

NOVÉ STOPOVACÍ ZKOUŠKY V MORAVSKÉM KRASU II: PODZEMNÍ PUNKVA V OKOLÍ MACOCHY

New tracer tests in the Moravian karst II: The Punkva underground river in the surrounding of the Macocha Chasm.

Martin Knížek¹, Jiří Kamas², Jiří Bruthans³

¹ Ústav geologických věd, PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno; e-mail: kniza@mail.muni.cz

² Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, PřF UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2

³ Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky, PřF UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2

(24-23 Protivanov)

Key words: Moravian Karst, Punkevní Caves, Amatérská Cave, tracer tests, karst hydrogeology

Abstract

Two tracer tests with uranine dye were performed on underground segment of the Punkva River (Punkevní and Amatérská Caves, Moravian Karst). Results demonstrated large volume of submerged part of karst conduits in surroundings of the Macocha Chasm. These results and other observations correspond well with expectations of very slow tracer movement in large sump (mean cross section area about 30 m²) during low water stage.

Úvod

Podle publikovaných zpráv prováděli v minulosti stopovací zkoušky kvalitativní metodikou v zájmové oblasti Ryšavý (1962), Slezák (1966), Píše – Vlček – Vodička (1968) a Kožnárek (1985). Tyto práce však sledovaly delší úseky především z ponorů na přítocích Punkvy. V rámci širšího projektu stopovacích zkoušek (viz Knížek 2006) byly provedeny dvě stopovací zkoušky kvantitativní metodikou na podzemní Punkvě.

Ve dnech 16.–22. 12. 2005 proběhla první zkouška na aktivním toku Punkvy okolo Macochy. Druhá zkouška byla provedena v návaznosti na předchozí ve dnech 8.–20. 2. 2006 na bočním kanálu v Amatérské jeskyni.

Zkoušky měly přinést informace o charakteru proudění vody a krasových kanálů ve vývěrové oblasti Punkvy a bočních kanálů v Amatérské jeskyni.

Metodika

Na stopovací zkoušky byl použit stopovač Na-fluorescein (uranin). Vzorkování bylo prováděno automatickým odběrovým přístrojem sestaveným O. Zemanem na Ústavu hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky PřF UK. Průtoky byly měřeny chemickou integrační metodou (Zeman 1999, Knížek et al. 2006). Vzorky vody byly analyzovány na obsah uraninu na fluorimetru Perkin-Elmer 203 (metodika viz Zeman – Bruthans 2002). Časy injektáží, množství stopovače a průtoky na sledovaných profilech uvádí tab. 1. Stopovací zkoušky byly prováděny podle Fieldovy (2002) metodiky kvantitativních stopovacích zkoušek. Průnikové křivky stopovače byly analyzovány programem Qtracer2 (Field 2002). Hodnoty opravené vzdálenosti bodů injektáže a vzorkování jsou 1,5 násobkem přímé vzdálenosti.

Jedná se o zjednodušenou hodnotu, která vyplývá ze statistického zhodnocení skutečných délek. Ty se obvykle pohybují v rozmezí 1,3–1,7 násobku přímé vzdálenosti (Field 2002). Podrobněji metodiku popisujeme v první zprávě o prováděných zkouškách v loňském ročníku (Knížek et al. 2006). Obě stopovací zkoušky proběhly za standardního stavu Punkvy, jehož průtoky odpovídají mediánu průtoků z let 1970–1975.

