

**STOPOVACÍ ZKOUŠKY – ÚČINNÝ NÁSTROJ PRO ODHALENÍ POTENCIÁLNÍCH ZDROJŮ
KONTAMINACE VODÁRENSKÝCH OBJEKTŮ**

Jakub Mareš, Jiří Bruthans, Jakub Koutník

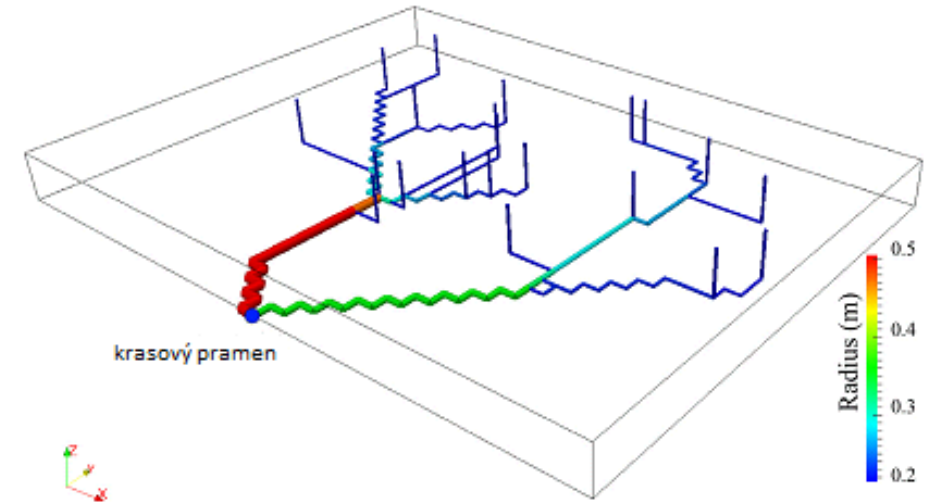
*Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užitá geofyziky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita
Karlova, Albertov 2038/6, 128 00 Praha 2, e-mail: maresj15@natur.cuni.cz*

Co je to kras?

- Kras - charakteristická povrchová morfologie s vysoce rozpustným podložím
- Sebeorganizovaný kolektor
- Většina vody proudí v kanálech, což způsobuje
 - 1) rychlý tok vody (rychlé šíření kontaminantů)
 - 2) hojný výskyt pramenů, zvláště velkých
 - 3) vysoká četnost biologické kontaminace
 - 4) krasové kanály je téměř nemožné zachytit vrty
 - 5) místo měření na vrtech se získávají data o proudění ze stopovacích zkoušek



Krasové kanály mohou dosahovat několikametrových průměrů. To umožňuje rychlé proudění podzemní vody (Worthington, 2009)



Sebeorganizovaný krasový kolektor vytváří dendritickou (stromovou) síť. Barva ukazuje poloměr kanálu (upraveno podle Borghi et al., 2016)

Stopovací zkoušky

- Nejúčinnější nástroj pro určení cest podzemní vody
- Injektaž známého množství stopovače do prostředí a sledování v místech předpokládaných vývěrů vody
- **Na-fluorescein** - fluorescenční organické barvivo
- Konzervativní, dobře rozpustný, netoxický s velmi nízkým detekčním limitem



Automatický odběrák vzorků



Studované lokality a výzkumné otázky

Bubovice

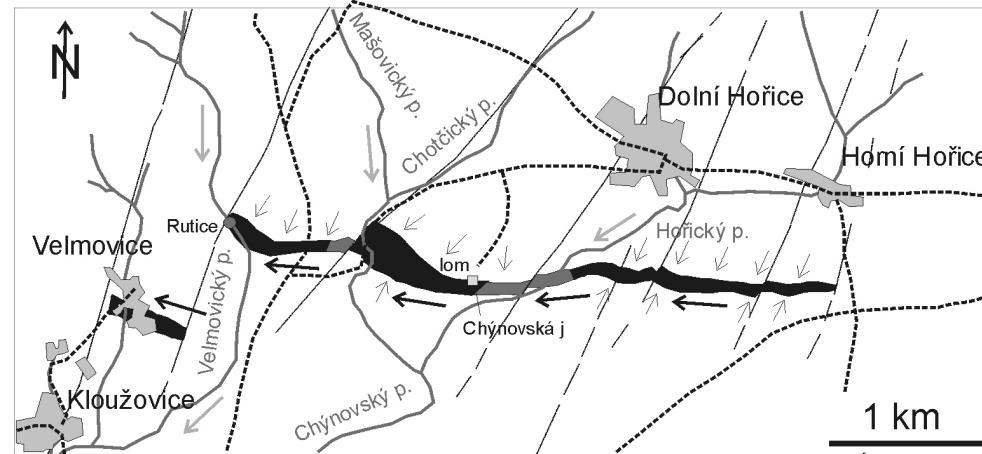
- Český kras
- Spodní až střední devon (nemetamorfované)
- Ztráta Bubovického potoku v tůních
- Kam voda proudí? Může docházet k průniku potoční vody do vodního zdroje v Srbsku?
- Dosud žádná věrohodná stopovací zkouška



