1944 je zakreslena, ale v dostupných leteckých snímcích není zachycena.



Obr. 4 Výsledek georadarového měření, georeferencovaný plán z roku1944 a zaměřené ústí komínu v následně provedené kopané sondě

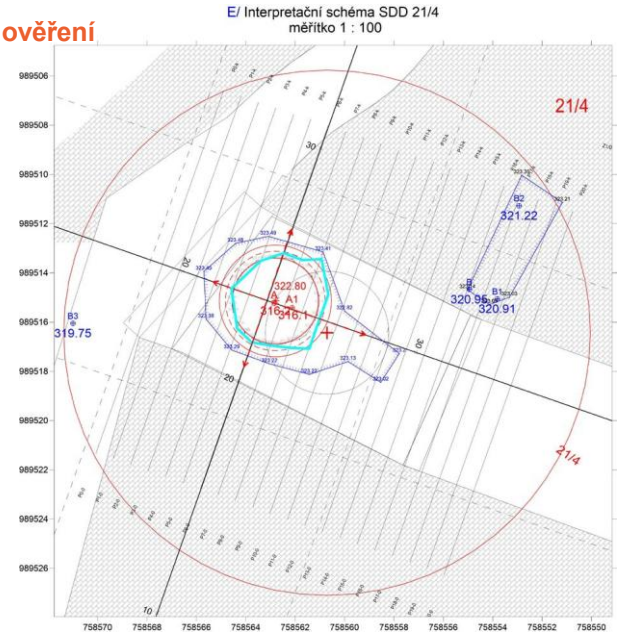
Fig. 4 Results of the ground-penetrating radar (GPR) survey, georeferenced 1944 map, and the ventilation shaft opening in a subsequently excavated trial pit.



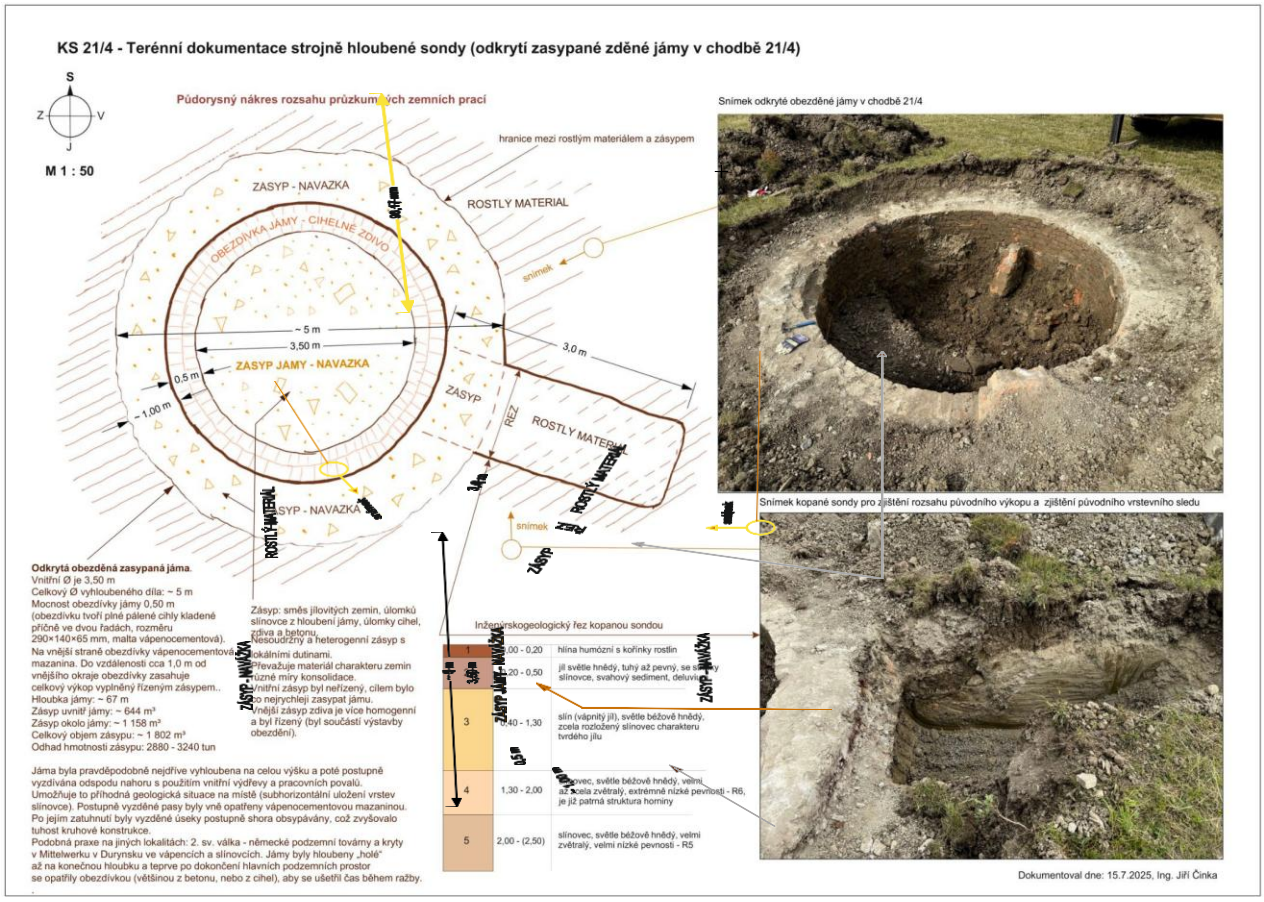
Obr. 5 Výsledky geofyzikálních měření vedených přes anomálii zjištěnou georadarem, větrací šachta 21/4

Fig. 5 Results of geophysical surveys conducted across a GPR anomaly, Ventilation Shaft 21/4

Větrací šachta 21/4 – interpretační schéma a ověření



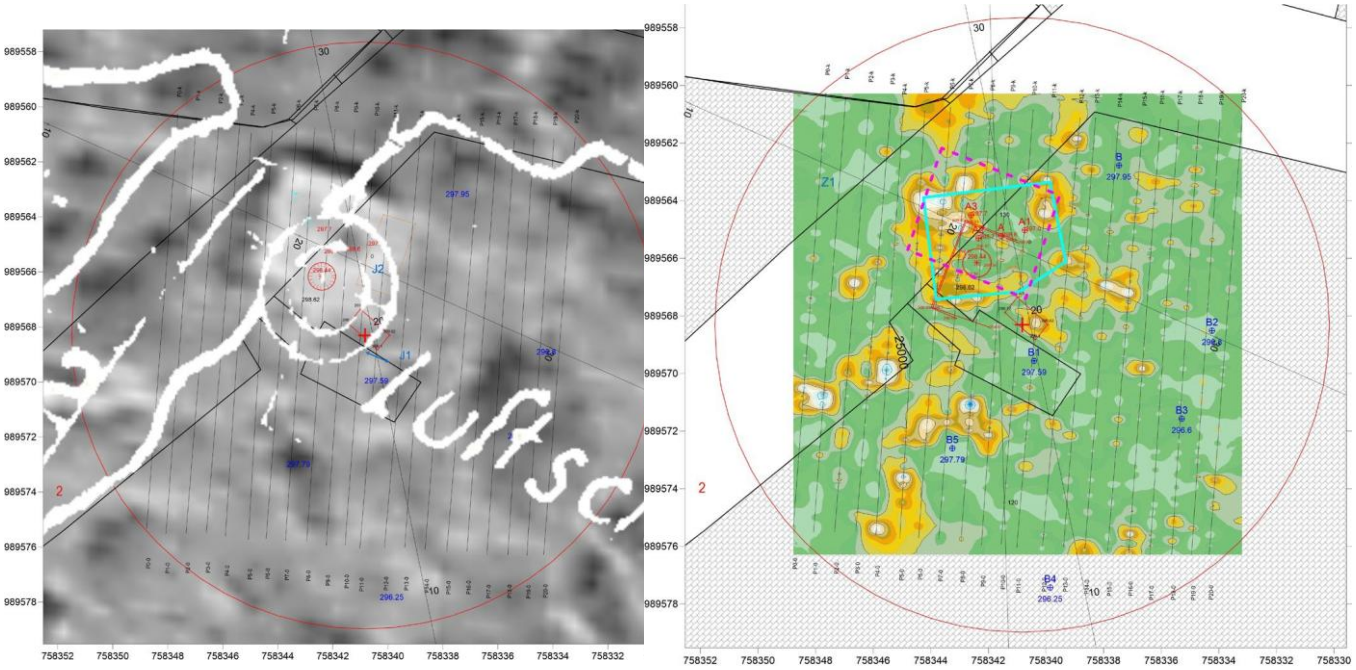
Obr. 5 Fotografie odhaleného ústí větracího komínu,interpretační schéma se zákresem georadarové anomálie, geodeticky zaměřeným ústím větracího komínu, kopaných sond
Fig. 5 Re Photograph of the exposed ventilation chimney opening and an interpretative diagram showing the GPR anomaly, the geodetically surveyed ventilation chimney opening, and the trial pits.



Obr. 6 Terénní dokumentace strojně hloubené sondy, větrací šachta 21/4
Fig. 6 Field documentation of a mechanically excavated trial pit, Ventilation Shaft 21/4

6. Větrací šachta 2

V předpokládaném místě vyústění větrací šachty 2 se nachází remíze, navezené čedičové balvany z pole, kusy betonu, armatur a nory Meles Meles, terén je nerovný a porostlý náletovými křovinami. Pro hledání nehomogenity v nehomogenním prostředí je pro geofyziku náročná úloha a pro lokalizaci ústí měla významnou úlohu analýza historických map, archivních leteckých snímků a jejich správné georeferencování.



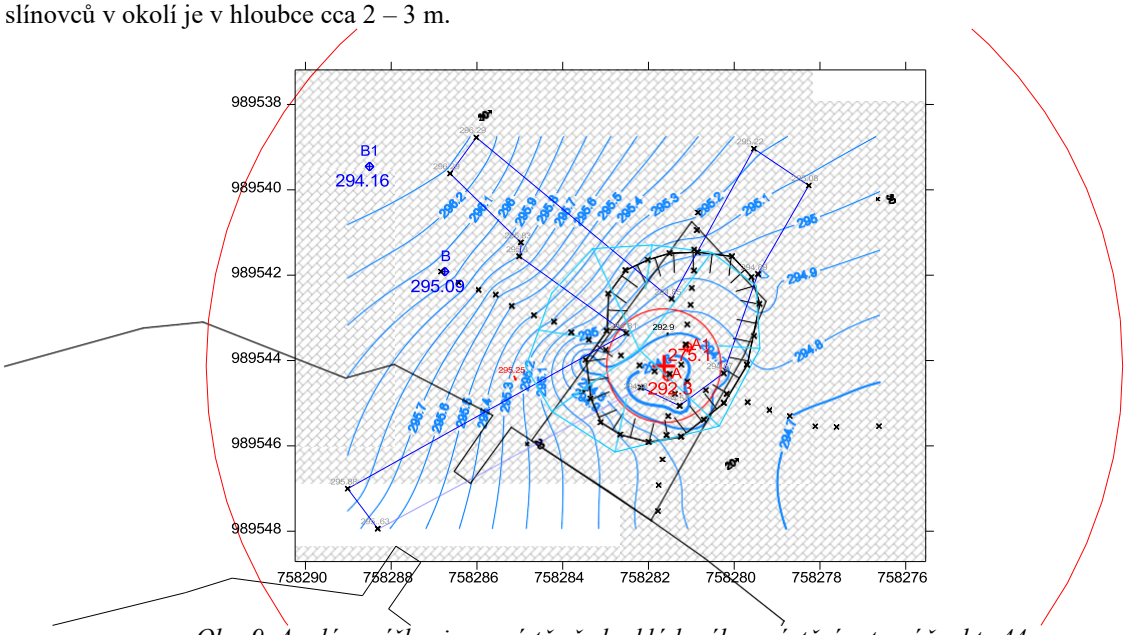
Obr. 7 Vlevo je analýza archivních podkladů a v pravo je interpretační schéma, větrací šachta 2
Fig. 7 Analysis of archival materials (left) and an interpretative schematic (right) for Ventilation Shaft 2

V levé části obr. 7 je sesazení leteckého snímku z roku 1957, archivní mapy z roku 1944, současný zákres podzemí, červený křížek je předpokládaná poloha paty větrací šachty, červené kolečko skutečná poloha ústí větrací šachty. V pravé časti je interpretační schéma se zaneseným obrysem pravoúhlého objektu z leteckého snímku (purpurová přerušovaná čára), interpretovaná anomálie (tyrkysová čára) a skutečná poloha ústí se zdivem „kapličky“.

Obr. 8 Fotodokumentace provedení kopané sondy v interpretovaném místě ústí větrací šachty 2
Fig. 8 Photographic documentation of a trial pit excavated at the interpreted location of the Ventilation Shaft 2

7. Větrací šachta 44

V zájmová ploše větrací šachty č. 44 se nachází stožár elektrického vedení, odval čedičových balvanů z pole. Pro geofyzikální měření opět složité prostředí. Významným pomocníkem pro lokalizaci ústí větrací šachty byla analýza výškopisu. Navržené dynamické penetrace vykázaly kyprý materiál do hloubky cca 19 m, povrch slínovců v okolí je v hloubce cca 2 – 3 m.



Obr. 9 Analýza výškopisu v místě předpokládaného vyústění vetrací šachty 44
Fig. 9 Topographic analysis at the presumed location of the Ventilation Shaft 44 outlet.

Obr. 10 Měření georadarem a kopaná sonda v místě větrací šachty 44
Fig.10 Ground-Penetrating Radar (GPR) Survey and Excavated Trial Pit at Ventilation Shaft 44.

8. Závěr

Komplexním přístupem k řešené problematice zahrnující nejen vlastní geofyzikální měření, ale i analýzu dalších zdrojů informací, v našem případě archivních mapových podkladů, leteckých snímků a výškopisu, a v kombinaci s přímými zkouškami lze dosáhnout požadovaného cíle i v místech, která nejsou optimální pro řešení daného zadání pomocí geofyzikálních metod.

Seznam literatury

Nedvěd J.,Činka J., Hrutka M., Kašpar. R., 2025: *Provedení geofyzikálního průzkumu části dolu Richard II (ÚRAO Richard)*. – SG Geotechnika a. s. . Praha.

Karotážní měření a hydrogeologický průzkum v exotických hydrogeologických podmínkách na území Íránu

Well Logging and hydrogeological survey in exotic hydrogeological conditions in Iran

Martin Procházka

SG Geotechnika a.s., Geologická 4, 152 00 Praha 5, e-mail: martin.prochazka@geotechnika.cz

Abstrakt: V období let 1985-1993 probíhal na řadě lokalit po celém území Íránu vrtný průzkum doprovázený karotážním měřením a hydrogeologický průzkum v rámci mezinárodní spolupráce mezi společností Stavební geologie n.p., později SG Aquatest a.s. a íránskými partnery. Hlavním úkolem bylo zajistit zdroje vody pro města v této aridní oblasti a rovněž objasnit geologickou strukturu v málo probádaných oblastech. Jedním z úkolů byla i komplexní hydrogeologická studie bezodtoké pánve Maharlo v jižním Íránu. I po ukončení projektů, kterých jsem se účastnil, spolupráce pokračovala; do roku 2014 jsem pravidelně každý rok navštěvoval Írán, kde jsem přednášel na vysokých školách studentům, pracovníkům regionálních Water Authorities a pracovníkům jednotlivých vodárenských společností.

Abstract: In the period 1985-1993, drilling surveys accompanied by logging measurements and hydrogeological surveys were carried out at a number of locations throughout Iran as part of international cooperation between the company Stavební geologie n.p., later SG Aquatest a.s. and Iranian partners. The main task was to secure water sources for cities in this arid region and to clarify the geological structure in poorly explored areas. One of the tasks was a comprehensive hydrogeological study of the Maharlo drainage basin in southern Iran. Even after the completion of the projects in which I participated, the cooperation continued, so until 2014 I regularly visited Iran every year, where I lectured at universities to students, employees of regional Water Authorities and employees of individual water companies.

Klíčová slova: karotážní měření, základní hydrogeologický průzkum, vrtné práce, vápence, solné pně

Key words: well logging measurements, basic hydrogeological survey, drilling works, limestone, salt stumps

1. Úvod

Jedním z hlavních a dlouhodobých existenčních problémů novodobého Íránu je nedostatek zdrojů vody. Vyjma úzkého zeleného pruhu pevniny u břehu Kaspického moře sevřeného z jihu mohutnou hradbou velehor Elborz a vyjma několika svěžích oáz u břehů horských říček stékajících na jaře z prudkých svahů divokého pohoří Zagros je Írán zemí polopouští se dvěma neobyvatelnými pouštěmi Dašt e Kavir a Dašt e Lút v samotném srdci této velké země. V roce 1985 začala spolupráce mezi Ministerstvem energie v Teheránu a zprostředkovaně přes podnik zahraničního obchodu Strojexport s českými geology a specialisty, jejímž hlavním účelem bylo zajištění zdrojů vody pro města nejvíce ohrožená nedostatkem vody. Vrtné, geologické i technické práce zabezpečovali pracovníci podniku Stavební geologie s technikou, která se jako konvoj po vlastní ose přesouvala z Prahy přes Balkán a Turecko do Íránu. Konvoj tvořily čtyři vrtné soupravy na mohutných nákladních vozidlech, technická vozidla, cisterny, několik maringotek a karavan, nákladní vozidla plně naložená vrtnými tyčemi a kompletní vrtnou technikou, nákladní vozidla s vrtnou pěnou, karotážní vozidlo, míchačky na cement, dvě pojízdné dílny v malých nákladních vozidlech Avia, dvě osobní vozidla Lada Niva, dvě vozidla Landrover a Chevrolet Suburban. Rozsah zakázky z dnešního pohledu nemyslitelný, a i v tehdejší době na hranicích možností. Vrtné práce vyjma krátké pauzy po přechodu společenského řádu v naší zemi probíhaly po dobu osmi let. Od roku 1988 jsem jako geofyzik, později jako hydrogeolog působil na mnoha lokalitách od severozápadu po jihovýchod Íránu. Po ukončení vrtných projektů jsem dál pracoval jako hydrogeolog v rámci zakázek pro Water Authorities a pro správu provincie Zanjan. Od roku 2005 až do roku 2014 jsem navštěvoval Írán v rámci přednáškových turné.

2. Projekty Stavební geologie / Aquatest v Íránu

Zakázkou, kterou celé působení Stavební geologie n.p., později společnosti Aquatest a.s. začalo, byla velká státní zakázka „EDIL“ (Exploration drilling in limestone) probíhající v letech 1985-1991. Práce se uskutečnily na desítkách lokalit napříč celým Íránem. Vedoucím zakázky byl ing.Petr Gregor. Na EDIL navázala zakázka Komplexní hydrogeologické studie bezodtoké pánve Maharlo v jižním Íránu (1992-1993, vedoucím zakázky byl

za českou stranu RNDr.Jiří Šíma), na jejímž území se nachází významné historické město Šíráz, svého času kulturní centrum Perské říše. Mimo tyto dvě hlavní zakázky se v několika případech uskutečnila karotážní měření i pro regionální Water Authorities. Po ukončení obou hlavních zakázek jsem prováděl základní hydrogeologický průzkum v horské oblasti kolem obce Andabad v provincii Zanjan (1993-1994), jehož konečným cílem bylo na určených místech vyhloubit studně, kde nebude voda slaná ani sádrovcová, jak tomu bylo do té doby v této oblasti pravidlem. Od roku 2005 až do roku 2014 jsem navštěvoval Írán v rámci přednáškových turné pro posluchače z řad pracovníků Water Authorities z jednotlivých provincií, pro zaměstnance vodárenských společností a pro studenty vysokých škol v Teheránu. Přednášky byly zaměřeny na geofyzikální průzkum ve vrtech, na hydrogeologickou problematiku, dotkly se i sanační problematiky. Z důvodu postupně se zhoršujících mezistátních vztahů mezi Českou republikou a Íránem musela být tato dlouholetá a úspěšná spolupráce ukončena. Když se můj děda na konci 40.let 20.století chystal na odjezd do Íránu jako mechanik leteckých motorů, jistě netušil, jakými nečekanými cestami se budou v dalších desetiletích vztahy s naším tradičním obchodním partnerem ubírat.

3. Příroda Íránu

Írán je země suchá a hornatá, s převažujícím horkým klimatem a velkými teplotními rozdíly. Zatímco letní teploty ve vyprahlých skalách a údolích jižního Íránu často překonávají hranici 50°C ve stínu, zimní teploty v horách na západě a severozápadě země mnohdy klesají pod -30°C, když se od prosince pokryjí vrstvou sněhu. Dominantní pohoří Zagros bylo vyvrásněno na rozhraní arabské a euroasijské litosférické desky v období od svrchní křídy do počátku třetihor. Během tohoto období se vytvořila monumentální série paralelních vrás. Zagros je tvořen sedimentárními horninami, především vápencem. V oblasti Perského zálivu a Hormuzského průlivu po milióny let probíhalo ukládání organických zbytků, vápenců a solí. Vznikla tak sedimentární vrstva o tloušťce až 13 kilometrů, která se vlivem vysokého tlaku a teploty přeměnila na rozsáhlá ložiska ropy a zemního plynu. Důležitou roli hrála i sůl pocházející z prekambria a období tvoření solných dómů. V puklinách je sůl, tento plastický materiál, vytlačována vahou nadloží na povrch a zvláště na jihu Íránu vytváří na stovkách míst bizarní, exotické útvary tvořené solí a pestrým mixem barevných doprovodných minerálů. Přítomnost solí a sádrovce má za následek, že i omezené zdroje podzemní vody často nemohou být využívány jako pitná ani jako užitková voda. Na některých lokalitách obsahuje podzemní voda navíc extrémní obsahy sulfanu, což má za následek, že v širokém okolí jinak vzácných pramenů je vzduch téměř nedýchatelný. V živé paměti mám dosud všudypřítomný hnilobný puch ve skalách u Borazjanu (cca 70 km ve vnitrozemí od přístavního města Bandar Busher) nebo na pláni Nazarabad u Sarvestanu sevřené dvěma vyprahlými, sbíhajícími se pásmy šedavých hor (Tato pláň vyvolává představu mordorské planiny Gorgoroth sevřené pohořími Ephel Dúath a Ered Lithui z Pána prstenů).

Obr.1 Občasný potok pokrytý krustou solí v místě solného pně ostrova Hormuz v Hormuzském průlivu

Obr.2 Kolapsové struktury v měkkých horninách v aridní oblasti jihovýchodního Íránu severně od Jasku

Omezené zásoby podzemní vody jsou doplňovány na jaře tajícím sněhem z vysokých hor (během krátkých a nepravidelných period napadnou v horách v zimě za krátkou dobu i dva až čtyři metry sněhu), případně vzácnými, ale intenzivními zimními lijáky v horách na jihu. Rozpukané, zkrasovělé vápence většinu vody pohltí a ta pak hlubokým systémem puklin bez dalšího užitku směřuje k Perskému zálivu, z pohoří Elborz pak do Kaspického moře. Svahy pohoří Elborz a Zagros obrácené do vnitrozemí, do rozsáhlých náhorních planin se v důsledku nižších srážek, vysoké propustnosti hornin i vinou vysokého výparu podílejí na obnově podzemních vod naprosto nedostatečně. Existující projekty na stavbu přehrad a tunelů pro obrácení toku krátkých říček směřujících k Perskému zálivu do vnitrozemí nebo projekt vybudování vodovodu s úpravnou vody z Kaspického moře do vnitrozemí narážejí na technické problémy, a především na odpor místních obyvatel, pro něž je zavlažování políček vodou ze stávajících říček a potoků životní nutností.

4. Zdroje užitkové a pitné vody

S omezenými zdroji vody se obyvatelstvo potýkalo od nepaměti. Už dávno před vznikem Perské říše budovali lidé geniální vodní kanály zvané kanáty. Kanáty využívají skutečnosti, že se v horách díky nepropustným horninám v údolí nachází hladina podzemní vody výše (v puklinách ve vápenci, v propustných horninách náplavových kuželů) než je úroveň údolí. Základem kanátu je téměř vodorovná štola, jež se ve své horní části nachází ve zvodni a jímá její vodu a dále po proudu pak vede tuto vodu samospádem k ústí kanátu, na povrch. Stáří některých kanátů je 4000 let, přesto některé z nich dosud zavlažují údolí, kde díky nim vznikly zemědělsky využívané zelené oázy.
V celém Íránu, zvláště pak na palčivém jihu, kde chronický nedostatek vody zužuje lidi od nepaměti, ještě v době mého působení fungoval systém „ab anbárů“, nádrží na vodu. Na vyprahlých pláních jsem se často setkával se stavbami zvonovitého tvaru, nejčastěji o výšce 2-3 m, v nichž byly ze stran menší otvory. Uvnitř je ze speciální směsi -malty zvané sarooj z písku, jílu, bílků, vápna, kozí srsti a popela v určitých poměrech podle polohy a klimatu daného místa vytvořena nepropustná nádrž na vodu. Při občasných lijácích se celé údolí zaplní nakrátko vodou a doplní tak nádrž. Voda, časem silně infikovaná utopeným hmyzem a plazy, je pak využívána vesničany pro napájení koz a ovcí, ale rovněž jako pitná voda se všemi zdravotními následky.
Tyto tradiční zdroje vody již dávno nestačí. Důvodem je populační exploze ze sedmdesátých let 20.století (v posledních desetiletích se zastavila, dnes mají rodiny v Íránu jedno až dvě děti) a hlavně moderní způsob života spolu s rozvojem měst a průmyslu. Území Íránu v posledních desetiletích navíc několikrát postihly vlny sucha, v souvislosti s nedostatkem vody se dokonce vážně uvažuje o přesídlení hlavního města Teheránu do příznivější lokality. Tlak na vyhledávání a zajišťování zdrojů vody proto sílí a děje se tak i v současnosti. Právě tato skutečnost byla hlavním důvodem působení pracovníků bývalé Stavební geologie a Aquatestu na nevšedních, exotických lokalitách.

5. Vrtné práce, karotážní průzkum

Výběr lokalit pro provádění vrtů o hloubkách 200 až 500 m určovalo Ministerstvo energie v Teheránu na základě požadavků úřadů Water Authorities z jednotlivých provincií. Místa pro vrtání byla určována místním geologem, někde po projednání s českým hydrogeologem. Většina vrtů byla vrtána velkým průměrem (vrtná souprava Ingersoll Rand IR4), bezjádrově. Tyto vrty měly sloužit jako studně pro pitnou a užitkovou vodu. Kromě toho v řadě odlehlých oblastí s chabou znalostí geologie byly do hloubky 500 m systémem wire-line hloubeny vrty na jádro pro objasnění geologické stavby.
Ve všech vrtech po jejich ukončení, před přibírkou na 450 mm a před vystrojením byla prováděna karotážní měření. Karotážní souprava Mount Sopris (USA) s elektricky poháněným vrátkem byla zabudována do terénního vozidla Landrover, radioaktivní zářiče 137Cs a 241Am-Be umístěné ve speciálních kontejnerech pro útlum záření byly převáženy v přívěsném vozíku za vozidlem. Dnes by taková kombinace z bezpečnostního hlediska rozhodně neprošla, ale íránské zákony v osmdesátých a devadesátých letech dvacátého století byly benevolentní.

Obr.3 Karotážní vozidlo s přívěsným vozíkem na lokalitě Faleke Din u Khorramabadu - západní Írán

Soubor karotážních metod byl na svou dobu široký a komplexní. Ve všech vrtech byly aplikovány tyto metody: gama karotáž, neutron neutron karotáž, hustotní karotáž, odporová elektrokarotáž, inklinometrie, kavernometrie, termometrie, rezistivimetrie v aplikaci metody ředění označené kapaliny a v aplikaci metody konstantního nálevu (případně konstantního čerpání) označené kapaliny, fotometrie, ve vrtech s intenzivním prouděním také průtokometrie. Metody využívající zářiče a metody hydrokarotáže (metoda ředění, nálevu…) byly na území Íránu použity vůbec poprvé. Výsledky našich měření vzbudily úžas pracovníků ministerstva a Water Authorities a překvapivě i úžas mezi námi geofyziky, neboť geologické a hydrogeologické poměry ve vrtech byly nečekané, vymykající se našim dosavadním zkušenostem.

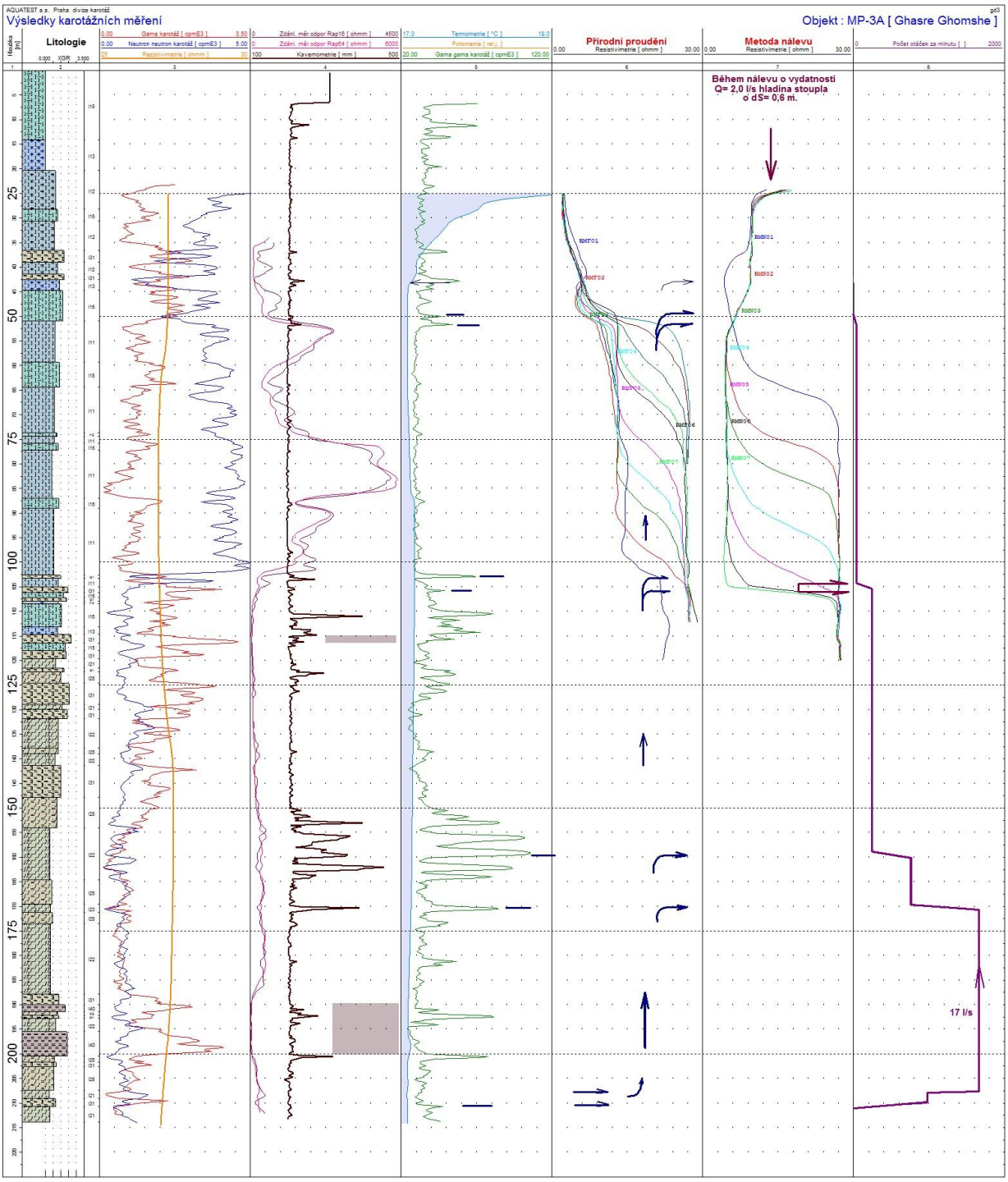
Co tedy způsobilo naše překvapení?
Za prvé: nebyly to hluboko zakleslé hladiny (někde byly skutečně v hloubkách až 250 m), ale naopak hladiny zakleslé v prvních desítkách metrů. Stávalo se, že hladina byla naražena v hloubce 100 m, 200 m nebo i hlouběji, ale rychle vystoupala do úrovně prvních desítek metrů. V takových vrtech jsme pak pravidelně zaznamenávali silně vzestupné proudění v řádech litrů až prvních desítek litrů za sekundu. To proto, že vrt mezi vrstvami vápenců zastihl vrstvu nepropustných prachovců/ jílovců, která tvořila nepropustný strop hlubší zvodně s napjatou hladinou. Voda přitékala do vrtu z puklin ve vápencích/dolomitech pod vrstvou jílů a vrt opouštěla do puklin ve vápencích/dolomitech nad touto vrstvou nepropustné horniny. Docházelo tak k „blahodárnému“ hydraulickému zkratu. Blahodárnému proto, že v ručně kopaných, i více než 50 m hlubokých, mnohde už vyschlých studních v nejbližší vesnici zaznamenali místní lidé nárůst hladin. Zůstává otázkou, co se s hladinou stalo o několik let později, poté, co bylo postaveno několik kilometrů dlouhé přívodní potrubí do města a voda začala být z takových vrtů trvale odebírána. Jinde bylo ale zjištěno proudění opačným směrem, voda z přítoků v horní třetině vrtu proudila dolů. S tímto případem jsme se setkali například v horách jižně od pouštního města Kashanu ve středním Íránu, za nímž se na sever rozprostírá poušť. Ale vzhledem ke skutečnosti, že z vrtu minimálně ještě v roce 2014, jak mi tehdy sdělili přátelé z Water Authority v Kashanu, bylo trvale odebíráno 24 l/s bez vlivu na hladinu, lze

přirozené sestupné proudění v obou vrtech v této lokalitě považovat jen za kuriozitu bez praktického dopadu na hladiny v oblasti.
Za druhé: Poučka, že teplota vody se zvyšuje s hloubkou, v Íránu neplatí. Teplotní křivka v hlubokých vrtech mívala podivný, těžko vysvětlitelný průběh, teplota vody bývala někdy nižší v hloubce 300 m než v hloubce 100 m. Snad to nějak souvisí s hlubinnou cirkulací podzemních vod ve zkrasovělých vápencích?
Za třetí: absolutní teploty vody v horských oblastech západního a severozápadního Íránu byly jen o něco vyšší, než je známe s našich středoevropských poměrů. Teplota podzemní vody ve zmíněném pouštním městě Kashanu dosahuje 26°C a teplota podzemní vody na lokalitě Lavar-Kal v pustině jižního Íránu se blíží hodnotě 40°C.
Za čtvrté: fyzikální zákony (snad kromě teploty) fungují i v Íránu, geofyzikální projev tamních hornin se však často významně liší od ustálených představ Středoevropana, což je dáno především mineralogickým složením hornin: vodík v krystalické mřížce sádrovce, organická příměs ve vápencích (asfalt), jež na sebe váže radioaktivní izotopy, horniny jílovité konzistence bez obsahu jílových minerálů a tak dále.
Za páté: v některých vrtech karotáž odhalila výraznou zonalitu vody. Konduktivita se skokově zvyšovala směrem dolů. Každý hlubší přítok obsahoval více rozpuštěných solí. Na základě karotáže pak byl určen poslední přítok, z něhož měla voda ještě využitelnou mineralizaci, celá další část vrtu až na dno pak musela být zacementována. Z tohoto pohledu byla karotáž docela užitečná, neboť z vrtu pak byla čerpána voda s příznivou mineralizací. Právě s podobným případem jsem se setkal také ve vrtu ve vesnici And Abad v provincii Zanjan, kam jsme na žádost guvernéra provincie „odskočili“ na karotážní měření ze základny v Šírázu. Cesta tam 1260 km a stejná vzdálenost přes hory a pustiny centrálního a jižního Íránu zpět. Šlo o to, že guvernér déle, než rok zadržoval íránskou vrtnou firmu na místě. Požadavkem byl zdroj pitné vody pro vesnici. Příkaz zněl, vrtat do té doby, dokud nepoteče sladká voda. Voda však byla slaná a s dalším vrtáním se situace jen zhoršovala. Na základě karotáže bylo zjištěno, že již první přítok obsahoval nadlimitní množství solí, mineralizace se zvyšovala s každým dalším přítokem. Po projednání výsledků se zástupci Ministerstva energie a s guvernérem bylo navrženo provést základní hydrogeologický průzkum oblasti a určit místa pro budoucí vrtané studny včetně jejich optimálních hloubek.

6. Hydrogeologický průzkum

V rámci projektu EDIL jsem zastával funkci geofyzika a hydrogeologa, v rámci projektu Komplexní hydrogeologické studie bezodtoké pánve jezera Maharlu jsem zastával funkci geofyzika. Poté, co byla tato zakázka ukončena, jsem se přemístil z provincie Fars do provincie Zanjan do vesnice And Abad, kde bylo mým úkolem provést základní hydrogeologický průzkum v horské oblasti o rozloze 115 kilometrů čtverečních v nadmořské výšce 1000-2700 metrů. V oblasti je rozptýleno pět horských vesniček a osad. Geologie oblasti je poměrně složitá, podílejí se na ní miocenní slíny, vápence a červené slíny se sádrovcem, oligocenní červené konglomeráty, eocenní vulkanické horniny (tufy, andezity, pyroklastika, lávy) a konečně krystalické vápence jurského stáří, které tvoří štíty hor. Část území je překryta hlinitými štěrky kvartérního stáří. Vzorky vody z pramenů byly analyzovány na místě přenosnými přístroji pro měření teploty, konduktivity a pH. Tři týdny strávené v terénu v této odlehlé, málo obydlené oblasti byly nezapomenutelné. Do zprávy byly zahrnuty nové poznatky s již existujícími daty, i s údaji z nejbližších srážkoměrných stanic. Bylo vytýčeno celkem pět míst vhodných pro vyhloubení vrtaných studen.

Obr.4 Horská krajina v oblasti vesnice And Abad- provincie Zanjan, severozápadní Írán



Obr.5 Typický příklad vzestupného proudění vody – lokalita Ghasre Ghomshe u Šírázu, provincie Fars

7. Závěr

Tento příspěvek je psán v době, kdy aktivity českých geologů a geofyziků v Íránu dávno skončily. Domnívám se, že připomenutí časů, kdy česká hydrogeologie a zručnost českých vrtařů představovaly světovou špičku, snad zaujme alespoň některé čtenáře tohoto příspěvku. Rozhodl jsem se tento článek uveřejnit dříve, než působení našich odborníků v obtížných podmínkách drsné íránské přírody upadne v zapomnění. Mnozí z nich už nejsou mezi námi. Poděkování patří všem, kteří skvělým způsobem reprezentovali naši zemi, od geologů a geofyziků, zástupce firmy Strojexport, přes vrtmistry, technický personál, po ty, kteří po celou dobu zabezpečovali zdárný chod zakázek z domova.

Sekce 17

Úkoly HG a IG při těžbě nerostných surovin, odstraňování následků důlní činnosti a při průzkumu hlubinných úložišť radioaktivního odpadu

MODELOVÉ ZHODNOCENÍ ZATÁPĚNÍ DOLU CENTRUM

Ing. Jakub Jankovec, Ph.D.

E-mail: progeo@1progeo.cz
PROGEO, s.r.o., Tiché údolí 113, Roztoky

Abstrakt:
V roce 2016 došlo k ukončení dlouhodobé hlubinné těžby hnědého uhlí na Dole Centrum. Zastavení čerpání stařinových vod vedlo k relativně rychlému vzestupu hladiny podzemních vod a k postupnému zatápění vydobytých prostor. Za účelem popisu režimu zatápění a prognózy budoucího vývoje byl využit model proudění podzemní vody. Podrobná specifikace prostor dotčených těžební činností, definice jednotlivých nádrží stařinových vod v centrální části mostecké pánve – v závislosti na průběhu zlomů, a měřené počáteční vzestupy hladiny podzemní vody představovaly jedny ze stěžejních podkladů pro modelové vyhodnocení.

Výsledky modelu ukazují na hydraulickou komunikaci stařinových prostor v regionálním měřítku formou přetoků mezi nádržemi stařinových vod. V rámci hodnoceného časového horizontu (kdy docházelo pouze k zatápění Dolu Centrum) to vede na větší objem stařin oproti vlastnímu Dolu Centrum. Z toho plyne i rychlost vzestupu hladin stařinových vod, která je pomalejší důsledkem dotace rozlehlejšího území. Konečné úrovně hladiny podzemní vody pak budou především výsledkem interakce stařinových vod v Dole Centrum s budoucími jezery ČSA a Bílina.

VÝZNAM DLOUHODOBÉHO MONITORINGU HLADIN PODZEMNÍ A POVRCHOVÉ VODY NA HRÁDECKU A FRÝDLANTSKU V LIBERECKÉM KRAJI

THE IMPORTANCE OF MONITORING OF GROUNDWATER AND SURFACE WATER LEVELS IN THE HRÁDECKO AND FRÝDLANT AREAS IN THE LIBEREC REGION

Renáta Kadlecová[1], Ondřej Nol[1], Jan Bohadlo[1], Tomáš Vránek[1], Zuzana Skácelová[1], Jan Vít[1], Petr Charvát[1] a Radek Vlnas[2]

[1]Česká geologická služba, Klárov 131/, 118 21 Praha 1, e-mail: renata.kadlecova@geology.cz
[2] Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 4-Komořany

Abstrakt: Žitavská pánev se rozkládá převážně na území Saska, Polska a na české území zasahuje 15 km^2 na sever do oblasti Hrádku nad Nisou. Jde o tektonický příkop v horninách spodního paleozoika zastoupených granity a granodiority, místy ortorulami a fylity, který vyplňují oligocén-miocenními vulkanity, terestrická klastika a uhelné sloje. Zájmové území překrývají mocné glacigenní sedimenty pleistocenního stáří. Relikty terciérních sedimentů a neovulkanitů jsou i ve Frýdlantském výběžku. Severně od Hrádku nad Nisou za státní hranicí je v Polsku činný důl Turów, kde hlubinná těžba začala cca r. 1914 a v 50. létech 20. stol. přešla na dobývání povrchové. Předpoklad těžby je do r. 2044. Pro žitavskou pánev je charakteristický výskyt většího počtu superponovaných kolektorů s odlišným chováním hladin podzemní vody. V Polsku a Německu se při členění terciérní výplně žitavské pánve používá allostratigrafické dělení za použití jednotlivých uhelných slojí. Polské členění terciérní výplně bylo aplikováno i na českou část žitavské pánve. V polské allostratigrafii se používá: podweglové (podložní) souvrství – Pw oddělené slojí Cb1, meziweglové (meziložní) souvrství – Mw oddělené slojí Cb2 a nadweglové souvrství Nw, které je v případě přítomnosti sloje Cb3 rozděleno na nadweglové souvrství – horní část Ng a podweglové souvrství dolní část Nd. Hlubší terciérní kolektory jsou v polské terminologii označované kolektory Mw a Pw. Přetěžením poludňového zlomu v dolu Turów v r. 1985 tvořícím bariéru došlo na českém a polském území do roku 1999 k poklesu hladin podzemní vody v těchto kolektorech o cca 50 m. Na českém území je sledování hladin podzemní vody ve svrchních kolektorech v okolí vodního zdroje Uhelná, kde hladina podzemní vody zaklesla o cca 20 m od 70. let 20. stol. do r. 2021. Hlubší kolektory Mw a Pw na změny srážek reagují zanedbatelně, na rozdíl od svrchních kolektorů (Ng, Nd a Q), které reagují výrazně na změny srážek. Na českém území je dlouhodobě využíván vodní zdroj Uhelná o hloubce 75 m exploatující podzemní vodu svrchních kolektorů (6,3-7,5 l/s). Monitoring hladin podzemní vody probíhá na Hrádecku od r. 1997. V roce 2020 a 2025 proběhlo rozšíření monitorovací sítě podzemní vody na Hrádecku a Frýdlantsku. Aktuálně má účelová monitorovací síť podzemní vody na českém území 47 vrtů a 7 vodoměrných profilů na drobných hraničních tocích. Z naměřených dat je zřejmé, že v oblasti Hrádecka jsou hladiny podzemní vody ovlivňovány činností dolu Turów, probíhající klimatickou změnou (suchem) a odběry podzemní vody.

Abstract: The Zittau Basin, mostly located in Saxony, extends 15 km² into Czech territory to the north near Hrádek nad Nisou. It is a tectonic trench in Lower Paleozoic rocks, filled with Oligocene-Miocene volcanics, terrestrial clastic rocks, and coal seams. Tertiary rocks are locally overlain by thick glacigenic sediments from the Pleistocene. Relics of Tertiary sediments and neovolcanics are also found in the Frýdlant Ridge. North of Hrádek nad Nisou, near the state border in Poland, there is the active Turów mine, which has been in operation since 1914, with mining expected to continue until 2044. The Zittau Basin is characterized by the presence of a larger number of superimposed aquifers with different groundwater level behaviors, which can be divided into the upper ones, including Quaternary and Upper Tertiary aquifers (Q, Nd, and Ng), and deeper aquifers (Mw and Pw). Due to overexploitation of the midday fault in the mine area in 1985, which acts as a barrier, groundwater levels in deeper aquifers in the Czech territory fell by about 50 m by 1999, and in the upper aquifers near the Uhelná, they dropped by about 20 m. The deeper aquifers Mw and Pw respond negligibly to changes in rainfall, unlike the upper aquifers (Ng, Nd, Q), which respond significantly to rainfall changes. In the Czech territory, the water source Uhelná has been used over the long term, exploiting groundwater from the upper aquifers (6.3-7.5 l/s). Groundwater level monitoring has been taking place in the Hrádek area since 1997. In 2020 and 2024-2025, the groundwater monitoring network in Hrádek area and Frýdlant area was expanded. Currently, the dedicated groundwater monitoring network in the Czech Republic covers 47 wells and 7 gauging profiles on small border streams. The measured data show that in the Hrádek area, groundwater levels are affected by the activities of the Turów mine, ongoing climate change (drought), and groundwater pumping.

Klíčová slova: podzemní voda, monitorovací síť, vliv těžby, klimatická změna, žitavská pánev

Key words: groundwater, monitoring network, mining impact, climate change, Zittau Basin

Integrovaný hydrogeologický monitoring lokality Radiana jako podklad pro hodnocení dlouhodobé bezpečnosti úložiště nízko- a středněaktivních radioaktivních odpadů

Integrated hydrogeological monitoring of the Radiana site as a basis for assessing the long-term safety of a repository for low- and intermediate-level radioactive waste

Jiří Kubricht[1], Peter Hiller[2]

[1]DEKONTA, a.s., Dřetovice 109, 273 42 Stehelčeves, Česká republika, e-mail: jiri.kubricht@dekonta.cz
[2]National Nuclear Laboratory (NNL), Chadwick House, Birchwood Park, Warrington, WA3 6AE, United Kingdom, e-mail: peter.hiller@uknnl.com

Abstrakt: Výběr vhodné lokality pro ukládání radioaktivních odpadů vyžaduje detailní znalost hydrogeologických, geochemických a geotechnických podmínek horninového prostředí. Jedním z klíčových požadavků je prokázání dlouhodobé stability hydrogeologického systému a schopnosti geologické bariéry omezit transport potenciálně uvolněných radionuklidů do biosféry. Příspěvek shrnuje výsledky integrovaného hydrogeologického monitoringu lokality Radiana v severozápadním Bulharsku, která byla vybrána jako místo pro výstavbu Národního úložiště nízko- a středněaktivních radioaktivních odpadů. Monitorovací program zahrnoval sledování procesů v nesaturované a saturované zóně, geochemické charakteristiky podzemních vod a horninového prostředí, stopovací zkoušky a numerické modelování proudění podzemních vod. Získané výsledky umožnily vytvořit koncepční hydrogeologický model lokality a stanovit parametry potřebné pro dlouhodobé bezpečnostní analýzy úložiště. Studie potvrzuje význam komplexního monitoringu jako základního nástroje pro hodnocení bezpečnosti zařízení určených k ukládání radioaktivních odpadů.

Abstract: Selecting a suitable site for the disposal of radioactive waste requires detailed knowledge of the hydrogeological, geochemical and geotechnical conditions of the rock environment. One of the key requirements is to demonstrate the long-term stability of the hydrogeological system and the ability of the geological barrier to limit the transport of potentially released radionuclides into the biosphere. This paper summarises the results of integrated hydrogeological monitoring at the Radiana site in north-western Bulgaria, which has been selected as the location for the construction of the National Repository for Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste. The monitoring programme included the observation of processes in the unsaturated and saturated zones, the geochemical characteristics of groundwater and the rock environment, tracer experiments and numerical modelling of groundwater flow. The results obtained enabled the creation of a conceptual hydrogeological model of the site and the determination of the parameters required for long-term safety analyses of the repository. The study confirms the importance of comprehensive monitoring as a fundamental tool for assessing the safety of facilities intended for the disposal of radioactive waste.

