

PRŮBĚŽNÉ VÝSLEDKY I. ETAPY PODROBNÉHO GEOTECHNICKÉHO PRŮZKUMU PRO BEROUNSKÝ TUNEL

INTERIM RESULTS OF PHASE I DETAILED GEOTECHNICAL INVESTIGATION FOR THE BEROUN TUNEL

Petr Pícha¹, Otakar Krásný¹, Petr Mazáč², Petr Olišar², Tomáš Pašek¹, Jiří Nedvěd², Monika Zbořilová¹

¹GeoTec-GS, a.s., Chmelová 2920/6, 106 00 Praha 10, e-mail: picha@geotec-gs.cz

²SG 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 Hlubočepích a Berounky v Berouně. Tento v současnosti nejdelší projektovaný tunel v ČR prochází geologicky velmi složitým územím středoevropského Barrandienu. Pro uvedení záměru 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. Vrtů 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.

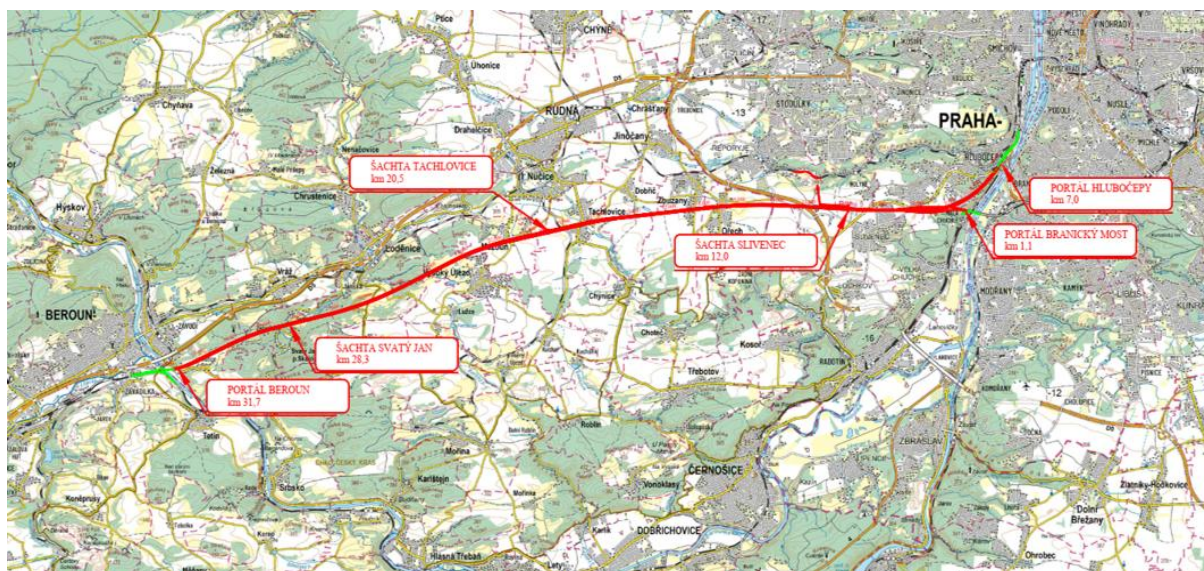
Klíčová slova: tunel, Barrandien, geotechnický průzkum, horninové prostředí, podzemní voda, kras

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 Slivenecká budou raženy konvenčně (NRTM), stejně tak i kaverny Slivenecká, Tachlovice a Svatý Jan. Úseky traťových tunelů mezi kavernami Slivenecká 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.