Ztráta Bubovického potoka způsobuje, že Bubovické vodopády jsou většinu času bez vody

Chýnov

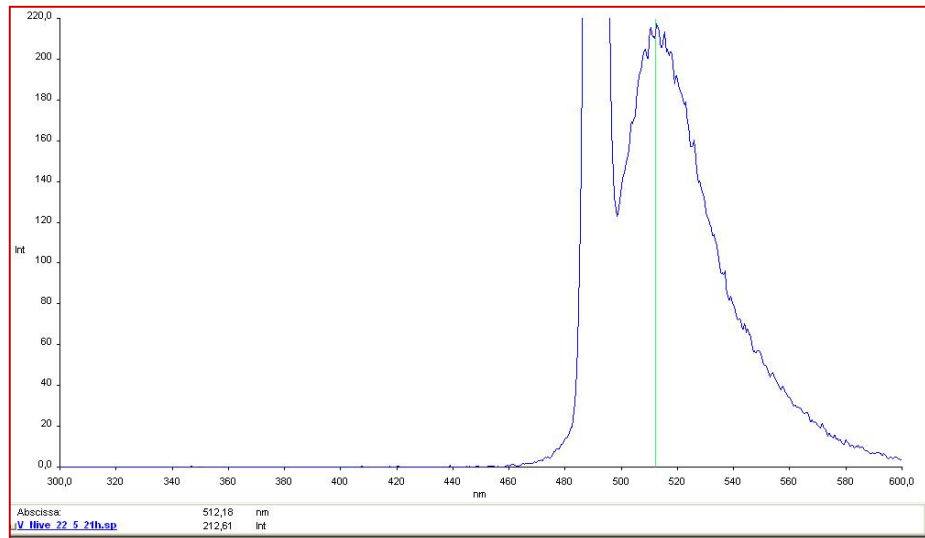
- Chýnovský kras - čočky krystalických vápenců pestré skupiny moldanubika
- Rozporné výsledky dvou stopovacích zkoušek z šedesátých let
- Přesněji charakterizovat proudění mezi Chýnovskou jeskyní a vodním zdrojem Rutice? (zásobuje Chýnov)



Chýnovský kras je nevelké území v krystalických vápencích (černě). Tenkými čarami je vyznačen průběh zlomů. Šipky ukazují předpokládané směry proudění podzemní vody (Jenček a Žežulková 1966; Suk, 1980)

Metody

- Stopovací zkoušky prováděny pomocí Na-fluoresceinu
- Odebírané vzorky analyzovány v laboratoři na fluorimetru Perkin-Elmer LS 55
- Zkoušky do vodárenských objektů – nutné souhlasy krajských hygienických stanic
- Zkoušky v chráněných oblastech – souhlas a povolení Správy CHKO Český kras a AOPK.



Analýza pozitivního vzorku pomocí laboratorního fluorimetru

S navrženým používáním fluorescenční látky - Fluorescein disodná sůl, která bude sloužit jako stopovač podzemní vody se souhlasí, s tím, že KHS budou předkládány výsledky měření ze vzorkovacího místa na výtlačném potrubí ze zdroje SDB 14a určeného pro veřejnou potřebu obce Srbsko.