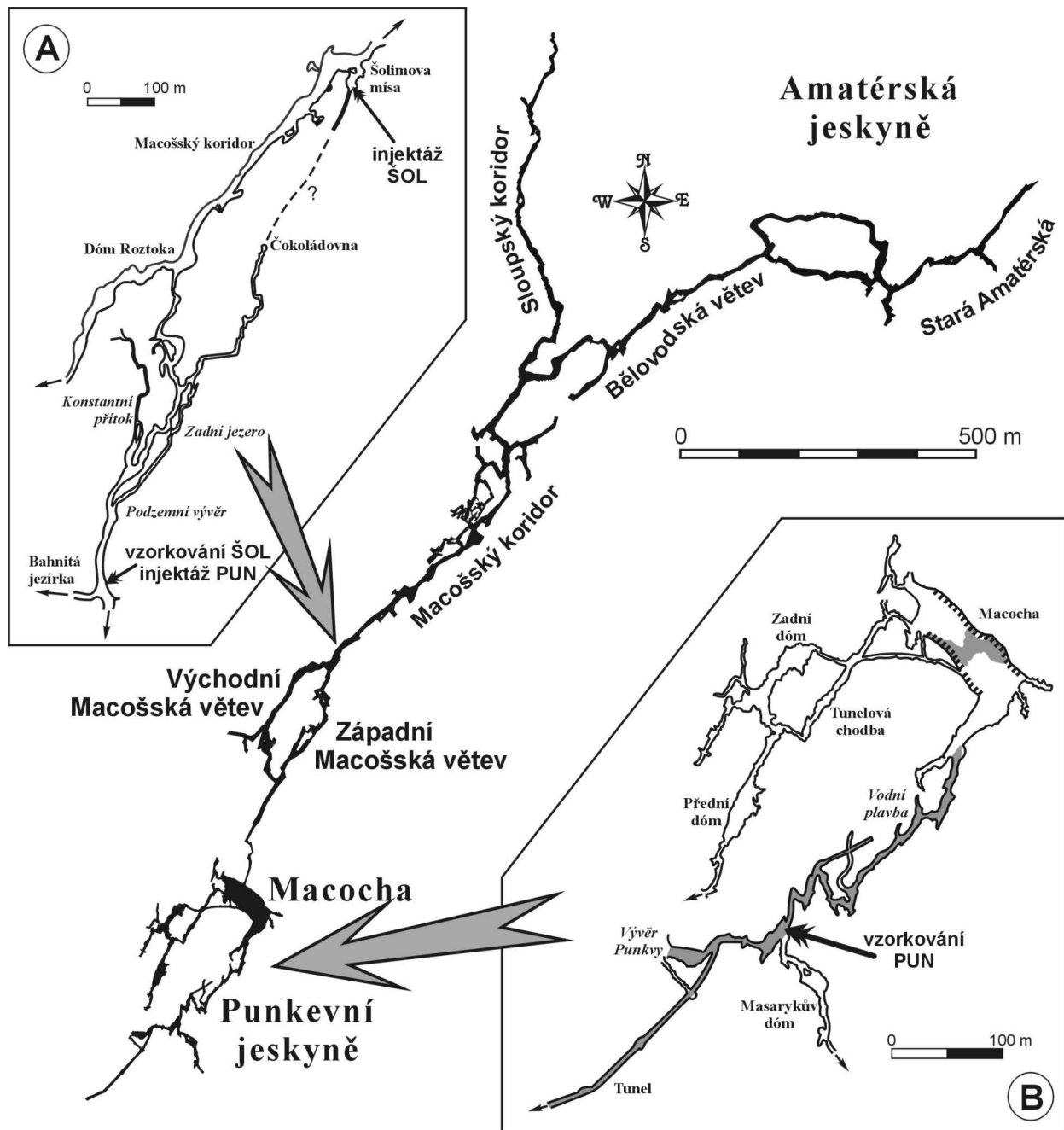
Průběh a diskuze výsledků stopovacích zkoušek

Amatérská jeskyně – Podzemní vývěr – Punkevní jeskyně – Vodní plavba (PUN)

Stopovací zkouška proběhla za chladného počasí s teplotami pod 0°C po mírně teplejších dnech. Srážky představovaly sněhové přehánky, občas smíšené, a během celé zkoušky napadlo cca 30 cm sněhu bez výraznějšího tání. Vodní stavy byly po celou dobu zkoušky vyrovnané.

Stopovač byl injektován do toku Punkvy u ústí chodby k Bahnitým jezírkům ve Východní macošské větvi Amatérské jeskyně. Automatický odběrový přístroj byl umístěn na přístavišti u Masarykova domu v Punkevních jeskyních (viz obr. 1A a 1B). Vzorkování zpočátku probíhalo v intervalu dvě hodiny po 3 dny, poté byl interval zvýšen na 4 hodiny a postupně prodlužován. Vzorkování bylo ukončeno 22. 12. 2005.

Průtoky byly měřeny v místě injektáže a na říčce Punkvě pod Malým výtokem proti jeskyni Štajgrovka (viz tab. 1). Do výpočtů však byly dosazovány hodnoty opravené o přítok z Malého výtoku adekvátní aktuálním vodním stavům Punkvy (podle dlouhodobých měření je možné za průměrných vodních stavů odhadovat intenzitu přítoku Malého výtoku).