Klíčová slova: hydrogeologie, radioaktivní odpady, Radiana, podzemní voda, geochemie, monitoring, numerické modelování

Key words: hydrogeology, radioactive waste, Radiana, groundwater, geochemistry, monitoring, numerical modelling

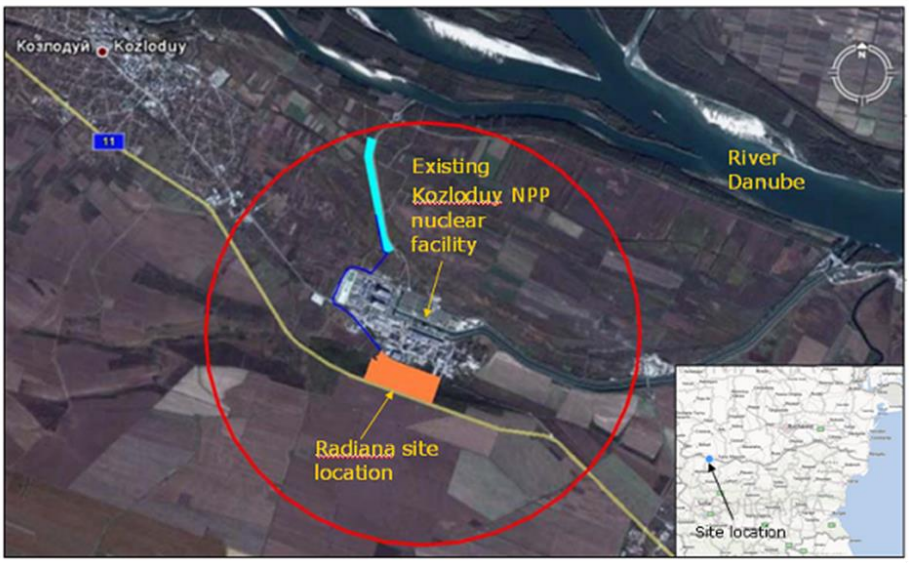
1. Úvod

Dlouhodobá bezpečnost úložišť radioaktivních odpadů je založena na principu vícebariérové ochrany, kde geologické prostředí představuje jednu z nejvýznamnějších přírodních bariér bránících migraci radionuklidů do okolního prostředí. Kvalitní charakterizace hydrogeologických poměrů je proto nezbytnou podmínkou jak při výběru lokality, tak při zpracování bezpečnostních analýz, které prokazují funkčnost úložiště v časovém horizontu stovek až tisíců let.

Hydrogeologické prostředí ovlivňuje rychlost infiltrace srážkových vod, proudění podzemních vod, transport rozpuštěných látek i geochemické procesy určující mobilitu radionuklidů. Z tohoto důvodu jsou při přípravě hlubinných i povrchových úložišť realizovány rozsáhlé monitorovací programy zaměřené na dlouhodobé sledování fyzikálních, hydraulických a geochemických parametrů horninového prostředí.

Lokalita Radiana se nachází v severozápadním Bulharsku v bezprostřední blízkosti Jaderné elektrárny Kozloduj. Lokalita byla po rozsáhlém geologickém průzkumu vybrána jako preferované místo pro výstavbu Národního úložiště nízko- a středněaktivních radioaktivních odpadů. Pro potřeby bezpečnostního hodnocení byl v letech 2013–2016 realizován rozsáhlý hydrogeologický monitorovací program, jehož cílem bylo získání

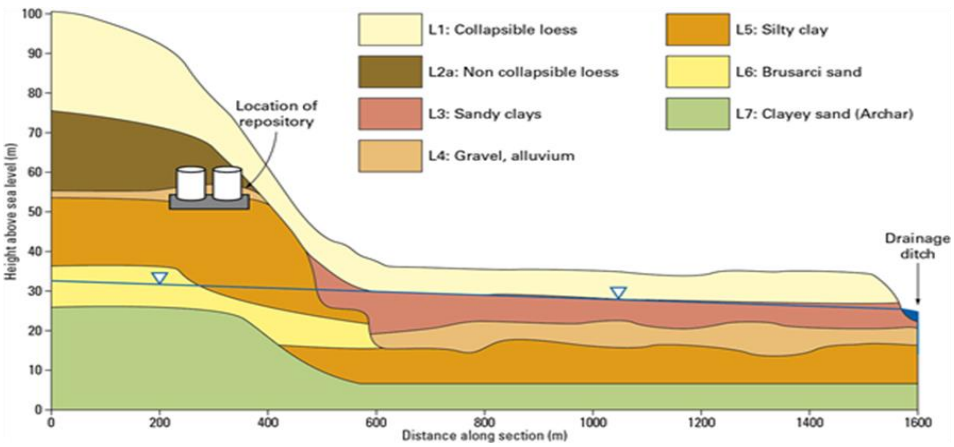
reprezentativních údajů o proudění podzemních vod, vodní bilanci nesaturované zóny, geochemických vlastnostech hornin a transportních charakteristikách geologického prostředí.
Příspěvek shrnuje hlavní výsledky tohoto monitorovacího programu a diskutuje jejich význam pro hodnocení dlouhodobé bezpečnosti úložiště radioaktivních odpadů.



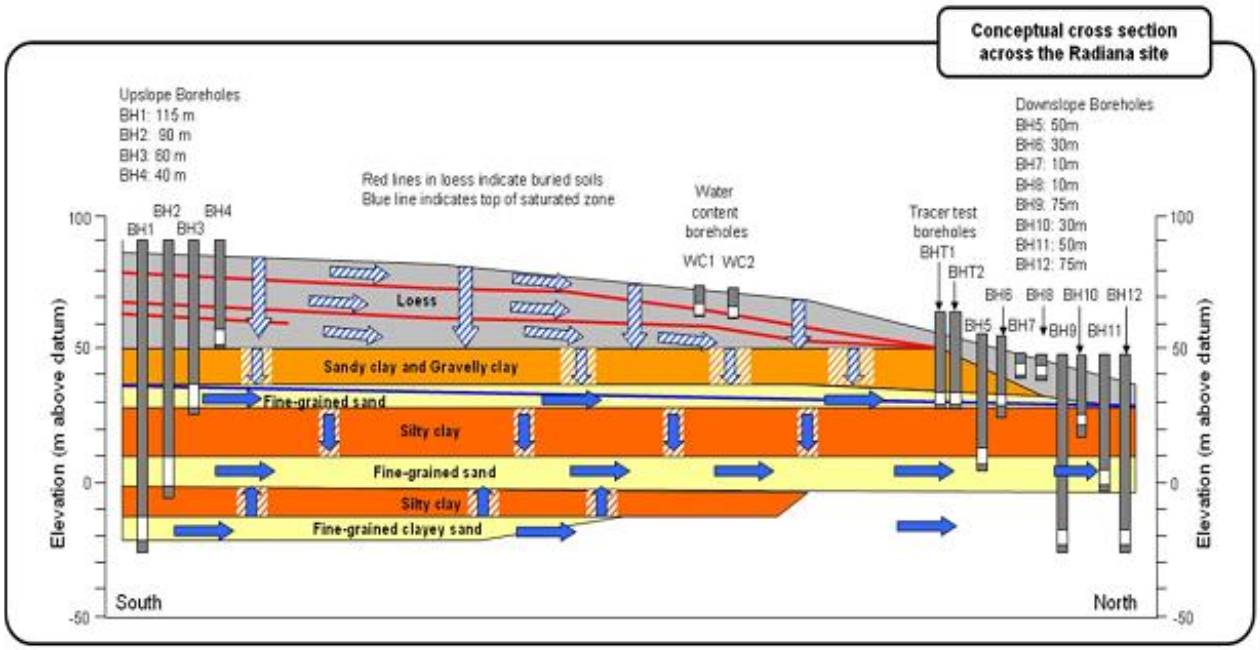
Obr. 1 Poloha lokality Radiana v prostoru Jaderné elektrárny Kozloduj
Fig. 1 Location of the Radiana site within the Kozloduy Nuclear Power Station area

2. Geologická a hydrogeologická charakteristika lokality

Lokalita Radiana je situována na říční terase řeky Dunaj, jejíž geologická stavba je tvořena kvartérními fluviálními sedimenty překrývajícími neogenní sedimentární horniny. Horninové prostředí představuje souvrství štěrků, písků, prachovitých sedimentů a jílovitých vrstev, jejichž hydraulické vlastnosti se výrazně liší jak ve vertikálním, tak horizontálním směru.
Hydrogeologické poměry lokality jsou charakterizovány mělkým kolektorem v kvartérních sedimentech a hlubšími zvodněmi v neogenních uloženinách. Proudění podzemních vod je ovlivněno zejména topografií území, hydraulickými vlastnostmi jednotlivých vrstev a dlouhodobým režimem řeky Dunaj. Přirozené hydraulické gradienty jsou nízké a sezónní změny hladiny podzemní vody jsou relativně malé.
Významnou vlastností lokality je existence nesaturované zóny o mocnosti několika metrů, která představuje první přirozenou bariéru proti infiltraci kontaminovaných vod směrem k hlavním zvodním. Charakter proudění vody v této zóně je silně ovlivňován klimatickými podmínkami, zejména množstvím atmosférických srážek a intenzitou evapotranspirace.
Geologické i hydrogeologické podmínky vytvářejí vhodné předpoklady pro detailní sledování transportních procesů a umožňují vytvoření koncepčního modelu proudění podzemních vod, který představuje základ pro následné numerické simulace.



Obr. 2 Geologický profil lokality Radiana
Fig. 2 Geological profile of the Radiana site



Obr. 3 Koncepční hydrogeologický model lokality
Fig. 3 Conceptual hydrogeological model of the site

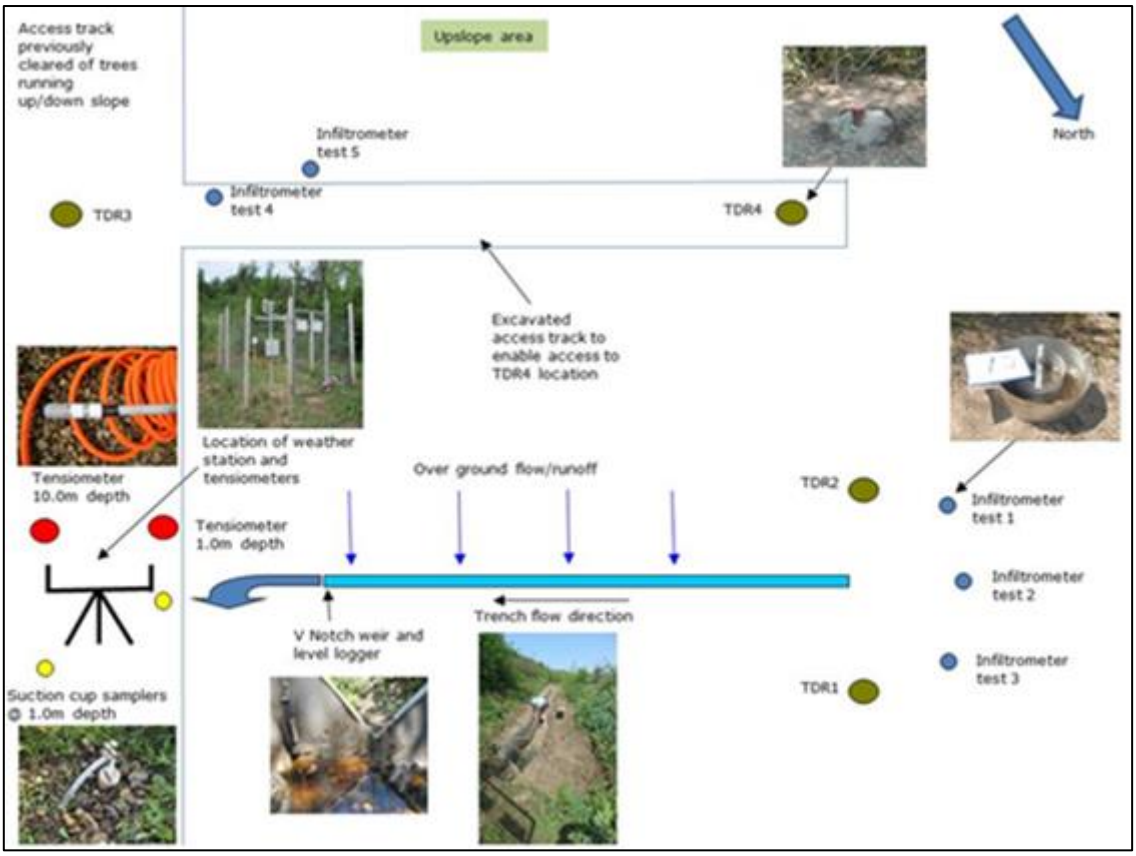
3. Metodika hydrogeologického monitoringu

Cílem monitorovacího programu bylo získat reprezentativní soubor údajů popisujících hydrogeologické procesy v nesaturované i saturované zóně horninového prostředí a stanovit parametry potřebné pro vytvoření koncepčního a numerického hydrogeologického modelu lokality. Program byl navržen jako dlouhodobý monitoring umožňující zachytit sezónní i meziroční změny vodního režimu a současně ověřit stabilitu hydrogeologických poměrů v období před výstavbou úložiště.
Komplexní monitorovací systém zahrnoval čtyři vzájemně propojené oblasti:

- monitoring nesaturované zóny – vadózní zóny,
- monitoring saturované zóny,
- geochemický monitoring,
- laboratorní a numerické modelování transportních procesů.

3.1 Monitoring vadózní zóny

Vadózní zóna představuje první přirozenou bariéru ovlivňující infiltraci srážkových vod do hlubších částí geologického prostředí. Proto byla věnována mimořádná pozornost sledování její vodní bilance.
Na monitorovacích profilech byly instalovány senzory objemové vlhkosti založené na metodě Time Domain Reflectometry (TDR), tensiometry pro měření sacích tlaků a čidla teploty půdy. Současně byla provozována automatická meteorologická stanice zaznamenávající srážky, teplotu vzduchu, relativní vlhkost, rychlost větru, sluneční záření a další parametry potřebné pro výpočet potenciální evapotranspirace.
Naměřená data byla využita pro sestavení vodní bilance území a pro kalibraci modelu infiltrace vody do horninového prostředí.



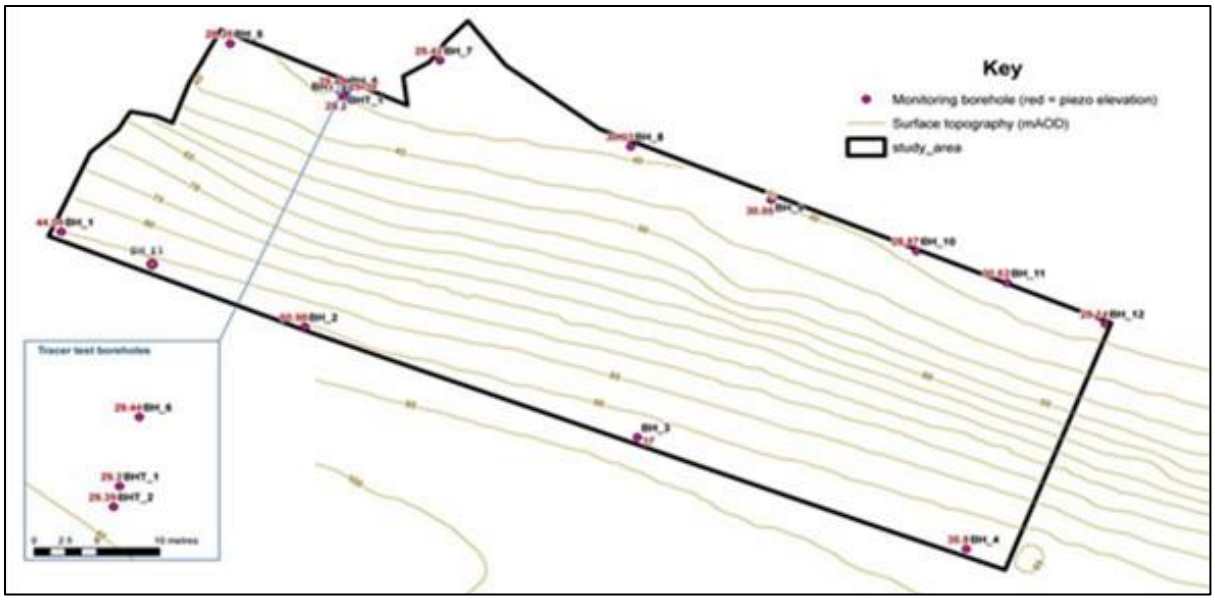
Obr. 4 Celkové uspořádání monitorovacího systému vadózní zóny na konci monitorovacího období
Fig. 4 General layout of vadose zone monitoring equipment at end of monitoring period

3.2 Monitoring saturované zóny

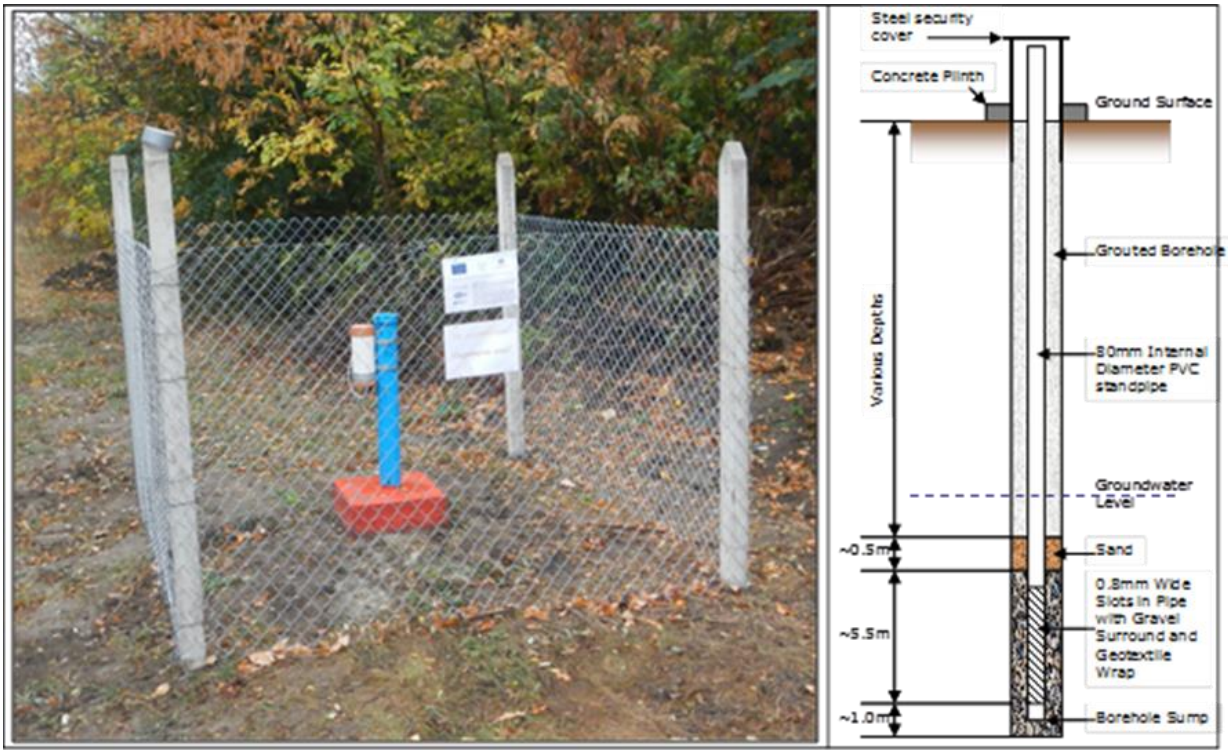
Hydrogeologický monitoring saturované zóny byl založen na síti monitorovacích vrtů rozmístěných tak, aby pokryly jednotlivé hydrogeologické horizonty a umožnily sledování hydraulických vazeb mezi nimi.
Ve vrtech byly kontinuálně měřeny:

- výška hladiny podzemní vody,
- teplota,
- elektrická vodivost,
- hydraulické změny během čerpacích zkoušek.

Pravidelně byly odebírány vzorky podzemních vod pro stanovení hlavních iontů, stopových prvků, organického uhlíku a dalších parametrů určujících chemický stav vodního prostředí.
Součástí programu byly rovněž čerpací zkoušky a slug testy, jejichž výsledky umožnily stanovit hydraulickou vodivost, transmisivitu a koeficient storativity jednotlivých kolektorů.



Obr. 5 Schéma monitorovacího systému nesaturované zóny
Fig. 5 Schematic diagram of the unsaturated zone monitoring system



Obr. 6 Schematické znázornění instalace vrtu a úpravy zhlaví vrtu
Fig. 6 Generalised borehole installation and example of headworks

3.3 Geochemické analýzy

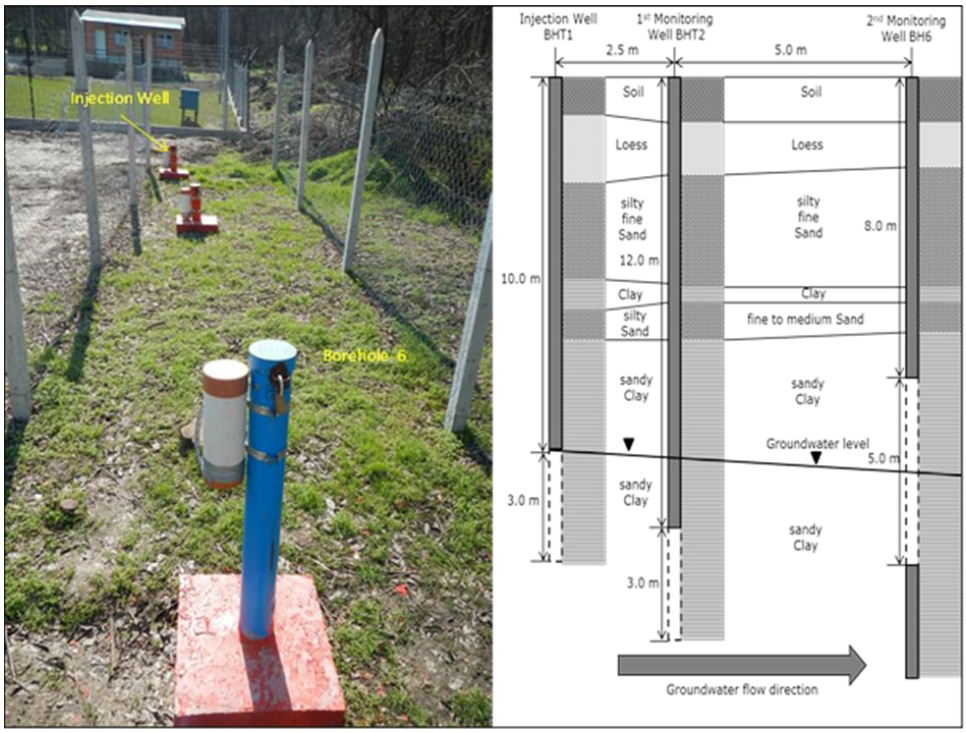
Vedle hydrogeologických parametrů byly podrobně studovány geochemické vlastnosti horninového prostředí. Laboratorní práce zahrnovaly stanovení:

- mineralogického složení,
- zrnitosti,
- specifického povrchu,
- kationtové výměnné kapacity,
- obsahu organického uhlíku,
- distribučních koeficientů (Kd) významných radionuklidů.

Tyto parametry určují schopnost hornin sorbovat radionuklidy a významně ovlivňují jejich případnou migraci v podzemním prostředí.

3.4 Stopovací zkoušky a numerické modelování

Pro ověření transportních parametrů byly realizovány stopovací zkoušky využívající konzervativní stopovací látky. Vyhodnocení jejich průběhu umožnilo stanovit efektivní pórovitost, rychlost proudění a disperzní charakteristiky jednotlivých hydrogeologických kolektorů.
Na základě všech získaných údajů byl vytvořen koncepční hydrogeologický model lokality, který následně sloužil jako podklad pro numerické simulace proudění podzemních vod a transportu radionuklidů. Modely byly kalibrovány na dlouhodobých monitorovacích datech a použity pro hodnocení různých scénářů dlouhodobého vývoje lokality.



Obr. 7 Umístění vrtů BHT1, BHT2 a BH6, v nichž se prováděly stopovací zkoušky
Fig. 7 Locations of boreholes BHT1, BHT2 and BH6, in which tracer tests were carried out

4. Výsledky hydrogeologického monitoringu

Víceletý monitoring poskytl rozsáhlý soubor dat umožňující detailní charakterizaci hydrogeologických procesů probíhajících v horninovém prostředí lokality Radiana.

4.1 Nesaturovaná zóna

Výsledky monitoringu potvrdily, že sezónní změny obsahu vody jsou soustředěny především do svrchních několika metrů geologického profilu. Největší kolísání objemové vlhkosti bylo zaznamenáno v hloubkách přibližně 2–3 m, kde se výrazně uplatňuje střídání období intenzivních srážek a evapotranspirace.
Ve větších hloubkách dochází ke značnému útlumu sezónních změn. Vlhkost horninového prostředí zde vykazuje dlouhodobě stabilní charakter, což potvrzuje omezenou infiltraci vody směrem k hlubším kolektorům.
Tento poznatek je z hlediska bezpečnostního hodnocení mimořádně významný, protože potvrzuje, že nesaturovaná zóna představuje účinnou přirozenou bariéru zpomalující transport vody i rozpuštěných látek.

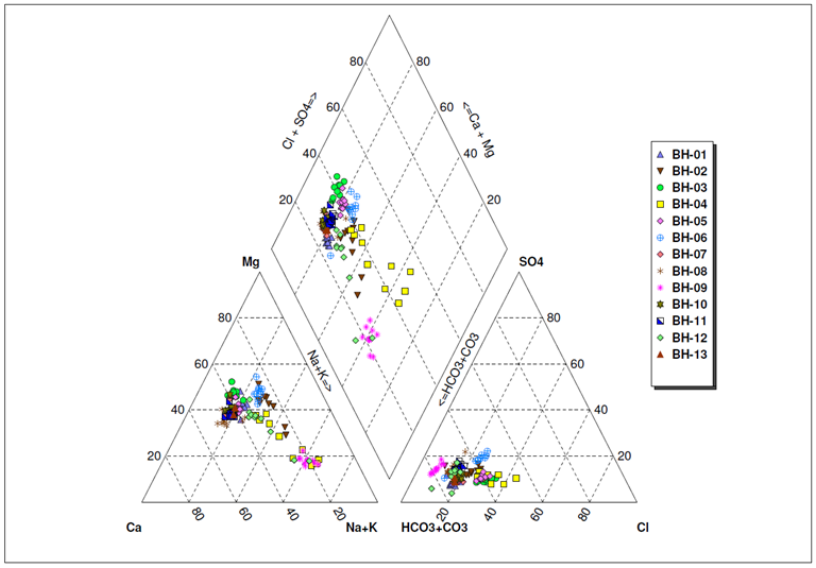
4.2 Saturovaná zóna

Dlouhodobé sledování hladin podzemní vody prokázalo stabilní hydraulický režim s relativně malými sezónními výkyvy. Směr proudění podzemní vody odpovídá regionálním hydrogeologickým poměrům říční terasy Dunaje a nebyly zjištěny žádné významné anomálie ani známky nestabilního proudění.

Hydraulické parametry stanovené čerpacími zkouškami potvrzují, že jednotlivé hydrogeologické vrstvy vykazují rozdílnou propustnost, která musí být zohledněna při numerickém modelování transportu radionuklidů.

4.3 Geochemické charakteristiky horninového prostředí

Výsledky geochemických analýz prokázaly, že horninové prostředí lokality Radiana vykazuje poměrně příznivé retenční vlastnosti z hlediska migrace radionuklidů. Mineralogické složení jednotlivých vrstev je tvořeno převážně křemennými písky, štěrky a jemnozrnnými sedimenty s proměnlivým obsahem jílových minerálů. Právě jemnozrnné frakce významně přispívají k sorpci vybraných radionuklidů a zpomalují jejich případný transport podzemní vodou.
Laboratorní stanovení distribučních koeficientů (Kd) ukázalo značné rozdíly mezi jednotlivými radionuklidy. Vyšší sorpční schopnost byla zjištěna zejména pro aktinoidy a stroncium, zatímco konzervativně se chovající radionuklidy vykazovaly nižší afinitu k horninovému prostředí. Tyto údaje představují důležitý vstup pro bezpečnostní hodnocení, protože umožňují realisticky modelovat rychlost migrace jednotlivých radionuklidů.
Hydrochemické složení podzemních vod bylo během monitoringu dlouhodobě stabilní. Nebyly zjištěny významné změny koncentrací hlavních iontů ani parametrů, které by naznačovaly probíhající geochemické procesy schopné výrazně ovlivnit mobilitu kontaminantů. Stabilita hydrochemického prostředí je jedním z předpokladů pro dlouhodobě spolehlivou funkci přírodní bariéry.



Obr. 8 Piperovy diagramy chemického složení podzemní vody
Fig. 8 Piper diagrams of groundwater chemistry

4.4 Numerické modelování proudění podzemních vod

Hydrogeologický model vytvořený na základě výsledků monitoringu umožnil simulovat proudění podzemních vod v různých klimatických a provozních scénářích. Kalibrace modelu využila dlouhodobé časové řady hladin podzemní vody, výsledky infiltračních výpočtů, údaje z čerpacích zkoušek i výsledky trasovacích experimentů.
Výpočty potvrdily, že dominantním transportním mechanismem je pomalé proudění podzemních vod řízené hydraulickými vlastnostmi jednotlivých geologických vrstev. Významnou roli při zpomalování transportu radionuklidů hrají sorpční procesy a nízké hydraulické gradienty, které společně prodlužují dobu migrace potenciálně uvolněných látek.
Numerický model rovněž umožnil analyzovat citlivost výsledků na změny infiltrace způsobené klimatickými změnami nebo změnami hydraulických parametrů horninového prostředí. Citlivostní analýza potvrdila, že největší vliv na výsledky mají hydraulická vodivost jemnozrnných sedimentů a velikost efektivní infiltrace.

5. Diskuse

Komplexní hydrogeologický monitoring realizovaný na lokalitě Radiana představuje příklad moderního přístupu ke geologické charakterizaci lokalit určených pro ukládání radioaktivních odpadů. Kombinace terénních měření, laboratorních analýz a numerického modelování umožnila vytvořit ucelený obraz o fungování hydrogeologického systému a současně významně snížit nejistoty vstupující do bezpečnostních analýz.

Jedním z nejdůležitějších poznatků monitoringu je potvrzení dlouhodobé stability hydrogeologických poměrů. Sezónní změny jsou omezeny především na mělkou část nesaturované zóny, zatímco hlubší části horninového prostředí vykazují pouze minimální časovou proměnlivost. Tento poznatek podporuje předpoklad, že geologické prostředí bude schopno dlouhodobě plnit funkci přírodní bariéry.
Významným přínosem projektu bylo také zpřesnění hydraulických parametrů jednotlivých kolektorů, ověření směru proudění podzemních vod a stanovení geochemických parametrů důležitých pro modelování transportu radionuklidů. Takto získané údaje umožňují vytvářet podstatně spolehlivější bezpečnostní modely než modely založené pouze na archivních geologických průzkumech.
Zkušenosti získané během projektu jsou využitelné nejen pro lokalitu Radiana, ale také při charakterizaci dalších lokalit určených pro ukládání radioaktivních odpadů. Metodický přístup založený na dlouhodobém monitoringu, propojení hydrogeologie, geochemie a numerického modelování představuje obecně použitelný postup při hodnocení bezpečnosti obdobných zařízení.

6. Závěr

Integrovaný hydrogeologický monitoring lokality Radiana poskytl komplexní soubor údajů nezbytných pro hodnocení dlouhodobé bezpečnosti Národního úložiště nízko- a středněaktivních radioaktivních odpadů v Bulharsku. Výsledky monitoringu umožnily podrobně charakterizovat vodní režim nesaturované i saturované zóny, stanovit hydraulické vlastnosti jednotlivých geologických vrstev, popsat geochemické vlastnosti horninového prostředí a vytvořit numerický model proudění podzemních vod.
Studie potvrdila, že hydrogeologické poměry lokality jsou dlouhodobě stabilní a že hlavní dynamické procesy jsou omezeny na svrchní část nesaturované zóny. Získané výsledky významně přispěly ke snížení nejistot při bezpečnostním hodnocení úložiště a představují důležitý podklad pro jeho další projektovou přípravu.
Realizovaný monitoring zároveň prokázal, že kombinace dlouhodobého terénního sledování, laboratorních analýz a numerického modelování představuje efektivní metodický postup pro charakterizaci lokalit určených k ukládání radioaktivních odpadů. Tento přístup je plně v souladu s doporučeními Mezinárodní agentury pro atomovou energii (IAEA) a může být využit i při přípravě obdobných projektů v dalších zemích.

Seznam literatury

Hiller, P., et al. (2017). *Summary of Hydrological Monitoring of the Geo-environment at Radiana, Bulgaria (2013–2016).* National Nuclear Laboratory, Report NNL (16) 12387.
IAEA (2011). *Disposal of Radioactive Waste. Specific Safety Requirements SSR-5.*
IAEA (2014). *The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste. SSG-23.*
Domenico, P. A., Schwartz, F. W. *Physical and Chemical Hydrogeology.*
Brassington, R. *Field Hydrogeology.*
Bechelli, B., Lennon, C. and Smith, N., 2015. *Deliverable D14. Results from the Saturated Zone (Aquifers) Monitoring (Stage II 12-Month Measurements) Including Geochemical Analysis of Groundwater*, NNL (15) 12374, Issue 01.
Bechelli, B. and Henderson, E., 2015. *Deliverable D15. Results from the Saturated Zone (Aquifers) Monitoring (Stage III 18-Month Measurements) Including Geochemical Analysis of Groundwater,* NNL (15) 13543, Issue 1.
Bechelli, B. and Henderson, E., 2015. *Deliverable D16. Results from the Saturated Zone (Aquifers) Monitoring (Stage III 24-Month Measurements) Including Geochemical Analysis of Groundwater*, NNL (15) 12377, Draft 1
Bechelli, B., 2015a. Deliverable D8. *Results from the Vadose Zone Monitoring (II Stage - 12 months Measurements)*, NNL (15) 12373, Issue 1
Bechelli, B., 2015b. Deliverable D9: *Results from the Vadose Zone Monitoring (III Stage - 18 Months Measurements)*, NNL (15) 12375, Issue 1.
Bechelli, B., 2015c. Deliverable D11: *Results from the Vadose Zone Monitoring (V Stage - 30 Months Measurements)*, NNL (16) 12378, Issue 2
Bechelli, B. and Henderson, E., 2015. Deliverable D10: *Results from the Vadose Zone Monitoring (IV Stage - 24 Months Measurements*, NNL (15) 12376, Draft 1
Bechelli, B. and Hiller, P., 2016. Deliverable D17. *Results from the Saturated Zone (Aquifers) Monitoring (Stage III 30-Month Measurements) Including Geochemical Analysis of Groundwater*, NNL (15) 12379, Issue 1
Beltrán, F. 2012. *Conceptual Design Report Alternative 1 – Part 1: Geomechanical and Geotechnical condition and subgrade*, R-Project 5: Technical Design and ISAR Preparation for National Disposal Facility. R5-NDGF-CD1-PART1.
Brassington, R., 1988. *Field Hydrogeology. Geological Society of London Professional Handbook Series, Wiley*.
British Colombia Ministry of Agriculture, Food and Fisheries (2002). Soil Water Storage Capacity and Available Soil Moisture. 619.000-1

Bryan, N., and Lindsay, A, 2016. *Deliverable D21: Results of Kd determination for key radionuclides on major geological materials (II stage)*, NNL (16) 12382 Issue 1
Cooper, S., 2014. Deliverable D19. Results of the Geochemical Analysis of Pore Water and Soil Varieties. NNL (13) 12380, Draft 1.
Cooper, S. and Henderson, E., 2015. *Deliverable D13. Initial Results from the Saturated Zone Monitoring,* NNL (13) 12372, Issue 1.
Cooper, S. and Henderson, E., 2015. *Deliverable D7. Initial Results from the Vadose Zone Monitoring (I stage - 6 months observations and measurements)*, NNL (13) 12371, Issue 1.
Domenico, P.A. and Schwartz, F.W., 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*, John Wiley & Sons, New York, 824 p.
Evlogiev, Y., 2012. *Composing the Geological-Hydrogeological Profiles – From the Plateau Across the Radiana site to the Danube River*, Bulgarian Academy of Sciences Geological Institute.
Evstatiev, D. and Stoinev, S., 2011. *Engineering Geological and Hydrogeological Field and Laboratory Investigations in the Plain Part of Radiana Site*, MGU Engineering Ltd.
Geotehnika, 2009. *Results of the geological, geophysical, geotechnical engineering, hydrogeological, hydrological and laboratory studies conducted for NDRAW*, Geotehnika-ABC Ltd, Sofia.
Gil-Garcıa, C., Rigol, A., and Vidal, M., *New best estimates for radionuclide solid–liquid distribution coefficients in soils, Part 1: radiostrontium and radiocaesium*, Journal of Environmental Radioactivity, 100, (2009) 690–696. (A).
Gil-Garcıa, C., Tagami, K., Uchida, S., Rigol, A., and Vidal, M., *New best estimates for radionuclide solid–liquid distribution coefficients in soils. Part 3: miscellany of radionuclides (Cd, Co, Ni, Zn, I, Se, Sb, Pu, Am, and others)*, Journal of Environmental Radioactivity 100 (2009) 704–715. (B).
Graham, J., Hughes, A., Thompson, O. and Trivedi, D., 2013. *Deliverable D5: Detailed Programme for Realization of the Hydrogeological Monitoring and Geochemical Analysis*, NNL (12) 12363, Issue 1.
Henderson, E., 2014. *Deliverable D6. Construction of Vadose Zone Monitoring Systems*, NNL (13) 12370, Issue 3.
Henderson, E., 2014. *Deliverable D12: Construction of the Saturated Zone (Aquifers) Monitoring System*, NNL (13) 12398, Issue 3.
Henderson, E., 2015. *Deliverable D18: Results of Solute Transport (Tracer) Tests*, NNL (15) 13606, Issue 2.
Henderson, E. and Kubricht, J., 2013. *Deliverable D4: Design of the Overall Hydrological Monitoring System for the Radiana Site Including Vadose Zone and Saturated Zone (Aquifer) Monitoring*, NNL (12) 12362, Issue 2.
Hiller, P., 2016. *Deliverable D26: Programme for Hydrogeological Monitoring During the Operation of the NDF*, NNL (16) 12388 Issue 1
Hiller, P. and Kubricht, J., 2015. *Deliverable D29: Report on selection of proper plugging material and decommissioning technology*, NNL (15) 13550, Draft 2.
Kaelin, J.L., 1990. Region de Soulaines (L'AUBE, France). Géologie, hydrogeology et géotechnique, Paris, ANDRA, 161 p.
Lindsay, A. and Trivedi, D., 2015. *Deliverable D20: Results of Kd determination for key radionuclide on major geological materials (I stage) and training in respective laboratory of proper SE RAW personnel on direct measurement of Kd values*, NNL (15) 12381, Draft 1.
Mansour, M.M., Scheidegger, J. and Hughes A.G., 2014. *Deliverable D22: Groundwater modelling to characterise the time of travel of radionuclides from the Radiana repository*, British Geological Survey Commissioned Report, CR/14/100.
Mansour M.M. and Hughes A.G., 2016. *Deliverable D23: Groundwater modelling to characterise the time of travel of radionuclides from the Radiana repository*, BGS Report no. CR/16/169 Issue 04.
Oke, T.R. 1987. *Boundary Layer Climates*. Second Edition.
Saxton K.E. and Rawls W.J., 2006. *Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions*, Soil Science Society of America, Journal, 70:1569-1578
Schaap, M. G. et al (2001). ROSETTA: *A Computer Program for Estimating Soil Hydraulic Parameters with Hierarchical Pedotransfer Function*, Journal of Hydrogeology 251. p163-176.
Scanlon, B.R., 1994. *Water and heat fluxes in desert soils*, Water Resour. Res., 30(3), 709-719.
SERAW, 2010. *Non–Technical Summary of the Environmental Impact Assessment Report (EIAR) of the Investment Proposal for Construction of a National Disposal Facility for Low and Intermediate Radioactive Waste*.
SERAW, 2011. *Report on Environmental Impact Assessment (EIAR) on investment proposal for Construction of a National Repository for Low and Intermediate Level Radioactive Waste Disposal*.
SERAW, 2012. *Terms of Reference for R-Project 3E, Predisposal Monitoring of the Radiana Site – Hydrogeological Monitoring and Geochemical Analysis*, SERAW Report No. NDF-ToR-0004/7. SERAW, Sofia, 2012.

Šimůnek, J., Šejna, M. and van Genuchten, M.Th., 1998. *The HYDRUS-1D code for simulating water flow and solute transport in one-dimensional variably saturated media. Version 2.0*, U.S. Salinity Laboratory, Riverside, California.
Smith, N. and Henderson, E., 2013. *Deliverable D3: Preliminary Hydrogeological model for the Radiana Site*, NNL (12) 12361, Issue 2.
Terzaghi, K. and R. B. Peck, (1967) *Soil Mechanics in Engineering Practice*, New York: J. Wiley and Sons, Inc.
Vandenhove, H., Gil-Garcıa C., Rigol, A., and M. Vidal, *New best estimates for radionuclide solid–liquid distribution coefficients in soils. Part 2. Naturally occurring radionuclides, Journal of Environmental Radioactivity 100 (2009) 697–703*.
Van Genuchren, M. Th., 1980. *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*, Soil Sci. Soc. Am. J., 44, 892-898.

ENVIRONMENTÁLNÍ HODNOCENÍ SANACE BÝVALÉHO DOLU JAN ŠVERMA SE ZAMĚŘENÍM NA HYDROSFÉRU

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE REMEDIATION OF THE FORMER JAN ŠVERMA MINE, WITH A FOCUS ON THE HYDROSPHERE

Monika Ličbinská[1], Lenka Mertová, Naďa Rapantová[2], Martina Molková[1]

[1]Katedra geologického inženýrství, HGF, VŠB-TUO, 17.listopadu 15, 708 00 Ostrava-Poruba, e-mail: monika.licbinska@vsb.cz, martina.molkova@vsb.cz
[2] Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 00 Ostrava-Poruba, e-mail: nada.rapantova@vsb.cz

Abstrakt: Likvidace hlubinných dolů představuje významný environmentální zásah ovlivňující hydrogeologické poměry a kvalitu podzemních i povrchových vod. Příspěvek hodnotí účinnost sanace bývalého Dolu Jan Šverma v Žacléři z pohledu hydrosféry na základě výsledků dlouhodobého monitoringu realizovaného v letech 2018–2025. Sledování zahrnovalo monitoring důlních plynů, průtoků důlních vod a hydrochemický vývoj vod ze štol Prokopi, Antoni a Egydi, Lampertického potoka i podzemních vod v prostoru bývalých odkališť. Výsledky monitoringu prokázaly absenci významných výstupů důlních plynů, stabilizaci hydrologického režimu a příznivý vývoj kvality podzemních vod, dokumentovaný poklesem koncentrací síranů, rozpuštěných látek a vybraných kovů. Přetrvávajícím hydrogeochemickým jevem zůstává oxidace železa ve vodách vytékajících ze štol Prokopi a Antoni, spojená se srážením železitých sloučenin v Lampertickém potoce. Získané výsledky potvrzují účinnost realizovaných sanačních opatření při omezení negativních vlivů hlubinné těžby na hydrosféru a dokládají postupnou regeneraci vodního prostředí v území bývalého černouhelného revíru Žacléř.

Abstract: The decommissioning of deep mines constitutes a significant environmental intervention affecting hydrogeological conditions and the quality of both groundwater and surface water. This paper evaluates the effectiveness of the remediation of the former Jan Šverma Mine in Žacléř from a hydrosphere perspective, based on the results of long-term monitoring carried out between 2018 and 2025. The monitoring programme included the monitoring of mine gases, mine water flows and the hydrochemical evolution of water from the Prokopi, Antoni and Egydi adits, the Lampertický stream and groundwater in the area of the former tailings' ponds. The monitoring results demonstrated the absence of significant mine gas emissions, the stabilisation of the hydrological regime and a favourable trend in groundwater quality, as evidenced by a decrease in the concentrations of sulphates, dissolved substances and selected metals. A persistent hydrogeochemical phenomenon remains the oxidation of iron in the waters flowing from the Prokopi and Antoni adits, associated with the precipitation of iron compounds in the Lampertický stream. The results obtained confirm the effectiveness of the remediation measures implemented in mitigating the negative impacts of deep mining on the hydrosphere and demonstrate the gradual regeneration of the aquatic environment in the area of the former Žacléř hard coal mining district.

Klíčová slova: hlubinná těžba uhlí; vnitrosudetská pánev; sanace důlních děl; důlní vody; hydrogeochemie; zakládková směs

Key words: underground coal mining; the Intra-Sudetic Basin; mine closure and remediation; mine water; hydrogeochemistry; backfill mixture

1. Úvod

Ukončování hlubinné těžby představuje z environmentálního hlediska jednu z nejsložitějších etap životního cyklu dolů. Zatímco během aktivní těžby je hydrogeologický režim území řízen intenzivním odvodňováním důlních prostor, po ukončení těžby dochází k postupnému zaplavování důlních děl, obnově přirozených hydraulických poměrů a vzniku nového hydrogeochemického systému. Tyto procesy mohou přetrvávat desítky let a významně ovlivňovat kvalitu podzemních i povrchových vod, migraci rozpuštěných látek, transport důlních plynů i geomechanickou stabilitu horninového prostředí (Younger et al., 2002; Wolkersdorfer, 2008; Nordstrom, 2011).
Jedním z nejvýznamnějších faktorů ovlivňujících vývoj prostředí po ukončení aktivní těžby je způsob technické likvidace důlních děl. V případě hlubinných uhelných dolů se stále častěji uplatňuje řízené zaplňování podzemních prostor zakládkovými směsmi, jehož cílem je zvýšení geomechanické stability horninového masivu, omezení hydraulického propojení jednotlivých důlních horizontů, snížení intenzity proudění důlních vod a minimalizace migrace důlních plynů k zemskému povrchu. Z environmentálního hlediska však nelze účinnost těchto opatření posuzovat pouze podle jejich technické funkce, ale především podle jejich dlouhodobého vlivu na hydrologický režim, hydrochemický vývoj a obnovu kvality vod v posttěžebním území (Lottermoser, 2010; Wolkersdorfer et al., 2020).

Hydrogeochemický vývoj opuštěných dolů je výsledkem komplexních interakcí mezi horninovým prostředím, infiltračními, podzemními a důlními vodami, atmosférickým kyslíkem a mikrobiálními procesy. Po ukončení čerpání dochází ke změně oxidačně-redukčních podmínek, rozpouštění a precipitaci minerálních fází, vývoji koncentrací hlavních iontů i stopových prvků a k postupnému ustalování nového chemického režimu. Přestože největší pozornost je tradičně věnována kyselým důlním vodám (Acid Mine Drainage), obdobné hydrogeochemické procesy probíhají i v uhelných revírech s neutrálním až slabě alkalickým chemismem, kde významnou roli hraje zejména oxidace železa, mobilita síranů a dlouhodobý vývoj mineralizace důlních vod (Nordstrom, 2011; Blowes et al., 2014).
Rees et al. (2002) prokázali, že chemismus důlních vod je určován především hydrogeologickým typem výtoku a stupněm hydraulického propojení zatopených důlních prostor. U zaplavených hlubinných dolů převažují neutrální až alkalické vody se zvýšenými koncentracemi železa a síranů, zatímco kyselé vody jsou typické především pro haldy a mělká důlní díla. Také nedávné výsledky monitoringu opuštěných černouhelných dolů na západě Německa ukázaly, že většina důlních vod má neutrální pH a je charakterizována hydrochemickým typem HCO_3–SO_4 s převahou sodíku a vápníku. Přetrvávající oxidace dvojmocného železa vede ke vzniku okrových sedimentů tvořených především goethitem a ferrihydritem, což představuje dlouhodobý proces ovlivňující kvalitu recipientů i po ukončení těžby (Tran et al., 2024).
Dobývací prostor Žacléř představuje z tohoto pohledu mimořádně významnou lokalitu. Historie těžby černého uhlí zde sahá až do 16. století, přičemž intenzivní hlubinné dobývání probíhalo zejména od druhé poloviny 19. století. V průběhu více než stoletého vývoje vznikla rozsáhlá soustava jam, štol, chodeb a dobývek zasahujících do hloubek téměř 1000 m, která vytvořila složitý systém hydraulických i ventilačních propojení mezi hlubinným prostředím a zemským povrchem. Po ukončení těžby bylo proto nezbytné řešit nejen geomechanickou stabilizaci podzemních prostor, ale současně minimalizovat rizika spojená s nekontrolovaným prouděním důlních vod, výstupy důlních plynů a možnou migrací kontaminantů do okolního prostředí. V dobývacím prostoru byla proto realizována systematická likvidace důlních děl založená na jejich zaplňování certifikovanými samotuhnoucími zakládkovými směsmi a na dlouhodobém monitoringu vývoje hydrogeologických poměrů. Tento způsob sanace představuje v podmínkách České republiky unikátní příklad komplexně sledované likvidace hlubinného dolu.
Součástí monitorovacího systému je sledování výstupů důlních plynů, vydatnosti důlních vod, hydrochemického složení vod vytékajících ze štol Prokopi, Antoni a Egydi, kvality vod Lampertického potoka i dlouhodobého vývoje chemismu mělkých podzemních vod v prostoru bývalých kalových rybníků. Dlouhodobý monitoring umožňuje hodnotit nejen aktuální stav jednotlivých složek hydrosféry, ale především vývojové trendy a účinnost realizovaných sanačních opatření, což představuje základní předpoklad pro objektivní posouzení dlouhodobé environmentální stability území (Wolkersdorfer et al., 2020).
Cílem tohoto příspěvku je zhodnotit vliv realizovaných sanačních opatření na hydrosféru bývalého Dolu Jan Šverma na základě výsledků monitoringu prováděného v letech 2018–2025. Pozornost je zaměřena především na změny hydrologického režimu a vývoj hydrochemického složení důlních, povrchových a podzemních vod. Díky dlouhodobému monitoringu se rovněž v práci zaměřujeme na posouzení dlouhodobé účinnosti realizovaných technickobezpečnostních opatření při stabilizaci posttěžebního prostředí.