MUDr. Alena Bulvasová
vedoucí odd. hygieny obecné a komunální
pro okresy Beroun a Rakovník



Souhlasné stanovisko Krajské hygienické stanice

Bubovice

- Kam mizí voda? Dochází ke kontaminaci zdroje v Srbsku?
- 5 injektáží, 97 - 1000 g
- Odběr automatickým odběrákem ve vodárně v Srbsku s krokem měření 6 h
- Ručně vzorkováno prameniště ve Sv. Janu, pramen V Nivě, Bubovické vodopády a další
- 2 patrony s aktivním uhlím

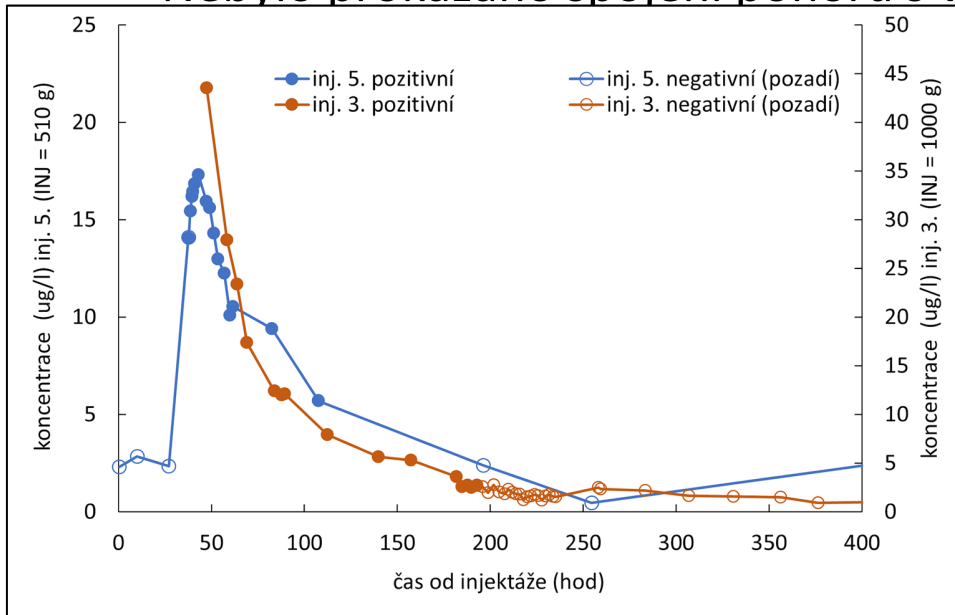


1. injektáž stopovače do toku

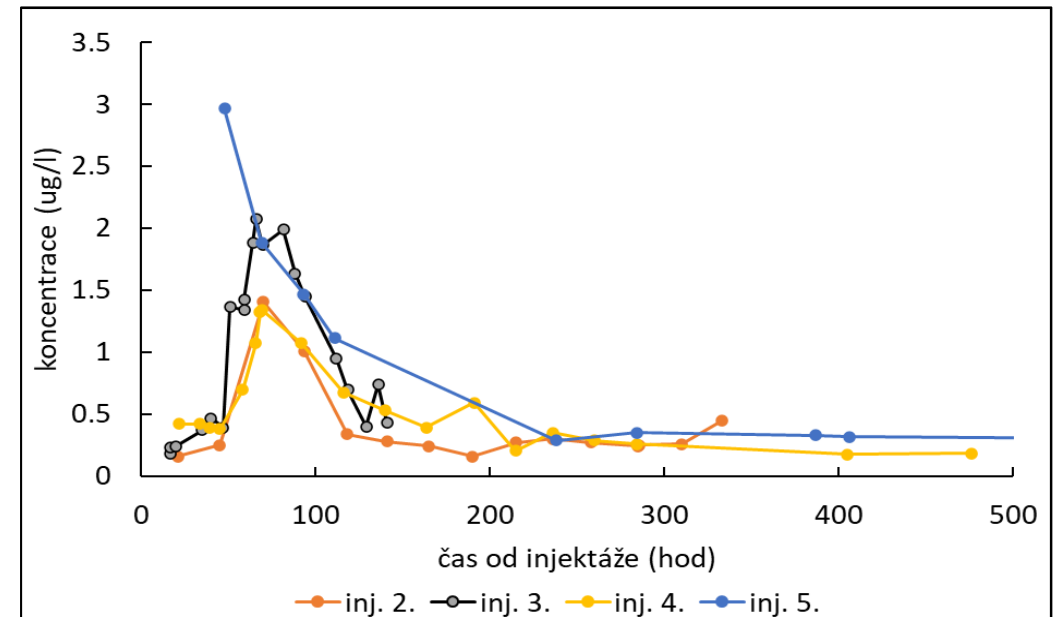


Výsledky - Bubovice

- První injektáž neúspěšná - degradace světlem ve stojaté vodě tůně a vsaku do náplavů (nevhodný vodní stav)
- Další, již za příhodných vyšších vodních stavů, ukazují spojení s pramenem V Nivě a prameništi ve Sv. Janu
- Nebylo prokázáno spojení ponoru s vodárnou v Srbsku



Průniková křivka v prameni V Nivě pro 3. a 5. injektáž