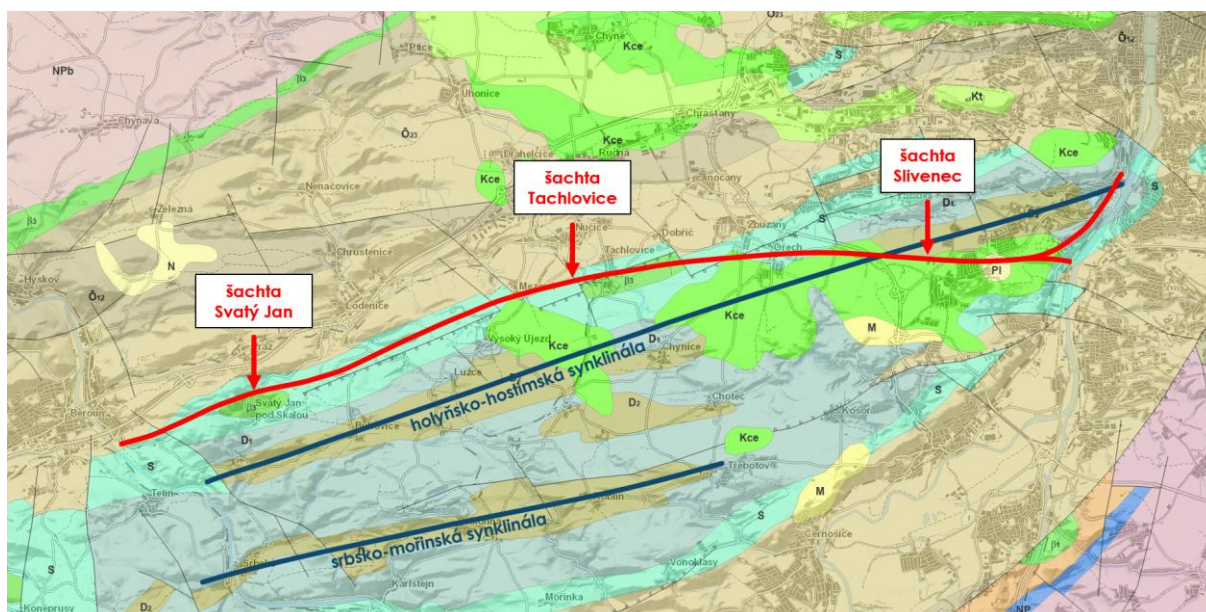
2. Geologické poměry v trase tunelu

Z geologického hlediska prochází trasa tunelu oblastí staršího paleozoika (Chlupáč, 1992) tvořícího centrální část Barrandienu ve středních Čechách. Paleozoické horniny leží diskordantně na kadozsky 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 nejrozsáhlejších, 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 generálním směrem vrásnových os VSV – ZJZ. V úseku od Hlubočep po Slivenecká (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 převládajícím 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 královského 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 Reporyjí 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 krasovnění 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 křídý.

Paleozoické horniny jsou částečně překryty platformními sedimenty svrchní křídý, 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 of the 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 metrži 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).

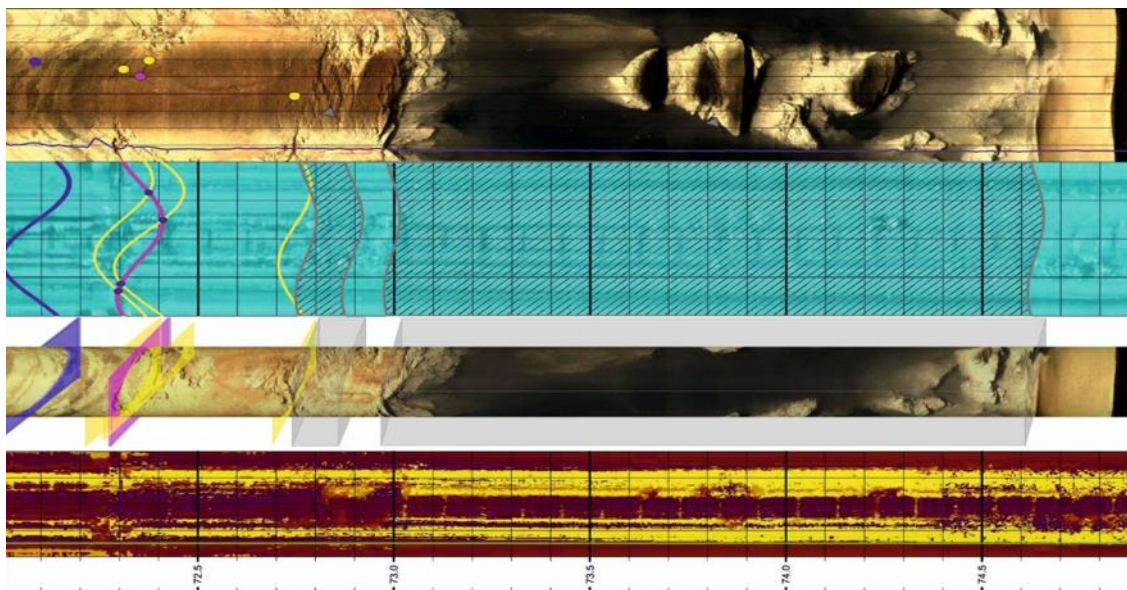
Fig. 4 Execution of exploratory borehole J1 in the serpentines of Barrandovská Street in Prague (June 2024).