Obr. 1: Schematický přehled provedených stopovacích zkoušek na podzemní Punkvě (mapové podklady upraveny podle Sirotky in Motyčka et al. 2000, Sirotky in Mokřý 2002 a Zajíčka ed. 2000): A – zjednodušená mapa úseku Šolimova mísa – podzemní vývěr Punkvy s vyznačením míst inžektáží a vzorkování, B – zjednodušená mapa Punkevních jeskyní s vyznačením místa vzorkování.
 Fig. 1: Schematic maps of the tracer tests in the Punkva river: A – Situation tracer tests of the section Amaterská cave, B – Map of the Punkva caves with marked of monitored site.

Hodnoty získaných parametrů uvádí tab. 1 a průnikovou křivku představuje obr. 2.

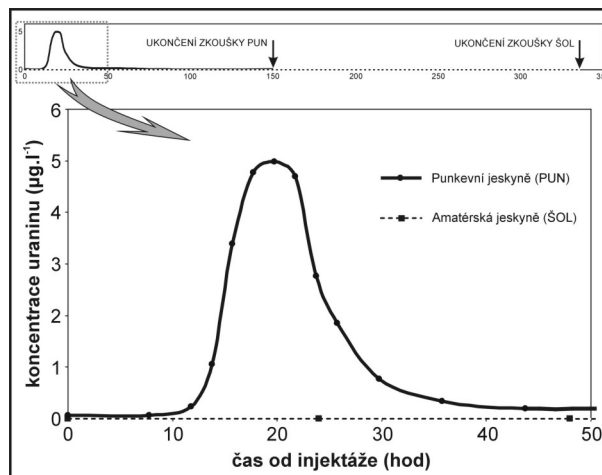
Ze stopovací zkoušky vychází předpokládané velké objemy zatopených prostor – objem 35 tis. m³ s průměrným omočeným profilem téměř 30 m². Rychlost proudění v těchto velkých sifonových partiích je poměrně nízká. Je výrazně pomalejší oproti údajům ze starších zkoušek: zjištěná rychlost proudění 1,4 cm.s⁻¹ (maximální pro první příchod stopovače 3,6 cm.s⁻¹) a podle starších prací: jeskyně ¹³C – Jalový vývěr je max. rychlost proudění téměř 8 cm.s⁻¹ (Kožnárek 1985) či ponor Bílé vody – Jalové koryto 5 cm.s⁻¹

(Slezák 1966). Je tedy zřejmé, že při běžných vodních stavech je pohyb Punkvy a jejích zdrojnic v Amaterské jeskyni mírně rychlejší než v její vývěrové části, která celkové doby zdržení zvyšuje. Je ale nutné si uvědomit, že rychlost výrazně narůstá za velkých povodní, kdy tudy protéká až 46 m³.s⁻¹ (max. průtok viz Dostál in Musil (ed.) 1993). Za těchto vodních stavů může rychlost přesahovat 1 m.s⁻¹. Je známo, že při existenci několika cest s podobnou dobou zdržení dojde ke sloučení několika vrcholů koncentrací stopovače do jediného. Proto jeden široký vrchol koncentrace stopovače může za určitých podmínek představovat přítomnost paralelních kanálů.

Amatérská jeskyně: Šolímova mísa – Podzemní vývěr Punkvy (ŠOL)

V průběhu stopovací zkoušky bylo proměnlivé počasí s teplotami okolo 0°C. Sněhová pokrývka mírně odtávala a současně byla dotována novými sněhovými srážkami, někdy smíšenými. Vodní stavy byly vyrovnané, k výraznějšímu zvýšení průtoku došlo až v den ukončení zkoušky.