Průniková křivka v prameništi ve Svatém Janu pod Skalou

Tabulka zjištěných parametrů ze stopovacích zkoušek v Bubovicích z programu QTRACER2

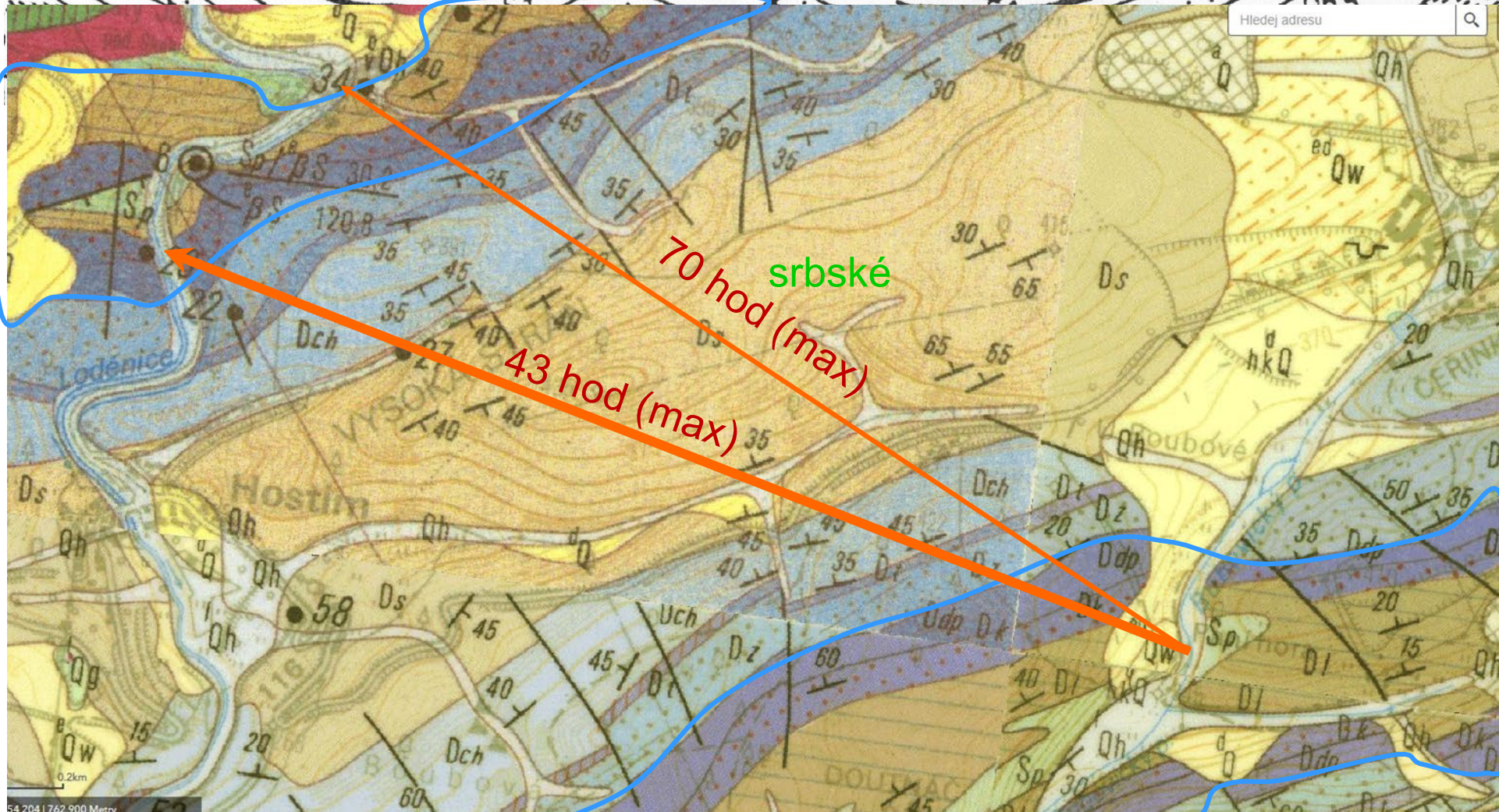
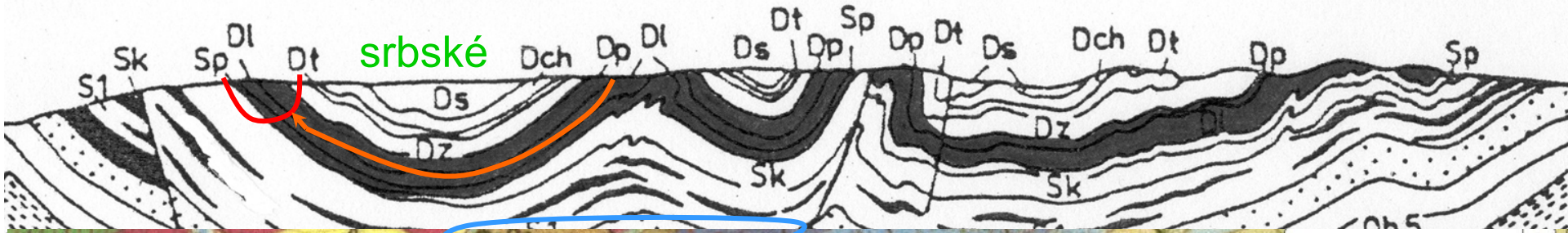
Injektáž	5. injektáž	4. injektáž
sledování	pramen V Nivě	prameniště Sv. Jan
hltnost ponoru (l/s)	5,7	1,9
průtok pramene (l/s) ODHAD	10–15	25
vzdálenost opravená (x 1,5) (m)	3390	3000
čas prvního objevení (hod)	37,7	45,2
čas max koncentrace (hod)	43	68,1
střední doba zdržení (hod)	104,6	117,8
maximální koncentrace (µg/l)	17,3	1,3
maximální rychlost proudění (m/den)	2160	1593,8
střední rychlost proudění (m/den)	779	611,3
disperzní koeficient (m ² /s)	1,24	1,04
podélná disperzivita (m)	138	147
Pecletovo číslo ()	25	20
objem zatopené části krasového kanálu (m ³)	2150–5700	10600
průměrná plocha zatopeného profilu (m ²)	0,6–1,7	3,5
návratnost stopovače	9–13 %	5 %