2. Charakteristika lokality a historie těžby

Dobývací prostor Žacléř se nachází v severovýchodních Čechách v oblasti vnitrosudetské uhelné pánve, která představuje jeden z nejvýznamnějších černouhelných revírů České republiky. Ložisko je tvořeno svrchnokarbonskými sedimenty obsahujícími několik ekonomicky významných uhelných slojí, jejichž mocnost, tektonické porušení i proměnlivé hydrogeologické poměry podmínily specifický způsob jejich dobývání (Pešek, Sivek 2016; Chlupáč et al., 2011).
Historie těžby uhlí v oblasti Žacléře sahá až do roku 1570, přičemž intenzivní průmyslové dobývání bylo zahájeno ve druhé polovině 19. století po otevření novodobého Dolu Jan Šverma. V průběhu více než jednoho století byla vybudována rozsáhlá soustava svislých jam, štol, překopů, úpadnic a dobývek, které zpřístupnily černouhelné sloje od jejich výchozů až do hloubek přibližně 1000 m pod povrchem. Výsledkem dlouhodobé těžební činnosti vznikl rozsáhlý podzemní prostor propojený s povrchem sítí důlních děl, starých dobývek, tektonických poruch a zálomových zón, které významně ovlivnily proudění podzemních vod i migraci důlních plynů.
Po ukončení hlubinné těžby bylo nezbytné řešit stabilizaci horninového prostředí a eliminaci rizik spojených s existencí rozsáhlého systému opuštěných důlních děl. V dobývacím prostoru byl proto zvolen komplexní způsob likvidace založený na systematickém zaplňování podzemních prostor certifikovanými samotuhnoucími zakládkovými směsmi. Cílem tohoto postupu bylo zvýšení geomechanické stability horninového masivu, omezení hydraulického propojení jednotlivých důlních horizontů, minimalizace proudění důlních vod opuštěnými důlními díly a současně snížení možnosti migrace důlních plynů směrem k zemskému povrchu. Tento způsob sanace představuje v podmínkách České republiky ojedinělý příklad komplexní likvidace hlubinného černouhelného dolu, jejíž průběh je dlouhodobě sledován z hlediska vlivů na životní prostředí (Ličbinská, Rapantová, 2024).

Po ukončení čerpání důlních vod v roce 2004 došlo k postupnému zaplavení hlubších částí důlního systému a k obnově přirozenějšího hydrogeologického režimu. V současnosti hlavní drenážní funkci převzala zachovaná historická důlní díla, zejména štoly Prokopi, Antoni a Egydi. Ty odvádějí především mělké infiltrační vody z přípovrchové části horninového masivu, zatímco přímé hydraulické propojení s hlubšími částmi bývalého dolu je podle dostupných poznatků omezené.
Součástí procesu likvidace dolu je rovněž průběžné řešení lokálních environmentálních rizik. Mezi ně patří sledování oblastí s projevy ohřívání uhelných slojí, kontrola možných výstupů oxidu uhličitého z opuštěných důlních děl a dlouhodobý monitoring výtoků důlních vod. Významnou součástí sanace je rovněž rekultivace území dotčeného těžbou, včetně bývalých lomů a kalových rybníků, jejichž vývoj je hodnocen z hlediska možných dopadů na kvalitu podzemních a povrchových vod.
Specifickým rysem lokality je skutečnost, že sanační opatření nejsou hodnocena pouze z technického hlediska, ale jsou doprovázena systematickým dlouhodobým monitoringem hydrogeologických, hydrochemických a environmentálních parametrů. Takto získaná databáze představuje cenný podklad pro hodnocení dlouhodobé účinnosti sanace a vývoje hydrosféry v posttěžebním prostředí hlubinného černouhelného dolu.

3. Realizovaná sanační opatření

Ukončení hlubinné těžby v dobývacím prostoru Žacléř si vyžádalo realizaci souboru technických a sanačních opatření, jejichž hlavním cílem bylo zajistit dlouhodobou geomechanickou stabilitu horninového prostředí a minimalizovat negativní dopady bývalé hornické činnosti na jednotlivé složky životního prostředí, zejména hydrosféru. Sanace byla navržena jako komplexní proces zahrnující likvidaci hlavních důlních děl, stabilizaci podzemních prostor, rekultivaci povrchových částí areálu a dlouhodobý monitoring vývoje hydrogeologických poměrů.
Základním sanačním opatřením bylo systematické zaplňování opuštěných důlních děl certifikovanými samotuhnoucími zakládkovými směsmi. Tento způsob likvidace byl zvolen s cílem omezit vznik hydraulických propojení mezi jednotlivými částmi důlního systému, snížit proudění důlních vod opuštěnými chodbami a současně minimalizovat možnost migrace důlních plynů směrem k zemskému povrchu (Ličbinská a Rapantová, 2024).
Součástí sanačních prací byla rovněž rekultivace lomu Žacléř IIA a území bývalých kalových rybníků. Rekultivace byla realizována postupně v návaznosti na schválené harmonogramy a zahrnovala především terénní úpravy, zásypy vhodnými materiály a následnou biologickou rekultivaci. V průběhu hodnoceného období pokračovalo doplňování rekultivovaných ploch inertními materiály i dokončování technických opatření směřujících ke stabilizaci území (Ličbinská a Rapantová, 2024). Rekultivace důlních lokalit představuje významný nástroj ke snížení dlouhodobých environmentálních rizik spojených s důlní činností (Lottermoser, 2010).
Významnou součástí hodnoceného sanačního systému byla rovněž kontrola stavu zlikvidovaných hlavních důlních děl. Pravidelný monitoring prováděný společností GEMEC–UNION a.s. zahrnoval kontrolu stability uzavřených jam, sledování případných poklesů terénu a měření výskytu důlních plynů. Na studovaném území nebyly u kontrolovaných hlavních důlních děl zjištěny projevy narušení stability ani výskyt metanu či jiných nebezpečných důlních plynů, což potvrzuje účinnost realizovaných technickobezpečnostních opatření.
Vedle technické likvidace podzemních prostor byla značná pozornost věnována i monitoringu lokalit s potenciálním rizikem prohřívání uhelných slojí a výstupů důlních plynů. Pokračovalo rovněž sledování hydrochemického vývoje důlních vod vytékajících ze štol Prokopi, Antoni a Egydi, kvality vod Lampertického potoka a mělkých podzemních vod v prostoru bývalých kalových rybníků. Tento monitoring představuje základní nástroj pro průběžné hodnocení účinnosti realizovaných sanačních opatření a ověřování dlouhodobé stability posttěžebního prostředí (Lottermoser, 2010).
Realizovaný způsob sanace představuje integrovaný přístup spojující geotechnická, hydrogeologická a environmentální opatření. Jeho účinnost je ověřována dlouhodobým monitoringem, který umožňuje hodnotit nejen technický stav likvidovaných důlních děl, ale především vývoj hydrologického režimu a kvality vod v širším okolí bývalého dolu.

4. Metodika monitoringu

Dlouhodobý monitoring představuje základní nástroj hodnocení účinnosti sanace bývalých hlubinných dolů a umožňuje sledovat vývoj hydrogeologických poměrů, kvality důlních vod i případných dopadů na okolní životní prostředí (Wolkersdorfer, 2008).
V případě bývalého Dolu Jan Šverma je monitoring realizován podle schváleného programu monitoringu likvidace dolu a zahrnuje pravidelné sledování hydrogeologických, hydrochemických a environmentálních ukazatelů (tab. 1). Cílem monitoringu je ověřit dlouhodobou stabilitu sanovaného území a průběžně hodnotit účinnost realizovaných sanačních opatření (Ličbinská a Rapantová, 2024).

Tab. 1 Přehled monitorovaných složek životního prostředí.
Table 1: Overview of monitored environmental components.

Monitorovaná složka	Monitorované objekty	Hlavní sledované ukazatele
Důlní vody	štoly Prokopi, Antoni, Egydi	teplota, pH, elektrická vodivost, Eh, hlavní ionty, Fe, Mn, SO_4^{2-}
Povrchové vody	Lampertický potok (nad a pod lokalitou)	fyzikálně-chemické ukazatele, hlavní ionty, Fe, Mn, průtok
Podzemní vody	monitorovací vrty v okolí kalových rybníků	fyzikálně-chemické ukazatele, hlavní ionty, Fe, Mn
Důlní plyny	hlavní důlní díla	CH_4, CO_2, O_2
Samozápary	rizikové lokality	vizuální kontrola, povrchová teplota

Monitorovací síť byla navržena tak, aby zachycovala jak vývoj chemismu důlních vod odváděných historickými štolami, tak případné změny kvality povrchových a mělkých podzemních vod v okolí bývalého dolu. Součástí monitoringu jsou rovněž pravidelná měření průtoků důlních výtoků a terénní stanovení základních fyzikálně-chemických parametrů vod, zejména teploty, pH, elektrické vodivosti a oxidačně-redukčního potenciálu. Laboratorní analýzy zahrnují stanovení hlavních kationtů a aniontů, železa, manganu a dalších ukazatelů charakterizujících hydrochemický vývoj sledovaných vod (Ličbinská a Rapantová, 2024).
Součástí monitoringu jsou také pravidelné kontroly výskytu důlních plynů v okolí hlavních důlních děl, sledování lokalit se známými projevy samozáparu a vizuální kontroly technického stavu rekultivovaných ploch (Ličbinská a Rapantová, 2024). Komplexní vyhodnocení těchto údajů umožňuje průběžně posuzovat dlouhodobou stabilitu sanovaného území a potvrdit, že realizovaná technická opatření vedou k postupné stabilizaci prostředí.

5. Výsledky a diskuse

5.1 Monitoring důlních plynů

Jedním z hlavních cílů dlouhodobého monitoringu bylo ověřit, zda realizovaná likvidace důlních děl a jejich postupné zaplňování samotuhnoucími zakládkovými směsmi účinně eliminují riziko migrace důlních plynů do povrchového prostředí. Přítomnost metanu a oxidu uhličitého představuje u opuštěných hlubinných dolů významné bezpečnostní i environmentální riziko, zejména v místech bývalých jam, štol a propadlin, kde mohou vznikat preferenční migrační cesty (Younger et al., 2002; Wolkersdorfer, 2008).
Kontroly prováděné u hlavních důlních děl i dalších kontrolovaných objektů, neprokázaly výskyt metanu ani jiných důlních plynů. Současně nebyly zjištěny poklesy terénu ani jiné projevy geomechanické nestability v okolí uzavřených důlních děl. Tyto výsledky potvrzují, že realizovaná technická opatření vedla k účinnému omezení komunikace mezi podzemním důlním systémem a zemským povrchem a že z hlediska migrace důlních plynů je lokalita dlouhodobě stabilizována.

5.2 Hydrologický režim

Vývoj hydrologického režimu představuje jeden z nejvýznamnějších ukazatelů úspěšnosti sanace bývalých hlubinných dolů. Po ukončení čerpání důlních vod dochází zpravidla k obnově přirozeného proudění podzemních vod, stabilizaci hladiny zaplavení a vytvoření nového hydraulického systému, jehož charakter je ovlivněn geologickou stavbou, propustností horninového prostředí i rozsahem provedených sanačních opatření (Wolkersdorfer, 2008).
Výsledky monitoringu v dobývacím prostoru Žacléř potvrzují, že v hodnoceném období nedošlo k významným změnám hydrologického režimu. Všechny sledované výtoky důlních vod vykazovaly pouze malé sezónní kolísání průtoků odpovídající změnám infiltrace srážkových vod. Nejvyšší vydatnosti byly dlouhodobě zaznamenávány na výtoku ze štoly Prokopi a na společném výtoku ze sedimentační nádrže Prokopi, zatímco vydatnost štoly Egydi zůstávala prakticky konstantní. Také ostatní historické štoly vykazovaly pouze minimální změny průtoků.
Monitoring dále potvrdil úzkou vazbu mezi intenzitou srážek a vydatností výtoků ze štol Antoni a Prokopi. Reakce systému na infiltrační dotaci je velmi rychlá a retardace nepřesahuje 24 hodin, což potvrzuje převahu mělkého puklinového oběhu podzemních vod nad hlubokou cirkulací. Tento poznatek současně dokládá, že kvalita vytékajících vod není ovlivňována průsaky přes zaplněná hlubinná důlní díla, ale převážně infiltrací srážkových vod do přípovrchové části horninového masivu.

5.3 Hydrochemie důlních a povrchových vod

Hydrochemické složení důlních vod představuje citlivý indikátor probíhajících geochemických procesů v zatopeném důlním systému. Vývoj chemismu je výsledkem interakcí mezi infiltrujícími vodami, horninovým

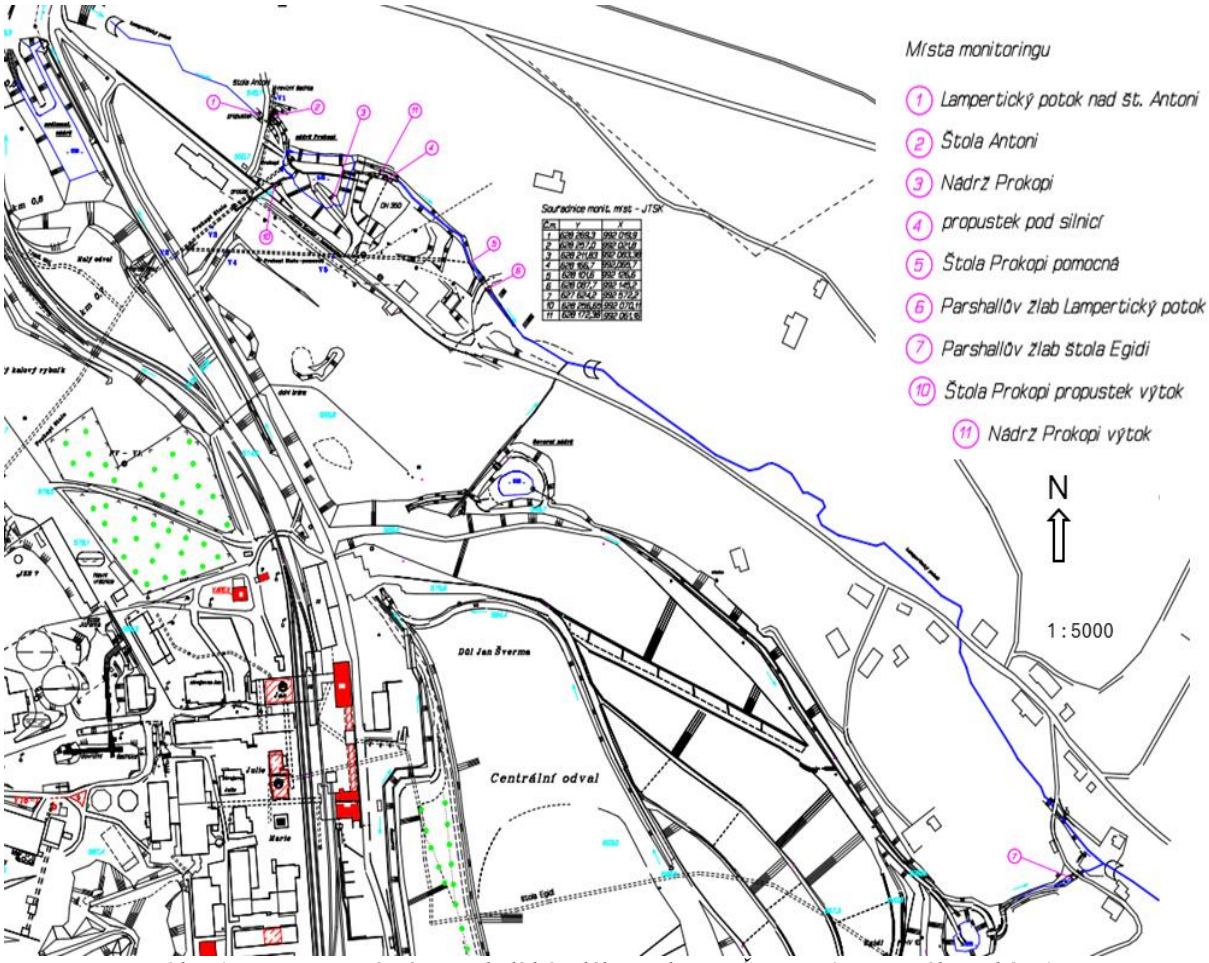
prostředím a zbytkovou mineralizací důlních děl. V období po ukončení těžby se obvykle uplatňuje oxidace sulfidických minerálů, rozpouštění karbonátů, precipitace hydroxidů železa a postupná stabilizace chemického složení vod (Nordstrom, 2011; Blowes et al., 2014).

Výsledky monitoringu štol Antoni a Prokopi prokázaly dlouhodobě příznivý vývoj kvality důlních vod. Koncentrace železa a hořčíku se během sledovaného období dostaly pod příslušné limitní hodnoty a rovněž koncentrace manganu vykazovaly zřetelně klesající trend. Poprvé od zahájení monitoringu byly v některých odběrech zaznamenány podlimitní koncentrace manganu, což svědčí o pokračující stabilizaci hydrogeochemického režimu. Nadlimitní hodnoty nadále přetrvávají pouze u síranů a celkového obsahu rozpuštěných látek, jejichž koncentrace však rovněž vykazují dlouhodobý pokles.

Významným jevem zůstává okrové zabarvení vod vytékajících ze štol Prokopi a Antoni. Tento jev není způsoben zhoršováním kvality vody, ale oxidací rozpuštěného dvojmocného železa po kontaktu s atmosférickým kyslíkem a následnou precipitací železitých oxyhydroxidů. Přestože koncentrace železa již ve většině případů nepřekračují limitní hodnoty, jsou stále dostatečné pro vznik okrových sedimentů, které negativně ovlivňují estetický stav Lampertického potoka. Chemismus Lampertického potoka pak odráží kombinovaný vliv důlních vod a povrchového odtoku z hornicky ovlivněného území. Přestože byly zaznamenány pouze lokální sezónní výkyvy, zejména u manganu během období jarního tání, dlouhodobý vývoj ukazuje na stabilizovaný hydrochemický režim bez známek zhoršování kvality recipientu.

Hydrochemie vod vytékajících ze štoly Egydi vykazuje dlouhodobě stabilní charakter. Převládajícím problémem zůstávají zvýšené koncentrace síranů, hořčíku a rozpuštěných látek, které souvisejí především s výluhy z centrálního hlušinového odvalu situovaného nad štolou. Naopak koncentrace železa i manganu jsou dlouhodobě nízké a převážně podlimitní.

Mapa monitorovacích míst v okolí bývalého Dolu Jan Šverma v Žacléři je znázorněna na obr. 1.



Obr. 1 Monitorovací místa v okolí bývalého Dolu Jan Šverma (autor: Zákravská L.).

Fig. 1 Monitoring sites in the vicinity of the former Jan Šverma Mine (by L. Zákravská).

5.4 Vývoj kvality podzemních vod

Na studované lokalitě je nejdelší časová řada monitoringu podzemních vod k dispozici pro vrt PV-6 situovaný v prostoru bývalého Malého kalového rybníka. Monitoring probíhá nepřetržitě od roku 2005 a představuje unikátní

soubor dat dokumentující dlouhodobou hydrogeochemickou odezvu mělkých podzemních vod na realizovanou sanaci.
Výsledky prokazují systematický pokles koncentrací většiny hlavních kationtů, aniontů i celkové mineralizace. Tento trend svědčí o postupném ústupu kontaminační zátěže a o stabilizaci chemického režimu podzemních vod. Výjimku představuje mangan a celkové železo, jejichž koncentrace jsou ovlivňovány především lokálními oxidačně-redukčními procesy. Celkově však lze vývoj chemismu podzemních vod hodnotit jako jednoznačně pozitivní.

5.5 Zhodnocení účinnosti sanace

Výsledky dlouhodobého monitoringu potvrzují, že realizovaná sanační opatření vedla ke stabilizaci hydrogeologických poměrů v dobývacím prostoru Žacléř. Nebyly zjištěny projevy migrace důlních plynů ani geomechanické nestability, hydrologický režim vykazuje dlouhodobě ustálený charakter a hydrochemický vývoj důlních i podzemních vod směřuje k postupnému snižování kontaminační zátěže.
Přetrvávajícím environmentálním problémem zůstává zejména zvýšený obsah síranů, rozpuštěných látek a lokálně také manganu v některých důlních vodách. Tyto skutečnosti však souvisejí především s přirozenými geochemickými procesy probíhajícími v karbonských horninách a ve výluzích hlušinových odvalů, nikoli s použitými zakládkovými směsmi. Dlouhodobý monitoring naopak potvrzuje, že nebyly prokázány negativní vlivy použitých samotuhnoucích zakládkových směsí na kvalitu důlních ani podzemních vod.
Celkově lze konstatovat, že realizovaný způsob likvidace bývalého Dolu Jan Šverma představuje účinný nástroj stabilizace prostředí po ukončení těžby. Dlouhodobý monitoring zároveň ukazuje, že hydrogeochemický vývoj zatopeného důlního systému pokračuje i více než patnáct let po ukončení hlavních sanačních prací, což potvrzuje význam kontinuálního sledování těchto lokalit pro objektivní hodnocení jejich environmentální bezpečnosti (Wolkersdorfer, 2008; Younger et al., 2002).

6. Závěr

Výsledky dlouhodobého monitoringu bývalého Dolu Jan Šverma potvrzují, že realizovaná sanační opatření vedla ke stabilizaci hydrogeologických poměrů a k omezení negativních vlivů hlubinné těžby na hydrosféru. Na kontrolovaných hlavních důlních dílech nebyly v hodnoceném období zjištěny výstupy metanu ani jiných nebezpečných důlních plynů a současně nebyly zaznamenány projevy geomechanické nestability. Průtoky sledovaných důlních výtoků vykazovaly pouze malé kolísání a jejich režim odpovídal převážně infiltraci srážkových vod do mělkého puklinového systému. Hydrochemický vývoj vod ze štol Antoni–Prokopi byl charakterizován dlouhodobým poklesem koncentrací Fe, Mg, Mn, síranů a rozpuštěných látek, i když nadále překračovaly příslušné limitní hodnoty. U štoly Egydi zůstával chemismus stabilnější, avšak se zvýšenými koncentracemi síranů, hořčíku a rozpuštěných látek, které jsou spojovány především s výluhy z hlušinového odvalu. Ve vodách ani v monitorovaných důlních výtocích nebyla zjištěna kontaminace, kterou by bylo možné spojit s použitými samotuhnoucími zakládkovými směsmi.
Pozitivní vývoj je patrný rovněž v mělkých podzemních vodách pod bývalým Malým kalovým rybníkem. Monitoring objektu PV-6 prováděný od roku 2005 dokládá systematický pokles koncentrací většiny hlavních iontů a celkové mineralizace. Výjimku představují proměnlivé koncentrace Fe a Mn, které jsou citlivé na lokální oxidačně-redukční podmínky. Dlouhodobý pokles kontaminační zátěže lze proto interpretovat jako výsledek postupného vyplavování mobilních složek, omezení jejich dalšího přísunu a stabilizace proudění v sanovaném území.
Vývoj lokality Žacléř se příznivě odlišuje od některých nesanovaných nebo nedostatečně hydraulicky izolovaných uhelných revírů.
V uzavřených uhelných dolech jihozápadní provincie Šan-tung byly důlní vody charakterizovány vyššími koncentracemi TDS, SO_4^{2-}, Fe a Mn než okolní krasové vody a důlní voda zde představovala významný zdroj zhoršení kvality regionálního vodního prostředí. Podobně v opuštěné uhelné oblasti Zhangqiu byly zjištěny lokálně silně mineralizované podzemní vody a části hodnoceného území byly klasifikovány jako závažně znečištěné. Tyto příklady ukazují, že ponechání rozsáhlých důlních prostor s aktivní hydraulickou komunikací může vést k dlouhodobému přenosu síranů a dalších rozpuštěných složek do okolních kolektorů (Liu et al., 2023).
Laboratorní modelování vod v důlních stařinách dolu Menkeqing rovněž prokázalo, že bez omezení kontaktu vody s horninovým materiálem může v počáteční fázi zatápění probíhat intenzivní rozpouštění minerálů a vznik vysoce mineralizované vody. Nejvýraznější reakce voda–hornina se zde odehrávaly během prvních přibližně 30 dnů experimentu, přičemž rozpouštění minerálních fází přetrvávalo i v dalších fázích vývoje systému (Zhao et al., 2023). Tento výsledek podporuje význam omezení aktivního povrchu důlních prostor a jejich hydraulické prostupnosti, protože rychlost proudění, doba kontaktu a dostupnost reaktivního horninového materiálu zásadně ovlivňují výslednou mineralizaci důlních vod.
Také výsledky z opuštěného černouhelného dolu São Pedro da Cova v Portugalsku ukazují, že i výtoky důlních vod neutrálního pH, které nevykazují charakter kyselé důlní drenáže, mohou významně ovlivňovat chemické

složení povrchového recipientu. Environmentální riziko uzavřeného dolu proto nelze posuzovat pouze podle pH, ale jako souběh dalších negativních chemických ukazatelů důlních vod, především mineralizace, koncentrací síranů, kovů a dlouhodobého látkového toku do povrchových vod (Mansilha et al., 2021).
Srovnání s publikovanými studiemi zakládkových směsí podporuje závěr, že správně navržená směs může plnit současně geotechnickou i environmentální funkci. Yang et al. (2020) zjistili, že při dlouhodobém kontaktu cementové zakládky s vodou docházelo ke zmenšování pórovitosti v horninovém prostředí a omezení počtu a rozměrů hydraulicky spojitých kanálů. Cementová matrice zároveň umožňovala částečnou fixaci Zn, Pb a dalších kovů sorpcí, precipitací a jejich začleňováním do hydratačních produktů. Studie tak doložila, že cementovaná zakládka nemusí být zdrojem plošného znečištění důlních vod a že její mikrostrukturní vývoj může omezovat transport kontaminantů.
Kolonové experimenty s neutrální důlní vodou však současně ukázaly, že cementové zakládky nelze jednoznačně označit za vhodné do jakéhokoliv prostředí. Při kontaktu vody se zakládkou byly z roztoku odstraňovány As, Sb a Ni, zejména sorpcí na oxidické a hydroxidové fáze, ale současně docházelo k uvolňování Ca, síranů a Mo. U arsenu byl navíc na konci experimentu pozorován počátek opětovné mobilizace. Zakládkovou směs proto nelze obecně označit za zcela inertní; její vhodnost musí být potvrzena mineralogickou charakterizací, výluhovými testy a dlouhodobým monitoringem v konkrétních hydrochemických podmínkách (Solismaa et al., 2024).
Tento výsledek podporuje použití zakládkových směsí jako bariéry omezující hydraulickou komunikaci a migraci rozpuštěných složek, přestože konkrétní účinnost vždy závisí na vlastnostech použitých surovin a pojiva.

V případě Dolu Jan Šverma dosavadní monitoring takové nepříznivé projevy neprokázal. Naopak dlouhodobý pokles většiny sledovaných ukazatelů, stabilní režim důlních výtoků a absence charakteristické kontaminace pocházející ze zakládkových materiálů podporují závěr, že použitá certifikovaná samotuhnoucí směs je pro sanaci této lokality vhodná. Její hlavní přínos lze spatřovat v zaplnění volných důlních prostor, omezení jejich hydraulické průchodnosti a zmenšení rozsahu preferenčních cest, podél nichž by jinak mohly proudit a na povrch vystupovat silně mineralizované důlní vody.
Z dostupných výsledků však nelze odděleně kvantifikovat, jaká část zlepšení hydrochemického stavu je důsledkem samotné zakládkové směsi a jaká část souvisí s přirozeným vývojem chemismu důlních vod, kdy vždy po určité době dojde ke stabilizaci hydrochemických podmínek v zatopeném důlním prostoru a k odeznění tzv. first flush (počátečního proplachu důlního systému, ředění infiltrujícími vodami a postupným vyčerpáváním snadno rozpustných minerálních fází). Na základě dlouhodobého monitoringu na studované lokalitě lze konstatovat, že použití zakládkové směsi významně přispělo ke stabilizaci hydraulického systému a nebyl prokázán její negativní vliv na hydrosféru. Výsledky současně podporují předpoklad, že omezením proudění přes rozsáhlou síť důlních prostor směs snižuje riziko dlouhodobého transportu silně mineralizovaných vod do povrchových a mělkých podzemních vod.
Právě spojení certifikace materiálu, omezení hydraulické komunikace a následného environmentálního monitoringu odlišuje zde publikovaný a hodnocený sanační postup od lokalit, kde nekontrolované zatápění a proudění důlními stařinami vedou k dlouhodobému znečišťování hydrosféry.

Poděkování: Příspěvek byl připraven v rámci projektu Studentské grantové soutěže č. SP2025/074, č. SP2022/125 a č. SP2023/080. Děkujeme firmě GEMEC UNION a.s. za poskytnutá data. Děkujeme panu Ing. Novotnému za poskytnuté konzultace.

Seznam literatury

Blowes, D.W., Ptacek, C.J., Jambor, J.L., Weisener, Ch.G. The Geochemistry of Acid Mine Drainage. In: Holland, H.D. and Turekian, K.K., eds. *Treatise on Geochemistry*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2014, s. 131–190. DOI: 10.1016/B978-0-08-095975-7.00905-0.

Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovář, J., Stráník, Z. *Geologická minulost České republiky.* 2. vyd. Praha: Academia, 2011. ISBN 978-80-200-1961-0.

Ličbinská, M., Rapantová, N. Hodnocení likvidace Dolu Jan Šverma a sanace území po ukončení hlubinné těžby v DP Žacléř za roky 2022–2023 – vlivy na životní prostředí, zejména hydrosféru. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2024. Odborný posudek pro GEMEC–UNION a.s.

Liu, Y., Ma, G., Han, Y., Wang, Y., Tang, C., Tian, N., Tang, X., Jiang, L., Zuo, H., Zhang, Y., Wang, S., Wang, A., Mao, D., Liu, S. Assessment of the Impact of Abandoned Mine Water on Groundwater Environment. *Water.* 2023, 15(14), 2649. DOI: 10.3390/w15142649.

Lottermoser, B.G. *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts.* 3rd ed. Heidelberg: Springer, 2010. ISBN 978-3-642-12418-1.

Mansilha, C., Melo, A., Flores, D., Ribeiro, J., Rocha, J.R., Martins, V., Santos, P., Espinha Marques, J. Irrigation with Coal Mining Effluents: Sustainability and Water Quality Considerations (São Pedro da Cova, North Portugal). *Water.* 2021, 13(16), 2157. DOI: 10.3390/w13162157.

Nordstrom, D.K. Mine Waters: Acidic to Circumneutral. *Elements.* 2011, 7(6), 393–398. DOI: 10.2113/gselements.7.6.393.

Pešek, J., Sivek, M..*Coal-bearing Basins and Coal Deposits of the Czech Republic.* Prague: Czech Geological Survey, 2016, s. 208. ISBN 978-80-7075-913-4.

Rees, S. B., Bowell, R. J., Wiseman, I. Influence of Mine Hydrogeology on Mine Water Discharge Chemistry. In: Younger, P. L. a Robins, N. S., eds. *Mine Water Hydrogeology and Geochemistry.* Geological Society, London, Special Publications. London: Geological Society, 2002, sv. 198, s. 343–356. DOI: 10.1144/GSL.SP.2002.198.01.26.

Solismaa, S., Muniruzzaman, M., Kuva, J., Szlachta, M., Hyvönen, S., Kauppila, P., Kauppila, T. Interaction of Cemented Paste Backfill (CPB) and Circumneutral Mine Water during Column Experiments. *Applied Geochemistry.* 2024, 165, 105965. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2024.105965.

Tran, T.Q., Riechelmann, S., Banning, A., Wohnlich, S. Environmental Relevance Monitoring and Assessment of Ochreous Precipitates, Hydrochemistry and Water Sources from Abandoned Coal Mine Drainage. *Environmental Monitoring and Assessment.* 2024, 196, 700. DOI: 10.1007/s10661-024-12858-x.

Wolkersdorfer, Ch. *Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines: Fundamentals, Tracer Tests, Modelling, Water Treatment.* Heidelberg: Springer, 2008. ISBN 978-3-540-77330-5.

Wolkersdorfer, Ch., Nordstrom, D.K., Beckie, R.D., Cicerone, D.S., Elliot, T., Edraki, M., Valente, T., França, S.C.A., Kumar, P., Oyarzún L., Andrés, R., Soler i Gil, A. Guidance for the Integrated Use of Hydrological, Geochemical, and Isotopic Tools in Mining Operations. *Mine Water and the Environment.* 2020, 39(2), 204–228. DOI: 10.1007/s10230-020-00666-x.

Yang, Y., Zhao, T., Jiao, H., Wang, Y., Li, H. Potential Effect of Porosity Evolution of Cemented Paste Backfill on Selective Solidification of Heavy Metal Ions. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2020, 17(3), 814. DOI: 10.3390/ijerph17030814.

Younger, P.L., Banwart, S.A., Hedin, R.S. *Mine Water: Hydrology, Pollution, Remediation.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. ISBN 978-1-4020-0137-6.

Zhao, X., Xu, Z., Sun, Y. Mechanism of Changes in Goaf Water Hydrogeochemistry: A Case Study of the Menkeqing Coal Mine. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2023, 20(1), 536. DOI: 10.3390/ijerph20010536.

Rozsah celého příspěvku **1-10 stran**.
V případě potřeby uveřejnění článku s větším rozsahem, prosím kontaktujte příslušný vědecký výbor. Pokud neobdržíme žádný text do sborníku, bude ve sborníku uveden zaslaný krátký abstrakt.

Příspěvek se všemi náležitostmi zasílejte v elektronické podobě e-mailem na adresu: info@hgig.cz **nejpozději do 31. července 2026**

MONITORING PODZEMNÍCH A POVRCHOVÝCH VOD SE ZAPOJENÍM GEOFYZIKÁLNÍCH PRACÍ NA DOPORUČENÝCH LOKALITÁCH PRO UMÍSTNĚNÍ HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ

MONITORING OF GROUNDWATER AND SURFACE WATER, INCLUDING GEOPHYSICAL SURVEYS, AT SITES RECOMMENDED FOR THE LOCATION OF A DEEP REPOSITORY FOR RADIOACTIVE WASTE

Anna Macáková[1], Ján Klištinec[1]

[1] *Správa úložišť radioaktívních odpadů, e-mail: macakova@surao.gov.cz , klistinec@surao.gov.cz*

Abstrakt: Úkolem Správy úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO) je připravit hlubinné úložiště pro vyhořelé jaderné palivo a vysokoaktivní radioaktivní odpad z jaderných elektráren do roku 2050. V současnosti jsou vybrány 4 doporučené lokality, kde běží intenzivní průzkum a výzkum ve všech složkách geologického prostředí. Projekt HYDROLOGICKÝ, HYDROGEOLOGICKÝ A HYDROCHEMICKÝ MONITORING NA LOKALITÁCH BŘEZOVÝ POTOK, HORKA, HRÁDEK A JANOCH probíhá druhým rokem, projekt GEOFYZIKÁLNÍ PRÁCE PRO POPIS GEOLOGICKÉ STAVBY POTENCIÁLNÍCH LOKALIT HÚ byl zahájen v únoru tohoto roku. Nedílnou součástí průzkumu a klíčovou metodov pro hydrogeologické zkoumaní lokalit je geofyzikální průzkum lokalit, který byl zahájen v únoru tohoto roku.

Abstract: The task of the Radioactive Waste Repository Authority (SÚRAO) is to prepare a deep geological repository for spent nuclear fuel and high-level radioactive waste from nuclear power stations by 2050. Four recommended sites have currently been selected, where intensive exploration and research are underway into all aspects of the geological environment. The project 'HYDROLOGICAL, HYDROGEOLOGICAL AND HYDROCHEMICAL MONITORING AT THE BŘEZOVÝ POTOK, HORKA, HRÁDEK AND JANOCH is now in its second year, whilst the project GEOPHYSICAL WORK TO CHARACTERISE THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF POTENTIAL HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTE SITES was launched in February this year. Geophysical survey of the sites is an integral part of the exploration programme and a key method for hydrogeological investigation of the sites. Exploration was launched in February this year.

Klíčová slova: podzemní voda, hydrologický monitoring, hlubinné úložiště, geofyzika, Česká republika

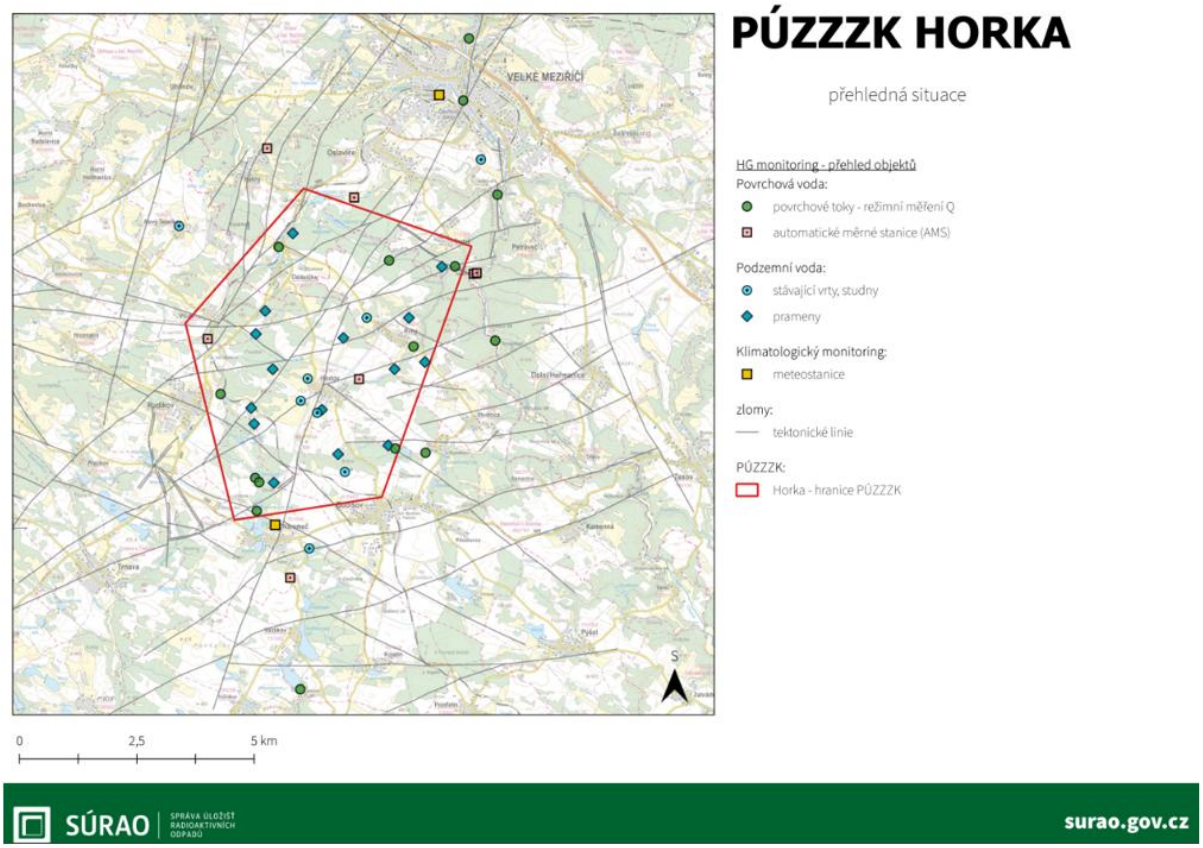
Key words: groundwater; hydrological monitoring; deep geological repository; geophysics; Czech Republic

1. Úvod

Hlubinné úložiště (HÚ) je celosvětově považováno za nejbezpečnější způsob, jak zneškodnit vysokoaktivní odpady a vyhořelé jaderné palivo. V České republice se výběru lokality pro hlubinné úložiště SÚRAO věnuje už více než dvacet let. Hlubinné úložiště bude sloužit k bezpečnému uložení všech radioaktivních odpadů, které není možné uložit do povrchových a přípovrchových úložišť. Funguje na základě systému geologických a inženýrských bariér, které se navzájem doplňují. Geologickou bariéru představuje 500 metrů stabilní horniny a z pohledu bezpečnosti se jedná o bariéru nejvýznamnější. Za inženýrské bariéry považujeme ukládací obalové soubory, které obsahují vysokoaktivní odpady, izolované pomocí výplní z bentonitu [8].
Úkolem projektu Hydrologický, hydrogeologický a hydrochemický monitoring na 4 lokalitách je identifikovat referenční stav povrchových a podzemních vod, a to z důvodu vyhodnocení případných vlivů na okolní životní a horninové prostředí v průběhu výstavby a provozu HÚ. Dalším, neméně důležitým úkolem je získat data, které budou důležité pro výběr finální a záložní lokality pro hlubinné úložiště [7].
Projekt byl zahájen v květnu 2024, jeho trvání je plánováno do konce roku 2031. Realizátorem projektu je konsorcium „GEOtest – GeoTec – monitoring SÚRAO“ [3]. Geofyzikální data jsou sbírána v rámci projektu „Geofyzikální práce pro popis geologické stavby potenciálních lokalit HÚ v rámci geologickoprůzkumných prací na lokalitách Horka, Hrádek, Březový potok a Janoch“. Cílem projektu je zhodnotit jak regionální stavbu širšího zájmového území, tak podrobněji poznat mělkou stavbu jednotlivých lokalit. Celkově je naplánováno více než 780 km profilů.

2. Monitorovací síť projektu hydrologicky, hydrogeologický a hydrochemický monitoring 4 lokalit

Monitoring vod na lokalitách Březový potok, Horka, Hrádek a Janoch je komplexní – jde o klimatický monitoring, hydrologický monitoring na povrchových tocích, hydrogeologický monitoring na vrtech, studních a pramenech a hydrochemický monitoring na všech výše zmíněných zdrojích.
V úvodních měsících projektu bylo potřeba vytvořit monitorovací síť, její součástí byly stávající vrty a studny, prameny, byly také vytipovány monitorovací místa pro automatické stanice na povrchových tocích a místa pro režimní měření. Úkolem dodavatele prací bylo také získat souhlasy majitelů pozemků s monitorováním vod a klimatu [4].



Obr. 1. Přehled monitorovaných objektů na lokalitě Horka.
Fig. 1 Overview of monitored objects at the Horka site.

2.1 Klimatický monitoring

Každá ze 4 lokalit je detailně sledována dvěma meteostanicemi – v jedním případě jde o meteostanici ČHMÚ, druhá je meteostanice vybudována dodavatelem, podle norem Světové meteorologické organizace. Meteostanice sledují teplotu vzduchu (v 2 m n.t., v 5 cm n.t.), relativní vlhkost, rychlost větru, směr větru, dobu slunečního svitu, množství atmosférických srážek, atmosférický tlak a tlak vzduchu v 10 minutových intervalech.
Klimatický monitoring je zásadní nejenom pro vypočítaní hydrologické bilance vod v polygonech průzkumných území pro zvláštní zásah do zemské kůry (PÚ ZZZK), ale potřeba dlouhodobě monitorovat klimatické vlastnosti a meteorologické jevy plyne z Vyhlášky č. 378/2016 Sb. SÚJB o umístění jaderného zařízení [2].

2.2 Hydrologický monitoring

Hydrologický monitoring je postaven na třech typech měření:

- Automatické měřící stanice (AMS) – průtok se měří na 4 až 8 AMS, v závislosti od lokalit, AMS je obvykle umístněná na odtoku z polygonu PÚ ZZZK (průzkumného území pro zvláštní zásah do zemské kůry). Hladina toku je měřena v 10 minutových intervalech. AMS je možné využít také jako včasnou intervenci před povodněmi.

- Režimní měření na tocích se realizují 4 x ročně (únor, květen, srpen, listopad), tak, aby byla zachycena sezónnost. V průběhu režimních měření probíhá také odběr povrchové vody na hydrochemický rozbor, podle požadovaných parametrů [5].
- Postupní profilování průtoku (PPP) se realizuje na tocích 2 x ročně, ideálně v období s nejnižšími vodními stavy. Cílem této metody je identifikovat případné skryté přítoky do toků.

2.3 Hydrogeologický monitoring

Hydrogeologický monitoring probíhá ve různých rovinách. Měření kvantity ve vybraných vrtech a studních probíhá automaticky, pomocí datalogerů. Informace o hloubce hladiny podzemní vody jsou zaznamenávaný v 10 minutových intervalech. Měření kvantity (průtok) probíhá též na pramenech, a to čtvrtročně (únor, květen, srpen, listopad).
Součástí tohoto monitoringu je také vybudování 5-7 dvojic nových hydrogeologických vrtů na každé lokalitě, jeden z vrtů bude zasahovat do hloubky cca 30 m, druhý bude vybudován do hloubky cca 100 m, vzdálenost mezi těmito vrty bude cca 10 m. V obou vrtech budou umístněný datalogery pro automatické měření hladiny podzemní vody. Umístněním těchto vrtů předcházeli ERT měření, pro vytipování ideálního místa v kontextu dosažení cílů vrtu (zachycení poruchové zóny, zlomová linie a pod.)

2.4 Hydrochemický monitoring

Hydrochemický monitoring probíhá na všech typech objektů, 4 x ročně (únor, květen, srpen, listopad) jsou vzorkovány prameny, vrty, studny, řeky a potoky, po vybudování bodou vzorkovány také nové hydrogeologické vrty. V budoucnu budou v pravidelných intervalech vzorkovány také srážkové vody. Chemické analýzy jsou rozsáhlé: Ca, Mg, Na, K, Mn, Fe, NH_4^+, SO_4^{2-}, Cl^-, NO_3^-, NO_2^-, F^-, KNK 4,5, PO_4^{2+}, ZNK8,3, HCO_3^-, CO_3, pH, Eh, ChSK $_{Mn}$, SiO_2^-, Pcelk., BSK5, NL 105, TOC, DOC, celková aktivita α a β, Ra, U, Rn, Th. V průběhu odběru vzorků jsou terénními multimetry měřené in situ parametry jako teplota vzduchu a vody, pH, konduktivita, oxidačně-redukční potenciál a rozpuštěný kyslík.
V monitorovacích objektech, které se nacházejí v prostorech plánovaného budoucího povrchového areálu HÚ, bude včas monitoring doplněn o organické polutanty, těžké kovy, atd ($CHSK_{Cr}$, RAS, Cd, Hg, Pb, C10 – C40, PAU (naftalen, antracen, chrysen, pyren, fluoren, fluoranthen, benzo(a)antracen, benzo(a)pyren, benzo(b)fluoranthen, benzo(k)fluoranthen, dibenzo(a,h)antracen, indeno(1,2,3-c,d)pyren, acenaften), BTEX + styren) [6] .

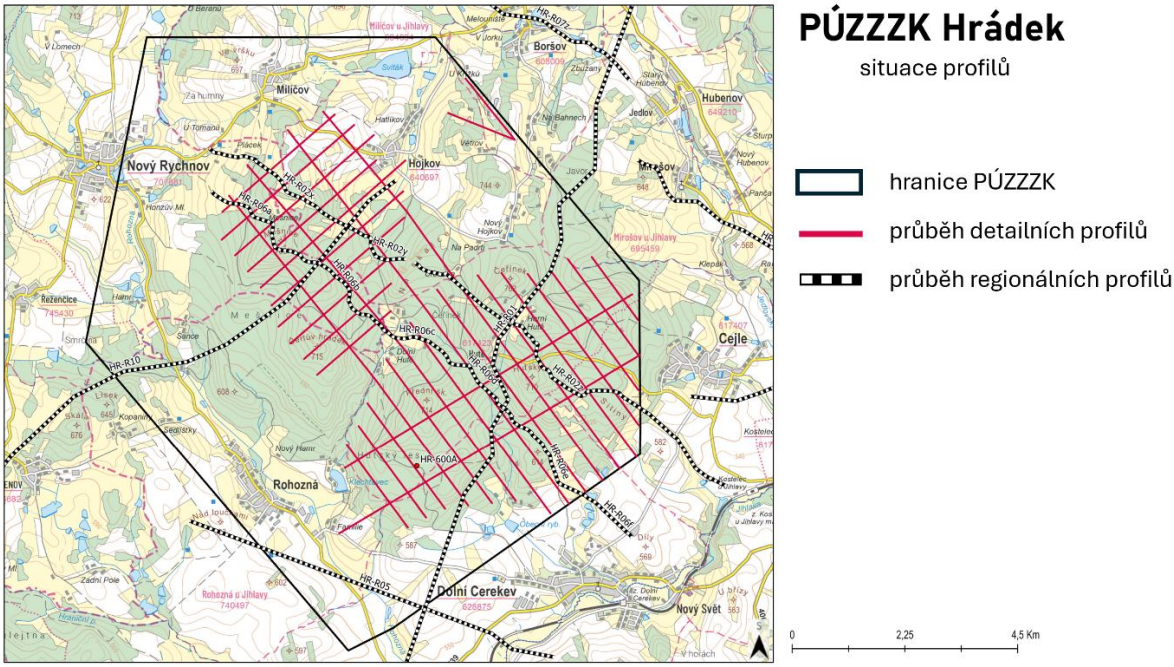
3. Speciální analýzy vod a jejich odběry

Vzhledem k potřebě poznat doporučené lokality pro HÚ detailněji, je nutné realizovat speciální odběry a analýzy. Přispějí k lepšímu popisu režimu proudění vod (izotopové složení vod), k zpřesnění a sestavení hydrogeologické bilance vod. Plánované speciální odběry a analýzy se budou realizovat na nově budovaných vrtech, kde se bude stanovovat rozpuštěný bór, izotopy ^{134}Cs, ^{137}Cs, případně další radioaktivní prvky. Plánované je také určení agresivity na betonové konstrukce, určení geochemických stabilních izotopů lehkých prvků - kyslíku ^{18}O, vodíku ^{2}H, dusíku ^{15}N a uhlíku ^{12}C pro zjištění jejich původu a zdroje, což umožní lepší poznání koloběhu a bilance podzemních vod. Do speciálních analytických prací mohou být zahrnuty i izotopová stanovení tritia (3H), tří druhů freonů (11, 12, 113) a SF6 rozpuštěných ve vodě, ze kterých je možné určit střední dobu zdržení podzemních vod. Na nové vybudovaných vrtech se plánují realizovat zonální odběry, přičemž vertikální zonalita bude nejprve měřena karotáží Podzemní voda bude odebraná z jednotlivých etáží zonálním vzorkovačem.