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 rozborů, 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 razicího 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 rozborů 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

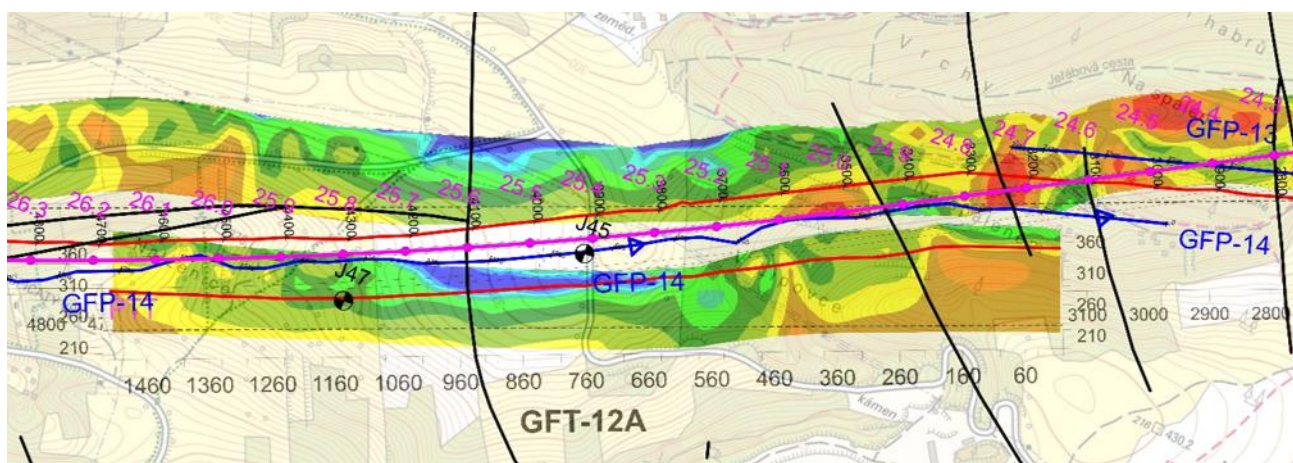
a dlouhodobé hydrodynamické zkoušky pro posouzení hydrogeologických vlastností horninového masívu a ověření dosahu možného ovlivnění hydrogeologických poměrů realizací a následným provozem tunelu.



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 vrtu 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 profilem 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 vrtly 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 zastížených 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 zastíženy 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 vrtly a geofyzikálním průzkumem. Na pražském Barrandově dosahuje krasové údolí hloubky cca 55 m (12 m nad výrubem tunelu). Rozsáhlá krasová deprese byla zastížena 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 vrtly.
- 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 vrtly 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 zastížen přetok podzemní vody nad úroveň terénu. Jde o vrt J45 v oblasti výše uvedené poruchové zóny u Loděnice, kde byl karotáží zastížen výrazný přítok nad úroveň 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 zastížen ve vrtu J29 nedaleko Tachlovic. Zde byl zastížen 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 zvětralými 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.