- Velmi rychlé proudění (ve velkých hloubkách a pod hladinou vody)
- Nízká návratnost (celkově kolem 15 %)
- Velké zatopené prostory

Proudění z ponorů do pramenů skrz synklinálu

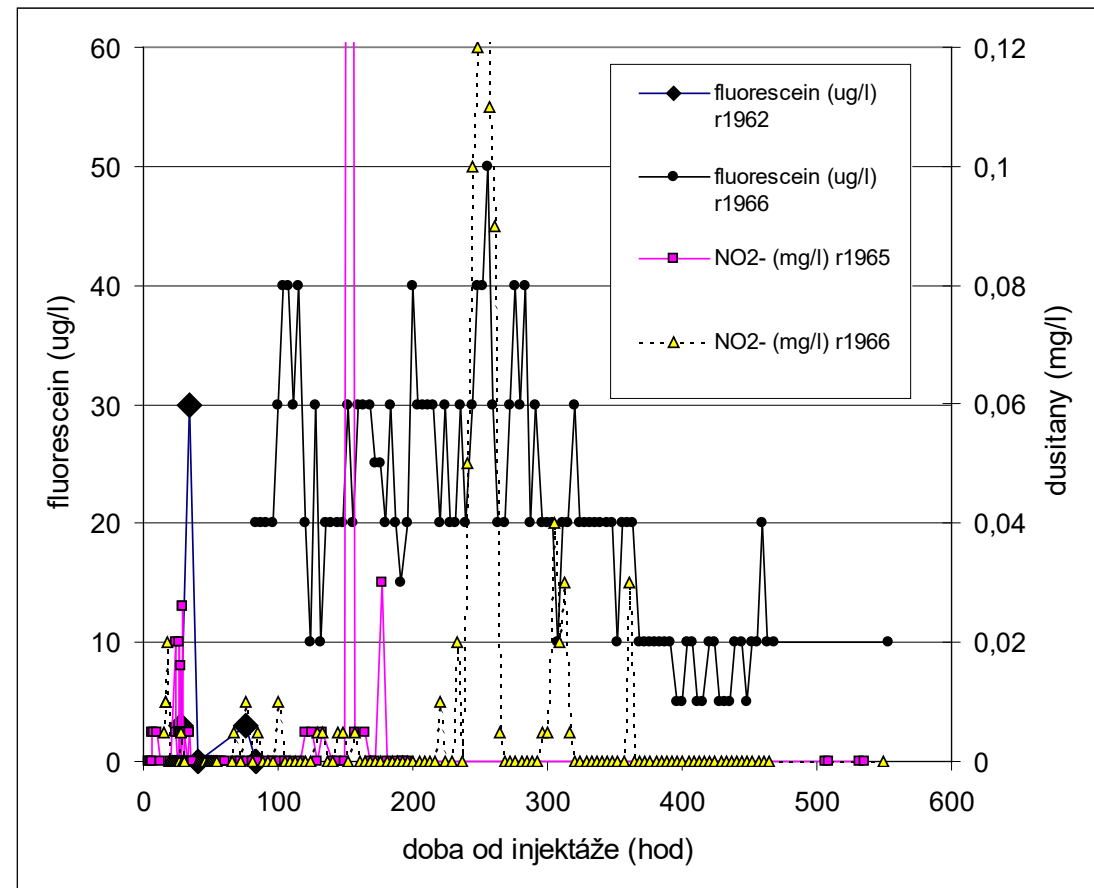
Bubovice

Haknovec



Chýnov

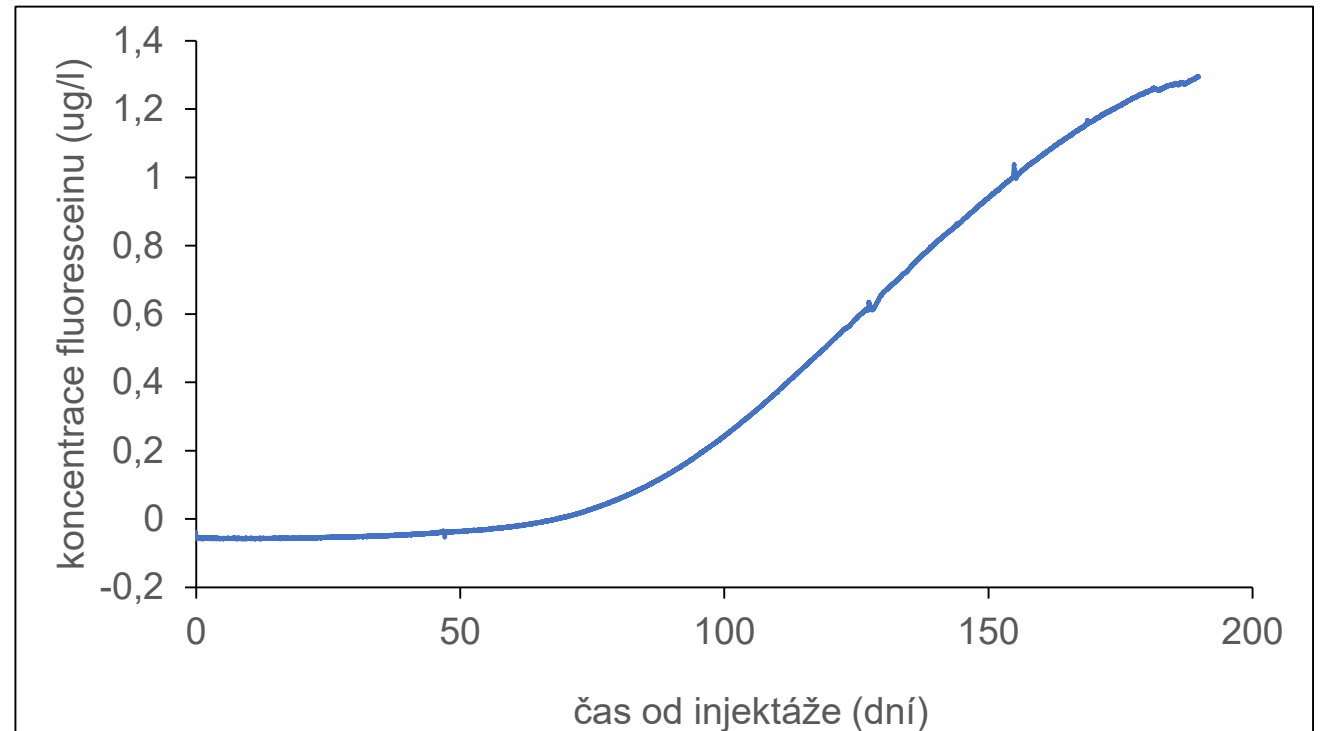
- 2 stopovací zkoušky v šedesátých letech (Skřivánek, 1962; Rybařík, 1967) s různými výsledky
- Ověření výsledků a popsání spojení podzemního toku s pramenem Rutice
- 4 injektáže
- Postupně zvyšováno množství o řád z 30 g - 3 kg
- V prameni Rutice automatický odběrák s krokem měření 6 hodin a terénní fluorimetr s krokem 15 minut
- Ruční odběry vzorků v prameni ve Velmovicích, ve vodovodu v Chýnově, ve vrtu u bývalého hostince Pod Pacovou horou a v potocích v širším okolí