4. Geofyzikální průzkum lokalit Březový potok, Janoch, Hrádek a Horka

Cílem geofyzikálního průzkumu v průzkumném území je detailně charakterizovat horninové prostředí a vytvořit mapy fyzikálních vlastností i 3D modely do hloubek desítek až stovek metrů. Zvláštní pozornost je věnována identifikaci struktur ovlivňujících hydrogeologické poměry, rozsah zvětrávání hornin, tektonické porušení a vlastnosti horninového masivu relevantní pro budoucí hlubinné úložiště. [9]
Základní metodou je odporové profilování (DOP), které umožňuje sledovat změny elektrického odporu horninového prostředí do hloubek přibližně 50–60 m. Metoda je citlivá zejména na zóny zvětrání, tektonicky porušená pásma a puklinové systémy, které často představují preferenční cesty proudění podzemní vody. V krystalinických horninách je hloubkový dosah významně ovlivněn mocností nízkoodporového zvětralinového pláště, jehož mocnost se na sledovaných lokalitách běžně pohybuje okolo 15–20 m. [9] Výsledky proto poskytují důležité informace o rozložení zvětralých a nezvětralých hornin i o hydrogeologické heterogenitě prostředí.
Mělká refrakční a reflexní seismika (MRS, MRXS) slouží k určení stavby přípovrchové části horninového masivu a reliéfu skalního podloží. Seismické rychlosti umožňují rozlišit zvětralé horniny od kompaktního podloží a

identifikovat tektonické poruchy či porušené zóny. Pro hydrogeologické účely je významná možnost kombinovat registraci podélných a příčných vln, což napomáhá interpretaci hladiny podzemní vody a vymezení sedimentárních depresí nebo paleokoryt. Gamaspektrometrie poskytuje informace o distribuci přirozeně radioaktivních prvků K, U a Th v mělké části profilu. Přestože její hloubkový dosah je omezený, umožňuje rozlišovat jednotlivé litologické typy a lokalizovat zóny intenzivního zvětrání, kde dochází ke změnám koncentrace přirozených radionuklidů. Metoda proto doplňuje geoelektrická a seismická měření při interpretaci přípovrchových procesů.
Elektrická odporová tomografie (ERT) poskytuje detailní dvourozměrné až trojrozměrné obrazy rozložení elektrického odporu v horninovém prostředí do hloubek přibližně 50 m. Je zvláště vhodná pro stanovení mocnosti pokryvu a zvětralin, vymezení rozhraní mezi horninovými jednotkami a identifikaci tektonických poruch, puklinových zón a dalších struktur ovlivňujících proudění podzemní vody. Výsledné modely umožňují detailně popsat prostorové rozložení zvětrání i hydrogeologicky významných struktur a představují klíčový podklad pro geologickou interpretaci území.



Obr. 2 Přehledná mapa vedení geofyzikálních profilů na lokalitě Hrádek.
Fig. 2 Overview map showing the geophysical profile layout at the Hrádek site.

Detailní profily na jednotlivých lokalitách jsou vedeny v 3D síti (viz obr. 2) tak, aby co nejlépe zachycovaly podmínky v perspektivních územích pro vybudování HÚ. Regionální profily, na nichž jsou plánovány metody s hlubším dosahem, zejména seismické metody, protínají nejen území PÚ ZZZK, ale také geologické struktury v širším zájmovém území tak, aby poskytly lepší obraz o celkové geologické situaci na lokalitě [10].

5. Závěr

Problematika hlubinného úložiště pro vyhořelý jaderný odpad (VJP) bude odborné téma nejen ve vědecké radiologické společnosti ještě desítky let. Data, která jsou získávána v rámci projektu Hydrologický, hydrogeologický a hydrochemický monitoring na 4 lokalitách, jsou cenným základem pro identifikaci referenčního stavu vod na lokalitách Březový potok, Horka, Hrádek a Janoch. Jsou významné nejen pro výběr finální a záložní lokality pro HÚ, ale také v kontextu vývoje klima, hydrologického hodnocení a vývoje chemického složení podzemních a povrchových vod na těchto územích. Lokality tak budou patřit mezi nejlépe prozkoumané území v České republice.
Data, které tímto projektem SÚRAO získá, jsou k dispozici pro obce katastrálně spadající do průzkumných území pro zvláštní zásah do zemské kůry, pro samosprávy a další úřady životního prostředí. Budou také užitečné pro vypracování strategií v rámci vodního hospodářství, hodnocení klima a využití vod (podzemních o povrchových), a také pro hodnocení využitelné kapacity vod určených pro lidskou spotřebu.
Geofyzikální data budou sloužit jako základ pro tvorbu budoucích 3D modelů, zejména 3D strukturně-geologického modelu a hydrogeologického modelu.

Seznam literatury

[1] ŠUPÍKOVÁ I. ET AL (2023): Hydrologický, hydrogeologický a hydrochemický monitoring – lokalita Březový potok, Hrádek, Horka, Janoch – technická specifikace – TZ 680/2023, MS SÚRAO, Praha
[2] Vyhláška č. 378/2016 Sb. Vyhláška o umístění jaderného zařízení
[3] MUSIL R.., DVOŘÁK V.., BENEŠ J., KOCMAN T. (2024): Hydrologický, hydrogeologický a hydrochemický monitoring lokalit Březový potok, Hrádek, Horka a Janoch – Realizační projekt monitoringu lokality Janoch – TZ 780/2024, SÚRAO, Praha
[4] DVOŘÁK V., MUSIL R., ŘEZNÍČEK P., BENEŠ J., KOCMAN T. (2024): Hydrologický, hydrogeologický a hydrochemický monitoring lokalit Březový potok, Hrádek, Horka a Janoch – Realizační projekt monitoringu lokality Hrádek – TZ 778/2024, SÚRAO, Praha
[5] VYLAMOVÁ P., MUSIL R.., PEŘINOVÁ A., BENEŠ J., KOCMAN T. (2024): Hydrologický, hydrogeologický a hydrochemický monitoring lokalit Březový potok, Hrádek, Horka a Janoch – Realizační projekt monitoringu lokality Horka – TZ 777/2024, SÚRAO, Praha.
[6] VYLAMOVÁ P., MUSIL R., ŘEZNÍČEK P., DVOŘÁK V., PEŘINOVÁ A., BENEŠ J., KOCMAN T. (2024): Hydrologický, hydrogeologický a hydrochemický monitoring lokalit Březový potok, Hrádek, Horka a Janoch – Realizační projekt monitoringu lokality Březový potok – TZ 779/2024, SÚRAO, Praha
[7] MACÁKOVÁ A., VENCL M. (2025):Hydrologický, hydrogeologický a hydrochemický monitoring na kandidátnych lokalitách pre vybudovanie hlbinného úložiska rádioaktívnych odpadov v Českej republike., Slovenská asociácia hydrogeológov, Bratislava, ISBN 978-80-972651-9-9
[8] www.surao.cz
[9] MIXA P., SKÁCELOVÁ Z., KRYL J. (2024): Horizontální spolupráce SÚRAO – ČGS v oblasti geologických prací v území potenciálních lokalit hlubinného úložiště – Technická specifikace geofyzikálních prací na lokalitě Březový potok. – TZ 825/2025, SÚRAO, Praha.
[10] BENEŠ V., JIRKU J., BELOV T., BUNEŠ J. (2026): Realizační projekt geofyzikálních prací na lokalitě Hrádek – TZ 920/2026, SÚRAO, Praha

DLOUHODOBÝ HYDROGEOLOGICKÝ MONITORING A HODNOCENÍ REŽIMU POVRCHOVÝCH A PODZEMNÍCH VOD V SOUVISLOSTI S TĚŽBOU LOŽISKA VÁPENCŮ V LOMECH VLČS, A.S.

LONG-TERM HYDROGEOLOGICAL MONITORING AND ASSESSMENT OF SURFACE AND GROUNDWATER REGIMES IN CONNECTION WITH LIMESTONE MINING AT VLČS, A.S. QUARRIES

Martin Milický, Michal Polák, Libor Gvoždík

PROGEO, s.r.o., Tiché údolí 113, 252 61, Roztoky u Prahy, e-mail: progeo@1progeo.cz

Abstrakt: Režimní měření úrovní hladin podzemní vody a vydatností pramenů a jejich jakosti a průtoků povrchové vody v tocích probíhají v okolí těžby vápenců v lomech VLČS, a.s., situovaných v Českém krasu, od 70 let minulého století. Hlavním cílem hodnocení režimu je posouzení, zda na lokalitě nedochází k neočekávanému vývoji způsobenému antropogenním zásahem do přírodních poměrů lokality.
Aktuálně jsou na lokalitě monitorovány hladiny podzemní vody v 50 vrtech a studnách, vydatnosti 6 pramenů a průtoky v tocích ve 20 postupných profilech. Měření probíhají ve čtvrtletním, měsíčním a hodinovém intervalu. Měřená data, která slouží také pro kalibraci modelu proudění podzemní vody, jsou vyhodnocována v ročním intervalu. V ročním intervalu jsou také aktualizovány modelové simulace proudění, zohledňující zahlubování a rozšiřování těžby. S postupující těžbou, a to jak do hloubky, tak do prostoru, je monitorovací síť objektů rozšiřována.

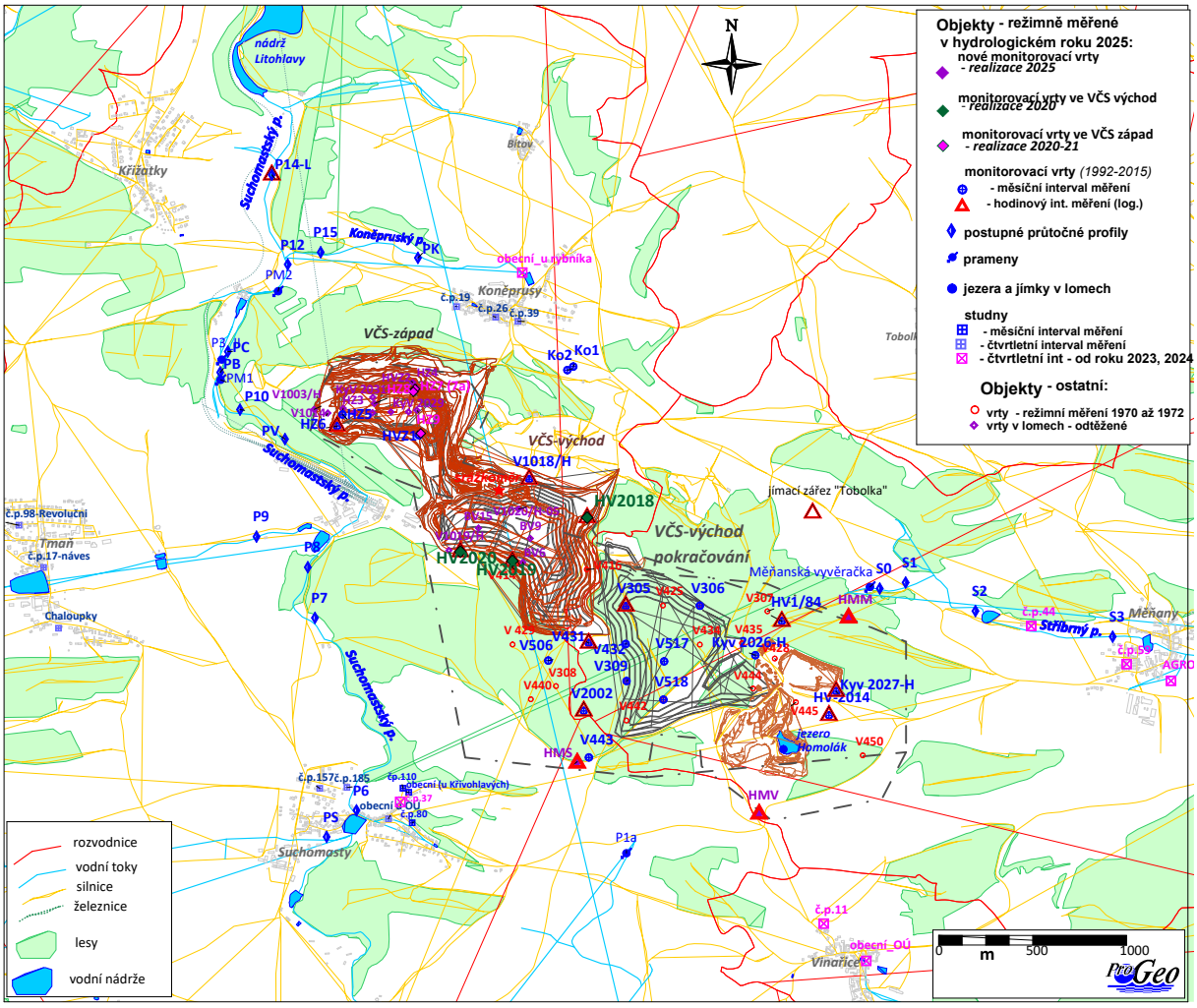
Abstract: Regime measurements of groundwater levels and spring yields and their quality and surface water flows in streams have been carried out in the vicinity of limestone mining in the quarries of VLČS, a.s., located in the Bohemian Karst, since the 1970s. The main objective of the regime evaluation is to assess whether there is an unexpected development at the site caused by anthropogenic interference with the natural conditions of the site.
Currently are monitored groundwater levels at 50 boreholes and wells, 6 spring yields and streamflow in 20 successive profiles. Measurements are taken at quarterly, monthly and hourly intervals. The measured data, which are also used to calibrate the groundwater flow model, are evaluated at an annual interval. Model flow simulations are also updated at an annual interval, taking into account the deepening and expansion of mining. As mining progresses, both in depth and in space, the monitoring network of buildings is expanding.

Klíčová slova: režimní měření, hladina podzemní vody, průtok povrchové vody, model proudění podzemní vody.

Key words: regime measurement, groundwater level, streamflow, groundwater flow modelling.

1. Úvod

Monitoring hladin podzemní vody, průtoků povrchové vody v tocích a vydatnosti pramenů probíhá v jižní části Českého krasu od počátku 70 let a je realizován v souvislosti s těžbou ložiska vápenců ve Velkolomu Čertovy schody. Tomu odpovídá i situování měřených objektů do jeho bližšího, ale i vzdálenějšího okolí. Na kratší období měření hladin podzemní vody v letech 1970–1972 a 1992–1996 navázalo dlouhé období kontinuálního monitoringu, které probíhá od roku 1999 až do současnosti. Aktuálně je na lokalitě monitorováno 50 úrovní hladin podzemní vody ve 28 vrtech a 22 domovních studních, 6 vydatností pramenů a 20 průtoků v pěti tocích, převážně v postupných profilech. Situace režimně měřených objektů je zobrazena na Obr. 1. Třináct vrtů, uzávěrový profil Suchomastského potoka a pramen Měňanská vyvěračka jsou osazeny loggery s automatickým záznamem v hodinovém intervalu, ostatní objekty jsou měřeny ve čtvrtletním a měsíčním intervalu. Měřená data, která slouží také pro kalibraci modelu proudění podzemní vody, jsou vyhodnocována v ročním intervalu. V ročním intervalu jsou také aktualizovány modelové simulace proudění, zohledňující zahlubování těžby. S postupující těžbou, a to jak do hloubky, tak do prostoru, je monitorovací síť objektů rozšiřována.



Obr. 1 Situace režimně měřených objektů v hydrologickém roku 2025.
Fig. 1 Situation of objects measured in the hydrological year 2025.

2. Stručná hydrogeologická charakteristika oblasti

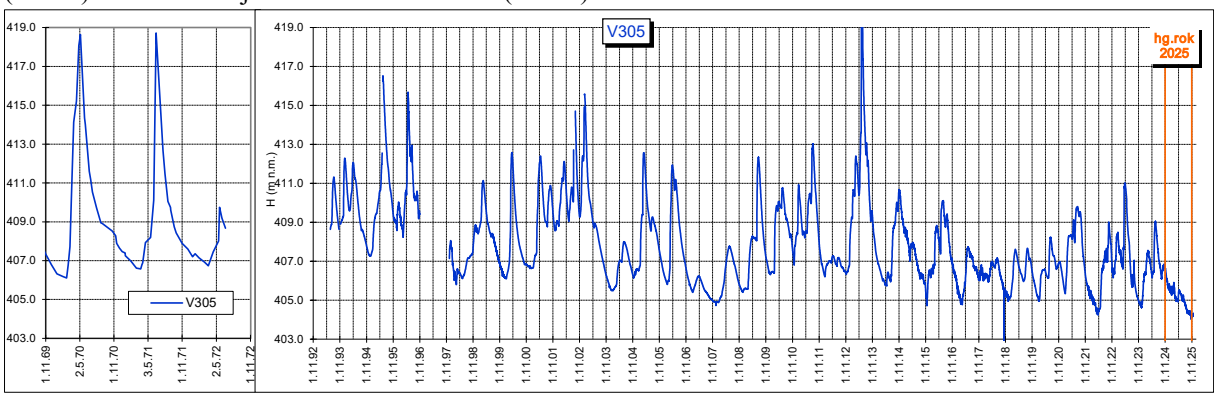
Hydrogeologická funkce hornin siluru a devonu, které dominantně tvoří prostor zájmového území, je výrazně odlišná. Jádro koněpruské synklinály tvoří horniny devonu. Devon je v jihozápadní části Českého krasu zastoupen lavicovitě až blokově odlučnými vápenci pražského souvrství s vysokým podílem $CaCO_3$ (až 98 %), vrstevnatými vápenci lochkovského, chotečského a dalejsko-třebotovského souvrství. Jejich severní a ssv. okraj, v oblasti mezi Havlíčkovým mlýnem a Měňanskou vyvěračkou, je vůči horninám siluru vymezen očkovským přesmykem, na kterém jsou horniny siluru od severu k jihu ploše nasunuty na devon. Očkovský přesmyk tvoří hydraulickou bariéru, těsnící funkce není dána nepropustností samotné plochy přesmyku, ale nasunutím silurských hornin s nižší propustností do nadloží devonu. Na jihovýchodě v oblasti Plešivce přebírá funkci tektonického omezení tobolský zlom. Jižní omezení hornin devonu je synsedimentární a nemá výraznou hydrogeologickou funkci.
Zdrojem podzemní vody je infiltrace části srážek přes půdní pokryv a epikras, případně přímá influkce srážek do puklin v prostorech odkrytých lomovou činností, nebo na přirozených skalních výchozech. Influkce do puklin dotuje podzemní vody celoročně, infiltrace v oblastech s půdním pokryvem je ovlivněna vegetační sezónou. K maximální infiltraci dochází obvykle během jarního období, zatímco srážky během vegetační sezóny jsou obvykle zadrženy vegetací a na hladinách podzemní vody se příliš neprojevují. Specifický odtok podzemní vody se v těchto oblastech podle archivních údajů pohybuje kolem 2,8 $l.s^{-1}.km^{-2}$ (Ovčarov 1972, Včíslová 1980). Na karbonáty statigrafických stupňů lochkov a prag je vázána naprostá většina jeskynních systémů Českého krasu a rovněž všechny velké pramenní vývěry, což prokazuje jejich náchylnost ke krasovění a krasové propustnosti. Propustnost hornin devonu je puklinová a krasová.
Místy přirozeného odvodnění devonu koněpruské synklinály jsou především pramenní vývěry Měňanská vyvěračka na severovýchodě a vývěry a drenáž podél Suchomastského potoka na jihozápadě. Hlubší proudění

podzemní vody k regionální drenážní bázi oblasti, tvořené řekami Litavkou a Berounkou, nelze vyloučit. V případě jeho existence je ale málo významnou složkou podzemního odtoku (předpokládáme v řádu jednotek procent).
V zájmové oblasti nelze jednoznačně vymezit souvislou hladinu podzemní vody, neboť úroveň a režim kolísání hladiny podzemní vody ve vrtech v horninách devonu závisí na rozpukání a na stupni propojenosti puklin v okolí vrtu. Jen ve výjimečných případech se podaří zastihnout vrtem přímo krasový kanál. Reakce hladin podzemní vody na srážky je obvykle rychlá a rychlé je rovněž vyprazdňování kolektoru po ukončení srážkové dotace. Dominantní pro proudění podzemní vody jsou preferenční cesty (pásma zvýšených propustností), které vznikají především podél významnějších tektonických linií (doprovázené drcenými pásmy, paralelními puklinovými zónami, které jsou často postižené krasověním apod.).
Většina pramenů vyvěrá v místech křížení příčných a směrných poruch, křížení horninových rozhraní (krasových a nekrasových hornin) s tektonikou nebo s místními erozními bázemi. Tato místa představují cesty přirozeného odvodnění devonského kolektoru. Pro proudění podzemních vod nejsou dominantní velké otevřené krasové dutiny ale spíše drobné krasově rozšířené pukliny, tektonické linie regionálnějšího rozsahu, vrstevní plochy a horninová rozhraní v jednotlivých vápencových pruzích (Kadlecová, Žák 1993 - Krasové prameny Českého krasu, ČGS). Příkladem může být Měňanská vyvěračka, lokalizovaná na křížení očkovského přesmyku s tobolským zlomem. Vývěry podzemní vody z vrstevních ploch a drobných krasových kanálků lze pozorovat mj. například na východní stěně lomu VČS-západ (pod vrchem Zlatý kůň). V současnosti je místem umělého odvodnění jímka na bázi lomu VČS-západ.
V oblastech budovaných horninami siluru (převážně bazické vulkanity, vulkanické tufy, břidlice, vápnité břidlice a vrstevnatě odlučné vápence) je vyvinut kolektor v zóně přípovrchového rozvolnění. Tento kolektor je využíván většinou domovních studní v obcích. Hladina podzemní vody v horninách siluru je konformní s terénem a tomu odpovídají rovněž směry proudění. Na úroveň hladiny podzemní vody mají dominantní vliv srážky s výrazným ročním cyklem. Reakce hladin na srážky je tlumena pomalou infiltrací přes nenasycenou zónu zahrnující půdní vrstvu a svrchní partie zvětralinového pláště. Srážky v průběhu vegetačního období se na hladinách podzemní vody projevují málo, nebo vůbec. K doplnění zásob podzemní vody dochází převážně v jarním období. Specifický odtok podzemní vody se v oblastech budovaných horninami siluru pohybuje kolem 1 $l.s^{-1}.km^{-2}$ (Ovčarov 1972, Včíslová 1980).
Vydatnost pramenů vázaných na silurský kolektor se pohybuje pouze v desetinách až prvních litrech za sekundu. Žádné významnější prameny nejsou známy. Případné větší prameny vyvěrající v horninách siluru jsou vždy vázány na blízký kolektor devonských hornin (např. Nesvačilská vyvěračka). Ve vápnitých horninách siluru jsou na území celého Českého krasu známy pouze menší krasové jevy. Na základě současných znalostí lze usuzovat, že krasová propustnost hornin siluru je zanedbatelná. Jedná se o puklinový kolektor, jehož propustnost rychle klesá s hloubkou.

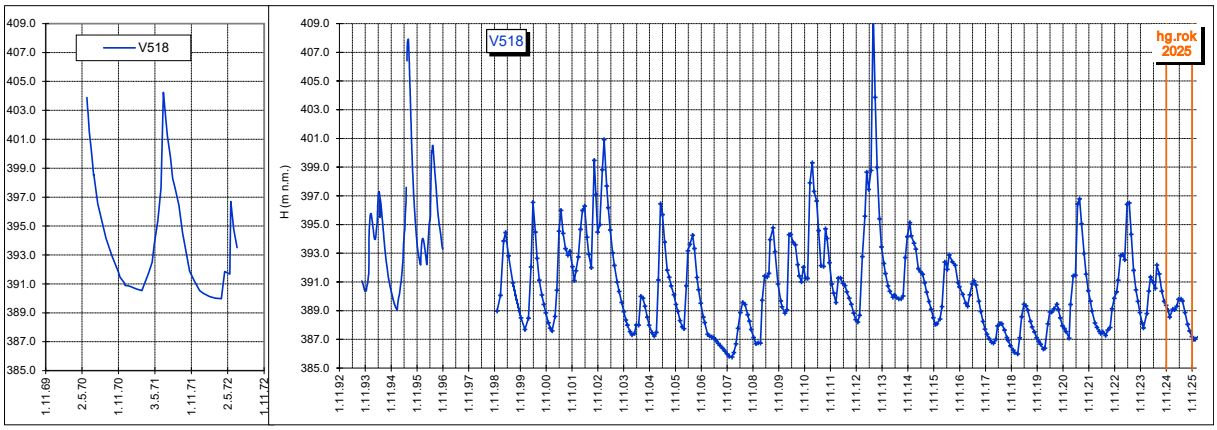
3. Zpracování a hodnocení režimně měřených dat

3.1 Hladiny podzemní vody

Kontinuální monitoring úrovní hladin podzemní vody probíhá v jz. části Českého krasu od roku 1999, ale úrovně hladin byly měřeny i v období let 1970–1972 a 1992–1996, situace monitorovaných objektů je zobrazena na Obr. 1. Nejdéle jsou měřeny hladiny podzemní vody v 5 vrtech, v blízkém okolí lomů VLČS, a.s. ve vrtu V305 (Obr. 2) a ve vzdálenějším okolí ve vrtu V518 (Obr. 3).

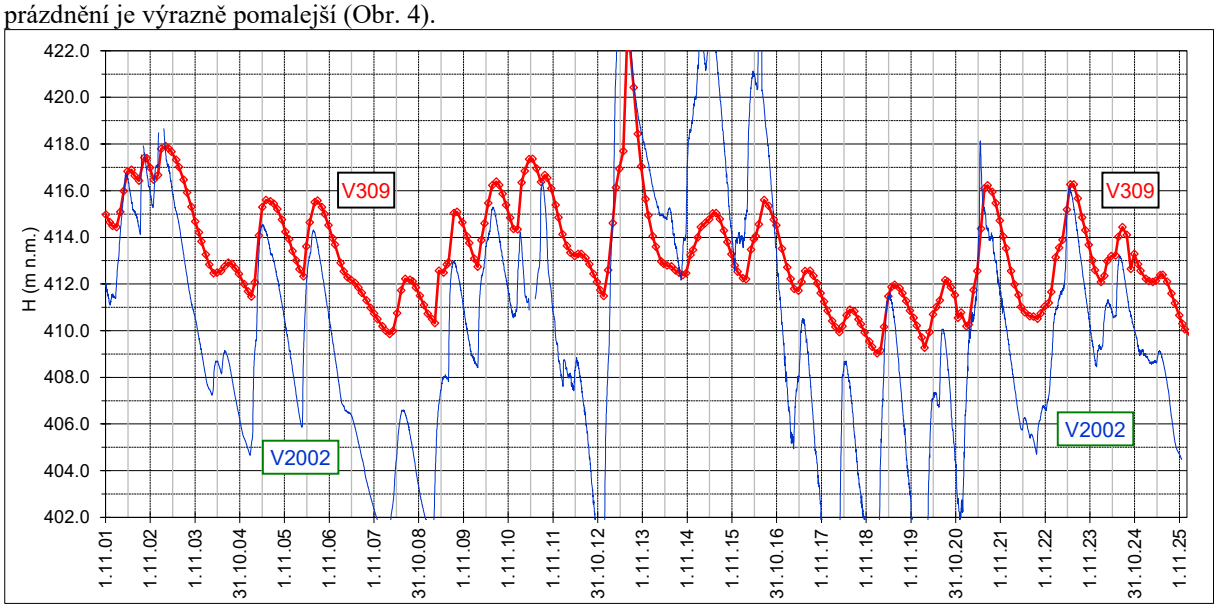


Obr. 2 Hladina podzemní vody (m n.m.) ve vrtu V305 - porovnání období 1970–1972 a 1993–2025.
Fig. 2 Groundwater level (m a.s.l.) in borehole V305 - periods 1970–1972 and 1993–2025.



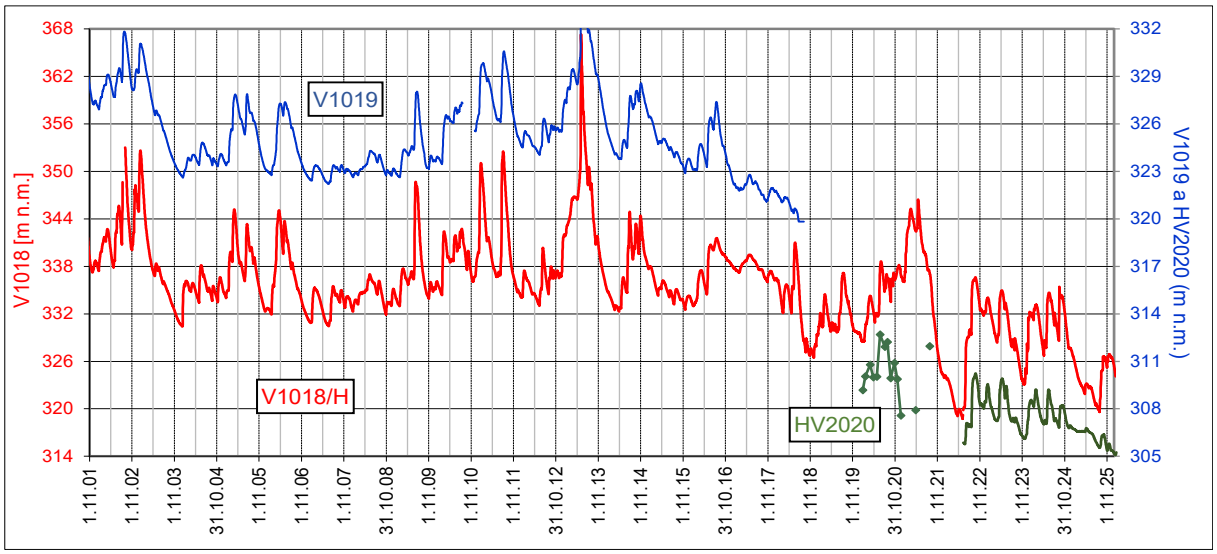
Obr. 3 Hladina podzemní vody (m n.m.) ve vrtu V518 - porovnání období 1970–1972 a 1993–2025.
Fig. 3 Groundwater level (m a.s.l.) in borehole V518 - periods 1970–1972 and 1993–2025.

Celá zájmová oblast je charakteristická dominantním sezónním kolísáním hladin podzemní vody (kolísání hladiny v průběhu jednoho hydrologického roku). Víceletý cyklus kolísání hladin je méně patrný. Ve většině monitorovaných vrtů jsou, po téměř 60 letech měření, nižší úrovně hladin podzemní vody (o 2-4 m), na poklesu hladin v celé oblasti se nejvíce projevily kumulace suchých period v období let 1995–1997, 2006–2008 a 2016–2020. Vývoj hladin podzemní vody v průběhu „obvyklého“ roku je charakteristický dominantně jarním doplněním zásob podzemní vody, v některých oblastech dochází i k doplnění „letnímu“.
Rozdílnost režimu kolísání hladiny závisí nejen na intenzitě infiltrace, ale také na situování vrtu ve vztahu k tektonickému porušení oblasti a existenci půdního a vegetačního pokryvu. Rozkyv hladiny vody ve vrtech, které jsou v méně porušené hornině (V2002) je výraznější, přesahuje i 20 m, a reakce na srážky i prázdnění je velmi rychlé. Naopak hladina ve vrtech situovaných v pásmu zvýšených propustností (V309) má rozkyv do 10 m a prázdnění je výrazně pomalejší (Obr. 4).



Obr. 4 Hladina podzemní vody (m n.m.) ve vrtech V309 a V2002.
Fig. 4 Groundwater level (m a.s.l.) in boreholes V309 a V2002.

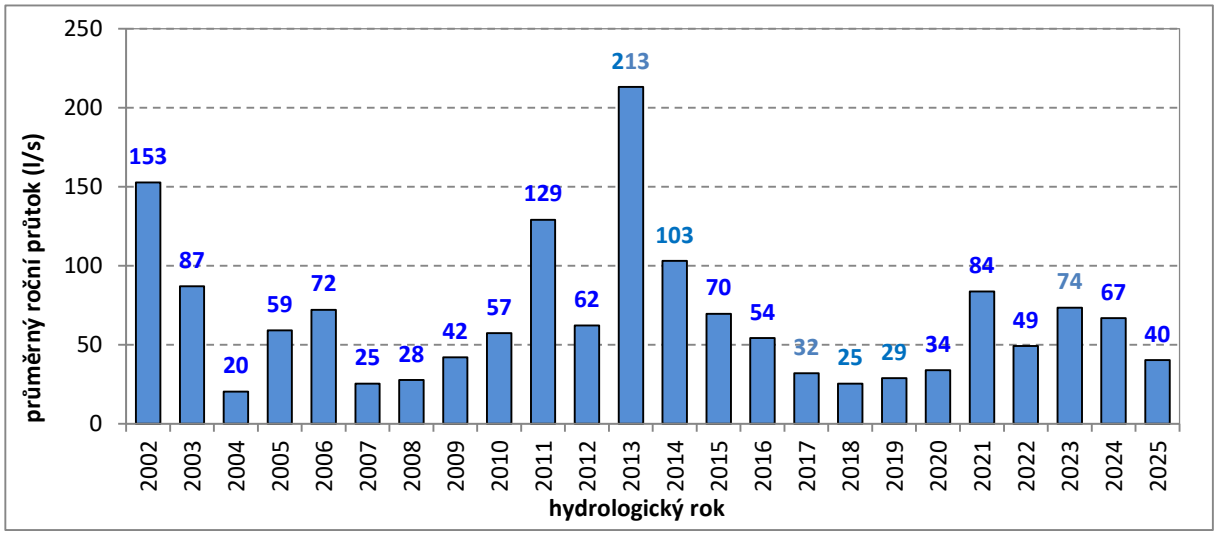
Dominantní vliv puklinových pásem na proudění podzemní vody je patrný i v rozdílnosti kolísání hladin ve vrtech situovaných přímo v lomech VLČS, a.s. Vrty V1019/H a HV2020 jsou situovány ve výrazně porušeném pásmu (jedné z hlavních tektonických linií v oblasti), nebo v jeho blízkém okolí, a reakce hladiny podzemní vody na srážky jsou ztlumené, s menšími vzestupy i poklesy hladin. Velikost rozkyvu hladiny je v obou vrtech výrazně menší než v ostatních vrtech situovaných v okolí VČS-východ (Obr. 5, je cca poloviční než ve vrtu V1018/H).
Také v některých oblastech bez půdního pokryvu (všechny vrty situované v lomech) jsou v monitorovaných vrtech měřeny větší vzestupy hladiny podzemní vody v krátkém intervalu po vyšších srážkách (dny – měsíc), bez závislosti na ročním období a evapotranspiraci v tomto období, a i poklesy hladin jsou v těchto oblastech strmější.



Obr. 5 Hladina podzemní vody (m n.m.) ve vrtech V1019, V1018 a HV2020.
Fig. 5 Groundwater level (m a.s.l.) in boreholes V1019, V1018 a HV2020.

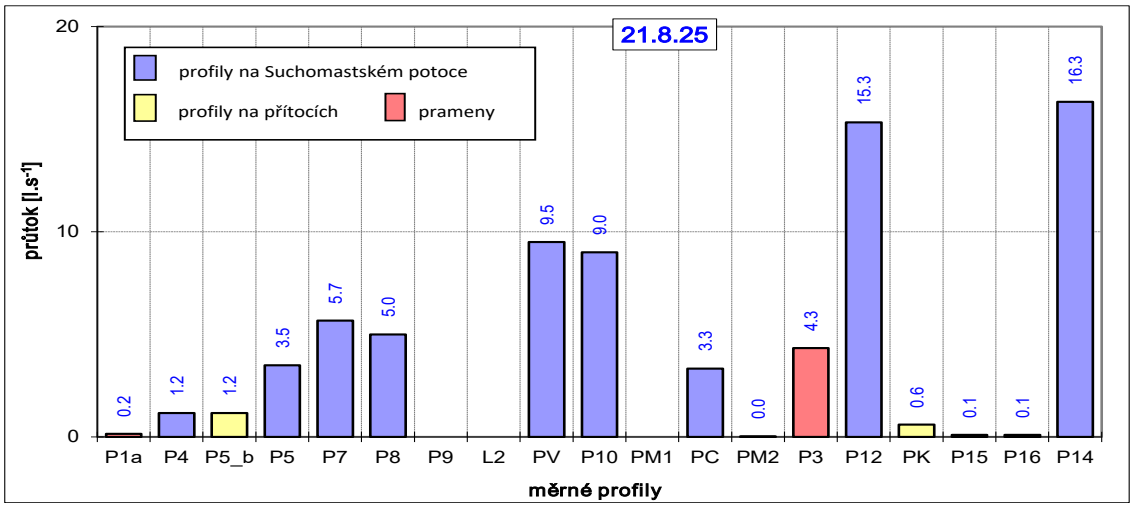
3.2 Průtoky povrchové vody a vydatnosti pramenů

V rámci pravidelného monitoringu oblasti je přibližně v měsíčním intervalu prováděno měření velikosti průtoků a teplot vody v 5 povrchových tocích a jsou měřeny vydatnosti a teploty 6 pramenů. Na profilu P14 (uzávěrový profil na Suchomastském potoce) je realizováno kontinuální měření vodních stavů (přepočítávaných na průtoky). Situace většiny měrných profilů průtoků a pramenů je na Obr. 1. Pro hodnocení základního odtoku a přírodních zdrojů podzemní vody (a současně i pro hodnocení potenciálního kvantitativního ovlivnění vodní bilance těžbou) jsou nejvýznamnější záměry v období nízkých průtoků, které v době minimálních stavů reprezentují základní odtok, tedy odtok ze zásob podzemních vod. Průměrné roční průtoky vody v Suchomastském potoce na uzávěrovém profilu P14, vyhodnocené z kontinuálního měření, jsou zobrazeny na Obr. 9. Nad průměrnou velikost ročních průtoků v posledních 20 letech, která se pohybuje obvykle v rozmezí 25 až 75 $l \cdot s^{-1}$, zřetelně vynikají průtoky v letech 2002 a 2013.



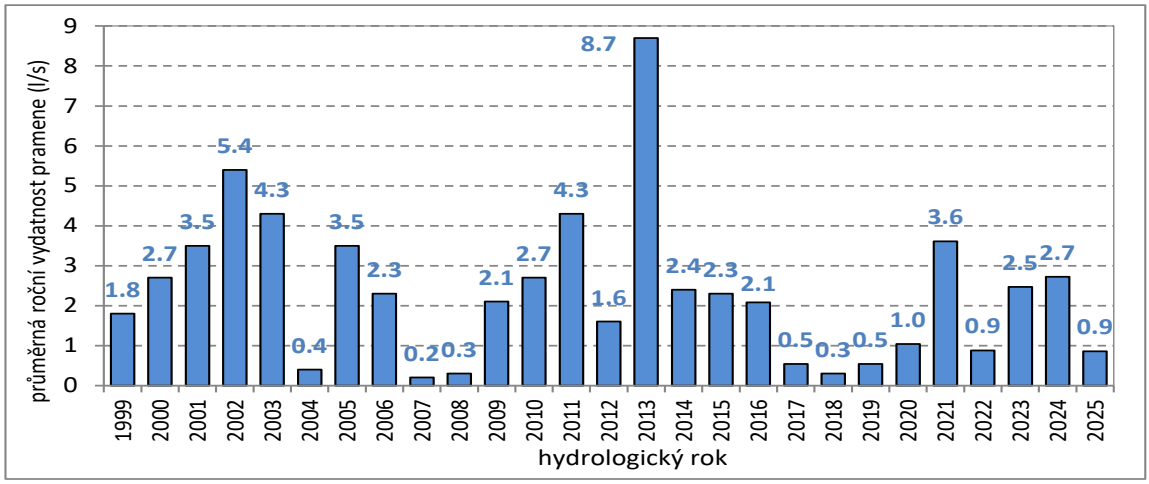
Obr. 6 Průměrné roční průtoky povrchové vody na závěrovém profilu Suchomastského potoka P14.
Fig. 6 Average annual streamflows on the end profile of the Suchomastský stream P14.

Z měření průtoků v postupných profilech Suchomastského potoka je patrná velikost drenáže vody v jednotlivých úsecích toku. Mezi profily PC a P12 dochází v relativně krátkém úseku toku k výraznému zvýšení vodnosti Suchomastského potoka (Obr. 7). Tento úsek je situován na křížení tektonicky predisponovaného údolí potoka s očkovským přesmykem. Předpokládáme, že na přesmyku dochází k odvodnění hydrogeologické struktury koněpruské synklinály situované v prostoru jižně od očkovského přesmyku. Při vysokých stavech je nárůst průtoku v profilech Suchomastského potoka plynulý.

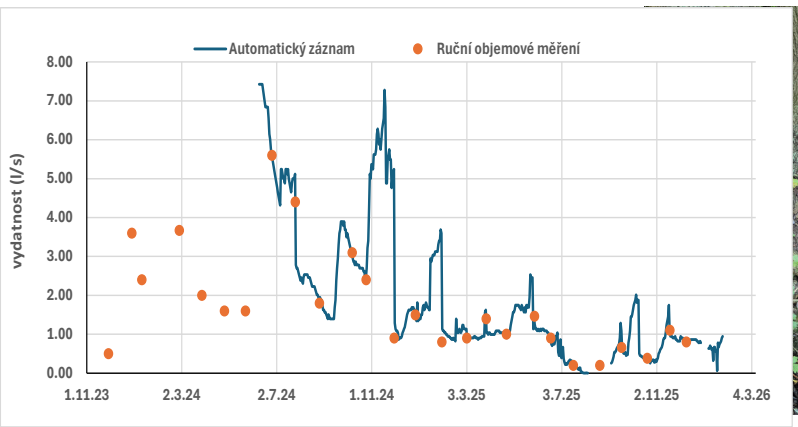


Obr. 7 Průtoky povrchové vody v Suchomastském potoce na postupných profilech.
Fig. 7 Streamflows in the Suchomastský stream on successive profiles.

Nejvydatnější prameny v zájmové oblasti jsou pramen P3 (v povodí Suchomastského potoka) a Měňanská vyvěračka (pramenní oblast Stříbrného potoka). Průměrné roční vydatnosti pramene Měňanská vyvěračka, vyhodnocené z měsíčních záměrů, jsou uvedeny na Obr. 8. Pramen byl v roce 2024 osazen přepadem s automatickým záznamem hladiny, porovnání záměrů uvádíme na Obr. 9.



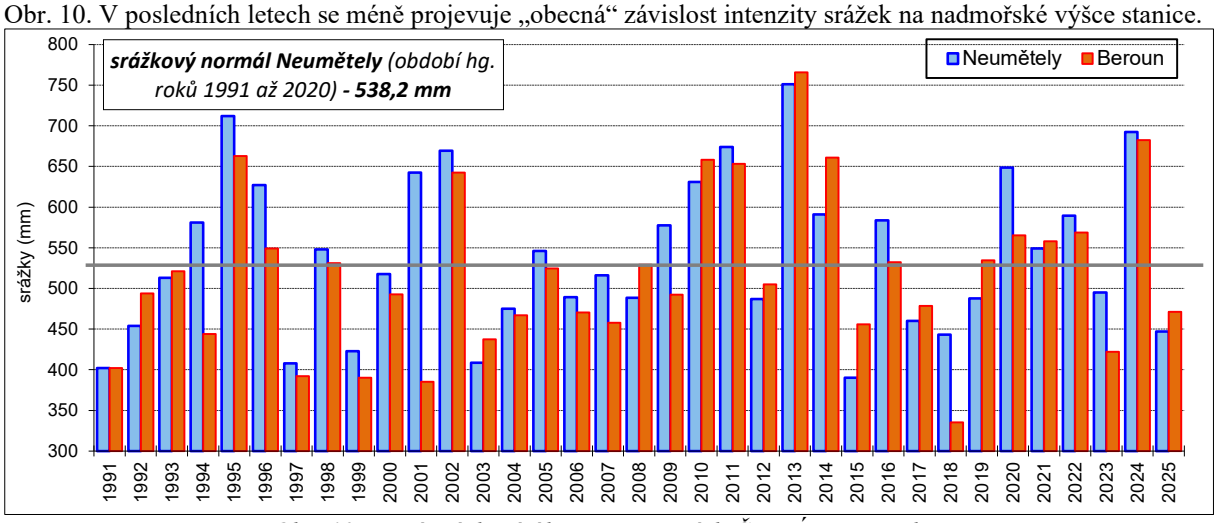
Obr. 8 Průměrné roční vydatnosti pramene Měňanská vyvěračka.
Fig. 8 Average annual yield of the Měňanská spring.



Obr. 9 Manuální a kontinuální měření vydatnosti pramene Měňanská vyvěračka.
Fig. 9 Manual and continuous measurement of the yield of the Měňanská spring.

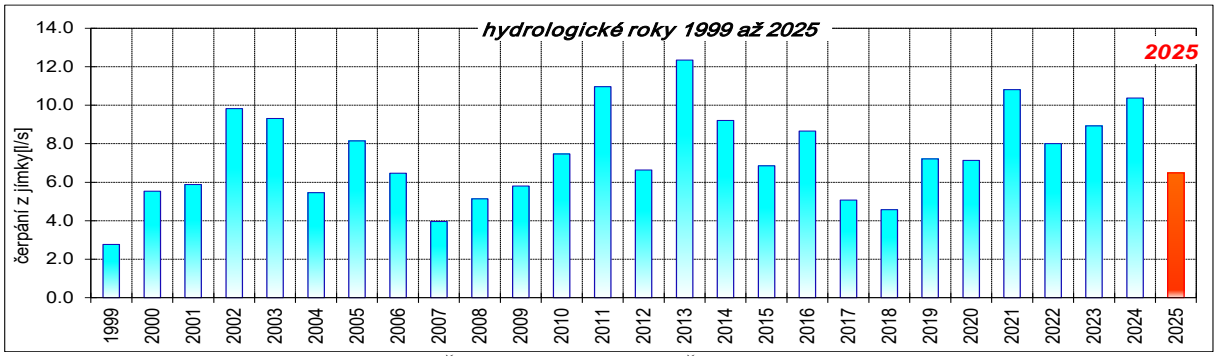
3.3 Srážkové úhrny a čerpání vody z lomu

Srážkové úhrny pro hydrogeologické hodnocení jsou přebírány ze srážkoměrných stanic ČHMU v širším okolí lomů a od roku 2012 je srážkoměr umístěn přímo v prostoru lomů (Obr. 1). Roční srážkové úhrny ve stanici Beroun (265 m n.m.) a Neumětely (332 m n.m.), která je ve srovnatelné výšce jako lomy VLČS, a.s. je zobrazen na Obr. 10. V posledních letech se méně projevuje „obecná“ závislost intenzity srážek na nadmořské výšce stanice.



Obr. 10 Roční srážkové úhrny ve stanicích ČHMÚ Neumětely a Beroun.
Fig. 10 Annual precipitation totals at the CHMI stations Neumětely and Beroun.

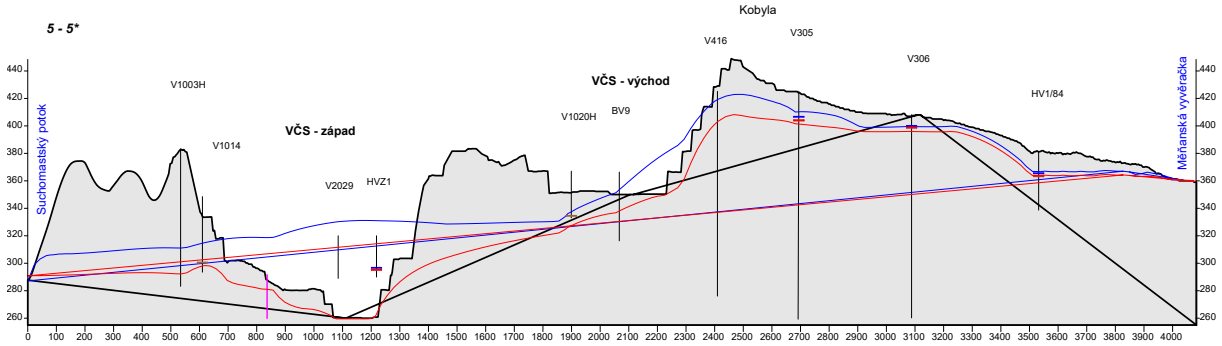
Dalším významným hydrologickým prvkem pro zpracování hydrogeologického hodnocení a bilance je čerpání vody (podzemní a povrchové) z lomu (čerpaná voda je vypouštěna zpět do Suchomastského potoka). Z nejhlubší etáže lomu VČS-západ je odčerpáváno 4 až 12,5 $l \cdot s^{-1}$ vody, množství dominantně závisí na velikosti srážek (. Vliv zahlubování lomu na čerpané množství je velmi malý a aktuálně se pohybuje v desetinách až prvních jednotkách $l \cdot s^{-1}$.



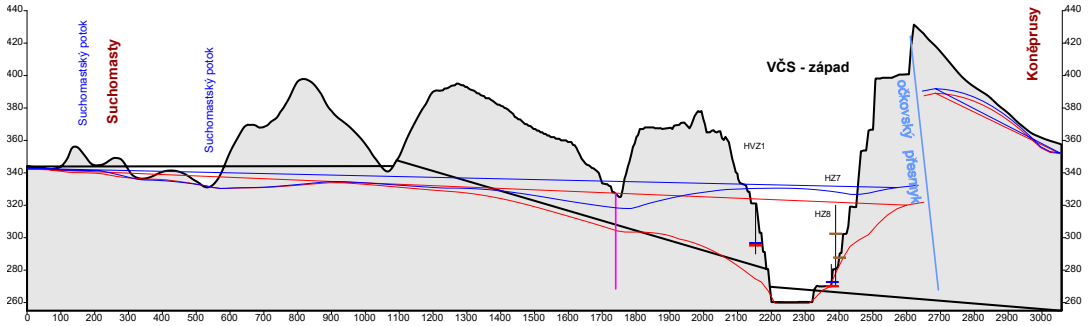
Obr. 11 Čerpání vody z etáží VČS-západ – roční průměry.
Fig. 11 Pumping water from the VČS-West – annual averages.

3. Modelové hodnocení proudění podzemní vody

Data z režimních měření slouží také pro kalibraci modelu proudění podzemní vody a jsou vyhodnocována v ročním intervalu. V ročním intervalu jsou také aktualizovány modelové simulace proudění, zohledňující zahlubování a rozšiřování těžby a další změny okrajových podmínek nebo vstupních dat. Simulace proudění podzemní vody jsou zpracovávány v regionálním a detailním měřítku. Výsledné hladiny podzemní vody, pro neovlivněné proudění podzemní vody (modré linie) a proudění na konci hydrologického roku 2025 (červené linie), jsou zobrazeny ve schematických hydrogeologických řezech, přibližně vedených Z–V (od Suchomastského potoka přes oba lomy k Měňanské vyvěračce, *Obr. 12*) a J–S (od Suchomast přes lom VČS-západ a očkovský přesmyk do Koněprus, *Obr. 13*). V obrázcích jsou vyznačeny i měřené hladiny podzemní vody v hydrologickém roku 2025.



Obr. 12 Modelové hladiny podzemní vody – schematický řez Z-V.
Fig. 12 Model groundwater levels – schematic crosssection W-E.



Obr. 13 Modelové hladiny podzemní vody – schematický řez J-S.
Fig. 13 Model groundwater levels – schematic crosssection W-E.

Verifikované modely, založené na dlouhých řadách měřených údajů, dále slouží pro zpracování prognóz vývoje hydrogeologických poměrů a navrhování postupů a možností rozšiřování a zahlubování lomů pod hladinu podzemní vody při dalším pokračování těžby.

4. Závěr

S postupující těžbou, a to jak do hloubky, tak do prostoru, je síť objektů pro monitoring hladin podzemní vody a průtoků povrchové vody rozšiřována. Podrobná měření hladin podzemní vody a průtoků povrchové vody, spolu s modelovou prognózou jejich vývoje při pokračování těžby, umožňují podrobné hodnocení dopadů těžby na přírodní prostředí a návazně i optimalizaci monitorovací sítě.

Obr. 14 Nový monitorovací vrt HMV (2025).
Fig. 14 New monitoring borehole HMV (2025).

Obr. 15 Pohled na etáže lomu VČS–západ – srpen 2025.
Fig. 15 View of the VČS – west quarry – August 2025.

Poděkování

Autoři děkují zaměstnancům Velkolomu Čertovy schody, a.s., kteří s námi dlouhé roky spolupracují a všem dalším kolegům, kteří se na hodnocení podílejí.

Seznam literatury

Ovčarov K. a kol. (1972): Vyhodnocení vápenických a cementářských surovin v západní části Barrandienu – závěrečná zpráva úkolu, Geoindustria Praha.

Včíslová B. a kol. (1980): Regionální hydrogeologický průzkum siluru a devonu Barrandienu – závěrečná zpráva, Stavební geologie Praha.

Myslil V. (1994): Hydrogeologické posouzení širšího okolí Velkolomu Čertovy schody. VM Consult Praha

Kadlecová R., Žák K. (1998): Krasové prameny Českého krasu. – Čes. kras, XXIV, 17-34. Beroun.

Krásný J. a kol. (1982): Mapa odtoku podzemní vody na území Československa, ČHMÚ Praha.

Hercík M. (1997): Zpráva hydrogeologického průzkumu - DP Koněprusy, Suchomasty I. sledování režimu podzemních vod, Ing.Mirek Hercík, HGS.

Milický a kol. (2000 až 2025): Velkolom Čertovy schody – Hydrologické a hydrogeologické hodnocení režimu povrchových a podzemních vod v průběhu hg. roku 1999 *(až 2025)* v souvislosti s těžbou ložiska vápenců ve VLČS. PROGEO s.r.o.

ZATÁPĚNÍ OSTRAVSKÉ A PETŘVALDSKÉ DÍLČÍ PÁNVE OKR: RIZIKA ZMĚNY REŽIMU NAKLÁDÁNÍ S DŮLNÍ VODOU PRO POVRCH TERÉNU A MĚLKOU HYDROSFÉRU

prof. Ing. Naďa Rapantová, CSc.

E-mail: nada.rapantova@vsb.cz
VŠB – Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15, 70800 Ostrava

Další autoři: Ing. Pavel Malucha, Ph.D., Dr. Marcel Schlegel, doc. Mgr. Monika Ličbinská, Ph.D., Ing. Pavel Merta

Abstrakt:
V Ostravsko-karvinském revíru (OKR) byla ve všech jejích částech hlubinná těžba aktuálně ukončena. Dlouhotrvající, převážně hlubinná těžba černého uhlí měla významný dopad na změny původních hydrogeologických poměrů horninového prostředí. Důlní díla a vlivy těžby, včetně osušení horninového masívu, změnily přírodní geohydrodynamické systémy a jejich vzájemné vztahy. V současnosti je hladina důlní vody v ostravské a petřvaldské dílčí pánvi udržována prostřednictvím vodních jam Jeremenko a Žofie v hloubkové úrovni, která omezuje přetok mezi pánvemi a zajišťovala do minulého roku bezpečný provoz dolů v karvinské dílčí pánvi OKR. Tím jsou veškeré přítoky důlních vod v OKR vypouštěny řízeně a případná negativa, plynoucí z této činnosti, je možno průběžně regulovat (dávkovaným vypouštěním vod).

Po ukončení těžby černého uhlí a potenciálního zastavení udržování hladiny důlních vod budou důlní prostory zatápěny s tím, že bude docházet k redukci přítoků vody do podzemních prostor. Při akumulaci vody v zatápěných podzemních prostorech bude alterovat její chemismus. Nástup hladiny důlní vody tedy může v konečném důsledku vyvolat významná environmentální rizika.

Mezi environmentální rizika tedy koncepčně řadíme jak kvantitativní rizika (ohrožení terénu a objektů změnou vodní bilance – zamokření, zatopení), tak kvalitativní rizika (změny hydrochemické – kontaminace vod mělkého oběhu důlní vodou s odlišným chemismem, či saturace nezpevněných sedimentů a změna jejich geomechanických vlastností).

Dalším významným rizikem je v rámci nástupu hladiny důlní vody samotná stabilita hlavních důlních děl, zejména jam (HDD, SDD) v KDP. Stabilita jam může představovat reálné nebezpečí zejména v urbanizovaném území. Při vstupu důlních vod do likvidovaných jam může dojít k rozplavení nezpevněného zásypu, a tedy k nekontrolovatelnému pohybu zásypového tělesa a v krajním případě až k vytvoření deformací na povrchu. Dalším rizikem nástupu hladin důlních vod je intenzifikace výstupu důlních plynů, otázky změn nivelety terénu, či riziko výskytů seismických jevů během zatápění. Nelze opomenout ani problematiku výskytu radionuklidů v zatápěných důlních vodách a jejich vliv na ŽP.

V příspěvku budou tato rizika definována, stanovena míra ohrožení a navržena případná opatření k jejich minimalizaci, či eliminaci. Pro řešení otázek rizik byly využity výstupy z matematických modelů, které stochasticky simulují proces zatápění a kvalitu důlních vod v interakci s horninovým prostředím.

PRACHOVICE (CHRUDIM) – GEOLOGIE A HYDROGEOLOGIE PALEOZOIKA A PROGNÓZA VLIVU ZAHLUBOVÁNÍ LOMU NA REŽIM PODZEMNÍCH A POVRCHOVÝCH VOD

PRACHOVICE (CHRUDIM) – GEOLOGY AND HYDROGEOLOGY OF PALEOZOICS AND PREDICTION OF THE EFFECT OF QUARRY DEEPENING ON GROUNDWATER AND SURFACE WATER REGIME

Daniel Smutek

Vodní zdroje Chrudim, spol. s r. o., U Vodárny 137, 537 01 Chrudim, e-mail: smutek@vz.cz

Abstrakt: V lomu Prachovice (okres Chrudim) proběhl v letech 2023–2025 geofyzikální, geologický, strukturně tektonický, hydrogeologický a hydrologický průzkum, jehož cílem bylo vybudování monitorovací sítě v okolí lomu mezi Prachovicemi a Vápenným Podolem.
Výsledky prací byly využity pro sestavení modelového řešení vývoje hladin podzemních vod v paleozoických sedimentech vápenopodolské synformy při projektovaném zakloubení lomu o 45 m ze VI. na IX. etáž, tj. z úrovně 412 m n. m. na 370 m n. m.
Akce je příkladem multidisciplinární spolupráce, na základě které je revidována stavba a vývoj paleozoika centrální části Železných hor.

Klíčová slova: zahloubení lomu, synforma, paleozoikum, monitorování, prognózní model

Key words: quarry deepening, synform structure, paleozoics, monitoring, mathematical model

1. Úvod

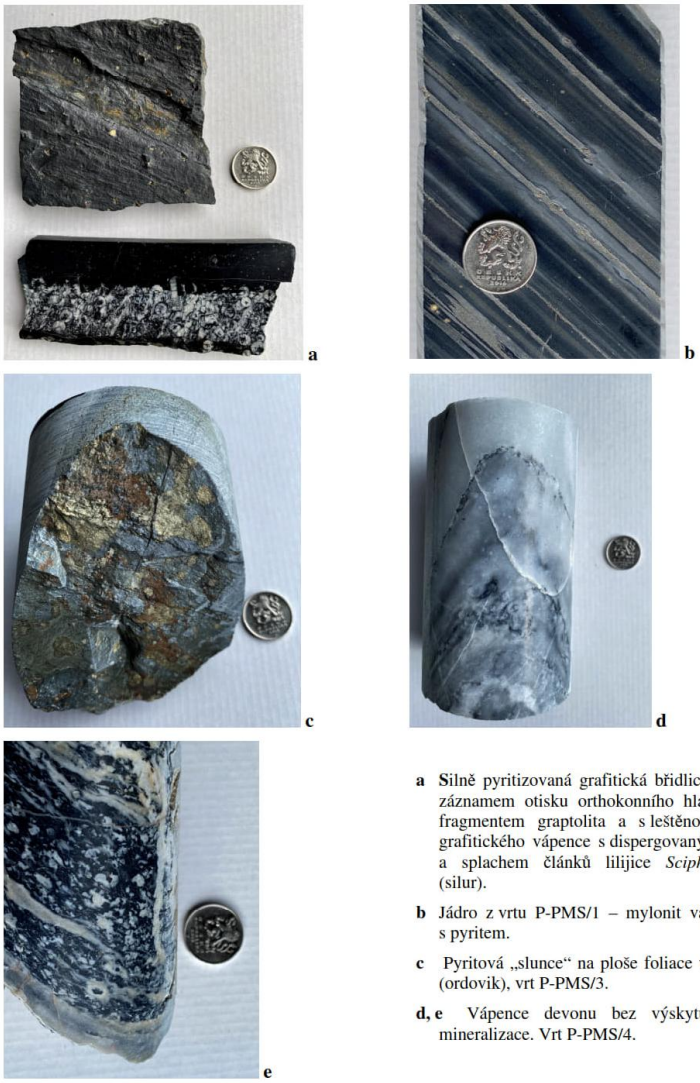
Jámový lom Prachovice v Železných horách patří k významným ložiskům vápenců v Čechách. Těžené vápence a břidlice tvoří základní surovinu pro výrobu cementu. Jámový lom odkrývá do hloubky 88 m výplň 4 km dlouhého pruhu ordovicko–devonských sedimentů vápenopodolské synformy, která tvoří spolu s nadložními permokarbonskými vulkanosedimentárními vrstvami nejmladší výplň paleozoika Železných hor.
Intenzívní těžba probíhá od 50. let minulého století do dnešní doby. Během těžebních a průzkumných prací bylo získáno mnoho nových informací o geologii a hydrogeologii, které byly velmi užitečné pro řešení střetů zájmů vodohospodářské povahy. Tyto střety vyplývají ze skutečnosti, že od určité fáze rozfárání těžebního prostoru bylo nutné čerpat důlní vody a převádět je mimo lom. Více než třicetiletý ustálený stav v odtokových poměrech povrchových a podzemních vod v okolí lomu při trvalém zahloubení lomu na VI. etáž (412 m n. m.) může být v blízké budoucnosti změněn při zahlubování lomu o dalších 45 m na úroveň IX. etáže. V rámci posouzení vlivů rozšíření těžby vápenců a břidlic (posudek E.I.A) byl v letech 2023–2025 proveden geologický, strukturně tektonický a hydrogeologický průzkum. Bylo vybudováno 25 monitorovacích vrtů o hloubkách 4 m až 100 m pro monitorování kvartérního a krystalinického kolektoru. Pět vrtů řady P-PMS o hloubkách 60 m až 100 m bylo hloubeno jádrovým způsobem. Jejich pozice je zachycena na obr. 1. Ve spolupráci s ČGS Praha, Masarykovou univerzitou Brno a Geotechnikou, a. s., Praha byla nově interpretována geologická a tektonická stavba ordovicko-permské výplně vápenopodolské synformy.
Vedle nových dat o výskytu permokarbonu v Železných horách s výskytem paleoflóry a vulkanitů byla dopřesněna litologie a geometrie silursko-devonských vápenců a vápnitých grafitických břidlic, včetně jejich ordovického podloží. Na nových vrtech řady P-PMS a P-DS proběhly doprovodné práce (čerpací zkoušky, vzorkovací a analytické práce, karotážní měření aj.) a po osazení dataloggerů bylo zahájeno monitorování hladinového režimu. Získaná data byla, spolu s výsledky předchozího dvacetiletého monitorování režimu podzemních, povrchových a důlních vod v lomu a v přilehlých Prachovicích a Vápenném Podole, využita pro sestavení modelového řešení a prognózních schémat hladinového a odtokového režimu podzemních a povrchových vod.

Obr. 1 Prachovice, lom. Pozice monitorovacích vrtů. Letecké foto, duben 2024, D. Smutek

2. Geologie ložiska Prachovice a jeho blízkého okolí

Ložisko vápenců je na severu i jihu ohraničeno sedimenty **ordoviku** ve facii zelenošedých, fylitických břidlic až sericitických fylitů. Sericitické fylity jsou často proniknuty žilami sekundárního křemene (grafitické fylity jsou místy silně pyritizované). Příslušnost k ordoviku byla potvrzena nálezem trilobita *Dalmanitina* sp. v okolí Prachovic (prof. Chlupáč, ústní sdělení 1998).
Sedimenty ordoviku ve vývoji prachovců a pískovců s převahou fylitických břidlic byly ověřeny vrtem P-PMS/1 při severním okraji synformy, zatímco vrtem P-PMS/3, situovaným při jižním okraji synformy byly ověřeny sedimenty ordoviku ve vývoji pískovců, drob a prachovců s žilným doprovodem křemene. Nebyla zde ověřena přítomnost pyritových porfyroblastů.
V nadloží ordovických břidlic jsou vyvinuty tmavošedé až šedočerné grafitické břidlice, tzv. facie černých břidlic **silurského** stáří, ve kterých byl nalezen fragment graptolita rodu *Retiolites*, (KRAFT, in SMUTEK, 1998). Na foliačních plochách je patrné fylitické svraštění, hornina obsahuje hojně sirníky (pyrit), část pyritizovaných „břidlic“ je tvořena přepracovanou tektonickou výplní mezi prachovci ordoviku a nadložím s mylonitizovanými vápenci, která byla zjištěna na vrtu P-PMS/1 (obr. 2).
V „černých břidlicích“ přibývá obsahu kalciumkarbonátu (grafitické vápence). Objevují se konkrece a tenké vložky tmavošedých jílovitých vápenců. V nejvyšší části vrstev se střídají tmavošedé grafitické břidlice s deskovitými tmavošedými a jílovitými břidlicemi. Vápence jsou bioklastické, bioklasty jsou tvořeny schránkami ortokonních hlavonožců a izolovanými stonky lilijic.
V nejvyšších partiích siluru tvoří schránky hlavonožců a krinoidové články lilijic výrazné lumachelové horizonty o mocnosti kolem 1 m, ve kterých byly nalezeny jedinci hlavonožce *Orthoceras fluminense*. Výskyt ortocerových a krinoidových lavic s lobolity umožňuje srovnat tyto sedimenty s jejich ekvivalentem v Barrandienu (v pražské pánvi) s hranicí silur/devon, stratotypu Karlštejna.
Souvrství vápenců s ortocerovou a kriroidní faunou s podložními grafitickými vápenci a vápnitými břidlicemi je zahrnuto pod **silur.** Nasedajícím – nadložním světlým vápencům je přiřazeno **devonské** stáří, stupeň lochkov, s označením pro vápenopodolskou synformu jako podolské vápence (obr. 2).
Styk vápenců a břidlic s podložními ordovickými břidlicemi je na jihu ložiska tektonický, na severu se zdá být konkordantní, avšak tektonicky modifikovaný. Mocnost siluru je variabilní v závislosti na tektonické pozici, dosahuje však hodnot do 150 m.
Paleontologicky jsou podolské vápence devonu velmi chudé, místy byly zjištěny články krinoidů. Pravá mocnost vápenců je odhadována na 250 m.
Na ložisku Prachovice byly také zjištěny žilné horniny o mocnosti až do 1,5 m. Petrograficky odpovídají minetám, jsou většinou zjílovatělé, alterované, místy karbonatizované.

Za samostatnou problematiku pokládáme litologii a strukturně-tektonickou pozici permokarbonských sedimentů, které byly zastiženy vrty P-PMS/3 a P-PMS/4 při západním okraji vyznívajícího ponořeného tělesa vápenců devonu pod sedimenty permokarbonu.
Na vrtu P-PMS/3 byly sedimenty permokarbonu zastiženy v mocnosti 15 m ve facii „svahové suti“ rozpadlých slepenců s úlomky a valouny ordovických křemenců a pískovců, s jílovitým tmelem.
Vrtem P-PMS/4 byla ověřena anomální mocnost permokarbonských sedimentů (58,6 m), s pestrou litologii: jíl, kaolinitizované vápnité pískovce s konkrecemi, slepence s pestrým valounovým materiálem (vápence, břidlice, klasty ordovických pískovců a prachovců) – (obr. 3).
Mezi dvěma polohami „subhorizontálně“ uloženými červenými sedimenty v uvedeném vývoji je zakomponována poloha 19,2 m mocných šedých jílovců, pískovců a arkóz s uhelnými zbytky a s fosilním záznamem flóry při sklonu vrstev až 60°. Pro oblast Železných hor se jedná o prvonález.
K ještě zásadnějším nálezům patří 1 m mocná poloha ryolitového (?) tufu, který je vhodný pro absolutní dataci. Dle ústní informace, na základě palynologické analýzy náleží tyto sedimenty svrchnímu karbonu.
Ze strukturně tektonického hlediska byly v poloze šedých sedimentů určeny deformace, charakteru ležaté vrásy, kdy „nadloží a podloží“ šedých sedimentů tvoří subhorizontálně uložená ramena červených pískovců, jílovců a slepenců.
Báze vulkanosedimentárního souvrství je tvořena kontaktní zónou ve vývoji slepenců s tektonickými ohlazy – následek přesmykované nadložní kry.
Podložní sedimenty permokarbonského souvrství jsou tvořeny atypickými pestrobarevnými vápenci devonu, s deformačním páskováním, se záznamem fosilního krasu. Kapsovité výplně červených jílů mikrokaveren mají analog s vývojem vápenců zastižených na vrtu CE-4 (SMUTEK, 2001) a vyznačují se zvýšeným podílem radionuklidů.



a Silně pyritizovaná grafitická břidlice (silur) se záznamem otisku orthokonního hlavonožce a fragmentem graptolita a s leštěnou ukázkou grafitického vápence s dispergovaným pyritem a splachem článků lilijice *Sciphocrinoidea* (silur).

b Jádro z vrtu P-PMS/1 – mylonit vápence s pyritem.

c Pyritová „slunce“ na ploše foliace v prachovci (ordovik), vrt P-PMS/3.

d, e Vápence devonu bez výskytu pyritové mineralizace. Vrt P-PMS/4.

Obr. 2 Dokumentace vzorků vápenců a břidlic z lomu Prachovice

Obr. 3 Prachovice, vrt P-PMS/4 u koupaliště. Polymiktní slepenec permského stáří s úlomky ordovických křemenců, břidlic a vápenců siluru a devonu.

3. Krasové jevy

Zkrasovění ložiska je celkově poměrně slabé a těžbou jsou zastiženy jen menší krasové dutiny, lokálně působí krasovatění problémy s těžbou a potenciálně ovlivňuje hydrogeologický režim ložiska a jeho okolí. Intenzivnější krasové jevy (jeskyně, škrapy ap.) jsou vyvinuty při jižním okraji lomu (vrt CE-4), při povrchu terénu a při zlomech spojených se zónami drcení – např. v sv. části lomu. Ojediněle se tvoří malé jeskyně při puklinách s výplní kalcitu, v lomové stěně v šesté etáži lomu došlo v roce 1999 k odhalení rozsáhlého systému krasových dutin s krystalovou výzdobou (obr. 5). V jižní části ložiska je zpravidla vyvinut půdní profil zvětrávání krasového typu „terra rossa“, do kterého jsou zakomponovány solitérní bloky světlých vápenců s krasovou korozí (obr. 5).
Nově byly při jižním okraji lomu objeveny neptunické žíly vyplněné zeleným sedimentem neznámého složení, stáří a provenience.

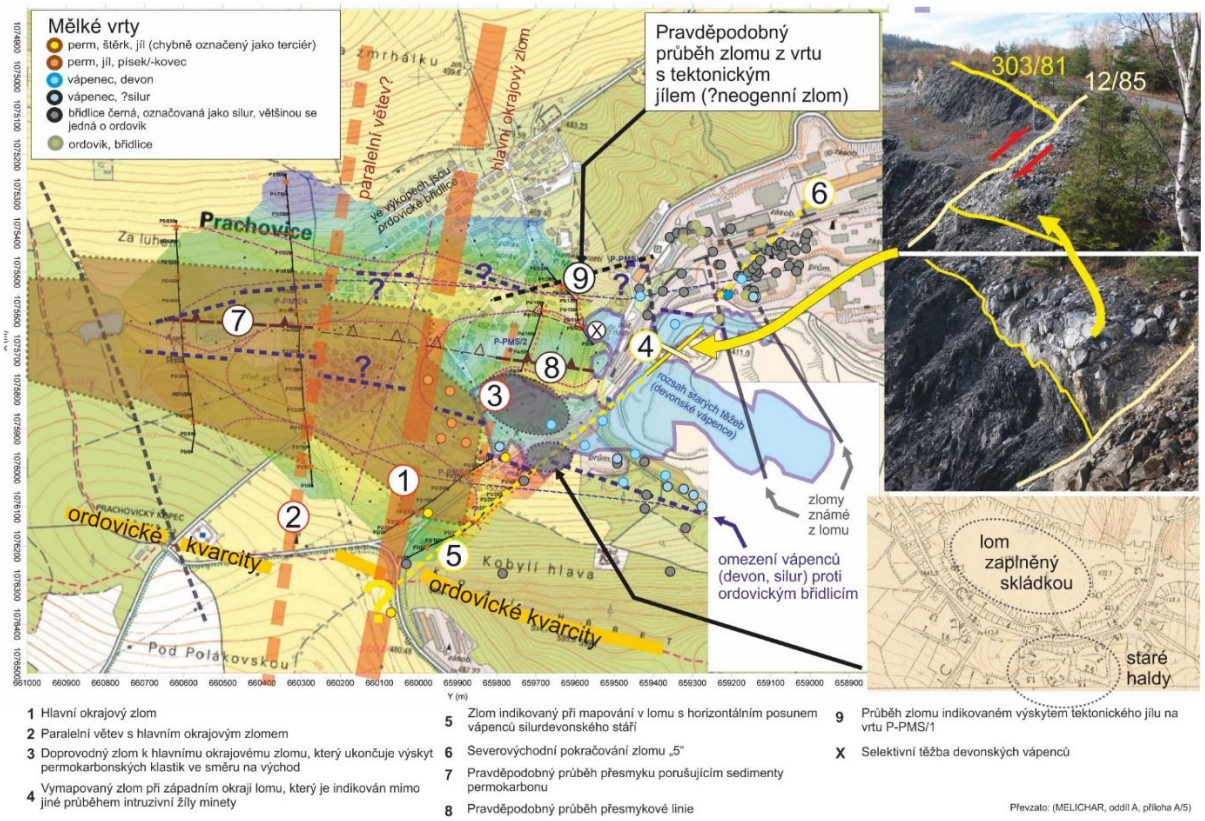
Obr. 4 Prachovice lom, VI. etáž. Krasová dutina s výplní 50 cm velkých krystalů kalcitu, prosinec 1999.

Obr. 5 Vypreparovaný blok devonského vápence s krasovou korozí.

4. Tektonika

Jádro vápenopodolské synformy, tvořené sedimenty siluru a devonu, má délku téměř 4 km a šířku až 600 m. Na povrchu vystupují silursko-devonské vápence ve třech pruzích, které jsou od sebe odděleny břidlicemi siluru. Vrstvy jsou ukloněny vesměs monoklinálně k jihu pod úklonem 40°–70°.
Ve složité stavbě ložiska vynikají směrné dislokace, podle nichž byly kry V–Z směru na sebe nasunuty. Dochází k opakování ložiskové polohy a k redukci plastických podložních silurských břidlic mezi devonskými vápenci. Několikanásobné opakování stejných litotypů o stejném stáří ve vrstevním sledu je podloženo paleontologicky výskytem ortocerových a krinoidových horizontů.
Čela jednotlivých násunů jsou tvořena černými břidlicemi s polohami deskovitých vápenců. Násunová plocha je obvykle ostrá, často se vyskytuje pyritizace. V těsném podloží násunové plochy jsou podložní podolské vápence tlakově postiženy.
V těsném nadloží násunové plochy jsou černé břidlice disharmonicky zvrásněné, porušené mnoha puklinami a drobnými zlomy vyhojenými kalcitem. Směrem do nadloží se objevuje monoklinální zvrstvení s úklony břidlic k jihu. Podle průběhu ortocerových a krinoidových horizontů uvnitř facie černých břidlic v čelech násunů je zřejmé, že břidlice jsou ohnuty do šikmo překocených antiklinál s vergencí os antiklinál k severu. Také v šikmo uložených podolských vápencích je místy patrné komplikované zvrstvení.
Terénní sledování postupu těžby, nová tektonická měření v lomu a letecké snímky lomu prokázaly, že vedle směrných poruch je ložisko porušeno významně i příčnými dislokacemi. Tyto poruchy mají zásadní vliv na tvorbu krasových jevů a na drenáž vody v lomu.
Ložisko je prostoupeno mladšími příčnými i kosými poruchami o směru JZ–SV, SZ–JV, V–Z, ale nejčastěji ve směru SSZ–JJV. Tyto směry jsou zaznamenány i v základním puklinovém systému či zonách mylonitizace, které místy vyplňují tenké žíly lamprofyrů a minet.
Z nově povedeného strukturně geologického průzkumu lokality Prachovice (MELICHAR – DUŠEK, 2021; in SMUTEK, 2021) byly nově interpretovány jednotlivé fáze vzniku stavby struktury, která je nově považována za jádro synformy překocené k severu.
Osa stavby synformy není horizontální, ale je výrazně ukloněná ve směru azimutu 135 (k jihovýchodu), a to pod úhlem 25°–30°. Z tohoto závěru byla v r. 2021 odvozena hypotéza o zanořování silursko-devonských vápenců z prostoru Prachovic pod lom a pod obec Prachovice, přičemž se předpokládají i jiná deformační postižení.
Geofyzikálním průzkumem a navazujícím vrtným průzkumem (vrty P-PMS/1, 2, 3, 4) bylo potvrzeno pokračování zanořených vápenců silursko-devonského stáří z prostoru lomu západním směrem. Je doložena redukce tělesa vápenců s jižní a severní konturou pískovců a břidlic ordoviku, existence příčných (okrajových) zlomů a přesmykových linií, podél kterých dochází k rotaci a „zabalení“ sedimentů ordoviku do silursko-devonských

vápenců. Na jedné z příčných poruch je ověřen horizontální posun vápenců, který je doprovázen výskytem tektonických jílů s výraznou pyritizací.
Syntéza získaných dat je znázorněna do schématu stavby synformy v okolí Prachovic, jejíž mapový průmět je znázorněn na obr. 6, kde je zachycen i průběh „ponořených“ silursko-devonských sedimentů pod současným povrchem se sedimenty permokarbonu v jižní a jihozápadní části obec Prachovice.



Obr. 6 Strukturně tektonická mapa západního ukončení vápenců vápenopodolské synformy „ponořených“ pod sedimenty permokarbonu (Melichar, 2024).

5. Hydrogeologie ložiska Prachovice a jeho okolí

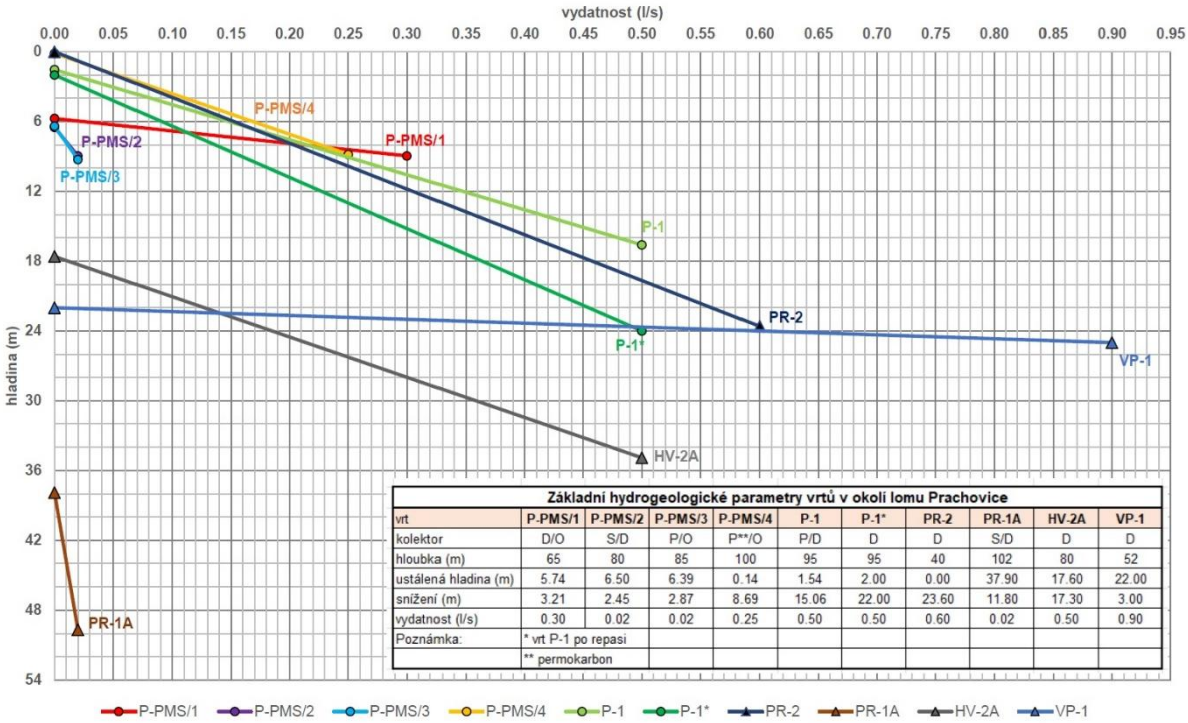
Hydrogeologické poměry v lomu Prachovice a blízkého okolí, které byly hodnoceny ve zprávách v roce 1962, 1989, 1992 až 1998, byly podrobně komentovány ve zprávě SMUTEK, 1998. Pro hodnocená období byl dokumentován stabilní stav v proudění podzemní vody v lomu a jeho okolí, kdy těžba hydrogeologické poměry výrazně neovlivňovala.
V dalším období 1998 až 2022, kdy bylo zahájeno systematické měření hladin, je situace obdobná (SMUTEK, 1999, 2000; NADRCHAL, 2005 až 2022). Pro oblast lomu a pro přilehlé obce Prachovice a Vápenný Podol je dlouhodobě dokumentován ustálený stav v proudění podzemní vody i v hladinovém režimu na síti pozorovaných domovních studní. Výjimku tvoří hladinový režim na vrtech v prostoru lomu, kde vlivem horizontálního i vertikálního obnažování ložiska vápenců došlo k osušení mělce založených vrtů, které byly v průběhu let nahrazeny. Současné hydrogeologické poměry v lomu a jeho okolí s využitím nově získaných výsledků na vrtech řady P-PMS, P-DS a vrtů HV-2A, PR-1A, CE-3, CE-4, P-1 koupaliště, hodnotíme následovně:
Z geologického a morfologického hlediska oblast lomu vytváří uzavřený systém, který je odvodňován do Podolského potoka a Habřinky. Ordovické křemence a břidlice mají charakter izolátoru. Z hlediska propustnosti se obecně vápence devonu a grafitické vápence siluru vyznačují puklinovou a lokální krasovou propustností. Sedimenty permokarbonu mají charakter samostatného hydrogeologického tělesa s neurčeným západním ukončením, s proměnlivým střídáním kolektorských (pískovce, slepence) a izolátorských (jílovce) poloh.
Specifická situace z hlediska propustnosti je v oblasti lomu, která je intenzivně tektonicky (ale i uměle) postižená, takže obnažený komplex vápenců silursko-devonské výplně struktury lze považovat jako porézní prostředí s tím, že lokálně je ověřena i jeho výrazná anizotropie. Příkladem je situace na VI. etáži, kde při začínajícím zahlubování

došlo k otevření těžebních jímek, které z hydraulického hlediska nejsou propojeny, a to i přes hladinový skok 8 m při čerpání podzemní vody z jedné z jímek a přes vzdálenost pouhých 30 m mezi nimi.
Obecně nízký stupeň propustnosti sedimentů je dokumentován výsledky karotážních měření (tab. 1) a hydrodynamických zkoušek (obr. 7) na vrtech P-PMS/1 (ordovik), P-PMS/2, P-PMS/4 (silur/devon), P-PMS/3 (ordovik) a P-1 (devon) – (obr. 7).

Tab. 1 Sumarizace výsledků karotážních měření na monitorovacích vrtech řady P-PMS a vrtu P-1

Vrt	P-PMS/1	P-PMS/2	P-PMS/3	P-PMS/4	P-1
Parametr:					
poznámka	PE pažnice , perforace 21.0 – 60.0 m Ocelová chránička 140 mm : 0.0 – 2.0 m	PE pažnice perfor.: 10.0 – 80.0 m Ocelová chránička 140 mm : 0.0 – 1.2 m	PE pažnice perfor.: 28.0 – 84.5 m Ocelová chránička 140 mm : 0.0 – 1.2 m	PE pažnice perfor.: 40.0 – 98.0 m Ocelová chránička 140 mm : 0.0 – 0.9 m	Ocelová pažnice 0 – 81.9 m -0.5 – 22.35 m plná 22.35 - 32.98 m perfo 32.98 – 44.95 m plná 44.95 – 49.9 m perfo 49.9 – 52.0 m plná 52.0 – 58.5 m perfo 58.5 – 65.6 m plná 65.6 – 76.7 m perfo 76.7 – 81.9 m plná
ustálená hladina	**5.50**	**9.5**	**6.4**	**0.3**	**0.65**
přítoky (m)	21.0 – 22.0	11.0 – 12.5	9.4 – 10.5	40.0 – 48.00	22.0 – 23.0
	27.0 – 28.4	24.5 – 26.0	28.5 – 29.7	63.4 – 65.5	33.0 – 34.0
	49.3 – 50.0	37.5 – 38.0		73.5 – 75.0	44.0 – 45.0
		46.5 – 47.5		77.5 – 78.5	74.0 –74.8
		51.0 – 52.5		86.3 – 89.3	84.0 – 84.8
		74.0 – 75.7			87.8 – 88.6
dílčí koef. filtrace	10^{-5} až 10^{-4}	10^{-7} až 10^{-6}	10^{-7} až 10^{-6}	10^{-6}	10^{-7} až 10^{-6}
celkový s plnou	**$8.4 * 10^{-6}$**	**$6.9 * 10^{-7}$**	**$6.4 * 10^{-8}$**	**$1.2 * 10^{-7}$**	**2.0 * 10-7**
celkový jen perfo	**$1.3 * 10^{-5}$**	**$6.9 * 10^{-7}$**	**$8.9 * 10^{-8}$**	**$2.0 * 10^{-6}$**	**-**
snížení hladiny (m)	5.76	7.4	5.15	2.0	6.25
vydatnost čerpání	0.13	0.020	0.018	0.026	0.12
celkový vodní sl.	5.5– 64.8 (59.3) m)	10.7 – 59.5 m	29.85 – 79.0 m	5.4 – 22.0m (16.6	0.65 – 95.4

Pozn.: nejsilnější přítokové intervaly jsou zvýrazněny červenou barvou (16 a více % z čerpaného množství), významné oranžovou barvou (11-15 % z čerpaného množství), slabší nepodbarvené (2-10 %).

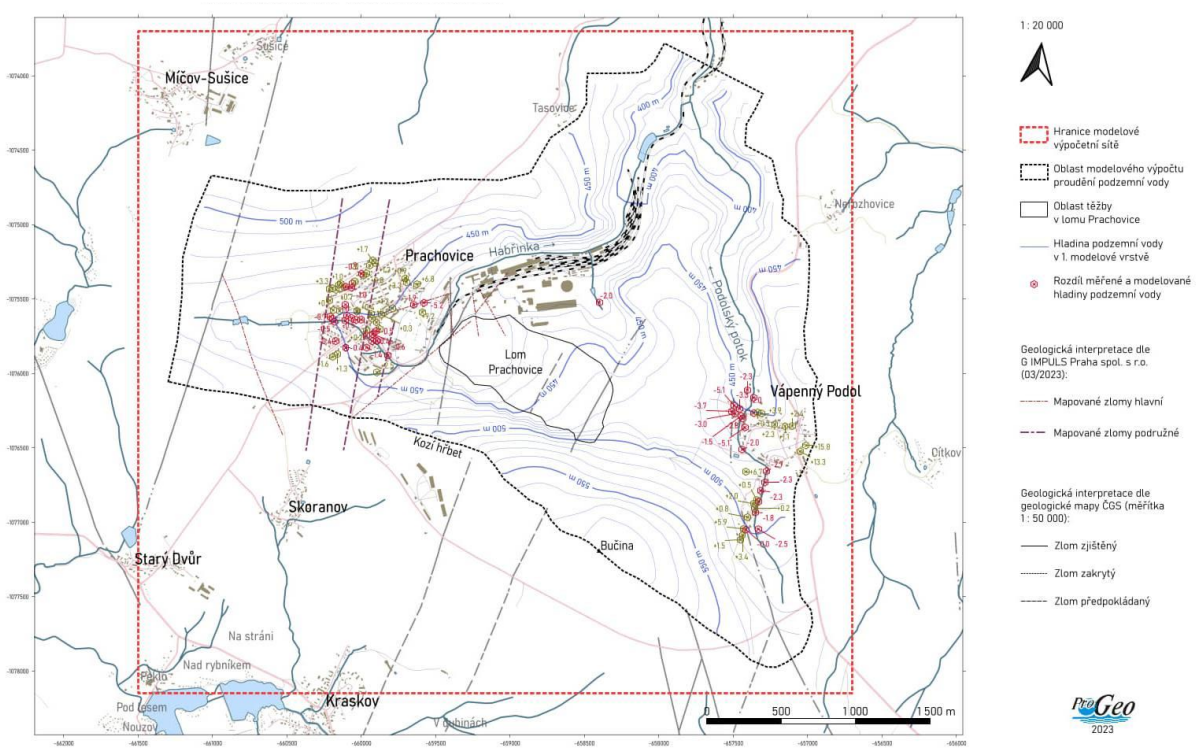


Základní hydrogeologické parametry vrtů v okolí lomu Prachovice

vrt	P-PMS/1	P-PMS/2	P-PMS/3	P-PMS/4	P-1	P-1*	PR-2	PR-1A	HV-2A	VP-1
kolektor	D/O	S/D	P/O	P**/O	P/D	D	D	S/D	D	D
hloubka (m)	65	80	85	100	95	95	40	102	80	52
ustálená hladina (m)	5.74	6.50	6.39	0.14	1.54	2.00	0.00	37.90	17.60	22.00
snížení (m)	3.21	2.45	2.87	8.69	15.06	22.00	23.60	11.80	17.30	3.00
vydatnost (l/s)	0.30	0.02	0.02	0.25	0.50	0.50	0.60	0.02	0.50	0.90
Poznámka:	* vrt P-1 po repasi									
	** permokarbon									

Obr. 7 Prachovice – lom. Čáry vydatnosti monitorovacích vrtů.

S využitím výsledků probíhajícího monitorování záměrů hladin podzemní vody na 107 objektech a výsledku modelového hodnocení bylo sestaveno aktuální schéma odtokových poměrů kvartérního a přípovrchového kolektoru (obr. 8). Hladina podzemní vody je konformní s terénem se sestupným prouděním podzemní vody k lokálním drenážním bázím – říční síť, těžební jáma lomu Prachovice.
Při proudění podzemní vody v hlouběji založených vápencích (krystalinický kolektor) dochází k potlačení efektu lokálních drenážních bází a směry proudění jsou modifikovány výskytem infiltračních (např. obnažené sedimenty v lomu) a drenážních oblastí (přízlomové partie podél směrné a příčné tektoniky).
K doplňování zásob podzemní vody dochází v mimovegetačním období a je provázeno vzestupy hladin. Velikost kolísání hladinového režimu je „úměrná“ typu horninového prostředí (vápence × břidlice), dále pozicí monitorovaného objektu v hydrogeologické struktuře (oblast infiltrace × báze drenáže) a průběhu a geometrii lokálních okrajových podmínek s funkcí izolátoru (jílovitá výplň zlomů a násunových ploch) či kolektoru (drcená pásma ve vápencích, výskyt krasových systémů).
Z analýzy průběhu hladinových záznamů vyplývá, že v oblasti blízké rozvodnici je průběh hladin vyrovnaný, bez rychlých reakcí na srážkovou dotaci. V oblasti přímých výchozů vápenců pak registrujeme výraznou oscilaci hladiny s amplitudou 2,6 m až 12,0 m s rychlou reakcí na srážky. Při okraji hydrogeologické struktury, kde oblast infiltrace je tvořena malou plochou, je oscilace hladiny buď zcela potlačena nebo málo výrazná.
Ověřené vydatnosti na vrtech v lomu a okolí dosahují maximálních hodnot 1 l/s až 2 l/s s tím, že vyšší vydatnosti jsou vázány na porušené či zkrasovatělé vápence. Problémem je neurčitelnost podílu statických zásob a dynamických přítoků podzemní vody.
Údaje z vrtu CE-4 (SMUTEK, 2001) dokumentují poklesy přítoku s hloubkou, kdy otevřené systémy ve vápencích vyznívají a v kompaktním bloku vápenců je propustnost, a tím i přítoky omezená, zjištěné dutiny s charakterem embryonálního krasu (v hloubkách pod 60 m) navíc vyplněny jílem.

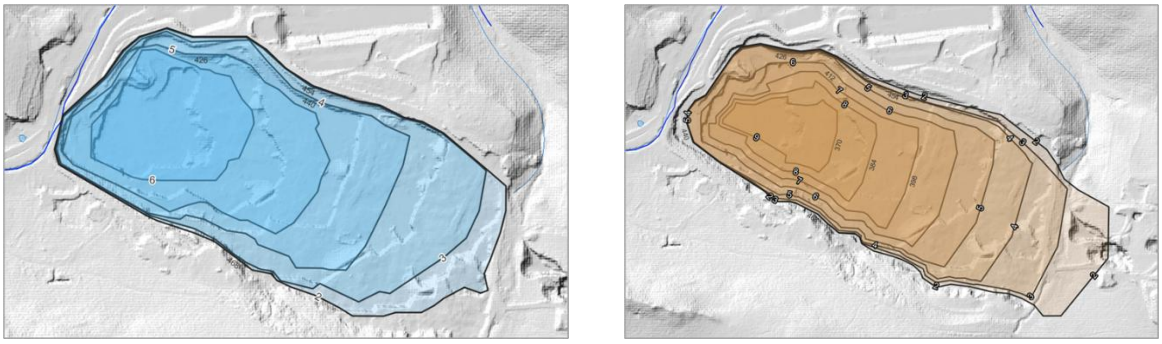


Obr. 8 Modelové izolinie hladiny podzemní vody – aktuální stav, 1. modelová vrstva.

6. Prognóza vlivu zahlubování lomu na režim podzemních a povrchových vod

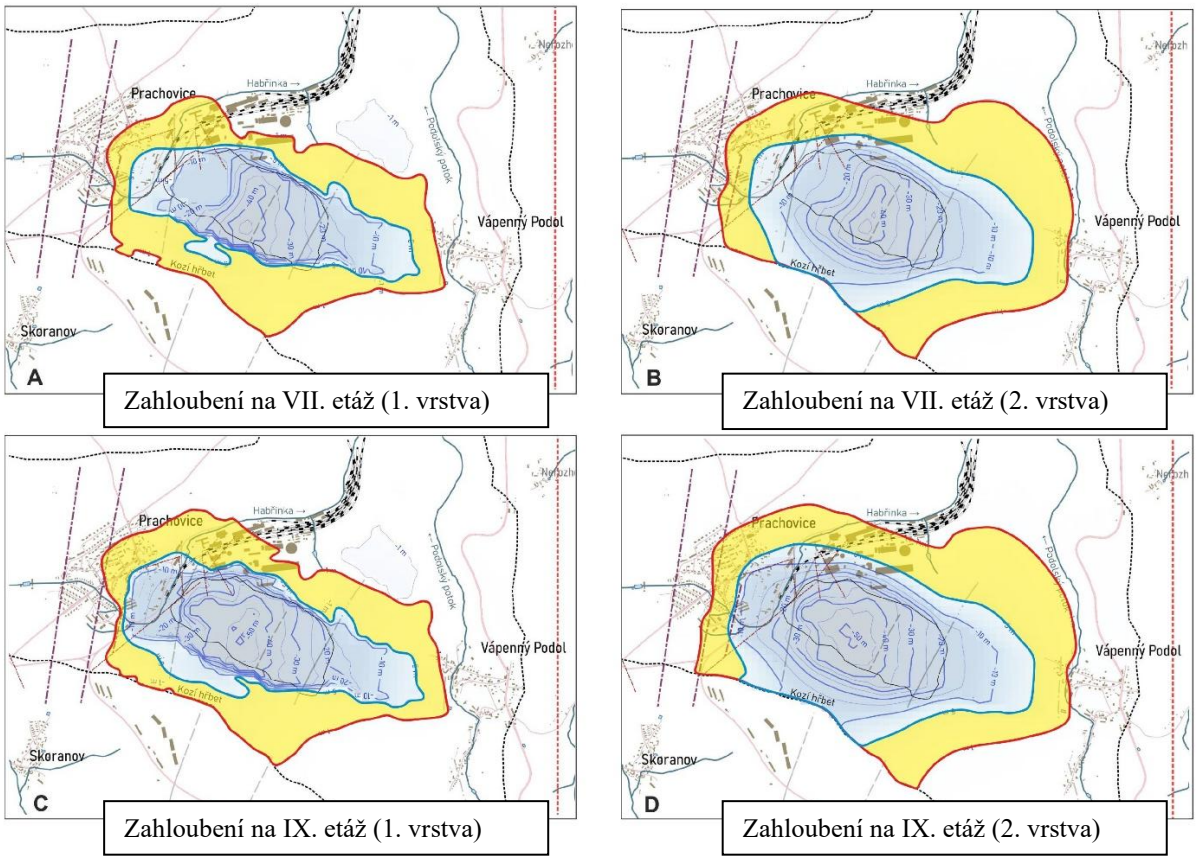
Jeden z podkladů pro posuzování vlivu zahlubování lomu na životní prostředí tvoří matematický model proudění podzemní vody. Pro sestavení modelu pro lom Prachovice byla využita archivní data doplněná o nově interpretovanou geologickou a tektonickou stavbu území.
Byl proveden popis, vizualizace a interpretace aktuálního stavu hydrogeologických poměrů a prognóza ustálených hydrogeologických poměrů po zahloubení těžby ze současné úrovně VI. etáže (412 m n. m.) na úroveň VII. etáže (398 m n. m.) a následně k IX. etáži na kótu 370 m n. m. Modelové hodnocení bylo zacíleno i na posouzení dopadu

těžby na mělký oběh podzemní vody v obcích Prachovice a Vápenný Podol. Tvar a úroveň etáží v lomu pro prognózní situace jsou znázorněny na obr. 9.



Obr. 9 Tvar a úrovně etáží v lomu Prachovice, současný stav (vlevo) a projektovaná otevírka na IX. etáži (vpravo).

Výsledky modelového řešení, které provedla společnost PROGEO, s. r. o. (Uhlík, in Smutek, 2024) lze shrnout do následujících bodů.
Pro srovnání měřených hladin a hladin z kalibrovaného modelu bylo použito 107 monitorovaných objektů, v 96 objektech byl rozdíl v hladinách (skutečnost × model) menší než 5 m.
Vertikální členění horninového komplexu výplně vápenopodolské synformy bylo rozděleno na šest vrstev, z čehož pro interpretaci případných dopadů těžby na režim podzemních a povrchových vod mají význam data pro první vrstvu – kvartérní a přípovrchový kolektor s dosahem do 20 m pod terén, na kterou se vztahuje ovlivnění přípovrchové zóny (domovní zdroje, biota), a pro druhou vrstvu – která reprezentuje svrchní partie horninového masivu v prostoru modelu s řešením největšího hydraulického ovlivnění v hlubších jímacích objektech v hloubkovém rozmezí od 20 m do 150 m.
Názornější pohled na šíření hladinových změn při modelových variantách zahloubení lomu na VII. a IX. etáž je podán na obr. 10. Žlutou plochou je znázorněn ustálený stav prognózovaného hladinového poklesu pro první a druhou vrstvu.



Obr. 10 Modelové izolinie přírůstků snížení hladiny podzemní vody (m) v lomu Prachovice a okolí.