Výsledky stopovacích zkoušek z Chýnovské jeskyně do Rutické vyvěračky (Skřivánek, 1964; Rybařík, 1967). Je zřejmé, že první stopovací zkouška v roce 1962 (Skřivánek, 1964) zachytila pouze první objevení stopovače. Výsledky dusitanů jsou zcela nevěrohodné (odlišné od fluoresceinu). Zdrojem dusitanů mohou být i odstřely jak uvádí sami autoři. Píky jsou navíc velmi úzké, což by znamenalo nereálně nízké hodnoty disperzivity

Výsledky - Chýnov

- První tři injektáže bez zaznamenání stopovače
- Po čtvrté pozvolný nárůst
- Extrémní ředění a dlouhé doby zdržení
- Zkouška stále probíhá



Průniková křivka z terénního fluorimetru z pramene Rutice

Závěr

- Stopovací zkoušky – účinný nástroj pro studium proudění vody v krasu (i jiných prostředí)
- Na-fluorescein vhodný stopovač
- Stopovací zkoušky fluoresceinem do vodárenských objektů mohou být prováděny **bez nutnosti přerušování provozu**, neboť koncentrace stopovače ve vodě lze udržet na úrovni **pod 1 ug/l**.

Fluorescein je rozložen chlorací/ozonizací vody

- Voda z Bubovického potoka neproudí do vodárny, ale do údolí Loděnice
- Celková návratnost cca 15 %, maximální rychlost 87 m/hod
- V Chýnově jiný průběh než zkoušky z 60. let

Poděkování

- Vám za pozornost
- Všem, kteří přispěli k těmto stopovacím zkouškám. Za pomoc s přípravou a povolením zkoušky Ondrovi Jägerovi, RNDr. Peterovi Malíkovi CSc., RNDr. K. Žákovi CSc., RNDr. F. Pojerovi a kolegům z SCHKO, J. Gregovské z KHS a Ing. P. Paškové. Za pomoc s odběrem vzorků a dalšími pracemi děkujeme T. Herzovi, F. Vycpálkovi, M. Kolčavovi, Z. Menglerovi, M. Šedivému, A. Buchtové, E. Šedivé, A. Ševčíkové, I. Pierce, E. Janouškovi, p. Červenkovi a dalším. J. Kukačkovi, I. Zárubovi patří poděkování za zkonstruování automatického odběráku vzorků a Františku Krejčovi za organizaci a odběr vzorků z Chýnova a okolí.