Pro obec Vápenný Podol jsou prognózovány poklesy hladiny podzemní vody při zahloubení lomu na VII. a IX. etáž jako velmi subtilní, místy pod limitem detekce.
Z bilančního hlediska je pozoruhodná nízká hodnota současného i prognózovaného množství podzemní vody drenované do lomu. Pro současné hydrogeologické poměry je to množství 4,6 l/s, pro období po zahloubení na VII. etáž se toto množství zvýší přibližně na 6 l/s, a po zahloubení na IX. etáž je prognózován přírůstek o 0,6 l/s, oproti současné situaci se jedná o nárůst 2 l/s.
Na základě získaných výsledků se jeví, že zahloubení lomu k IX. etáži je klíčové především pro obec Prachovice. Pro přilehlou část obce Prachovice k lomu je modelem prognózováno snížení hladiny podzemní vody v přípovrchové zóně pro maximální uvažovaný rozsah těžby (těžba na bázi IX. etáže) v rozmezí prvých metrů oproti současným poměrům. Nutnou podmínkou pro tuto prognózu je narušení boční okrajové podmínky na závěrném západním svahu lomu, která je tvořena jílovitou výplní příčných poruch SV-JZ směru (zlom č. 4 obr. 9).
Snížení hladiny podzemní vody, ovšem výrazně mírnější, zřejmě postihne i další části obce ve směru na západ, která je založena na vápencích. Ovlivnění vodních zdrojů založených v permokarbonských sedimentech ve středozápadní části Prachovic nepředpokládáme.
Z hlediska vlastní těžby je situace pro lom příznivá. Postupné rozšíření těžby v dlouhodobém horizontu povede k nárůstu drenáže podzemní vody do lomu Prachovice maximálně o nižší jednotky litru za sekundu. Hydraulická deprese a ovlivnění přírodních poměrů zůstane omezeno především na povodí Habřinky. V hlubších partiích horninového masivu může docházet k vyznívání hydraulické deprese až za linií orografického rozvodí.

7. Závěr

V lomu Prachovice (okres Chrudim) je projektováno zahloubení o 45 m oproti současnému stavu, tj. ze VI. etáže na IX. etáž. Pro hodnocení vlivu zahloubení lomu na režim podzemních a povrchových vod byl v letech 2022–2024 vybudován preventivní monitorovací systém. Výsledky geofyzikálního průzkumu, vrtných prací, tektonického mapování, hydrogeologického průzkumu byly využity pro sestavení matematického modelu, na základě kterého byla sestavena prognózní schémata. Preventivní monitorovací systém je již od roku 2024 provozován. Výsledky prací slouží pro rozhodování managementu cementárny Cemex pro řešení případných rizikových situací.
Průzkumné práce byly dále využity pro sestavení nových geologických map ZM 1:25 000, které ve spolupráci s Vodními zdroji Chrudim realizovala v letech 2016–2025 Česká geologická služba. V neposlední řadě byly výsledky prací využity v rámci aktivit národního geoparku Železné hory pro edukaci geověd.

Seznam literatury

Kraft P., - Marek J., 1997: Nálezy fauny v silurských sedimentech v lomu Prachovice. - MS, in Smutek D., 1998.
Melichar R. – Dušek V., 2024: Zpráva o strukturně geologickém průzkumu lokality Prachovice. In Smutek D., 2021.
Nadrchal J. – Vlček L., 2000–2024: Prachovice – lom, okres Chrudim. Vyhodnocení monitoringu režimu a kvality podzemních a povrchových vod. – MS, Archiv VZ Chrudim, spol. s r. o.
Smutek D., 1998: Prachovice-lom. Vliv těžební činnosti na režim podzemních a povrchových vod. – MS, Archiv VZ Chrudim, spol. s r. o.
Smutek D., 2001: Prachovice-lom. Vyhodnocení hydrogeologického průzkumu – vrtu CE-4. – MS, Archiv VZ Chrudim, spol. s r. o.
Smutek D., 2021: Prachovice-lom. Projektová dokumentace pro vybudování preventivního monitorovacího systému (PMS). – MS, Archiv VZ Chrudim, spol. s r. o.
Smutek D., 2024: Prachovice-lom. Pardubický kraj. Závěrečná zpráva o vybudování preventivního monitorovacího systému (PMS) pro sledování možných změn v režimu podzemních a povrchových vod a jejich vztahu k těžbě v lomu Prachovice, a to v oblasti katastru obcí Prachovice a Vápenný Podol. – MS, Archiv VZ Chrudim, spol. s r. o.
Uhlík J., 2024: Modelové hodnocení změn hydrogeologických poměrů při otevírce VII. a IX. etáže lomu Prachovice. - in Smutek D., 2024.

METODIKA CHARAKTERIZACE TRANSPORTNÍCH PROCESŮ V KRYSTALINIKU S VYUŽITÍM LABORATORNÍCH A IN-SITU DAT

METHODOLOGY FOR CHARACTERIZING TRANSPORT PROCESSES IN CRYSTALLINE ROCKS USING LABORATORY AND IN-SITU DATA

Karel Sosna[1], Milan Zuna[2], LiborGvoždík[3], Ondřej Švagera[4], Jan Smutek[5]

[1] SG Geotechnika a.s., Geologická 988/4, 152 00 Praha 5, Česko, e-mail: karel.sosna@geotechnika.cz
[2] UJV Řež, a.s., Hlavní 130 Řež, 250 68 Husinec, Česko, e-mail: milan.zuna@ujv.cz
[3] PROGEO, s.r.o., Tiché údolí 113, 252 63 Roztoky, Česko, e-mail: progeo@1progeo.cz
[4] Česká geologická služba, Klárov 131/3, 118 21 Praha 1, Česko, e-mail: ondrej.svagera@geology.cz
[5] SÚRAO, Dlážděná 1004/6, 110 00 Praha 1, Česko, e-mail: smutek@surao.gov.cz

Abstrakt: Příspěvek prezentuje metodiku a výsledky výzkumu zaměřeného na transportní procesy a hydraulickou konektivitu krystalinických hornin v rámci vývoje hlubinného úložiště radioaktivního odpadu v České republice. Práce integruje poznatky z mikroměřítka (laboratorní studium pórového prostoru) s výsledky in-situ experimentů v reálném měřítku horninového masivu (štola Josef a PVP Bukov). V mikroměřítku byla pomocí konfokální mikroskopie a fluorescenční pryskyřice identifikována síť mikropórů a mikrotrhlin, přičemž bylo zjištěno, že makroskopicky vyhojené pukliny slouží jako preferenční zóny proudění. In-situ měření využila pokročilé multipakrové systémy k monitoringu tlaků podzemní vody a realizaci stopovacích zkoušek. V rámci pilotního experimentu v ČR bylo k popisu migračních parametrů úspěšně využito radioaktivního stopovače (tritia), jehož průnikové křivky vykázaly rychlejší transport oproti běžně užívaným solným roztokům s NaCl. Výsledky potvrzují vysokou míru reprodukovatelnosti terénních dat a prokazují významnou hydraulickou konektivitu puklinových sítí, což je klíčové pro validaci numerických modelů při hodnocení bezpečnosti úložišť.

Abstract: This paper presents the methodology and results of research focused on transport processes and hydraulic connectivity in crystalline rocks as part of the development of a deep geological repository for radioactive waste in the Czech Republic. The study integrates findings from the microscale (laboratory study of pore space) with the results of full-scale in-situ experiments in the rock mass (the Josef gallery and the Bukov URF). At the micro-scale, a network of micropores and microfissures was identified using confocal microscopy and fluorescent resin, and it was found that macroscopically healed fractures serve as preferential flow zones. In-situ measurements utilized advanced multipack systems to monitor groundwater pressures and conduct tracer tests. As part of a pilot experiment in the Czech Republic, a radioactive tracer (tritium) was successfully used to characterize migration parameters; its breakthrough curves showed faster transport compared to commonly used NaCl salt solutions. The results confirm a high degree of reproducibility of field data and demonstrate significant hydraulic connectivity within fracture networks, which is key to validating numerical models in the safety assessment of repositories.

Klíčová slova: hornina, důl, puklina, podzemní voda, stopovací zkouška, PVP Bukov.

Key words: rock, mine, fracture, groundwater, tracer test, Bukov URF.

1. Úvod

Hlavním cílem projektu „Přenos hodnot migračních PArametrů granitických hornin z MIkroměřítka do REálného měřítka horninového masivu“ bylo stanovit míru reprodukovatelnosti výstupů laboratorního studia transportních procesů stopovačů v porovnání s výsledky experimentu většího měřítka (dm). Tyto výstupy byly následně implementovány do reálných podmínek granitických hornin (experiment in-situ) a do modelů vyhodnocujících migraci radionuklidů do horniny. Jedním z významných výsledků projektu bylo zavedení metodiky využívající radioaktivní stopovače v horninovém prostředí, což představovalo pilotní experiment tohoto typu v ČR. K popisu horninového prostředí a vytvoření modelu pórového prostoru horninové matrice byla mimo jiné využita metoda identifikace četnosti, propojenosti a velikosti pórů v horninových vzorcích, založená na kombinaci aplikace fluorescenční pryskyřice a konfokální mikroskopie.
Druhý projekt, „Výzkum puklinové konektivity v PVP Bukov“, se zaměřuje na výzkumně-vývojové práce směřující k získání informací o rychlosti a charakteru toku podzemní vody, konektivitě puklinových sítí a v obecné rovině na metodiku a zpracování geologických a hydrogeologických DFN modelů.
In-situ migrační experimenty zaměřené na studium puklin a transportních parametrů krystalinických hornin při vyhledávání vhodného horninového prostředí pro hlubinné úložiště radioaktivního odpadu jsou popsány například

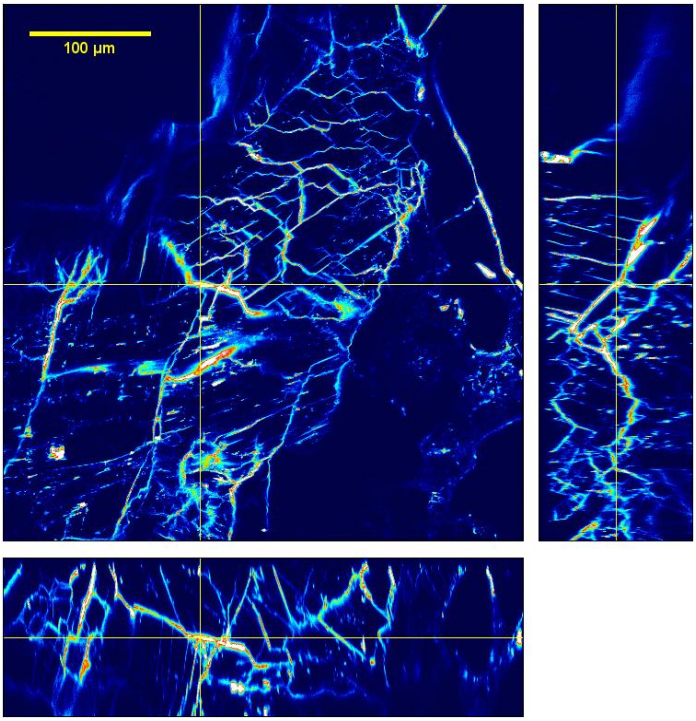
v publikacích Spane (1990) a McNeish et al. (1990) (vrt Leuggern), Liedtke et al. (1994) (projekt Fracture system flow test), Winberg et al. (2000) (experiment TRUE-1), Andersson et al. (2002) (projekt TRUE Block scale) nebo Gascoyne et al. (2002) (Baseline Conditions at Olkiluoto).

2. Vizualizace mikropórového prostoru pomocí konfokální mikroskopie

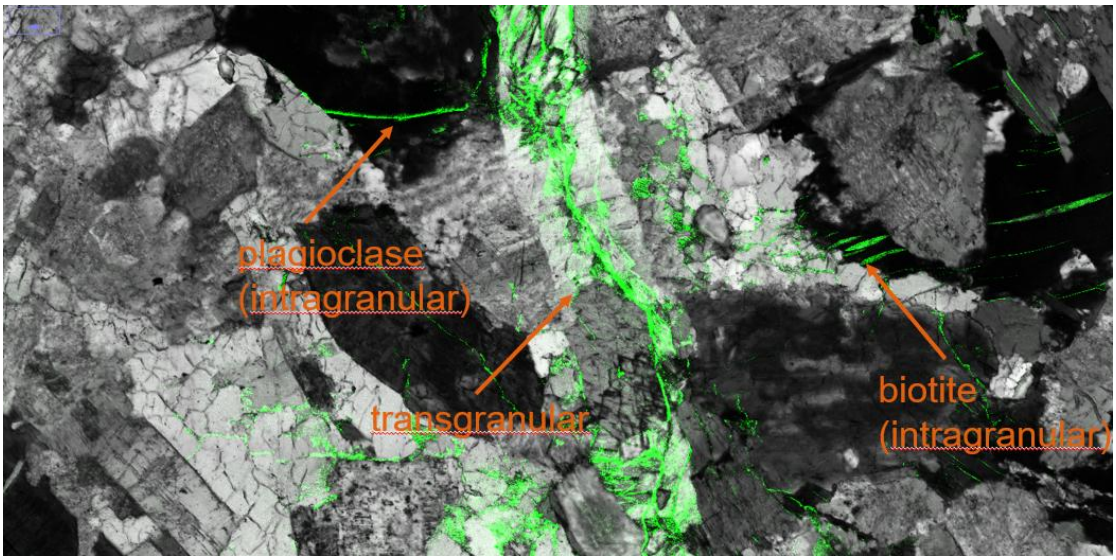
Hlavním cílem této fáze výzkumu bylo charakterizovat pórový prostor ve 3D. Pro tento účel byly připraveny neleštěné výbrusy o tloušťce 200 µm. Dalším úkolem bylo identifikovat minerály porušené sítí mikrotrhlin. Pro studium v procházejícím světle byly zhotoveny leštěné výbrusy o tloušťce 40 µm.
Z pořízených snímků (obr. 1 a 2) je patrné, že makroskopicky viditelné vyhojené pukliny fungují jako preferenční zóny proudění kapalin horninovou matricí. Puklinová síť horninové matrice je nespojitá a tvoří izolované enklávy. Ve výbrusech byly sledovány tři typy mikrotrhlin, a to:

- transgranulární (probíhající napříč zrny),
- intergranulární (vázané na rozhraní jednotlivých zrn),
- intragranulární (vyvinuté uvnitř zrn).

Tyto mikrotrhliny porušují všechny hlavní horninotvorné minerály, konkrétně plagioklasy, křemen a biotit.



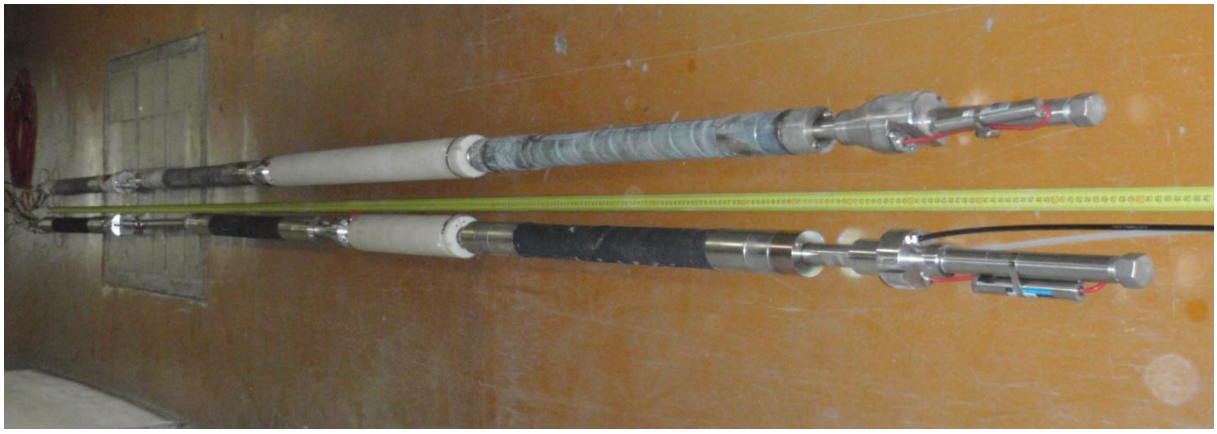
Obr. 1 Detail propojené a husté mikropuklinové sítě tvořící vyhojenou puklinu, snímek v ploše výbrusu (nahoře vlevo) a vertikální řezy výbrusem (vpravo a dole)
Fig. 1 Detail of dense interconnected microcrack network forming the healed fissure, image in the area of the cut (top left) and vertical sections of the cut (right and bottom)



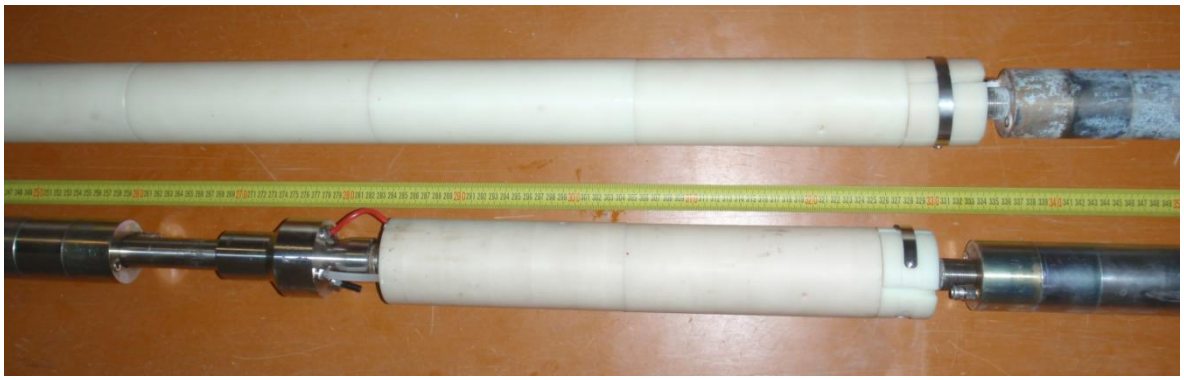
Obr. 2 Výbrus 1,5×3 mm, intragranulární trhlina v plagioklasu (vlevo), transgranulární trhlina uprostřed, intragranulární trhlina v biotitu (vpravo)
Fig. 2 Cut 1.5 × 3 mm, intragranular crack in plagioclase (left), transgranular crack in the middle, intragranular crack in biotite (right)

3. Monitoring tlaku podzemní vody ve štole Josef

V rozrážce JP-57 podzemní štoly Josef byl v průběhu projektu sledován tlak podzemní vody. Monitoring probíhal pomocí strunových piezometrů, které byly ve vrtech izolovány trojitými pneumatickými pakry (obr. 3). Cílem těchto prací bylo stanovit přirozený tlak podzemní vody a vyhodnotit vliv vodních tlakových a stopovacích zkoušek na jeho změny.
Multipakry byly v etážích monitorujících puklinu osazeny polyamidovými vycpávkami (obr. 4), které snižovaly objem vody v testovaných úsecích. Důvodem instalace těchto vycpávek bylo následné zlepšení bilance stopovacích zkoušek, respektive zmenšení objemu vody, ve kterém se stopovač ve vrtu může mísit. Tímto opatřením se objem etáže ve vrtu PA1 snížil ze 4,898 dm³ na 1,727 dm³ a ve vrtu PA2 ze 3,292 dm³ na 1,808 dm³.

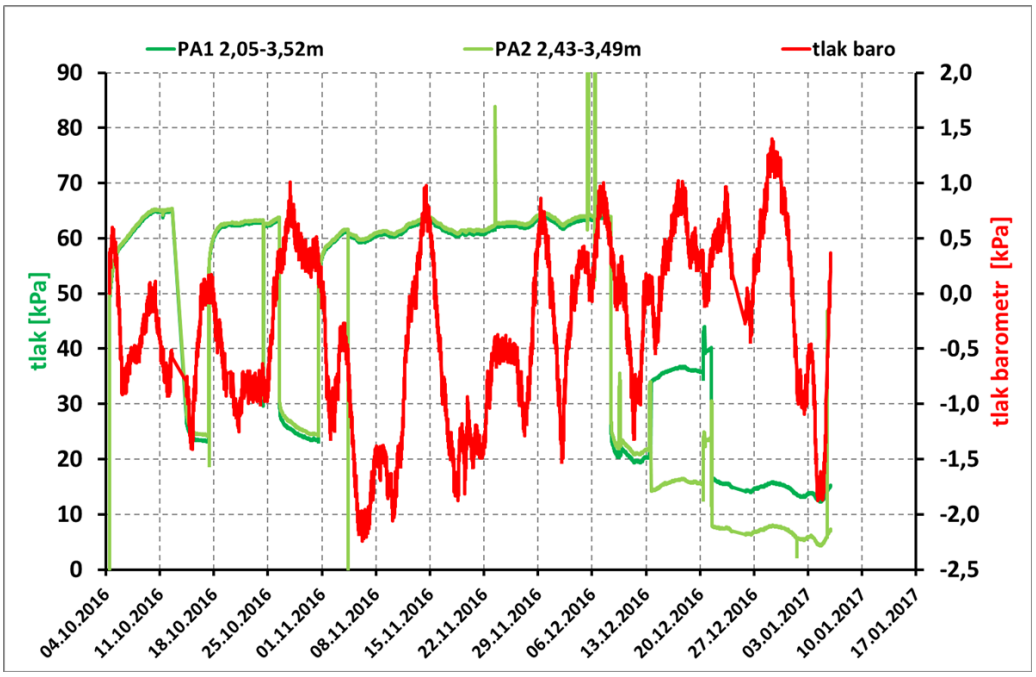


Obr. 3 Multipakry PA1 (nahoře) a PA2 (dole)
Fig. 3 Multipackers PA1 (top) and PA2 (bottom)



Obr. 4 Ucpávky z polyamidu v etážích monitorujících puklinu
Fig. 4 Polyamide seals in fracture monitoring sections

Výsledky monitoringu tlaku podzemní vody ve vrtech PA1 a PA2 z roku 2016, prováděného pomocí trojitých pneumatických pakrů tlakovaných vodou, jsou znázorněny na obrázku 5. Z grafu je patrné, že při uzavření sledovaných úseků se tlak v hloubkových intervalech vodivé pukliny (2,05–3,52 m a 2,43–3,49 m) pohybuje okolo 63 kPa. Při otevření obou úseků tlak klesá na hodnoty kolem 25 kPa (podle dat z listopadu 2016), respektive na 5 kPa ve vrtu PA2 a 15 kPa ve vrtu PA1 (podle dat z prosince 2016). Data z počátku prosince 2016 jsou ovlivněna tehdy probíhajícími stopovacími zkouškami.



Obr. 5 Monitoring tlaku v úseku na puklině v PA1 a PA2 pomocí multipakrů
Fig. 5 Monitoring of groundwater pressure in the section on the fracture in PA1 and PA2 boreholes using multipackers

4. Stopovací zkoušky ve štole Josef

Hlavním výstupem stopovacích zkoušek byly průnikové křivky (obr. 6), jejichž průběh znázorňuje změny elektrické vodivosti roztoku zaznamenané během testu, přepočtené na koncentraci stopovací látky. Jako neaktivní stopovače byly testovány roztoky NaCl (0,1 M; 0,05 M; 0,01 M) a KI (0,01 M). Podle tvaru těchto křivek lze posuzovat transportní vlastnosti prostředí, jako je například disperze částic. Čím je křivka pozvolnější, tím je rozptýlení (disperze) částic stopovače v horninovém prostředí větší.
V rozrážce SP-47 byly ve vrtech PA1 a PA2 v intervalech s otevřenou puklinou v roce 2016 vyhodnoceny tři stopovací zkoušky s chloridem sodným. Během těchto testů se ověřovaly zejména různé konfigurace zapojení vstupů a výstupů pro validaci modelu, odlišné koncentrace stopovače a různé systémy měření a odběru vzorků. V roce 2017 bylo následně realizováno dalších 21 stopovacích zkoušek.
Výsledky stopovacích zkoušek byly vyhodnoceny pomocí programu Qtracer2, do kterého byly zadány následující parametry:

- množství injektovaného stopovače,
- doba pulzu injekce stopovače,
- průtok,
- radiální vzdálenost k vzorkovací stanici,
- korekce na zakřivení dráhy,
- čas a koncentrace.

Množství injektovaného stopovače bylo vypočteno z doby pulzu injekce, průtoku v injekčním úseku a koncentrace stopovací látky. Radiální vzdálenost se stanovila jako součet délky pukliny mezi vrty PA1 a PA2 (0,7 m) a délky otevřených injekčních úseků ve vrtech PA1 (1,47 m) a PA2 (1,06 m). Korekce na zakřivení dráhy byla nastavena na hodnotu 1,5, což je empirická hodnota získaná z velkého množství stopovacích zkoušek realizovaných autorem programu. Časový údaj byl korigován o dobu, kterou roztok stopovače potřebuje k dotečení od měřicího místa k místu injekce v testovaném intervalu injekčního vrtu, a naopak k dotečení od místa jímání v testovaném intervalu jímacího vrtu zpět do měřicího místa v rozrážce. Toto zpoždění způsobené přístrojovým vybavením (instrumentací) zkoušky bylo vypočteno na základě objemu injekčních hadiček a průtoků v injekčním a jímacím vrtu.

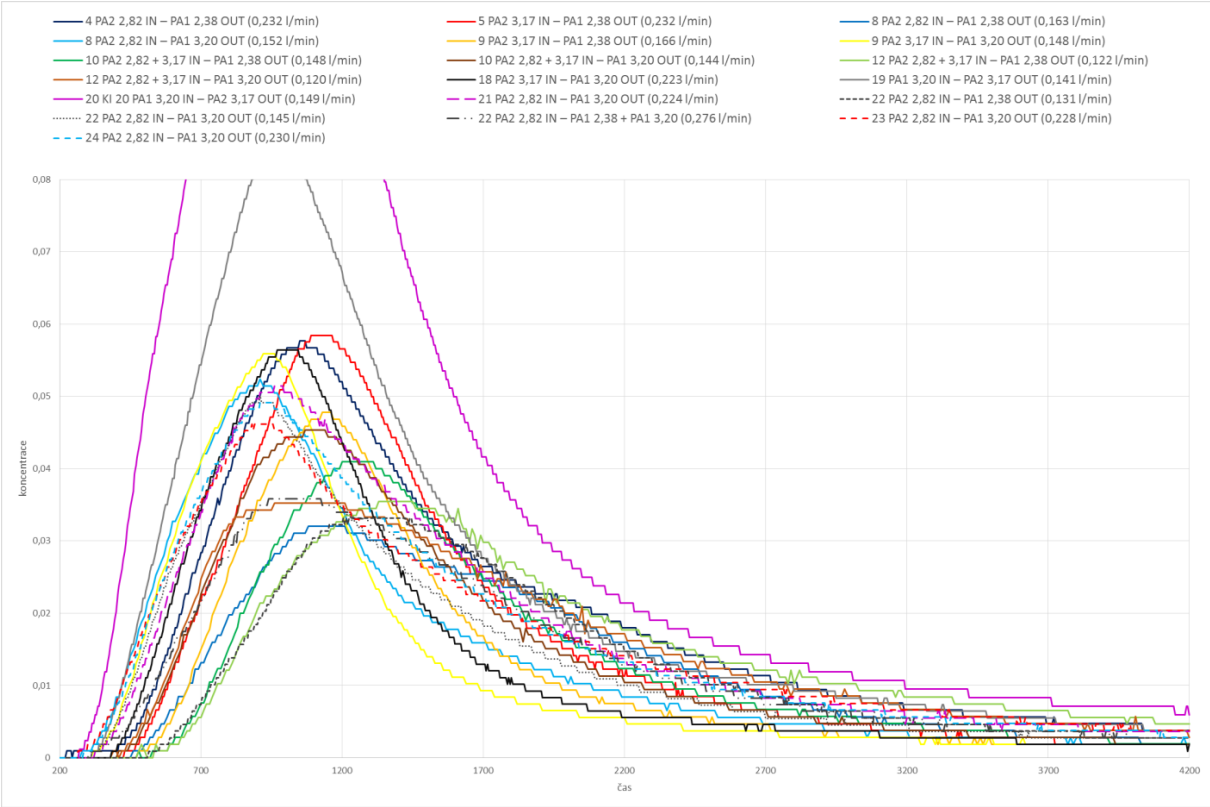
Cílem výše uvedených testů bylo odladění metodiky a příprava na aktivní experiment s použitím tritia (HTO) jako stopovače. Práce s radioaktivními stopovači představuje specifickou činnost, která vyžaduje důkladnou přípravu a plánování s ohledem na bezpečnost práce a ochranu horninového prostředí. V rámci přípravných prací probíhala intenzivní komunikace se zástupci SÚJB (Státní úřad pro jadernou bezpečnost) a na základě průběžných výsledků byly upravovány požadavky a modifikován samotný experiment. Cílem těchto úprav bylo maximalizovat návratnost stopovače, minimalizovat jeho vstupní aktivitu a následně i celkovou aktivitu a objem odpadního (výstupního) roztoku.

Prvořadý důraz byl proto kladen na dosažení co nejvyšší návratnosti stopovače. V průběhu experimentů se ukázalo, že na návratnost má zásadní vliv koncentrace stopovače (v g/l). S rostoucí koncentrací roztoku totiž návratnost klesala, a z toho důvodu byl pro další zkoušky zvolen zředěnější roztok 0,01 M NaCl. Významným faktorem ovlivňujícím návratnost byla také doba injektáže. Testy s minutovou dobou injektáže, při nichž bylo do systému vneseno pouze velmi malé množství stopovače, vykazovaly velmi nízkou návratnost. V následujících experimentech byla proto doba injektáže prodloužena na 10 minut.

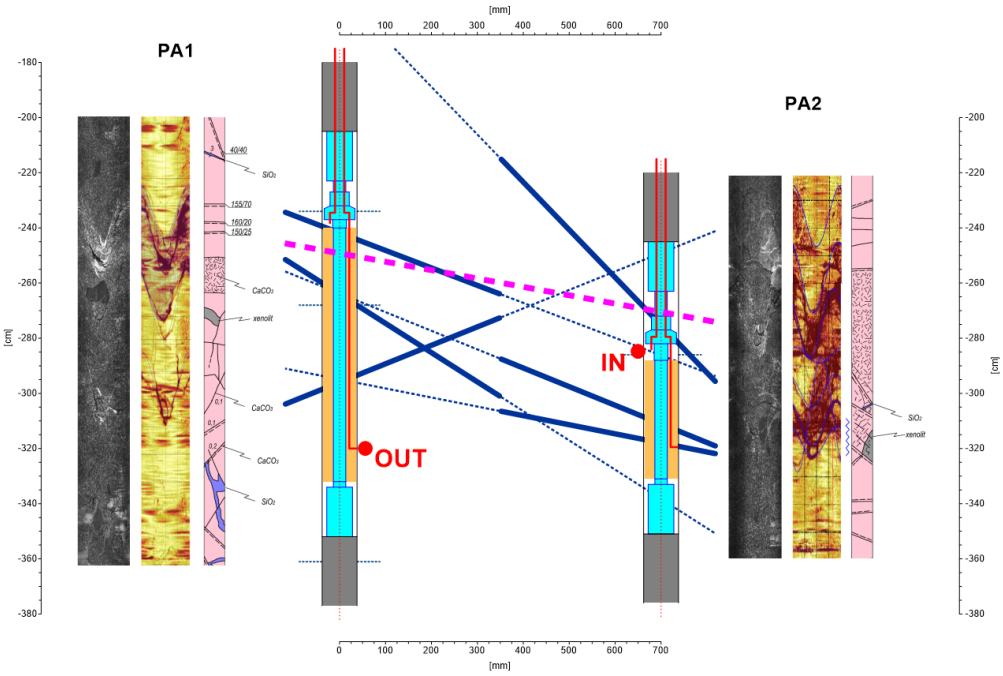
Z výsledků výše uvedených testů (s pořadovými čísly 4, 5, 8, 9, 10, 12, 18, 19, 21 a 22), při nichž se testovaly různé kombinace vstupních a výstupních intervalů na pakrech, dále vyplývá:

- pomalý nástup a nízká maxima (peaky) se objevují u testů, kdy je na výstupu zapojen interval PA1 2,38 nebo když se stopovač injektuje do obou vrtů současně,
- rychlejší průběh zkoušky nastává v případě, kdy je na výstupu zapojen interval PA1 3,2.

Z těchto důvodů byla jako finální konfigurace pro aktivní stopovací zkoušku vybrána varianta PA2 2,82 IN – PA1 3,20 OUT (obr. 7).



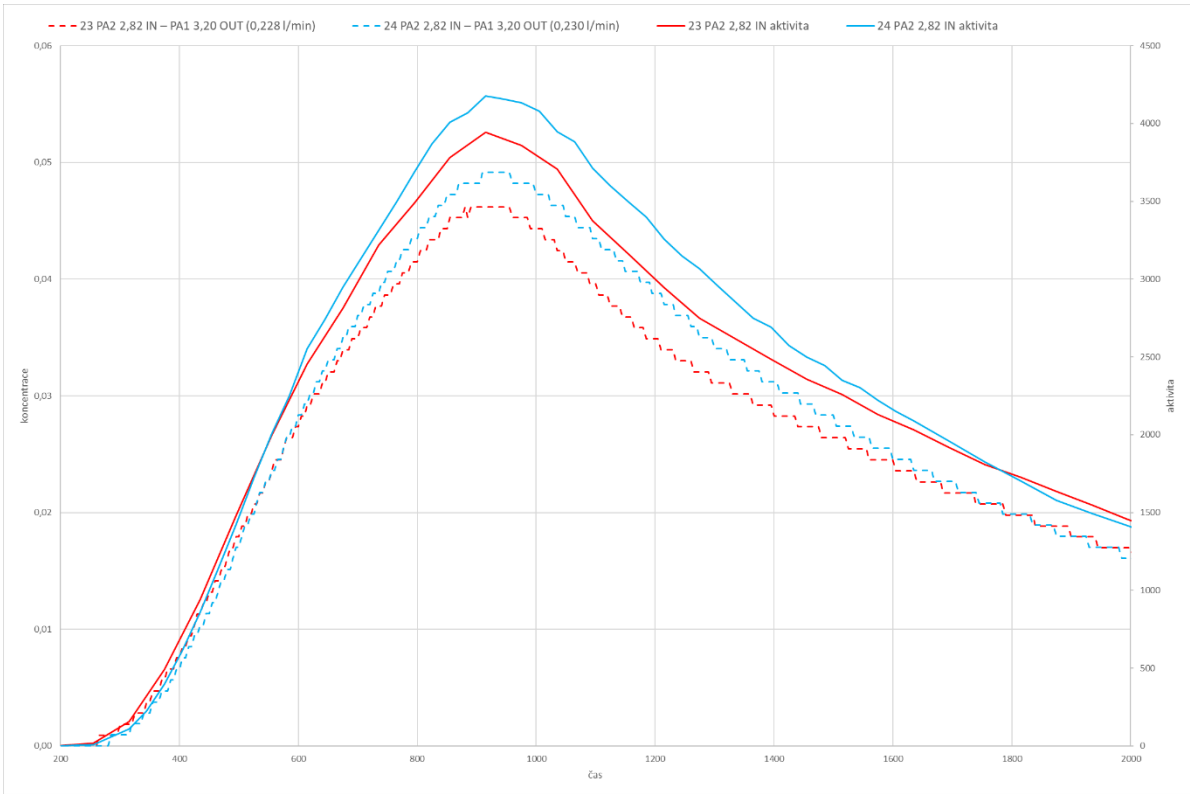
Obr. 6 Průnikové křivky stopovacích zkoušek s NaCl
Fig. 6 Breakthrough curves of tracer tests with NaCl



Obr. 7 Řez horninovým prostředím a detail multipakrového systému s vykreslením vstupní (IN) a výstupní (OUT) hadičky. Tučně modře jsou v řezu vyznačeny pukliny zjištěné akustickou ABI, čárkovaně růžově je vyznačen průběh vodivé pukliny zadané v modelu
Fig. 7 Rock environment cross-section and multipacker system detail with a drawing of the inlet (IN) and outlet (OUT) tube. The fracture detected by the acoustic ABI are marked in bold blue, the shape of the conductive fracture specified in the model is marked in dashed pink

V rozrážce SP-47 byly ve vrtech PA1 a PA2 v hloubkových intervalech s otevřenou puklinou v roce 2017 vyhodnoceny dvě stopovací zkoušky s triciem (obr. 8). Z výsledků vyplývá, že aktivní stopovač proudil puklinou

rychleji v porovnání s roztokem soli, zatímco ostatní parametry byly obdobné. Případnou další zkoušku by proto bylo vhodné realizovat bez použití solného roztoku, který může zpomalovat mísení (homogenizaci) stopovače s podzemní vodou přímo na lokalitě.
Následně byly stopovací zkoušky a průnikové křivky vyhodnoceny v programu Qtracer2. Transportní model byl sestaven v programu MT3DMS na základě verifikovaného hydraulického modelu vytvořeného v programu MODFLOW2000.



Obr. 6 Průnikové křivky aktivních stopovacích zkoušek s triciem
Fig. 8 Breakthrough curves of active tracer tests with tritium

5. Monitoring tlaku podzemní vody v PVP Bukov

Multipakrový systém pro vrty S-27, S-31 a S-36 se skládá z následujících komponent:

- 4× nerezový pakr od společnosti Geopro,
- 4× tlaková průchodka od společnosti J. Hradecký,
- nerezové spojovací trubky od společnosti Schwer Fittings.

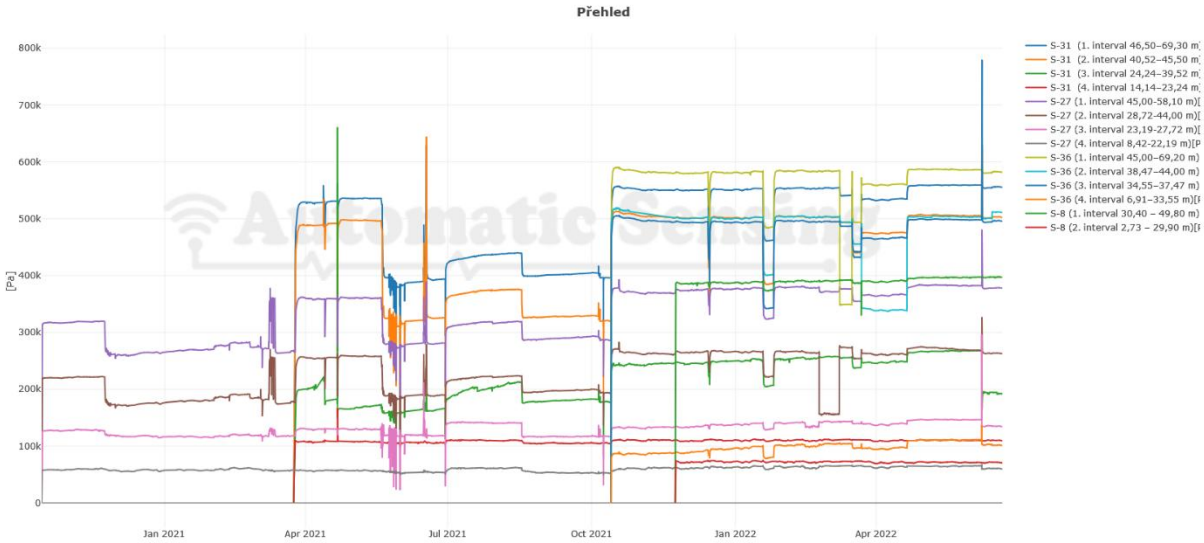
Pod každým pakrem je umístěna tlaková průchodka se čtyřmi vývody. Toto řešení umožňuje v testované etáži současně měřit tlak podzemní vody a odebírat vzorky ze dvou různých míst, případně jednou trubičkou vodu vtlačovat (tlakovat) a druhou ji odčerpávat, a zajišťovat tak její cirkulaci. Poslední vývod slouží k tlakování následujícího pakru v koloně. V této konfiguraci jsou jednotlivé pakry tlakovány samostatně. Pakry jsou spojeny do kolony pomocí nerezových trubek o vnějším průměru 42 mm. Spoje jsou řešeny navařeným šroubením a utěsněny plochým PTFE těsněním. Tlakování pakrů zajišťují polyamidové trubičky o vnějším a vnitřním průměru 6 a 3 mm (s tlakovou odolností do 100 bar) od společnosti Landefeld. Pro injektáž v mezipakrovém prostoru jsou použity polyamidové hadičky o vnějším a vnitřním průměru 6 a 4 mm (do 58 bar) od společnosti Seall.
U vrtů byly instalovány kontrolní a ovládací panely multipakrových systémů (obr. 9), na kterých jsou zakončeny tlakové rozvody z pakrů. Tyto panely jsou vybaveny:

- 4× manometrem pro monitorování tlaku v jednotlivých pakrech,
- měřicí ústřednou pro 4 piezometry k monitorování tlaku v testovaných intervalech vrtu,
- zařízením pro dálkový přenos dat (RELAY) z měřicí ústředny,
- 5× kohoutem pro injektáž v testovaných intervalech vrtu.

Tlakování pakrů je zajištěno vodou z expanzní nádoby. K monitorování tlaku slouží vibrační strunové piezometry Geokon (model 4500C) o průměru 11 mm a s měřicím rozsahem 7 bar. Pro zmenšení mrtvého objemu vrtů byla v měřených intervalech s výraznou puklinou použita polyamidová výplň.

Výsledky monitoringu tlaku podzemní vody jsou znázorněny na obrázku 10. Z grafu je patrné, že ve spodních etážích vrtů dosahuje tlak téměř 600 kPa. Jednotlivé tlakové špičky (píky) představují reakci na hloubení (vrtání) dalšího vrtu. Poklesy tlaku jsou způsobeny otevřením vzorkovacího kohoutu v daném úseku. Cílem těchto měření bylo ověřit vzájemnou hydraulickou (tlakovou) propojenost jednotlivých intervalů. Z výsledků vyplývá, že puklinový systém lokalizovaný v hloubkovém intervalu 40,5–45,5 m ve vrtu S-31 reaguje velmi rychle a výrazně na změny v úseku hloubky 34,5–37,5 m ve vrtu S-36.

Obr. 7 Kontrolní a ovládací panely multipakrů ve vrtech v PVP Bukov
Fig. 9 Multipackers control panels in the Bukov URF boreholes



Obr. 8 Monitoring tlaků podzemní vody ve vrtech v PVP Bukov
Fig. 10 Ground water pressures monitoring in the Bukov URF boreholes

6. Závěr

Multipakrové (tří- až čtyřnásobné) systémy se v České republice úspěšně využívají k monitorování tlaku podzemní vody v rámci in-situ experimentů zaměřených na studium hydrodynamických a migračních parametrů puklinových systémů krystalických hornin v souvislosti s hlubinným ukládáním radioaktivního odpadu. V tomto horninovém prostředí byl rovněž realizován pilotní experiment s využitím radioaktivního stopovače.
Na úrovni mikroměřítka se úspěšně uplatňuje metoda identifikace četnosti, propojenosti a velikosti pórů ve výbrusech horninových vzorků, založená na kombinaci aplikace fluorescenční pryskyřice a konfokální mikroskopie.

Poděkování

Práce byly realizovány v rámci projektů TAČR (TAČR TA04020986) „Přenos hodnot migračních PArametrů granitických hornin z MIkroměřítka do REálného měřítka horninového masivu (PAMIRe)“ a SÚRAO (SO2019-031) „Výzkum puklinové konektivity v PVP Bukov“. Autoři článku děkují všem svým kolegům, kteří se na výzkumu podíleli.

Seznam literatury

Andersson P, Byegård J, Dershowitz B, Doe T, Hermanson J, Meier P, Tullborg E-L, Winberg A, 2002. *Final report of the TRUE Block Scale project. 1. Characterisation and model development, SKB TR-02-13*, Svensk Kärnbränslehantering AB

Gascoyne M. (Ed.), 2003. *Baseline Conditions at Olkiluoto.* POSIVA 2003-02. Posiva Oy

McNeish J.A., Andrews R.W., Vomvoris S., 1990. *Interpretation of the tracer testing conducted in the Leuggern borehole*. NAGRA Technical report NTB 89-27. NAGRA, Switzerland

Liedtke L., Götschenberg A., Jobmann M., Siemering W., 1994. *Grimsel Test Site, Fracture system flow test, Experimental and Numercial Investigations of Mass Transport in Fractured Rock*. NAGRA Technical report NTB 94-02E. NAGRA, Switzerland

Spane F. A., 1990. *Description and results of tracer tests conducted for a deep fracture zone within granitic rock at the Leuggern borehole*. NAGRA Technical report NTB 90-05. NAGRA, Switzerland

Winberg A, Andersson P, Hermanson J, Byegård J, Cvetkovic V, Birgersson L, 2000. *Final report of the first stage of the tracer retention understanding experiments*, SKB TR-00-07, Svensk Kärnbränslehantering AB

Havlová V., Zuna M., Večerník P., Brázda L., Kolomá K., Trpkošová D., Gvoždík L., Milický M.,Sosna K., Staš L., Souček K., Svoboda J., 2017. *Výzkumná zpráva: Přenos hodnot migračních PArametrů granitických hornin z MIkroměřítka do REálného měřítka horninového masivu (PAMIRE). Příloha 2 Závěrečná zpráva projektu.* ÚJV Řež, a. s., ÚJV Z4933

Zuna M., Havlová V., Jankovský F., Švagera O., Sosna K., Gvoždík L., Holeček J., Řihošek J., Hofmanová E., Kočan K., Kryl J., Zelinková T., Kořalka S., 2021. *Výzkum puklinové konektivity v PVP Bukov – Průběžná zpráva č. 3*. SÚRAO TZ 551/2021

VLIV TEXTURNÍ ANIZOTROPIE A MIKROSTRUKTURY NA MECHANICKÉ A TRANSPORTNÍ VLASTNOSTI METAMORFIK V PROFILU DOLU ROŽNÁ

THE EFFECT OF TEXTURAL ANISOTROPY AND MICROSTRUCTURE ON THE MECHANICAL AND TRANSPORT PROPERTIES OF METAMORPHIC ROCKS IN THE ROŽNÁ MINE PROFILE

Karel Sosna[1], Zita Bukovská[2], Lukáš Vondrovic[3]

[1] SG Geotechnika a.s., Geologická 988/4, 152 00 Praha 5, Česko, e-mail: karel.sosna@geotechnika.cz
[2] Česká geologická služba, Klárov 131/3, 118 21 Praha 1, Česko, e-mail: zita.bukovska@geology.cz
[3] SÚRAO, Dlážděná 1004/6, 110 00 Praha 1, Česko, e-mail: vondrovic@surao.gov.cz

Abstrakt: Tato práce se zabývá studiem mechanických, fyzikálních a transportních vlastností metamorfovaných hornin v dole Rožná, a to v hloubkovém rozsahu 12. až 24. patra (cca 500–1200 m pod povrchem). Výzkum byl zaměřen na získání dat o prostorové distribuci geotechnických a geochemických parametrů horninového prostředí pro účely lokalizace a hodnocení bezpečnosti budoucího hlubinného úložiště (HÚ). Zvláštní pozornost byla věnována vlivu významné tektonické zóny R1 a vývoji parametrů v závislosti na hloubce. Metodika zahrnovala laboratorní testování velkoobjemových vzorků a vrtných jader, u nichž byly stanoveny základní fyzikální vlastnosti (objemová hmotnost, pórovitost), tepelné parametry, pevnostní charakteristiky (pevnost v tlaku i tahu, triaxiální smyková pevnost) a abrazivnost. Pro detailní analýzu mikrostruktury a sítě pórů byla využita konfokální laserová skenovací mikroskopie. Výsledky ukazují, že studované parametry (migmatitizované pararuly až amfibolity) nevykazují přímou závislost na hloubce. Výraznějším faktorem než hloubka nebo blízkost zóny R1 se ukázala být litologická heterogenita a texturní anizotropie hornin. Vzorky zatěžované paralelně s foliací vykazovaly vyšší pevnost v tlaku i vyšší modul přetvárnosti oproti směrům kolmým. Konfokální mikroskopie potvrdila přítomnost intergranulárních mikrofraktur podél ploch foliace, které zásadně ovlivňují mechanickou stabilitu a transportní cesty v hornině.

Abstract: This study focuses on the mechanical, physical, and transport properties of metamorphic rocks in the Rožná mine, specifically at depths ranging from the 12th to the 24th level (approximately 500–1,200 m below the surface). The research focused on obtaining data on the spatial distribution of geotechnical and geochemical parameters of the rock mass for the purpose of siting and assessing the safety of a future deep geological repository (DGR). Special attention was paid to the influence of the significant R1 tectonic zone and to how these parameters vary with depth. The methodology included laboratory testing of large-volume samples and drill cores, for which basic physical properties (bulk density, porosity), thermal parameters, strength characteristics (compressive and tensile strength, triaxial shear strength), and abrasiveness were determined. Confocal laser scanning microscopy was used for a detailed analysis of the microstructure and pore network. The results show that the studied parameters (migmatitized paragneisses to amphibolites) do not exhibit a direct dependence on depth. Lithological heterogeneity and textural anisotropy of the rocks proved to be more significant factors than depth or proximity to the R1 zone. Samples loaded parallel to the foliation exhibited higher compressive strength and a higher modulus of elasticity compared to directions perpendicular to the foliation. Confocal microscopy confirmed the presence of intergranular microfractures along foliation planes, which significantly influences mechanical stability and transport pathways within the rock.

Klíčová slova: hornina, důl, tektonická struktura, laboratorní zkoušky, pevnost.

Key words: rock, mine, tectonic structure, laboratory tests, strength.

1. Úvod

Mechanické vlastnosti metamorfovaných hornin z dolu Rožná byly studovány v rámci projektu, jehož cílem bylo získat informace o prostorové distribuci geologických, geotechnických, geochemických a transportních vlastností horninového prostředí, a to v různých hloubkových úrovních od 12. do 24. patra. Získané charakteristiky měly dále přispět k pochopení vlivu významnější tektonické zóny na porušení horninového masivu pro účely lokalizace a hodnocení bezpečnosti lokality HÚ. Mezi další cíle patřilo sledování vývoje geotechnických a geochemických parametrů s rostoucí hloubkou, definování homogennějších horninových bloků v rozsahu přístupných prostor, popis zóny EDZ a ložisková revalidace.

2. Lokalizace prací

Výzkumné práce probíhaly v kontrolovaném pásmu bývalého hlubinného uranového dolu Rožná, který se nachází na Vysočině poblíž obce Dolní Rožínka. V podzemí se tyto práce soustředily na oblast mezi jámami R-7S a R-3 na úrovni 12. až 24. patra dolu, což odpovídá přibližně 500–1200 m pod zemským povrchem (Bukovská et al. 2020).
Předmětem tohoto projektu bylo okolí poruchy R1 (tzv. první zóny). Jedná se o jednu ze směrných kataklazitových zón o směru zhruba S–J až SSZ–JJV a s úklonem 45–70° k Z až ZJZ. Tyto zóny dosahují mocnosti od několika milimetrů až po 30 metrů a jsou vyplněny grafitickými, koherentními i inkoherentními kataklazity a tektonickou brekcií. Směrná délka těchto struktur, na které se váže hlavní část rozptýlené uranové mineralizace, dosahuje až 15 km. Z hlediska zrudnění představuje zóna R1 jednu z hlavních rudonosných struktur ložiska Rožná (Křibek a Hájek 2005). Z tektonického pohledu jde o mnohokrát reaktivovanou, hybridní tektonickou zónu, která patří k nejvýznamnějším poruchám v celé oblasti. V bezprostředním okolí zóny R1, do vzdálenosti 40–120 m od jejích okrajů, se vyskytuje zvýšené množství křehkých struktur; mimo tuto oblast je studovaný masiv postižen tektonicky poměrně homogenně. Litologické složení tvoří migmatitizované pararuly až migmatity, místy amfibolity, přičemž k vzájemným přechodům mezi těmito horninovými typy dochází na úrovni metrů až centimetrů (Bukovská et al. 2020).
V rámci rekognoskačních prací byla naplánována lokalizace jednotlivých geotechnických stanic a míst pro odběr velkoobjemových vzorků. Aby bylo možné výsledky analýz dobře srovnávat napříč hlubokými horizonty, byl kladen důraz na výběr míst s co nejjednotnější litologií. Na 20. patře byl vybrán dobře přístupný horninový blok vymezený překopem Z3-XX a chodbami PŠ1-203 a RV4 20-101. Do tohoto bloku zasahuje zóna R1, jejíž vliv projekt hodnotí. V oblasti jámy R-7S na překopu Z3-XX byly v rámci tohoto bloku umístěny dvě geotechnické stanice v nadloží zóny R1, konkrétně GS20/1 a GS20/2. Další geotechnické stanice byly situovány v podloží zóny R1: na 12. patře poblíž jámy B-2 na dopravním ochozu PŠ1-123, na 18. patře poblíž jámy R-7S na překopu Z3-XVIII a na 24. patře poblíž jámy R-7S na překopu Z3-XXIV.

3. Příprava laboratorních těles

Laboratorní stanovení základních fyzikálních, technologických, pevnostních a přetvárných vlastností hornin z vybraných partií dolu Rožná proběhlo na dvou základních typech odebraných vzorků. První skupinu tvořily tzv. velkoobjemové vzorky, které byly ze stěn důlních děl – zpravidla v místech jednotlivých geotechnických stanic (GS) – odvrtány korunkou o průměru 300 mm. Celkem výzkumníci získali 7 těchto velkoobjemových vzorků, a to jeden na 12. patře (V-12), jeden na 18. patře (V-18), tři na 20. patře (V-20/1, V-20/2 a V-20/3) a dva na 22. patře (V-22 a V-22-R3). Z jednotlivých velkoprůměrových návrtů následně laboratorní technici zhotovili válcová zkušební tělíska o průměru 48 mm. Příprava těchto laboratorních vzorků probíhala ve třech základních směrech vůči texturním prvkům horniny: kolmo k metamorfní foliaci (směr K), rovnoběžně s metamorfní foliací (směr P) a kosoběžně vůči metamorfní foliaci (směr S).
Druhou skupinu pro stanovení fyzikálně-mechanických vlastností tvořil materiál z vrtných jader. Šlo o vrty určené v rámci vybraných GS pro měření napětí horninového masivu metodou hydraulického štěpení stěn vrtu (BGS12-VD, BGS18-VD, BGS20/1-VD a BGS24-VD) a o pět diagonálních vrtů určených k seismickému prozařování (BGS12-I, BGS18-I, BGS20/1-I a BGS24-I). V případě nedostatečného množství jádra byla pro testování fyzikálně-mechanických vlastností využita také vrtná jádra z dovrchních vrtů (BGS20/1-VU a BGS24-VU).

4. Metodika laboratorních zkoušek

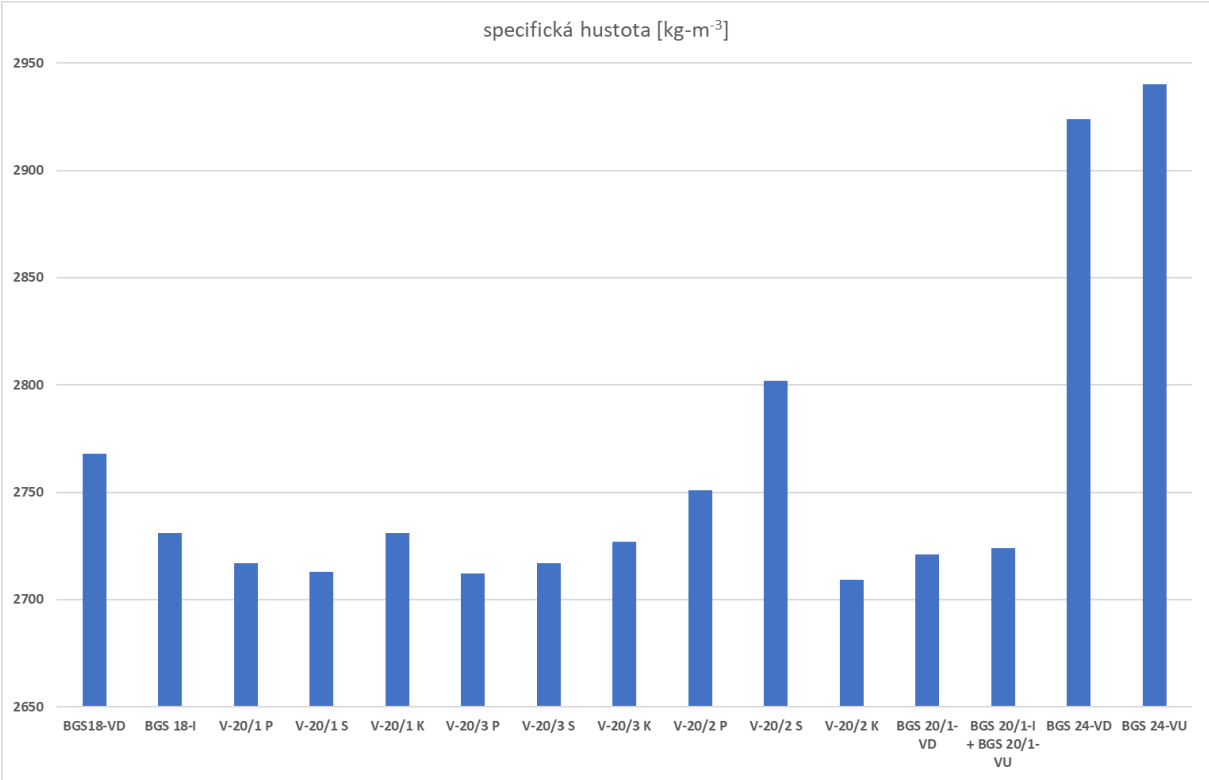
Postupy a metodiky pro stanovení a vyhodnocování jednotlivých fyzikálně-mechanických vlastností vycházely z běžných technických norem (ČSN EN), ze souboru metod doporučených Mezinárodní společností pro mechaniku hornin (ISRM), případně z dalších metodických předpisů a doporučení. Stanovení a popis vlastností testovaných hornin probíhaly v úzké vazbě na jejich petrografické složení, vnitřní stavbu a strukturní či texturní anizotropii v místě odběru vzorku.
Na zkušebních tělíscích připravených z velkoobjemových vzorků byly stanoveny následující materiálové parametry:

- Měrná hmotnost (pyknometricky podle ČSN EN 1936),
- Objemová hmotnost (na tělesech pravidelného tvaru podle ČSN 72 1154 a ČSN EN 1936),
- Rychlost průchodu podélných ultrazvukových vln (podle ISRM 1978a a Zavorala et al. 1987 na přístroji Olympus 5072PR),
- Celková pórovitost (výpočtem z naměřených hodnot měrné a objemové hmotnosti),
- Otevřená pórovitost (podle ČSN EN 1936),
- Nasákavost do ustálení hmotnosti (podle ČSN EN 13755),

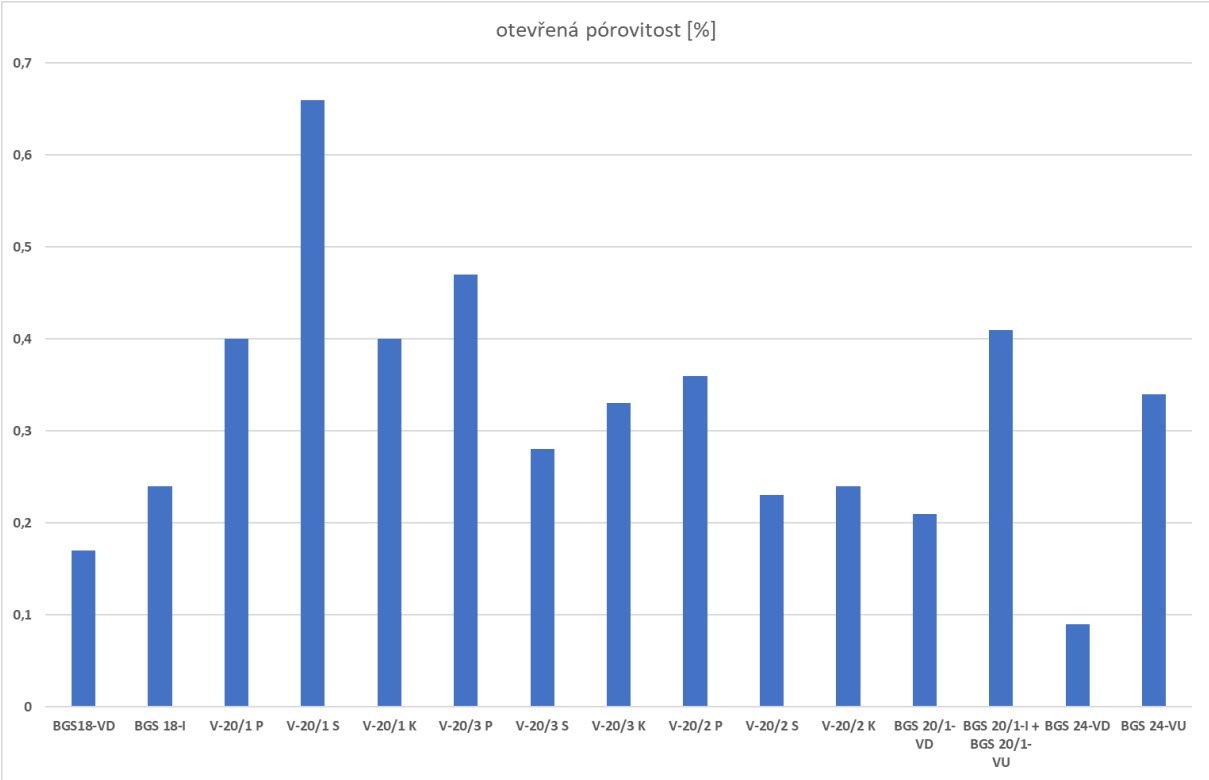
- Charakteristika pórového prostoru pomocí rtuťové porozimetrie (na přístroji AUTOPORE 9500 od firmy Micromeritics, USA),
- Součinitel tepelné vodivosti a měrná tepelná kapacita (na přístroji ISOMET 2114 podle manuálu výrobce),
- Součinitel teplotní roztažnosti (podle ČSN EN 14581),
- Tepelná difuzivita (výpočtem ze stanovených hodnot tepelné vodivosti a měrné tepelné kapacity),
- Pevnost v prostém tlaku při standardním zatěžování (podle ČSN EN 1926 a doporučeného postupu ISRM 1979a),
- Modul přetvárnosti a Poissonovo číslo horniny při zkoušce v prostém tlaku (metodikou podle Zavorala et al. 1987 a doporučeného postupu ISRM 1979b),
- Modul přetvárnosti a elasticity při cyklickém zatěžování (podle Zavorala et al. 1987),
- Pevnost v příčném tahu pomocí tzv. brazilské zkoušky (postupy podle Zavorala et al. 1987, resp. doporučeného postupu ISRM 1978b),
- Pevnost v tlaku za trojosého stavu napjatosti a konstrukce pevnostní obálky podle Hoek-Brownova kritéria porušení (podle Zavorala et al. 1987),
- Koeficient hydraulické vodivosti horniny (podle ČSN CEN ISO/TS 17892-11),
- Abrazivnost horniny (metodou CERCHAR podle ASTM D7625-10),
- Parametry pórového prostoru ve výbrusech pomocí konfokální mikroskopie (metodikou podle Novákové et al. 2013).

5. Výsledky laboratorních testů

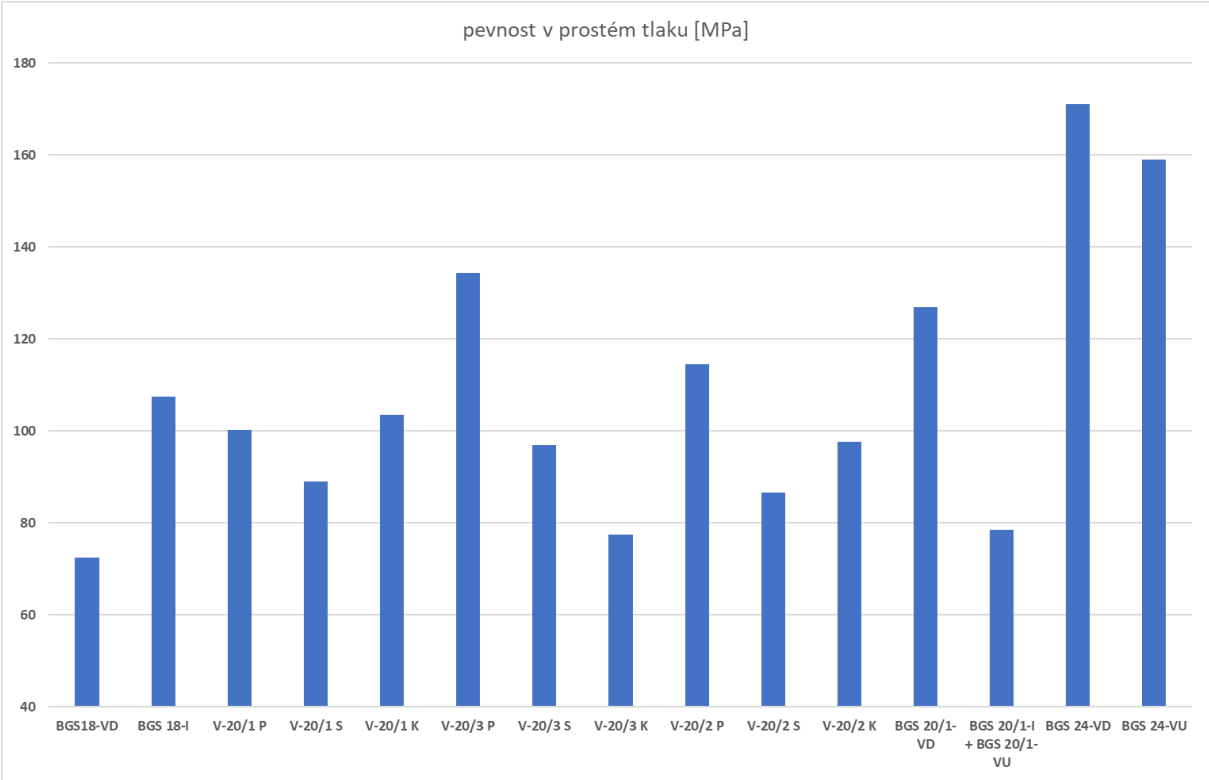
Průměrné hodnoty fyzikálně-mechanických vlastností hornin, získané z jednotlivých testů v laboratoři SG Geotechnika, přehledně ilustrují dílčí grafy. Z jejich průběhu nevyplývá žádná zřejmá závislost studovaných parametrů na hloubce (zobrazené zleva doprava od 18. do 24. patra). Vyšší specifická hustota (obr. 1) a objemová hmotnost vzorků z 24. patra jsou dány přítomností amfibolitů, zatímco ostatní horniny byly klasifikovány jako migmatitizované pararuly.
Z výsledků dále vyplývá, že vzorky zatěžované paralelně s foliací vykazují vyšší pevnost v prostém tlaku a vyšší modul přetvárnosti než tělíska namáhaná kolmo na foliaci (obr. 3). Obdobně tahová trhlina vzniklá v ploše foliace dosahuje nižší pevnosti v příčném tahu než puklina orientovaná kolmo k foliaci (obr. 4). Samotný vliv zóny R1 se na studovaných parametrech z výsledků laboratorních zkoušek neprojevil. Výraznější roli než přítomnost zlomové struktury hraje v tomto případě heterogenita studovaných migmatitizovaných pararul.



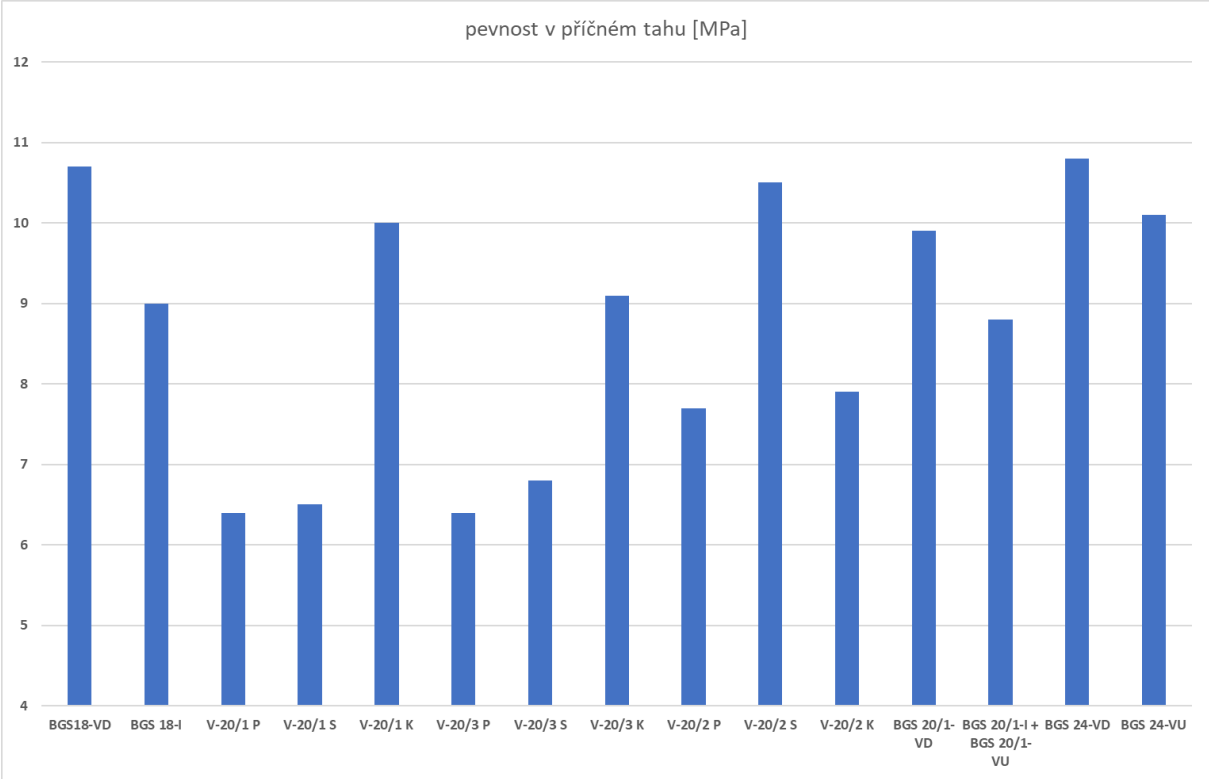
Obr. 1 Specifická hustota v závislosti na hloubce
Fig. 1 Specific density dependence on depth



Obr. 2 Otevřená pórovitost v závislosti na hloubce
Fig. 2 Open porosity dependence on depth



Obr. 3 Pevnost v prostém tlaku v závislosti na hloubce
Fig. 3 Unconfined compressive strength dependence on depth

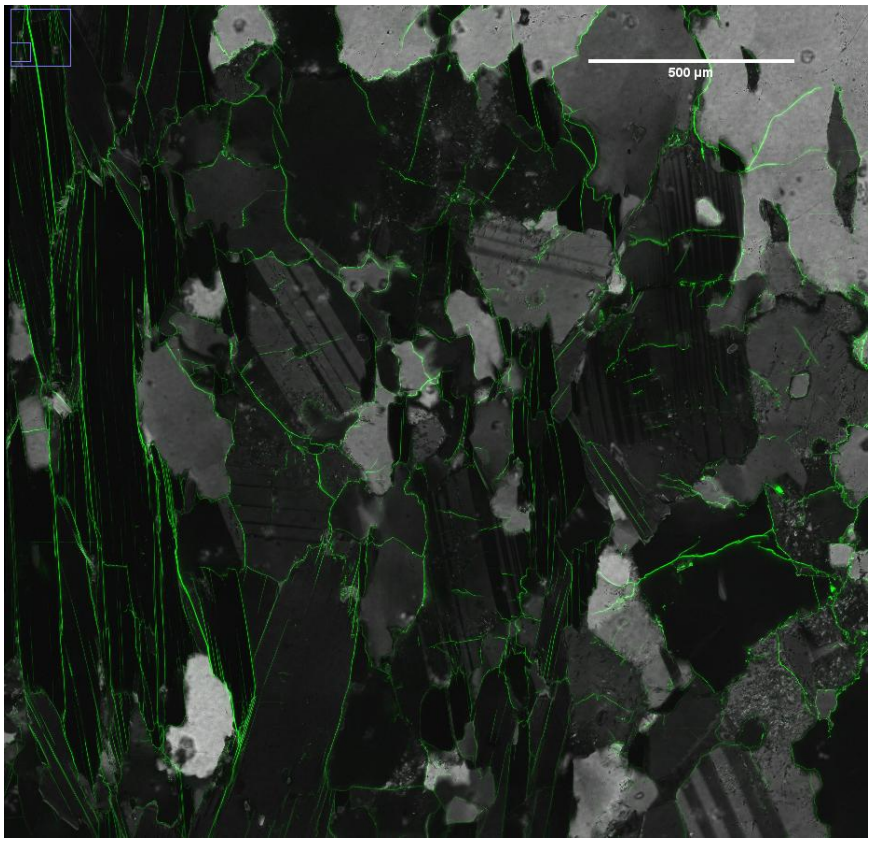


Obr. 4 Pevnost v příčném tahu v závislosti na hloubce
Fig. 4 Indirect tensile strength dependence on depth

6. Konfokální mikroskopie

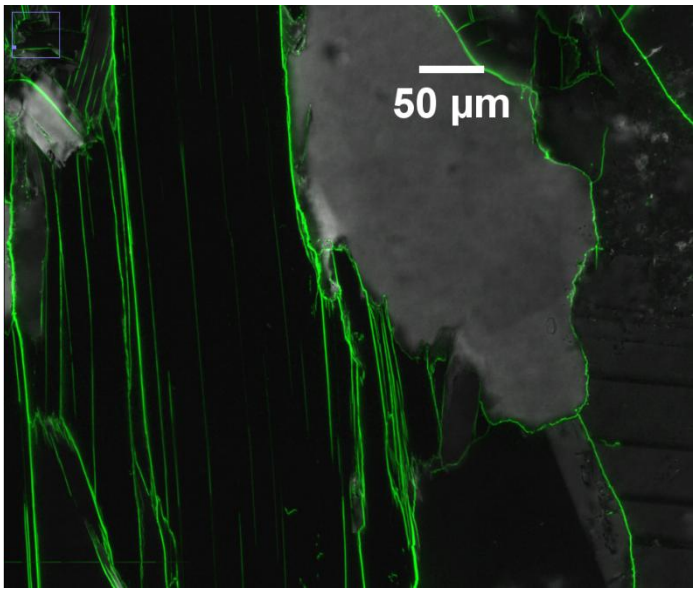
Tři leštěné výbrusy zhotovené ze vzorku migmatitizované pararuly V-22-R3 a probarvené fluorescenční pryskyřicí byly snímány konfokálním mikroskopem Leica SP8 na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze. Celá plocha výbrusů byla nasnímána v jedné rovině olejovým objektivem Plan-Apochromat 63x/1,4 NA s velikostí pixelu 138,6087 nm. Výsledný obraz autoři seskládali z jednotlivých polí pokrývajících celkovou plochu přibližně 6 × 6 mm. Fluorescenční kanál byl snímán při excitaci 488 nm argonovým laserem s detekcí v rozsahu 500–560 nm. Kanál průchozího světla byl registrován přes polarizační filtr pro diferenciální interferenční kontrast (DIC/Nomarski).

Výsledky konfokální mikroskopie odhalují několik důležitých fenoménů spojených s porozitou studovaných vzorků. Jde zejména o přítomnost intergranulárních a intragranulárních mikrofraktur – tedy trhlin mikronového měřítka, které vznikají podél hranic zrn, případně jimi přímo procházejí. Intergranulární fraktury způsobují zvýšenou porozitu podél ploch foliace, a to především v polohách s vyšším zastoupením zrn biotitu či jiných fylosilikátů (obr. 5, foliace je orientována paralelně s vertikální hranou snímku). Foliaci v těchto horninách obvykle definují slídy (v tomto případě biotit), což zároveň zapříčiňuje nižší pevnost horniny v daném směru. Intragranulární fraktury zasahují do jednotlivých zrn, nebo procházejí přes celá zrna (v takovém případě se označují jako transgranulární). Tento typ porozity obvykle nevykazuje přednostní orientaci a postihuje vzorek poměrně homogenně. Nicméně u některých vhodně orientovaných fází může docházet k přednostní frakturaci podél krystalografických ploch, což závisí také na velikosti zrn (Passchier a Trouw 2005).



Obr. 5 Výbrus 1: mikropuklinová síť; intergranulární fraktury podél bází zrn biotitů vlevo; v pravé části jsou patrné intragranulární mikrofraktury skrz zrna křemene a živce; čára vpravo nahoře odpovídá 500 µm

Fig. 5 Thin section 1: microcrack network; intergranular fractures along the bases of biotite grains on the left; intragranular microfractures are visible through quartz and feldspar grains on the right; the line on the top right corresponds to 500 µm



Obr. 6 Výbrus 1; mikropuklinová síť; mikrofraktury podél bazálních ploch zrna biotitu (resp. foliace) vlevo, vpravo intergranulární mikrofraktury podél hranic zrn živce a křemene; čára vpravo nahoře = 50 µm
Fig. 6 Thin section 1; microcrack network; microfractures along the basal surfaces of biotite grain (resp. foliation) on the left, intergranular microfractures along the feldspar and quartz grain boundaries on the right; the line on the top right corresponds to 50 µm

7. Závěr

Hlavní přínos této práce spočívá v komplexním zpracování vlastností hornin pomocí dostupných metod měření, a to s výhledem na realizaci hlubinného úložiště radioaktivních odpadů. Pórovitost představuje klíčový parametr ovlivňující nejen hydraulické, ale i mechanické a fyzikální charakteristiky hornin. Studiem a vizualizací pórového prostoru prostřednictvím různých metod se zabývá řada autorů (např. Autio et al. 1998; Degueldre et al. 1996; Hellmuth et al. 1999; Menéndez et al. 1999). Pro budoucí výzkum pórovitosti granitoidů lze proto doporučit využití alternativních přístupů k široce rozšířené vodní gravimetrii, jakým je právě konfokální mikroskopie.
S rostoucí teplotou navíc klesá dynamická viskozita vody a současně dochází k termální expanzi hornin, kterou doprovází uzavírání mikrotrhlin a pokles hydraulické vodivosti. Teplota prokazatelně ovlivňuje také strukturu a mechanické parametry horninového prostředí (např. Chaki et al. 2008; Reuschlé et al. 2006; Takarli et al. 2008), což lze vyhodnotit mimo jiné pomocí ultrazvukového prozařování. V rámci dalšího výzkumu je proto vhodné podrobit sérii laboratorních vzorků cílenému tepelnému namáhání a výsledky porovnat s neovlivněnými referenčními vzorky. Tento přístup by mohl významně přispět ke zvýšení bezpečnosti během provozu částečně zaplněného hlubinného úložiště.
Laboratorní studium mechanických parametrů se dále doporučuje doplnit o sledování akustických emisí během jednoosého stlačování (např. Heap et al. 2009), což vedle mikroskopické analýzy umožní přesně lokalizovat smykové plochy a popsat jejich tvar. Zcela zásadní je pak přenos poznatků zjištěných v laboratoři do podmínek *in situ*. Výsledky, které publikovali Schild et al. (2001) či Ota et al. (2003), totiž ukazují na dvou- až trojnásobně vyšší pórovitost stanovenou na vzorcích z vrtných jader ve srovnání s identickou horninou *in situ*, což zapříčiňuje efekt odlehčení masivu. Pro navazující výzkumné fáze proto navrhujeme provést impregnaci horniny pryskyřicí přímo v podmínkách *in situ*, což by mohlo mimo jiné objasnit mechanismy difuzního transportu radionuklidů.

Poděkování

Tento článek vznikl v rámci projektu SO 2017/023 „Získání dat z hlubokých horizontů dolu Rožná“ financovaným SÚRAO. Autoři článku děkují všem svým kolegům, kteří se na výzkumu podíleli.

Seznam literatury

Autio, J., Siitari-Kauppi, M., Timonen, J., Hartikainen, K., Hartikainen, J., 1998. Determination of the porosity, permeability and diffusivity of rock in the excavation-disturbed zone around full-scale deposition holes using the 14C-PMMA and He-gas methods. Journal of Contaminant Hydrology 35, 19-29.

Bukovská Z., Švagera O., Chabr T., Leichmann J., Sosna K., Souček K., Vavro M., Zuna M., Navrátil P., Bohdálek P., Bošková M., Dobeš P., Filipský D., Franěk J., Galeková E., Georgiovská L., Hanák J., Havlová V., Hlisnikovský K., Holeczy D., Jankovský F., Jaroš M., Jelínek J., Jelínek J., Knésl I., Koucká L., Kryl J., Křibek B., Kubeš M., Kubina L., Kučera R., Kukutsch R., Laufek F., Mixa P., Mozola J., Násir M. M., Palát J., Patočka M., Pořádek P., Rosendorf T., Soejono I., Staš L., Vavro L., Veselovský F., Vorel J., Waclawik P., Wertich V., Zajícová V., Zelinková T., 2020. *Získání dat z hlubokých horizontů dolu Rožná - závěrečná zpráva*. – TZ 464/2020, SÚRAO, Praha, 705 pp.

Degueldre, C., Pleinert, H., Maguire, P., Lehman, E., Missimer, J., Hammer, J., Leenders, K., Böck, H., Townsend, D., 1996. *Porosity and pathway determination in crystalline rock by positron emission tomography and neutron radiography*. Earth and Planetary Science Letters, 140, 213–225.

Heap, M.,J., Vinciguerra, S., Meredith, P., G., 2009. *The evolution of elastic moduli with increasing crack damage during cyclic stressing of a basalt from Mt. Etna volcano*. Tectonophysics, 471, 153-160.

Hellmuth, K.H., Siitari-Kauppi, M., Klobes, P., Meyer, K., Goebbels, J., 1999. *Imaging and analyzing rock porosity by autoradiography and Hg-porosimetry/X-ray computertomography - applications*. Physical and Chemical Earth, 24, 569–573.

Chaki, S., Takarli, M., Agbodjan, W.P., 2008. *Influence of thermal damage on physical properties of a granite rock: Porosity, permeability and ultrasonic wave evolutions*. Construction and Building Materials 22, 1456–1461.

Křibek B., Hájek A. Eds. 2005. *Uranové ložisko Rožná. Model pozdně variských a povariských mineralizací*. – Česká geologická služba. Praha, 98 s.

Menéndez, B., David, C., Darot, M., 1999. *A Study of the Crack Network in Thermally and Mechanically Cracked Granite Samples using Confocal Scanning Laser Microscopy*. Phys. Chem. Earth, 24, 627-632.

Nováková, L., Bílý, P., Bláha, V., Brož, M., Dobeš, P., Englmaierová, M., Gvoždík, L., Hanák, J., Havlová, V., Hofmanová, E., Holeček, J., Kasíková, J., Lukeš, J., Kovářová, R., Metelková, Z., Milický, M., Myška, O., Najser, J., Novák, P., Nováková, L., Paluková, V., Pitrák, M., Polák, M., Rohovec, J., Rukavičková, L., Sosna, K., Schweigstillová, J., Štrunc, J., Vanerová, Z., Vaněček, M., Večerník, P., Vejsadů, J., Záruba, J., Zuna, M., 2013. *Výzkum vlivu mezizrnné propustnosti granitů na bezpečnost hlubinného ukládání do geologických formací a vývoj metodiky a měřící aparatury, Etapová zpráva o řešení projektu v roce 2013 (V.c), Návrh metodiky studia a měření mezizrnné propustnosti*. Arcadis-Geotechnika. Praha.

Ota, K., Möri, A., Alexander, W.R., Frieg, B., Schild, M., 2003. *Influence of the mode of matrix porosity determination on matrix diffusion calculations*. Journal of Contaminant Hydrology 61, 131– 145.

Passchier C.W., Trouw R.A.J. 2005. *Microtectonics*. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 366 pp.

Reuschlé, T., Gbaguidi Haore, S., Darot, M., 2006. *The effect of heating on the microstructural evolution of La Peyratte granite deduced from acoustic velocity measurements*. Earth and Planetary Science Letters 243, 692–700.

Schild, M., Siegesmund, S., Vollbrecht, A., Mazurek, M., 2001. *Characterization of granite matrix porosity and pore-space geometry by in situ and laboratory methods*. Geophys. J. Int., 146, 111-125.

Takarli, M., Prince, W., Siddique, R., 2008. *Damage in granite under heating/cooling cycles and water freeze–thaw condition*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 45, 1164-1175.

Zavoral, J. (ed) (1987) *Metodiky laboratorních zkoušek v mechanice zemin a hornin, III – Mechanika hornin*. – Český geologický úřad Praha, 90 s.

HYDROGEOLOGICKÁ A GEOLOGICKÁ CHARAKTERIZACE POTENCIÁLNÍCH LOKALIT HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ

Ing. Marek Vencl

E-mail: vencl@surao.gov.cz
SÚRAO, 6, Dlážděná 1004, Nové Město, 110 00 Praha

Další autoři: Mgr. Štěpán Straka, Mgr. Ondřej Borovský

Abstrakt:
Příprava hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v České republice je podmíněna detailním poznáním horninového prostředí čtyř potenciálních lokalit z hlediska jejich geologické stavby a hydrogeologických poměrů. Za účelem získání potřebných dat probíhají na potenciálních lokalitách geologické a hydrogeologické práce realizované v rámci stanovených průzkumných území pro zvláštní zásahy do zemské kůry (PÚZZZK).

Geologická charakterizace je zaměřena na popis litologického složení, tektonické stavby a stupně porušení horninového masivu, včetně identifikace puklinových systémů a zvětralinového pláště. Tyto faktory zásadně ovlivňují hydraulické vlastnosti prostředí a představují klíčový vstup pro tvorbu strukturně-geologických modelů. V podmínkách ČR jsou potenciální lokality situovány v krystaliniku moldanubika, tvořeném granitoidními a metamorfovanými horninami, které určují celkový koncept průzkumných metod i následného modelování.

Hydrogeologická charakterizace zájmových lokalit pro umístění HÚ doplňuje a navazuje na geologické práce a zaměřuje se především na kvantifikaci a kvalifikaci výskytu, proudění a chemismu podzemních vod. Podzemní voda představuje hlavní transportní médium pro potenciální šíření radionuklidů z prostoru úložiště do biosféry, a proto je její detailní studium zákonitosti proudění vod stěžejní informací nejen pro vlastní geologickou charakterizaci lokalit, ale i pro vlastní výběr finální lokality pro umístění hlubinného úložiště. Cílem je získání prostorových informací o hydrogeologických strukturách, hydraulických parametrech horninového prostředí, směrech proudění a distribuci tlakových poměrů. Nedílnou součástí je rovněž hydrochemická charakterizace, zahrnující stanovení chemického složení vod, jejich geneze a stáří, což umožňuje interpretaci režimu proudění a kalibraci modelů.

Komplexní charakterizace je založena na integraci terénních dat (hydrogeologické mapování, vrtné práce, monitoring), laboratorních analýz a numerického modelování. Hydrogeologické modely, budované na základě geologických 3D modelů, umožňují popis a predikci proudění podzemní vody a transportu látek v horninovém prostředí v regionálním i lokálním měřítku. Výsledkem je vytvoření konzistentního popisného modelu lokality, který slouží jako klíčový podklad pro hodnocení dlouhodobé bezpečnosti, technického návrhu úložiště i posouzení vlivů na životní prostředí.

ZKUŠENOSTI A POZNATKY Z DLOUHODOBÉHO HYDROGEOLOGICKÉHO MONITORINGU V ŠIRŠÍM ÚZEMÍ LOMU ČSA (MOSTECKÁ PÁNEV)

Ing. Lukáš Žižka, Ph.D.

E-mail: zizka@vuhu.cz
VUHU a.s., tř. Budovatelů 2830/3, 434 01 Most

Abstrakt:
Příspěvek se zaměřuje na dlouhodobé sledování podzemních a povrchových vod na síti stabilních monitorovacích míst v širším území lomu ČSA. Monitoring je založen na odběrech podzemních a povrchových vod, na porovnání výsledků chemických rozborů a na fluktuaci hladin podzemních vod. Výsledky monitoringu jsou základním podkladem pro budoucí hydrickou rekultivaci této lokality.

Sekce 18

Profesní samospráva, etika v odborné práci a podnikání, výuka aplikované geologie na středních a vysokých školách, celoživotní vzdělávání

Právní východiska zřízení a fungování Komory aplikované geologie

JUDr. Zdeněk Horáček, Ph.D., advokát, Zdeněk Horáček, advokátní kancelář s.r.o., zdenek@zdenekhoracek.cz

Úvod

V posledních letech se objevují problémy s kvalitou geologických posudků, zejména vyjádření osob s odbornou způsobilostí (hydrogeologů), nezbytných pro rozhodování vodoprávních úřadů ve věcech podzemních vod. Ač se může jednat o jednotlivosti, zhoršuje to bohužel pohled na činnost hydrogeologů a hydrogeology samotné bez jejich možnosti toto jakkoliv ovlivnit, jelikož o ověřování odborné způsobilosti rozhoduje, a tedy i o kontrole a vymáhání pravidel výkonu činnosti hydrogeologů, Ministerstvo životního prostředí, tedy ústřední orgán státní správy ve věcech geologie.

Celá kontrola a vymáhání pravidel jsou potom závislé na kapacitních možnostech resortu Ministerstva životního prostředí. Oproti tomu pružnějším řešením je zpravidla vytvoření profesní samosprávného komory, která by si sama nastavovala pravidla, kontrolovala je a vymáhala.

Mluví se proto v odborných kruzích o tom, že řešením by mohlo být zřízení profesní samosprávné komory s povinným členstvím hydrogeologů společně s osobami z dalších geologických oborů: inženýrské geologie, ložiskové geologie a geofyziky, s nimiž má obor hydrogeologie velmi podobné problémy a zkušenosti, čímž by mohlo dojít k úspoře nákladů a větší efektivitě stanovení, kontroly a vymáhání pravidel výkonu činnosti hydrogeologů a dalších oborů, tzv. „Komory aplikované geologie“. Jako inspirace by mohla sloužit nedávno zřízená Česká komora zeměměřičů (dále jen „**ČKZ**“).

Tento příspěvek se tak věnuje problematice zřízení a fungování Komory aplikované geologie se zaměřením na řešení problémů hydrogeologie, s nimiž má autor příspěvku nejvíce zkušeností. Níže uvedené však platí obdobně i pro další specifikované obory geologie, které by měly být sdruženy do Komory aplikované geologie, a to zejména s ohledem na naplnění společných cílů a minimalizaci nákladů s tím spojených, kdyby každý obor geologie uvažoval o zřízení vlastní samosprávné komory.

Základní východiska z oboru hydrogeologie

Postavení hydrogeologa a jeho „vyjádření osoby s odbornou způsobilostí“ je v rámci povolovacích procesů podle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, co se týká nakládání s podzemními vodami, významné:

- Podle § 9 odst. 1 věty třetí vodního zákona „*Podkladem vydání povolení k nakládání s podzemními vodami je vyjádření osoby s odbornou způsobilostí, pokud vodoprávní úřad ve výjimečných případech nerozhodne jinak.*[8)]“;

- Dále podle § 17 odst. 1 písm. g) vodního zákona „*Souhlas vodoprávního úřadu je třeba ke stavbám, zařízením nebo činnostem, k nimž není třeba povolení podle tohoto zákona, které však mohou ovlivnit vodní poměry, a to k vrtům pro využívání energetického potenciálu podzemních vod, z nichž se neodebírá nebo nečerpá podzemní voda; nestanoví-li tento zákon jinak, vodoprávní úřad může v řízení o udělení tohoto souhlasu žadateli uložit, aby mu předložil vyjádření osoby s odbornou způsobilostí*[8)].“;

- Podle § 17 odst. 2 vodního zákona „*K žádosti o souhlas k vrtům podle odstavce 1 písm. g) nebo geologickým pracím podle odstavce 1 písm. i) v ochranném pásmu stanoveném podle lázeňského zákona žadatel předloží vyjádření osoby s odbornou způsobilostí podle zákona o geologických pracích*[8)].“;

- A podle § 38 odst. 8 věty třetí vodního zákona „*Povolení vypouštění odpadních vod do vod podzemních podle věty druhé nelze vydat bez souhlasného vyjádření osoby s odbornou způsobilostí*[8)]*, která posoudí vliv vypouštění odpadních vod na jakost podzemních vod.*“.

Ve všech případech je odkazováno na zákon č. 62/1988 Sb., o geologických pracích a o Českém geologickém úřadu, ve znění pozdějších předpisů.

Jak vidno výše, význam vyjádření hydrogeologa, coby osoby s odbornou způsobilostí v rámci povolovacích procesů týkajících se podzemních vod podle vodního zákona je tedy značný. Na druhé straně je však kvalita tohoto vyjadřování může být v některých případech problematická, když lze v jedné věci získat dvě rozdílná vyjádření osoby s odbornou způsobilostí, která budou v naprostém rozporu, tzn. podle jednoho je záměr možný a podle druhého nikoliv.

Jakkoliv v oboru hydrogeologie funguje stavovská organizace České asociace hydrogeologů, z.s. (dále jen „**ČAH**“), podle jejíchž stanov (viz čl. I., v aktuálním znění ke dni 27.11. 2023, dostupné z https://www.cah-uga.cz/stanovy-ceske-asociace-hydrogeologu/) „*Česká asociace hydrogeologů, z. s. je nezávislá, stavovská, dobrovolná organizace typu profesní komory zastupující odborné zájmy hydrogeologů v České republice, a pečující o rozvoj a úroveň oboru hydrogeologie.*“.

ČAH je však „pouhou“ dobrovolnou organizací „typu profesní komory“, nikoliv samosprávnou profesní komorou na tzv. členském principu, která by mohla stanovit, kontrolovat a vymáhat pravidla výkonu činnosti hydrogeologů obdobně jako např. nedávno zřízená ČKZ ve vztahu k autorizovaným zeměměřickým inženýrům nebo již tradiční samosprávné profesní komory jako Česká advokátní komora, Komora daňových poradců ČR, Česká komora architektů, Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků a další ve vztahu ke svým členům.

A právě členský princip, který určuje, že pouze členové jsou oprávněni vykonávat určitou činnost, a tedy možnost stanovit, kontrolovat a vymáhat pravidla výkonu činnosti jsou pro profesní komoru, aby mohla fungovat nejen ona, ale i činnost jejích členů jako taková, včetně respektu k této činnosti, zcela zásadní.

A právě z nedávného zřízení České komory zeměměřičů zákonem č. 88/2023 Sb., kterým se mění zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 47/2020 Sb., kterým se mění zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony, ve znění pozdějších předpisů, se lze inspirovat pro případné zřízení Komory aplikované geologie.

Zřízení a fungování Komory aplikované geologie – inspirace Českou komorou zeměměřičů

Na příkladu ČKZ je možné vidět, že zřízení samosprávné profesní organizace s členským principem, která může stanovovat pravidla výkonu činnosti, jejich kontrolu a vymáhání, je proveditelné. A východiska a snaha byla stejná, jako v případě činnosti hydrogeologů, resp. obecně geologů.

Jak uvádí internetové stránky ČKZ (dostupné z: https://www.ckz.cz/komora/zakladni-informace), ČKZ byla založena s cílem podporovat a hájit zájmy zeměměřičů, zvyšovat prestiž oboru a zajišťovat vysokou kvalitu poskytovaných služeb. ČKZ se zaměřuje na:

- ochranu profesních zájmů a podporu členů v legislativní oblasti,
- zajištění kvality zeměměřických služeb prostřednictvím profesních a etických standardů,
- podporu vzdělávání a profesního růstu členů,
- spolupráci a reprezentaci českých zeměměřičů v odborných institucích,
- popularizaci a osvětu oboru pro širší veřejnost i mladší generace.

To jsou cíle, které jsou (či by měly být) totožné s cíli ČAH.

Komoru aplikované geologie, by bylo možné zřídit rovněž zákonem, obdobně jako Českou komoru zeměměřičů (ať již samostatným nebo v rámci zákona o geologických pracích).

Členský princip samosprávné profesní organizace a povinnost dodržovat pravidla

ČKZ byla zřízena zákonem č. 88/2023 Sb., který nabyl účinnosti od 1.7.2023.

Jak uvedeno výše, ČKZ je samosprávnou profesní organizací založenou na tzv. členském principu, tzn., že kdokoliv chce vykonávat profesi autorizovaného zeměměřického inženýra, musí být zapsán v seznamu vedeném ČKZ. Konkrétně toto je upraveno v § 16e odst. 1 zákona o zeměměřičství, podle něhož *„Autorizovaný zeměměřický inženýr je ten, komu byla Českou komorou zeměměřičů (dále jen „Komora“) udělena autorizace a je zapsán v rejstříku autorizovaných zeměměřických inženýrů vedeném Komorou.*“.

Autorizovaný zeměměřický inženýr je potom povinen mimo jiné

- *„při ověřování výsledků zeměměřických činností jednat odborně, nestranně a vycházet ze spolehlivě zjištěného stavu věci, přitom vždy prověřit soulad postupů jejich vyhotovitele, náležitostí a přesnosti ověřovaných výsledků zeměměřických činností s právními předpisy*“ [viz § 16 odst. 1 písm. a) zákona o zeměměřičství] nebo

- *„při ověřování výsledků zeměměřických činností dbát platných obecně závazných právních předpisů, jakož i předpisů vydaných Českou komorou zeměměřičů*“ [§ 16 odst. 1 písm. e) zákona o zeměměřičství].

To jsou povinnosti, které by byly vhodné převzít rovněž pro samosprávnou profesní organizaci hydrogeologů.

Kontrola a vymáhání pravidel

Samosprávnou profesní organizace založená na členském principu je i oprávněna pravidla kontrolovat a vymáhat.

Podle § 16f odst. 1 zákona o zeměměřičství „*Komora uděluje autorizaci pro ověřování*

a) výsledků zeměměřických činností využívaných pro správu katastru nemovitostí, zejména geometrického plánu, kopie nebo stejnopisu geometrického plánu, výsledků zeměměřických činností pro obnovu katastrálního operátu a dokumentace o vytyčení hranice pozemku,

b) výsledků zeměměřických činností využívaných pro státní mapová díla, nejsou-li ověřovány na základě oprávnění podle písmene a), zejména dokumentace o zřízení, obnovení nebo přemístění bodu podrobného polohového bodového pole a o zaměření předmětů měření, které jsou obsahem základních státních mapových děl a databáze, a

c) *výsledků zeměměřických činností využívaných ve výstavbě.*".

S tím souvisí oprávnění podle § 16f odst. 7 zákona o zeměměřičství, podle něhož „*Komora zapíše osobu, které byla udělena autorizace, do rejstříku autorizovaných zeměměřických inženýrů vedeného Komorou a vydá této osobě osvědčení o autorizaci s vyznačeným rozsahem autorizace podle odstavce 1.*".

Podle § 16i odst. 2 zákona o zeměměřičství „*Komora odejme autorizaci tomu,*

a) komu byla omezena svéprávnost,

b) komu bylo Komorou uloženo disciplinární opatření odejmutí autorizace,

c) komu byla autorizace udělena na podkladě nesprávných nebo neúplných údajů,

d) kdo se písemně vzdá autorizace, nebo

e) kdo opakovaně spáchá přestupek na úseku zeměměřictví.".

A podle § 16i odst. 2 zákona o zeměměřičství „*Komora vyškrtne osobu, jejíž autorizace zanikla nebo které byla autorizace odejmuta, z rejstříku autorizovaných zeměměřických inženýrů*.".

Pokud by se Komora aplikované geologie inspirovala pravidly České komory zeměměřičů, rozhodovala by o (samozřejmě dle předem nastavených objektivních, férových a transparentních pravidel) o tom, kdo bude a kdo nebude činnost hydrogeologa vykonávat. Orgány k tomu příslušné by byly samozřejmě na vnitřním nastavení komory.

Ve vztahu ke státní správě v oblasti zeměměřičství je nastavena kontrola orgány státní správy, když podle § 16d zákona o zeměměřičství „*Činnosti autorizovaných zeměměřických inženýrů při ověřování výsledků zeměměřických činností využívaných pro státní mapová díla a správu katastru nemovitostí podléhají státnímu dohledu, který vykonávají zeměměřické a katastrální inspektoráty (dále jen „inspektorát“).*".

Závěr

Pokud má obor hydrogeologů zájem si sám určovat pravidla (samozřejmě objektivní, férová a transparentní), kontrolovat je a vymáhat, a tím i určovat kvalitu výkonu činnosti hydrogeologů, je samosprávná profesní komora založená na členském principu vhodným řešením.

A právě z nedávného zřízení České komory zeměměřičů zákonem se lze inspirovat pro případné zřízení Komory aplikované geologie rovněž zákonem, a to buď samostatným nebo v rámci zákona o geologických pracích.

Česká asociace hydrogeologů, z.s. a další profesní organizace geologů mohou být velmi dobrým základem pro zřízení Komory aplikované geologie.

SOUMRAK HYDROGEOLOGIE A INŽENÝRSKÉ GEOLOGIE V PODMÍNKÁCH ČR

Mgr. Tomáš Kuchovský, Ph.D.

E-mail: tomas@sci.muni.cz
Ústav geologických věd PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno

Další autoři: Mgr. Martin Knížek, Ph.D.

Abstrakt:
Příspěvek analyzuje dlouhodobé příčiny poklesu absolventů aplikovaných geologických oborů na příkladu Ústavu geologických věd PřF MU v Brně. Popsané příčiny jsou shodné s těmi, se kterými se potýkají i ostatní VŠ pracoviště odpovědná za přípravu absolventů se zaměřením na hydrogeologii a inženýrskou geologii.

Za poklesem zájmu o studium aplikovaných geologických oborů mohou bezpochyby částečně změny, do kterých nemohou VŠ odpovědné za vzdělávání absolventů zasáhnout (ukončení prezenční výuky geologie na SŠ, chybějící výuka geologie na SŠ, demografický vývoj populace). V posledních letech se však objevují signály, že k problému přispívá i nastavení zakázek v praxi. Jde především o nedostatečné nacenění prací ve srovnání s jinými obory – důsledkem jsou nízké platy absolventů, což vede k jejich pracovnímu přetížení a často následnému odchodu mimo geologické obory. Informace o finančním ohodnocení absolventů VŠ jsou mezi zájemci o studium VŠ oborů všeobecně rozšířené.

Problematickým je i společenské povědomí o nevalné kvalitě práce některých osob s osvědčením o odborné způsobilosti. Neoddiskutovatelná je i celková společenská antipatie vůči geologii, doprovázená negativní medializací. Potenciální zájemci o studium environmentálně zaměřených oborů (včetně aplikovaných geologických oborů) se přesouvají na sociálně a humanitně orientované fakulty na úkor přírodovědných a technických. Nezastavíme-li tento trend, nedojde k zániku aplikovaných geologických oborů, ale k tomu, že odborné pozice budou zastávat absolventi jiných VŠ oborů s nedostatečným vzděláním v geologii, což povede k odborné degradaci aplikovaných geologických oborů. VŠ pracovištím odpovědným za přípravu absolventů jde při současném způsobu financování výuky na VŠ o přežití a aktivně se snaží získávat studenty vlastními cestami (přednášky na SŠ, vzdělávání SŠ pedagogů, propagační akce). Jsme však přesvědčeni, že za některé příčiny malého zájmu o studium našich oborů si mohou hydrogeologové a inženýrští geologové sami.

Zákon o právu na digitální služby a jeho dopady do agendy geologického zákona

The Act on the right to digital services and its impact on the Geological works law agenda

Mgr. Martin Mityska[1], Mgr. Barbora Topinková, Ph.D.[2]

[1]*Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 1442/65, 100 10 Praha 10, e-mail: martin.mityska@mzp.gov.cz*
[2]*Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 1442/65, 100 10 Praha 10, e-mail: barbora.topinkova@mzp.gov.cz*

Abstrakt: 1.2.2027 skončí přechodné ustanovení zákona č. 12/2020 Sb. o právu na digitální služby, které poskytlo státní správě čas na přípravu zpřístupnění možnosti občanů komunikovat s úřady digitální formou. Podíváme se, jaké mají změny dopady do agendy zákona č. 62/1988 Sb. o geologických pracích, např. evidence geologických prací, odevzdávání výsledků geologických prací do ČGS – Geofond atd.

Abstract: On February 1, 2027, the transitional provision of Act No. 12/2020 Coll. on the right to digital services will expire, the transitional period gave the state administration time to prepare for the possibility of citizens communicating with authorities in digital form. We will see what impact the changes have on the agenda of Act No. 62/1988 Coll. on geological works, e.g. registration of geological works, submission of geological work results to the Czech Geological Survey - Geofond, etc.

Klíčová slova: legislativa, digitalizace, geologické práce

Key words: legislation, digitization, geological works

1. Shrnutí příspěvku

1.2.2027 skončí přechodné období 7 let dle §14 odst. 4 zákona č. 12/2020 Sb. o právu na digitální služby (ZoPDS), které poskytlo státní správě čas na přípravu zpřístupnění možnosti občanů komunikovat s úřady digitální formou. A to, jak tradičními digitálními kanály jako je datová schránka či e-mail s kvalifikovaným elektronickým podpisem, tak nově i pomocí samoobslužného portálu (webový formulář). Tato povinnost pro úřady se týká i služeb dle zákona č. 62/1988 Sb. o geologických pracích. Seznam těchto služeb je možné dohledat s jejich popisy pro veřejnost na webových stránkách Portálu veřejné správy: https://portal.gov.cz . Služby dle geologického zákona jsou zařazeny v části Služby občanům, dále v sekci Zdroje energie, těžba, nerosty a drahé kovy a dále v podsekci Geologie a průzkum. Pokud je u jednotlivé položky uvedeno tlačítko Vyřídit, je možné již tuto službu vyřídit prostřednictvím elektronického formuláře, např. Oznámení o zahájení geologických prací se zásahem do pozemku obci. V současné době (červenec 2026) probíhá příprava publikování digitálních formulářů pro většinu služeb dle geologického zákona s cílem zajistit jejich dostupnost k 1.2.2027. MŽP a Česká geologická služba se soustředí zejména na frekventované služby, jako je evidence geologických prací a odevzdávání výsledků geologických prací do archivu ČGS-Geofond. Je rovněž vhodné sledovat webové stránky České geologické služby: https://cgs.gov.cz ,na kterých budou zveřejněny nové webové formuláře k některým službám dle geologického zákona. Důležitou změnou dle ZoPDS je, že nejpozději od 1.2.2027 bude možné odevzdávat závěrečné zprávy do archivu ČGS-Geofond v čistě elektronické podobě.

2. Závěr

Byla představena legislativa vztahující se k problematice digitalizace a její vliv na způsob podání v rámci služeb dle geologického zákona, nová práva občanů a některé realizované a připravované způsoby jejich naplnění.

Poděkování: Děkujeme Digitální a informační agentuře za poskytnutí formulářového on-line nástroje EasyForms a rovněž metodické vedení, dále MŽP za realizaci Jednoduchého formuláře v Centrálním registru životního prostředí a v neposlední řadě České geologické službě za rozvoj vlastních řešení webových formulářů.

Seznam literatury

ČESKO: *Zákon č. 12/2020 Sb., o právu na digitální služby a o změně některých zákonů ve znění zákona č. 36/2021 Sb., zákona č. 261/2021 Sb., zákona č. 471/2022 Sb., zákona č. 1/2024 Sb., zákona č. 23/2025 Sb. a zákona č. 264/2025 Sb.*. – eSbírka - Dostupné z: https://e-sbirka.gov.cz/sb/2020/12/2025-11-01
ČESKO: *Zákon České národní rady č. 62/1988 Sb., o geologických pracích ve znění zákona č. 543/1991 Sb., zákonného opatření č. 369/1992 Sb., zákona č. 366/2000 Sb., zákona č. 320/2002 Sb., zákona č. 18/2004 Sb., zákona č. 3/2005 Sb., zákona č. 444/2005 Sb., zákona č. 186/2006 Sb., zákona č. 124/2008 Sb., zákona č. 223/2009 Sb., zákona č. 227/2009 Sb., zákona č. 281/2009 Sb., zákona č. 85/2012 Sb., zákona č. 64/2014 Sb.,*

zákona č. 183/2017 Sb., zákona č. 225/2017 Sb., zákona č. 261/2021 Sb., zákona č. 284/2021 Sb. a zákona č. 149/2023 Sb.. – eSbírka – Dostupné z https://e-sbirka.gov.cz/sb/1988/62/2024-01-01

NOVÝ PŘEDMĚT NA PŘF UK – HYDROGEOLOGIE V KOMUNÁLNÍ PRAXI

RNDr. Jakub Nedvěd

E-mail: geologiehamry@gmail.com
Velké Hamry 281, 468 45

Další autoři: Mgt. Tomáš Weiss, Ph.D.

Abstrakt:
V reakci na diskuzi na minulém HGIG kongresu v Ústí nad Labem vznikl na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy nový předmět s názvem Hydrogeologie v komunální praxi. V tomto předmětu se podrobně rozebírají běžné úkoly, které ve své praxi nejčastěji řeší hydrogeologové – živnostníci. Jedná se o témata při běžné výuce často opomíjená, buď proto, že nejsou dostatečně vědecká, nebo protože na ně prostě nezbývá čas (např. vsakování odpadních vod, vrty pro tepelná čerpadla, vrtané studny pro individuální zásobování). Předmět se tak snaží tuto "díru na trhu" vyplnit tak, aby byli budoucí absolventi co nejlépe připraveni na své budoucí povolání.

NOVÁ LEGISLATIVA NA OCHRANU VOD MÍŘÍCÍ Z EU – CO NÁS ČEKÁ V ROCE 2027

Lea Petrová

e-mail: lea.petrova@mzp.gov.cz

Ministerstvo životního prostředí, Odbor ochrany vod, Vršovická 65 · 100 10 Praha 10

Čištění městských odpadních vod (směrnice č. 2024/3019)

Nová evropská pravidla pro čištění městských odpadních vod přinesou významné změny v ochraně povrchových a podzemních vod. Níže se zaměřuji na změny, které mohou mít pozitivní dopad na ochranu podzemních vod.

Evropská unie přijala novou směrnici (EU) 2024/3019 o čištění městských odpadních vod, která zásadním způsobem mění požadavky na odvádění, čištění a opětovné využívání odpadních vod. Česká republika bude muset nová pravidla promítnout do své právní úpravy nejpozději do června 2027 prostřednictvím transpoziční novely vodního zákona a navazujících prováděcích předpisů.

Nová směrnice přináší především změny ve vymezení aglomerací, které budou nově stanoveny zvláštním právním předpisem. Současně se rozšiřují požadavky na zajištění stokových soustav a čištění odpadních vod také pro menší aglomerace s velikostí od 1 000 do 1 999 ekvivalentních obyvatel, kde bude vyžadováno alespoň základní sekundární čištění. Podle současných odhadů se tato povinnost dotkne 689 aglomerací v České republice (z této velikostní kategorie nemá 19 aglomerací v současné době vybudovanou ČOV).

Další zpřísnění se týká větších aglomerací nad 10 000 ekvivalentních obyvatel nacházejících se v citlivých oblastech. U těchto čistíren odpadních vod budou stanoveny přísnější požadavky na terciární čištění se zaměřením na odstraňování celkového dusíku a celkového fosforu. Hodnocení bude vycházet buď z dosažených koncentrací, nebo z minimálního procenta úbytku těchto látek.

Významnou novinkou je také zavedení kvartérního stupně čištění u největších čistíren odpadních vod se zatížením odpovídajícím více než 150 000 ekvivalentních obyvatel a v dalších vybraných aglomeracích určených na základě analýzy rizik. Cílem je odstranění mikropolutantů, tedy látek, které jsou běžnými technologiemi čištění odpadních vod odstraňovány jen obtížně. Nová legislativa stanoví minimální účinnost odstranění těchto znečišťujících látek ve výši 80 %. První čistírny budou muset tyto požadavky plnit již od roku 2033.

Směrnice rovněž zavádí princip rozšířené odpovědnosti výrobců (EPR). Na financování kvartérního čištění se mají významnou měrou podílet farmaceutické a kosmetické společnosti, které by měly nést nejméně 80 % celkových nákladů souvisejících s odstraňováním mikropolutantů. Uplatňuje se tak zásada „znečišťovatel platí“.

Další oblastí změn je podpora opětovného využívání vyčištěné vody, tzv. voda recyklovaná. Recyklovaná voda bude moci být za stanovených podmínek využívána bez individuálního povolení, pokud budou splněny limity stanovené nařízením vlády a budou zajištěny odběry vzorků, sledování objemu a musí být vyloučen negativní vliv při používání této vody na životní prostředí a lidské zdraví. Taková voda již nebude považována za odpadní vodu. Pozitivním dopadem zavedení možnosti využívat recyklovanou vodu bude úspora vody, tj. snížení tlaku na odběry podzemních a povrchových vod; recyklovanou vodu bude možné využít např. na zavlažování městské zeleně a v zemědělství. Recyklovaná voda může být využívána ve stále častějších obdobích sucha.

Nově bude rovněž vytvořen registr individuálních systémů zneškodňování odpadních vod. Jeho účelem bude průběžná kontrola způsobu nakládání s odpadními vodami. Smyslem registru je mít celkový přehled o způsobu nakládání se všemi odpadními vodami na území České republiky a tím přispět k důkladnější ochraně podzemních a povrchových vod.

Zahrnuty mají být zejména údaje o povoleních k nakládání s vodami, o sledování množství a znečištění odpadních vod, o odvozu odpadních vod z nepropustných jímek a o technických revizích vodních děl. Evidovat by se rovněž mělo připojení stavby na stokovou soustavu zakončenou čistírnou odpadních vod za účelem zjednodušení kontroly ze strany vodoprávního úřadu případně České inspekce životního prostředí. Kontrolní orgány tak budou moci

efektivněji zaměřit kontrolu pouze na ty vlastníky staveb, kteří nejsou připojeni na stokovou soustavu zakončenou čistírnou odpadních vod a současně nepředkládají doklady o vývozu jímky podle § 38 odst. 7 vodního zákona, výsledky měření objemu vypouštěných vod a míru jejich znečištění podle § 38 odst. 6 vodního zákona nebo doklady o provedení technické revize vodního díla. Bez znalosti údajů o napojení na stokovou soustavu zakončenou čistírnou odpadních vod by vodoprávní úřady byly nuceny kontrolovat všechny vlastníky staveb vč. těch, kteří jsou připojeni na stokovou soustavu zakončenou čistírnou odpadních vod, což by bylo v praxi nerealizovatelné.

Transpozice směrnice si vyžádá rozsáhlé změny české legislativy. Vedle novely vodního zákona bude upraveno také nařízení vlády č. 401/2015 Sb., zejména v oblasti emisních standardů pro vypouštění odpadních vod, požadavků na terciární a kvartérní čištění a pravidel monitoringu vypouštění z odlehčovacích komor. Současně bude nutné přijmout několik nových prováděcích předpisů upravujících evidenci recyklovaných vod, obsah integrovaných plánů, vedení registru individuálních systémů, provozování kolektivních systémů a náležitosti technologické části energetických auditů čistíren odpadních vod.

Prioritní látky ve vodě: zásadní změny ochrany vod (směrnice č. 2026/805)

Byla přijata revize rámce pro ochranu povrchových a podzemních vod. Původně zamýšlená aktualizace seznamu prioritních látek se postupně rozrostla v komplexní reformu zahrnující revizi tří klíčových předpisů: Rámcové směrnice o vodách, směrnice o ochraně podzemních vod a směrnice o normách environmentální kvality.

Tři hlavní pilíře navrhované reformy

Reforma stojí na třech základních pilířích. Prvním je aktualizace seznamu znečišťujících látek sledovaných v povrchových i podzemních vodách. Druhým pilířem je modernizace monitorovacích metod, včetně zavedení povinného systému sledovaných látek (tzv. Watch List) pro podzemní vody a vytvoření podmínek pro budoucí sledování mikroplastů a genů antimikrobiální rezistence. Třetím pilířem je propojení stávajících databází tak, aby Evropská agentura pro chemické látky (ECHA) disponovala komplexními informacemi o chemických látkách ve vodním prostředí napříč celou Evropskou unií.

Společným cílem všech navrhovaných změn je zvýšení ochrany lidského zdraví a životního prostředí před kombinovanými účinky toxických a perzistentních znečišťujících látek. Revize zároveň reaguje na dosavadní rozdíly v monitoringu a hodnocení znečištění mezi jednotlivými členskými státy, které komplikují vzájemnou porovnatelnost výsledků.

Novinky v Rámcové směrnici o vodách

Mezi významné návrhy patří vznik společného monitorovacího centra, které by členské státy mohly dobrovolně využívat pro analýzu látek, na jejichž stanovení nemají vlastní laboratorní kapacity (týká se např. látek ze skupiny estrogenů). Návrh dále zavádí definice pojmů „zhoršení stavu“ a „krátkodobé vlivy“ v souladu s judikaturou Soudního dvora Evropské unie a zpřesňuje postupy při řešení přeshraničních incidentů znečištění.

Přísnější požadavky pro podzemní vody

Významné změny se týkají také ochrany podzemních vod. Nově se navrhuje zavedení skupinového ukazatele pro látky ze skupiny PFAS, přidání dvou farmaceutických látek, monitorování sumy účinných farmaceutických látek i většího počtu pesticidů a jejich metabolitů. Současně má dojít k harmonizaci limitů pro látky ze skupiny PFAS s požadavky směrnice o pitné vodě.

Důležitou novinkou je rozdělení pesticidních metabolitů na relevantní a nerelevantní z hlediska jejich toxicity. Evropská komise by měla získat zmocnění vytvářet a aktualizovat seznam známých metabolitů na základě vědeckých poznatků. Návrh rovněž počítá se zavedením seznamu sledovaných látek (tzv. Watch List) pro útvary podzemních vod a s možností doplňovat nové znečišťující látky na celoevropské úrovni prostřednictvím přenesených pravomocí Komise. Toto sledování bylo dříve povinné pouze v případě povrchových vod a v oblasti podzemních vod bylo doposud pouze dobrovolné.

Rozšíření seznamu prioritních látek

Jednou z nejvýznamnějších navrhovaných změn je rozšíření okruhu prioritních látek z dosavadních 45 na 70 látek nebo jejich skupin. Nově by mezi prioritní látky měly být zařazeny například léčivé přípravky, zejména estrogeny,

antibiotika, diklofenak a ibuprofen, dále pesticidy včetně neonikotinoidů, pyrethroidů a glyfosátu, ale také průmyslové látky, mezi nimi látky ze skupiny PFAS, bisfenol A nebo stříbro.

Nová směrnice zároveň přesouvá některé stávající prioritní látky mezi specifické znečišťující látky a mění způsob jejich hodnocení. V následující novele směrnice budou diskutovány mj. normy environmentální kvality pro látky ze skupiny PFAS. Evropská komise, Rada EU i Evropský parlament se shodují na stanovení hodnot pro součet ekvivalentů PFOA, přičemž Parlament navrhuje navíc sledovat součet všech PFAS.

Dopady na českou legislativu

Nové požadavky musí být promítnuty do českého právního řádu do 21. 12. 2027. Změny se dotknou zejména vodního zákona, nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, vyhlášky č. 5/2011 Sb. o hodnocení stavu útvarů podzemních vod, vyhlášky č. 98/2011 Sb. o hodnocení stavu útvarů povrchových vod a vyhlášky č. 50/2023 Sb. o plánech povodí.

Navrhované změny představují dosud nejrozsáhlejší aktualizaci evropské vodní legislativy za poslední roky. Jejich cílem je zajistit lepší ochranu vodních zdrojů před nově identifikovanými riziky, sjednotit monitoring znečišťujících látek v celé Evropské unii a posílit ochranu zdraví obyvatel i vodních ekosystémů.

KOMORA AUTORIZOVANÝCH GEOLOGŮ: RÁMEC, PŘÍPRAVA A SOUČASNÝ STAV

Ing. Jakub Průša

E-mail: jphydrogeo@gmail.com
Javorová 3031, 415 01 Teplice

Abstrakt:
Vznik Komory autorizovaných geologů představuje zásadní krok k posílení prestiže, odborné odpovědnosti, kvality geologických prací v České republice. Příspěvek se zaměřuje na aktuální stav příprav, identifikované překážky i klíčové milníky, které budou rozhodovat o dalším postupu. Cílem příspěvku je otevřít odbornou diskusi o podobě profesní samosprávy geologů a nabídnout realistickou, odborně podloženou cestu k její realizaci.

PROJEKT RENI – SÍŤ VÝZKUMNÝCH INSTITUCÍ A PODNIKŮ PRO INFRASTRUKTURU

PROJECT RENI – RESEARCH AND ENTERPRISE NETWORK FOR INFRASTRUCTURE

Martin Slavík[1], Jiří Mls[1], Jan Jerman[1], Jan Valenta[1], Jakub Roháč[1], Ondřej Šálek[1], Tomáš Weiss[1], Jan Najser[1], Josef Vojtěch Datel[1], Olga Běhounek[1]

[1]*Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 00 Praha 2, e-mail: martin.slavik@natur.cuni.cz*

Abstrakt: Projekt RENI je zaměřen na spolupráci a přenos znalostí mezi výzkumnými institucemi a malými a středními podniky. Tematicky zahrnuje obory aplikované geologie, konkrétně inženýrskou geologii, hydrogeologii a užitou geofyziku. V rámci projektu je vytvářena síť spolupracujících institucí a podniků, určená ke sdílení znalostí a nových poznatků. Přenos znalostí je realizován formou nejrůznějších přednášek a workshopů. Prezenčně nebo online je zájemcům zdarma umožněna účast nejen na akcích Univerzity Karlovy, ale i projektových partnerů.

Abstract: The RENI project focuses on cooperation and knowledge transfer between research institutions and small and medium-sized enterprises (companies). Thematically, it covers fields of applied geology, specifically engineering geology, hydrogeology, and applied geophysics. As part of the project, a network of cooperating institutions and businesses is being established, designed for sharing knowledge and new findings. The knowledge transfer is carried out through various lectures and workshops. Whether in person or online, interested individuals are welcome to attend events hosted not only by Charles University, but also by the project partners, completely free of charge.

Klíčová slova: spolupráce, přenos znalostí, vzdělávání, evropský projekt.

Key words: cooperation, knowledge transfer, education, European project

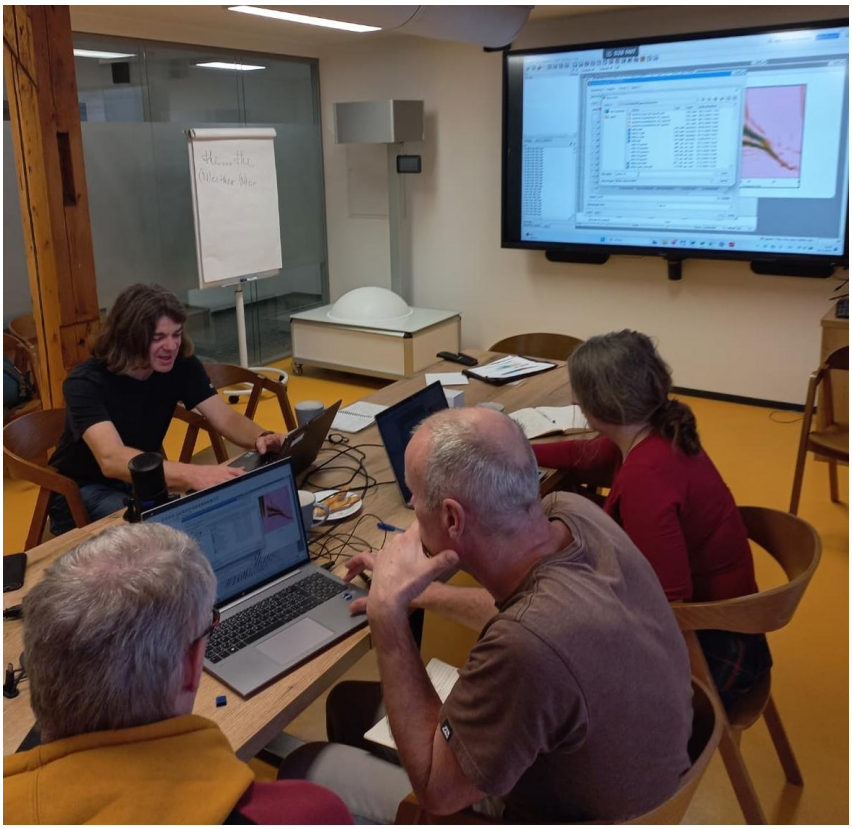
1. Představení projektu

Cílem tohoto příspěvku je představit projekt RENI (Síť výzkumných institucí a podniků pro infrastrukturu), který je financován z prostředků EU (program Interreg Česko-Sasko 2021–2027, číslo projektu 100686680) a který je realizován od 1. ledna 2024 do 31. prosince 2026. Jedná se o přeshraniční česko-německou spolupráci. Vedoucím partnerem projektu je Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, dalšími partnery na německé straně jsou Hochschule Zittau/Görlitz a společnost Jähnig GmbH Felssicherung und Zaunbau. Na české straně jsou partnery projektu Univerzita Karlova a Technická univerzita v Liberci.
Projekt je zaměřen na spolupráci a přenos znalostí mezi výzkumnými institucemi a malými a středními podniky, otevřen je ovšem i větším podnikům. Tematicky zahrnuje obory aplikované geologie, konkrétně inženýrskou geologii, hydrogeologii a užitou geofyziku. V rámci projektu je vytvářena síť spolupracujících institucí a podniků, určená ke sdílení znalostí a nových poznatků. Přenos znalostí je realizován formou nejrůznějších přednášek a workshopů. Prezenčně nebo online je zájemcům zdarma umožněna účast nejen na akcích Univerzity Karlovy, ale i uvedených partnerů.

2. Proběhlé aktivity projektu

Doposud Univerzita Karlova uspořádala osm otevřených síťových kolokvií, což jsou krátké odborné přednášky na různá témata poskytované ať už interním, či externím přednášejícím. V roce 2025 bylo uspořádáno tzv. síťovací setkání, což byla konference s představením několika firem a s 11 odbornými příspěvky na téma Hydrogeologické aspekty a rizika vrtných prací. Této akce se zúčastnilo celkem 68 osob. Dále byl uspořádá jeden tzv. ORID (Open Research Institute Day), neboli seminář koncipovaný jako krátký praktický kurz na téma Zpracování povrchových vln.
Všech dosavadních akcí se dohromady zúčastnili zástupci ze 43 firem a 25 institucí (univerzity, výzkumné instituce, orgány státní správy, aj.), s průměrnou návštěvností 38 účastníků na akci. Fotografie z vybraných akcí projektu jsou uvedeny na obr. 1, obr. 2 a obr. 3.

Obr. 1 Otevřené síťové kolokvium „Malé modulární reaktory v ČR – Od mapy k reaktoru: Jak přírodovědci pomáhají umístit SMR“ ze dne 1. prosince 2025. Přednášející Mgr. Dana Havlín Nováková, PhD. (ÚJV Řež, a. s.).
Fig. 1. Open Networking Colloquium “Small Modular Reactors in the Czech Republic – From Map to Reactor: How Scientists Help Site SMRs“ held on December 1, 2025. Speaker: Mgr. Dana Havlín Nováková, PhD. (ÚJV Řež, a. s.).



Obr. 2 Akce ORID „Kurz zpracování povrchových vln“ ze dne 16. prosince 2025. Lektor Mgr. Jan Valenta, Ph.D. (PřF UK)
Fig. 2 ORID event “Surface Wave Processing Course” held on December 16, 2025. Lecturer: Mgr. Jan Valenta, Ph.D. (Faculty of Science, Charles Un.)

Obr. 3 Síťovací setkání „Hydrogeologické aspekty a rizika vrtných prací“ ze dne 20. května 2025.
Fig. 2 Network Building Meeting “Hydrogeological Aspects and Risks of Drilling Operations” held on May 20, 2025.

Pro propagaci a podporu dlouhodobější spolupráce mezi firmami a výzkumnými institucemi a pro udržitelné zajištění transferu technologií byla vytvořena webová platforma RENI https://www.reni-netw.org/.

3. Budoucí aktivity projektu

Do konce roku 2026 jsou naplánovány následující aktivity:

14. září Otevřené síťové kolokvium (v Praze a online): *název a téma budou upřesněny*, přednášející prof. Jens Engel (HTW Dresden)

17. září ORID (v Praze a online): „Svahové deformace – od terénu přes laboratoř po modelování“, lektoři Jan Jerman a Jakub Roháč

21. září ORID (v Praze a online): „Osol to aneb Využití rezistivimetrie ve vrtu“, lektor Tomáš Weiss

7. října Síťovací setkání (v Litoměřicích): „Moderní trendy v aplikované geologii“, konference se zhruba 10 odbornými přednáškami

14. října Otevřené síťové kolokvium (v Drážďanech a online): „Monitoring a modelování sesuvů ohrožujících dálnici D8“, přednášející Jan Jerman

Soupis plánovaných akcí je platný k datu 31. července, aktualizované informace budou k dispozici na posteru tohoto příspěvku. V případě zájmu či dotazů kontaktujte Martina Slavíka martin.slavik@natur.cuni.cz

Poděkování: Projekt je financován z prostředků EU (program Interreg Česko-Sasko 2021–2027, číslo projektu 100686680). Pracovníci projektu děkují účastníkům jednotlivých akcí za jejich upřímný zájem a poskytnutou zpětnou vazbu.

ETIKA V HYDROGEOLOGICKÉ PRAXI

RNDr. Svatopluk Šeda

E-mail: seda@fingeo.cz
FINGEO s.r.o., Hniličkova 309, 562 01 Ústí nad Orlicí

Abstrakt:
Obecná teorie říká, že se etika zaobírá odpovědným jednáním uvnitř lidského spolubytí, v našem případě v hydrogeologické obci. Jenomže my žijeme obklopeni přírodou, v našem případě především její vodní složkou, a tak etika v přeneseném slova smyslu zasahuje i našeho odpovědného zacházení s touto přírodní složkou, konkrétně s podzemní vodou. A k tomu, jak si na tom naše hydrogeologická složka stojí, si dovolím vyslovit svůj názor.

PRAXE OG MŽP PŘI ŘÍZENÍ O UDĚLENÍ ODBORNÉ ZPŮSOBILOSTI PROJEKTOVAT, PROVÁDĚT A VYHODNOCOVAT GEOLOGICKÉ PRÁCE OČIMA ÚŘEDNÍKA A ODBORNÉHO GARANTA

Formal guidelines for process of acquiring certificate for providing work and services in the field of geology, i.e. in designing, implementing and evaluating geology-related works in field and administrative practice

Barbora Topinková[1], Anna Abramčuková[2]

[1]*Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 1442/65, 100 10 Praha 10, e-mail: barbora.topinkova@mzp.gov.cz*
[2] *Česká asociace inženýrských geologů, Albertov 6, 128 43 Praha 2, e-mail: anna.abramcukova@seznam.cz*

Abstrakt: Řízení o udělení odborné způsobilosti projektovat, provádět a vyhodnocovat geologické práce dle zákona 62/1988 Sb., se dále řídí prováděcí vyhláškou 206/2001 Sb., o odborné způsobilosti projektovat, provádět a vyhodnocovat geologické práce, a metodickým pokynem ředitele OG č. 1/2025. Řízení sestává z formální kontroly legislativních předpokladů uchazeče, na kterou navazují posouzení jím předložených zpráv odbornými garanty a zkouška z legislativních předpisů. Vzhledem k opakujícím se dotazům stran posuzování zpráv a projektů odbornými garanty byl zpracován příspěvek shrnující nejčastější nedostatky předkládaných zpráv, které brání přiznat uchazečům odbornou způsobilost v oboru inženýrské geologie, kde je úspěšnost uchazečů nejmenší.

Klíčová slova: metodický pokyn, odborná způsobilost, odborný garant, inženýrská geologie.

Abstract: The process for granting professional qualifications to design, implement and evaluate geological works according to the Act No. 62/1988 Coll. is also governed by Implementing Regulation No. 206/2001 Coll., on professional qualifications to design, carry out, and evaluate geological work, and by the methodological guideline of the OG director No. 1/2025. The process consists of formal checking the applicant's legislative prerequisites, followed by assessment of the reports they submitted by expert guarantors and an exam on legislative regulations. Due to repeated questions about the assessment of reports and projects by expert reviewers, a summary was prepared highlighting the most common shortcomings in the submitted reports that prevent applicants from being recognized as professionally qualified in the field of engineering geology, where applicants have the lowest success rate.

Key words: methodology, certificate for providing work and services in the field of geology, expert guantor, engineering geology.

1. Úvod

Přiznávání odborné způsobilosti projektovat, provádět a vyhodnocovat geologické práce vychází z ust. zákona č. 62/1988 Sb., o geologických pracích, ve znění pozdějších předpisů, a prováděcí vyhlášky 206/2001 Sb., o odborné způsobilosti projektovat, provádět a vyhodnocovat geologické práce. Pro účely správního řízení vedeného tajemníkem komise, jednání a rozhodování zkušební komise, práce odborných garantů a stanovení pravidel zkoušky z legislativy byl v lednu 2025 vydán MP ředitele OG MŽP č. 1/2025, který tyto legislativní předpisy vykládá a dále rozvíjí. Vzhledem k nutnosti některých zpřesnění vycházejících z průběhu předchozích řízení s uchazeči probíhá aktualizace tohoto MP, který bude upřesňovat:

- Formální požadavky na uchazeče, především definuje vysokoškolské vzdělání geologického směru dle vysokoškolského zákona;
- Délku praxe 3 roky po ukončení VŠ vzdělání, příp. 5 let praxe po ukončení SŠ vzdělání;
- Preference komunikace formou datových schránek;
- Definuje požadavky jednotlivých profesních asociací na předkládané zprávy pro transparentnější průběh řízení a jednotné hodnocení odbornými garanty i do budoucna.
- Vysvětluje nejasně chápané pravidlo, že uchazeč vždy při podání nové žádosti (o další obor) musí složit zkoušku z legislativy.
- Ukládá, že každý uchazeč, o jakýkoliv obor, je povinen složit obě části zkoušky z legislativy, tj. písemnou i ústní část.
- Povoluje nahlédnutí do spisu formou per rollam dle § 38 zákona č. 500/204 Sb., Správní řád.

- Vzhledem k nové systemizaci opravuje VS pro platbu správního poplatku.

2. Obecné požadavky na kvalitu předkládaných projektů a zpráv v průběhu řízení

Jednou z příloh žádosti o zahájení řízení o udělení osvědčení odborné způsobilosti je seznam vybraných prací. Jedná se o výčet portfolia zpráv a projektů, na kterých se během dokládané praxe žadatel podílel buď jako řešitel, nebo člen řešitelského týmu. Tento seznam dá odborným garantům vhled do celkového profesního životopisu žadatele a je vhodné jej připravit pečlivě. Všechny práce by samozřejmě měly být evidovány a uloženy v ČGS, kde si odborní garanti a tajemník zkušební komise také portfolio uchazeče ověřují. Samotné předložené práce by rovněž měly reflektovat odborný rozsah dokládané praxe, jež má být dostatečně komplexní k tomu, aby bylo zajištěno, že žadatel může pracovat samostatně a s plnou zodpovědností na pozici odpovědného řešitele geologických prací. Všechny předkládané zprávy a projekty musí být zpracovány v souladu s platnou legislativou, tj. zákonem č. 62/1988 Sb. a souvisejících vyhlášek, především vyhl. č. 369/2004 Sb. o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek, vyhl. č. 282/2001 Sb. o evidenci geologických prací a 368/2004 Sb. o geologické dokumentaci. Rovněž musí být zpracovány dle platných norem, např. ČSN 755115 Jímání podzemní vody, ČSN P 73 1005 Inženýrskogeologický průzkum, ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. Tyto zprávy musí být evidovány v ČGS, s výjimkou recenzovaných odborných článků a multioborových zpráv, které z principu nejsou geologickými pracemi dle zákona č. 62/1988 Sb. (např. aplikace geologických věd v archeologii, kriminalistice, zemědělství atd.). Předložené práce hodnotí odborní garanti, které jmenuje MŽP na návrh jednotlivých asociací. Seznam garantů se aktualizuje vždy jednou ročně, kdy je s garanty uzavřena smlouva o dílo na zpracování posudků.

3. Posuzované práce v oboru inženýrské geologie

Obecně lze k přijetí pro posouzení odbornými garanty posílat zprávy z podrobného a doplňkového IG průzkumu. Ne vždy jsou všechny předložené výstupy kvalitní natolik, aby je bylo možné doporučit jako důkaz schopnosti žadatele tuto samostatnou výše specifikovanou práci provádět. Větší vypovídací schopnost mají na rozdíl od projektů vlastní závěrečné zprávy o IGP. Často se projevuje nedostatečná praxe zejména u zpracování jednoduchých průzkumů, kde je nutné postupovat podle základních obecných předpisů, které zpracovávají většinou žadatelé zcela samostatně. Zde velmi záleží na kvalitním vedení odpovědným řešitelem, což nebývá vždy pravidlem. Tato situace je odlišná od rozsáhlých průzkumů např. pro liniové stavby, které jsou zpracovávány převážně ve větších týmech pod dozorem zkušených inženýrských geologů.

4. Technické normy

Pro IGP, resp. někdy uváděné v nesouladu se zákonem č. 62/1988 Sb. jako geotechnické průzkumy (GTP), existuje mnoho norem, jejichž přehled zde nebudu uvádět, stěžejní jsou ČSN P 73 1005 Inženýrskogeologický průzkum, ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací nebo ČSN 73 1004 Navrhování základových a zemních konstrukcí. Liniové stavby, na kterých se většinou podílí celý kolektiv zpracovatelů, mají dále ještě svá povinná pravidla (zejména TP 76 Technické podmínky GTP pro pozemní komunikace vydané MD), podle kterých zhotovitelé musí postupovat, a proto se u nich většinou zásadní nedostatky a chyby neobjevují. Budu se proto hlavně zabývat stavbami neliniového charakteru jako jsou rodinné a bytové domy, průmyslové objekty, vodohospodářské stavby jako např. retenční nádrže apod. pro které jsou normy jako hlavně ČSN P 73 1005 (stále ještě platná), případně ČSN 73 1004 pouze doporučované a nikoliv povinné. Tyto platné normy obsahují základní požadavky a de facto návody podle kterých by měly být průzkumy správně prováděny a vyhodnocovány. Setkáváme se však ještě často při hodnocení průzkumů s odvoláváním se na již dlouho neplatné normy ČSN 73 1001 a ČSN 73 3050, přičemž ne vždy je jejich neplatnost i uvedena. Z mnohaletých zkušeností garantů uvádíme dále v textu nejčastější nedostatky, se kterými se ve zprávách setkáváme.

5. Textová část

V úvodu není vždy uvedeno, o jakou etapu průzkumu se vlastně jedná, nejsou vždy zcela jasně a úplně uvedeny buď technické parametry stavby (u pozemních objektů počet NP a PP, podsklepení, u nádrží výška a délka hráze atd.), nebo není alespoň jasně uvedeno, že projektant tyto parametry zatím nezná, což by se už nemělo u podrobných průzkumů stávat. Velmi často není před zahájením průzkumu uvedeno výchozí zařazení stavby do geotechnické kategorie nebo je uvedeno nesprávně. Objeví se např. přístavba rodinného domu zařazená do 3. GT kategorie nebo komplikovaná hala v 1. GT kategorii. Přírodní poměry širšího zájmového území bývají u

průzkumů malého rozsahu často zbytečně podrobné, a to na úkor podrobnějšího zhodnocení okolí vlastní stavby, ať už se to týká stratigrafie nebo morfologie, jejichž popis dost často chybí. K čemu je v průzkumu uvedeno, že z pohledu geomorfologie se stavba nachází v hercynském systému, když zpracovatel nepopíše konkrétní morfologii daného místa, která může budoucí stavbu významně ovlivnit? Špatné, nepřesné nebo nejasné hodnocení inženýrskogeologických poměrů vychází z nedostatečného pokrytí zájmového území sondovacími pracemi a chybějícího zákresu objektu, nedostatečné hloubky sond, ale to vše vyplyne názorně ze situace sond a z geologických řezů. V některých případech je nevhodné, když jsou sondy situovány uvnitř objektu, bez náležitého vysvětlení, že jiné umístění nebylo možné a průběh jednotlivých geologických vrstev je pak extrapolován, což nemusí vždy správně postihnout jejich průběh v prostoru dané stavby**. Chybná je bezvýhradná akceptace přání objednatele na umístění, počet a délku sond bez upozornění, že tím nebude možné postihnout všechny požadované cíle průzkumu.** Zejména u prací malého rozsahu, které nám jsou předkládány, jsou geologické poměry někdy uváděny pouze slovně a geologický řez úplně chybí. Takové práce ale nemohou sdělit, zda žadatel umí vůbec sestavit řádný geologický řez. U přístaveb ke stávajícím objektům chybí parametry těchto staveb, zejména pak zjištění úrovně jejich základové spáry. Chybně bývá určen typ konstrukce (jednoduchá x složitá), často dochází ke špatnému určení složitosti inženýrskogeologických poměrů. Snaha bývá někdy zařadit stavbu do 1. geotechnické kategorie a geotechnické hodnoty stanovit pouze podle normy (a ne vždy té platné). Někdy na nás dělá dojem, že se žadatelé obávají z nějakých důvodů uvést správně postup podle 2. a zejména pak podle 3. geotechnické kategorie, protože by průzkum musel být rozsahem náročnější. **Zpracovatel inženýrskogeologického průzkumu by měl vždy umět obhájit rozsah průzkumu, aby později nebyl kritizován za jeho nedostatečnost a tím i za svoji špatnou práci.** Důležité je správné a výstižné (nikoliv zbytečně podrobné) zatřídění zastižených zemin a hornin do inženýrskogeologických resp. geotechnických typů, jejich přehledný popis a sestavení do tabulek. Někdy dochází k záměně pojmů charakteristických a odvozených geotechnických hodnot zemin a hornin. V textu není vždy patrné zhodnocení, a hlavně využití výsledků laboratorních zkoušek a aplikovaných nepřímých průzkumných metod. Hodnocení inženýrskogeologických poměrů pouze na základě nepřímých průzkumných metod je naprosto nesprávné. V závěrečné kapitole někdy chybí zejména doporučení pro vhodné založení stavby a případné doporučení prací pro další etapu průzkumu. V přehledu použitých podkladů není vždy uveden jejich úplný výčet včetně všech IGP. Norma ČSN P 73 1005 je zde často uvedena pouze formálně, protože její vlastní využití není z předloženého průzkumu patrné. Řešitel hojně doporučuje (zejména u průzkumů menšího rozsahu) parametry tabulkové únosnosti a vychází z neplatných norem. Aktuálně je ale jedinou normou ČSN 73 1004, která tyto parametry ale uvádí pouze pro 1. GT kategorii.

5. Grafické přílohy

Za největší současný „nešvar“ pokládáme přejímání podkladů od projektantů bez jakýchkoliv úprav. Situace i geologické řezy jsou často zaplněny nepodstatnými „čarami“, které zcela „znepřehledňují“ prezentované geologické informace. Další „bolestí“ je nevhodná volba barev grafického vyjádření všech zjištěných informací ať už v řezech, nebo samotných vrtných profilech. A neposlední vadou je absence úplných rozpisek, které by měly obsahovat všechny podstatné údaje o zakázce a jejích zpracovatelích. Tyto údaje bývají někdy rozmístěny po celé ploše situace nebo řezu, pokud tam vůbec jsou. Vysvětlivky k situacím a zejména pak k řezům bývají neúplné, nepřehledné, nevýstižné.

Přehledná situace je prezentována často pouze formou obrázku v textu, nebo je sice v příloze, ale je tak nevhodně volena, že není jasné, kde to užší zájmové území je.

Situace sond a profilů – často chybí zákres objektu i přesto, že je znám. Chybí vedení a jasné označení začátku a konce geologických řezů v situaci. Někdy jsou uvedeny i dvě situace, na jedné jsou sondy nové, na druhé archivní. Ne vždy jsou zakresleny v jedné situaci i použité nepřímé metody.

Inženýrskogeologický řez je de facto inženýrskogeologickým modelem tzn. že je velmi důležitým výstupem celého průzkumu, protože poskytuje názornou informaci, v čem bude vlastní objekt zakládán. Pokud obsahuje neúplné informace je pro projektanta nejasný, je zdrojem nedorozumění, dalších dotazů, stížností atd. V inženýrskogeologických řezech (často označovaných jako geologické profily) - nejsou zakresleny objekty a úroveň základové spáry, pokud je známa. Chybí údaj o srovnávací rovině. Při výraznějším rozptylu výšek terénu v řezech se také negativně projevuje chybějící výškové zaměření vrtů. Nejsou vyznačena místa odběru vzorků pro laboratorní zkoušky. Často bývá nesprávně interpretován průběh hladiny podzemní vody. Pokud je protínána nějaká vodoteč, chybí údaj o úrovni její hladiny. Nebezpečné mohou být chybné interpretace geologických poměrů, když jsou některé řezy sestaveny zcela nelogicky, k vidění jsou někdy také přímky mezi jednotlivými ne vždy správně interpretovanými geotypy ve vrtech.

6. Závěr

V průběhu let 2023 – 2026 bylo podáno pro obor IG 38 žádostí o udělení odborné způsobilosti, vyhověno bylo 20 žadatelům. V celkovém součtu žádostí bylo v letech 2024 – 2026 podáno pro všechny obory 75 žádostí, z toho bylo vyhověno 55 z nich. Cílem metodického pokynu OG č. 2/2026 a tohoto příspěvku je transparentní vhled do řízení pro uchazeče a zajištění, že bude jako odpovědný řešitel geologických prací schopen zvládnout projekty jak po stránce odborné, tak formální a správní. Že bude připraven si za svoji práci ručit, protože v případě problematického zpracování projektu nebo průzkumu bude právní odpovědnost na něm jako držiteli razítka odborné způsobilosti, nikoliv jen na prováděcí organizaci. Proto musí být na svoji roli plně připraven a chápat ji v celém kontextu přesahujícím pouhá technická či dílčí řešení geologického úkolu. OG MŽP i profesní organizace podporují geologii i geology, kterých je čím dál méně. Jejich dlouhodobým cílem je výchova, vzdělávání a podpora nových i už praktikujících odborníků. Ale laťka pro kvalitu jejich práce i její ověřování musí zůstat zachovaná.

PŘÍPRAVA APLIKOVANÝCH GEOLOGŮ PRO PRAXI – SYSTÉM ODBORNÝCH STÁŽÍ NA PŘF UK

Mgr. et Mgr. Tomáš Weiss, Ph.D.

E-mail: tomas.weiss@natur.cuni.cz

PřF UK, Albertov 6, 12800 Praha 2

Další autoři: Mgr. M.Sc. Jan Jerman, Ph.D. (Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy)

Abstrakt:
Práce v oblasti aplikované geologie vyžaduje úzké propojení teoretických znalostí s praktickými dovednostmi. Na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy na tuto potřebu reagujeme jednak skrze design vyučovaných předmětů ale v posledních letech i prostřednictvím předmětu Praxe v aplikované geologii, jehož cílem je systematická integrace studentů do profesního prostředí již během studia.

Předmětu je založen na odborné činnosti v minimálním rozsahu 80 hodin, doplněnou o vedení tzv. reflexivního portfolia. Studenti v něm definují své profesní cíle, analyzují aplikaci teorie na konkrétních zakázkách, kriticky hodnotí svůj seberozvoj a dávají zpětnou vazbu na studijní plány. Praxe by tak měla učit budoucí profesní geology nejen provádět rutinní úkoly, ale interpretovat výsledky v širším kontextu projektu – od zadání až po finální výstupy.

Z dlouhodobých statistik vyplývá, že PřF UK absolvují aplikovaní geologové v omezeném počtu, konkrétně v průměru 4 Mgr. inženýrských geologů a 5 Mgr. hydrogeologů. Úspěšnost studia dlouhodobě mírně klesá, přičemž v současnosti se v magisterském stupni pohybuje kolem 80 % u IG a 70 % u HG, zatímco u bakalářského studia (celá geologie) dosahuje 20 %. Tato čísla do jisté míry reflektují vysoké nároky na studenty.

Praxí dosud prošlo 36 studentů ve spolupráci s 18 firmami. Během stáží se studenti zapojili do širokého spektra činností ve firmách zaměřených na IG, HG, geotechniku, geofyziku nebo sanace. Mezi klíčové aktivity patřily terénní i laboratorní práce (odběry vzorků, hydrodynamické zkoušky, polní zkoušky nebo geofyzikální měření) i další expertní činnosti (zpracování archivních rešerší, grafické zpracování vrtů, psaní posudků nebo příprava závěrečných zpráv).

Pro firmy představuje tento systém stáží efektivní nástroj náboru. Studenti jsou vedeni k samostatnosti a postupně přecházejí od výpomocných prací k samostatnému zpracování etap průzkumu. Spolupráce zároveň umožňuje studentům získat vhled do praktických činností a motivuje je k dalšímu studiu. Prezentace má za cíl představit tento funkční model a vyzvat další subjekty k navázání spolupráce, která zajistí vysokou odbornou úroveň nastupující generace českých geologů.

INTERPRETACE GEOVĚD V NÁRODNÍM GEOPARKU ŽELEZNÉ HORY

RNDr. Daniel Smutek

smutek@vz.cz

Vodní zdroje Chrudim, spol. s r. o., U Vodárny 137, 537 01 Chrudim,

Abstrakt:

Geopark Železné hory je od roku 2012 jedním ze zakládajících členů sítě Národních geoparků ČR. Motto „Historií země za 2 dny“ spojuje velmi pestrou geologickou stavbu území se záznamy od proterozoika po terciér. K nosným tématům patří i podzemní voda („živá voda z hor“), která je využívána na obou svazích Železných hor pro zásobování Chrudimska, Pardubicka, ale i Chotěbořska a Čáslavska.

Zprvu geologická a hydrogeologická témata byla obohacena činnostmi s výrazně edukativním zaměřením. Na prezentovaném posteru ukazujeme, že návštěvníky Železných hor tato činnost v podobě naučných stezek, lokálních projektů a pravidelných veřejných akcí podněcuje zájem jak místních obyvatel, tak turistů. Návštěvníci geoparku Železné hory si odnášejí pocit, že „geologie“ není nuda.