Injektáž stopovače byla provedena do přítoku Šolimovy mísy pod vstupním žebřem. Průtok tohoto přítoku měl 2–5 l.s⁻¹. Vzhledem k místní situaci nebylo možné průtok přesně měřit. Během prvních minut se stopovač začal šířit do jezera a po 20 min byl přítokový kanál opět zcela čistý. Vzorkování probíhalo pomocí automatického odběrového přístroje umístěného u ústí chodby k Bahnitým jezírkům pod podzemním vývěrem Punkvy (viz obr. 1A). Interval vzorkování byl zpočátku po 30ti min a po 9ti hodinách byl prodloužen na 45 min. Vzhledem k tomu, že se žádné stopy stopovače neobjevily na sledovaném profilu ani po 48 hod, byla 10. 2. provedena kontrola jezera Šolimovy mísy. Barvivo vytvořilo uprostřed v jezeře ohraňovaný mrak bez většího zředění. Interval vzorkování byl tedy zvýšen na 1,5 hod. Dne 12. 2. se stále žádné známky stopovače ve vzorcích neobjevily, ale intenzita zeleného zbarvení v Šolimově míse již výrazně klesla. Vzhledem k očekávanému tání a výraznému zvýšení vodních stavů byla zkouška dne 20. 2. předčasně ukončena a automatický odběrový přístroj byl demontován. Stopovač nebyl zjištěn v žádném z odebraných vzorků. Při dotaci 2–5 l.s⁻¹ severozápadním přítokem do jezera by vzhledem k jeho objemu a době konání zkoušky mělo dojít k výměně vody v jezeře. Tato situace dokazuje značnou dobu zdržení vod v Šolimově míse a návazných kanálech. Přítok do jezera za nízkých vodních stavů má 0,5–2 l.s⁻¹ (Balák 1993) a za povodňových stavů má až desítky vteřinových litrů (Zeman – Bruthans 2002 a další). Ačkoli se propojení vod Šolimovy mísy a Punkvy nepotvrdilo, lze podle chemismu, které prováděli Zeman a Bruthans (2002), předpokládat, že vody přitékající do Šolimovy mísy jsou velmi podobné



Obr. 2: Průniková křivka koncentrací uraninu na sledovaném profilu na vodní plavbě v Punkevních jeskyních s vyznačením průběhu stopovací zkoušky ze Šolimovy mísy.

Fig. 2: Breakthrough curves of uranine dye content sampled on the Punkevní caves with setting out of the tracer test from Šolímova mísa lake.

vodám Punkvy. Jde zřejmě o kanál, který se odděluje od Punkvy a pravděpodobně na ní opět níže navazuje. Tento kanál, který leží mimo hlavní tok Punkvy mě tedy velkou dobu zdržení.

Při vynásobení průtoku v Šolimově míse (2–5 l.s⁻¹) s dobou sledování (13 dní) je možné získat minimální objem úseku před připojením na hlavní kanál Punkvy (2 000–5 500 m³). V kombinaci s předchozími závěry Zemana a Bruthanse (2002) je zřejmé, že díky malému množství průtočné vody a objemu kanálu je doba zdržení v desítkách dnů. To nejen nad vlastním prostorem Šolimovy mísy, ale i pod ním. Jedná se zřejmě o starý rozměrný kanál dimenzovaný na větší průtoky, který odváděl vody Punkvy a dnes je od hlavního kanálu oddělen ucpávkou či přepadem. Podle objemu jezera Šolimovy mísy a daného průtoku by se voda v jezeře měla zcela obměnit za 8 dní.

Stopovací zkouška	PUN	ŠOL
Průtok v místě injektáže [l.s ⁻¹]	380	2–5
Průtok v místě sledování [l.s ⁻¹]	398	405
Stopovač	uranin	
Množství [g]	100	50
Čas injektáže	16. 12. 2005 15:15	8. 2. 2006 13:00
Opravená délka dráhy proudění [m]	1215	1050
Čas prvního příchodu stopovače [hod]	11,77	přesahuje 312
Čas maximální koncentrace [hod]	19,75	–
Střední doba zdržení [hod]	23,9	–
Střední rychlost proudění [m.hod ⁻¹]	50,8	–
Maximální rychlost proudění [m.hod ⁻¹]	103,4	pod 3,4
Podélná disperzivita [m]	27,1	–
Pecletovo číslo [–]	45	–
Objem kanálu [m ³]	34272	přes 2000–5500
Průměrný průtočný profil [m ²]	28,2	–
Návratnost stopovače [%]	82	0

Tab. 1: Parametry a výsledky stopovacích zkoušek (analyzováno programem Qtracer2): PUN – Amatérská j.–Punkevní j., ŠOL – Šolímova mísa–Podzemní vývěr Punkvy.

Tab. 1: Parameters and results of tracer tests on the Punkva River (calculated by means of Qtracer2).

Podle pozorování je však jasné, že proudění vody v jezeře není rovnoměrné a že voda proudí přednostně částí objemu jezera a při velkém ředění tak zůstává zbarvení stopovačem.

Závěr

Zkoušky provedené na podzemní Punkvě v oblasti Amatérské jeskyně a Punkevních jeskyních zpřesnily v okolí Macochy informace o značném objemu zatopených krasových kanálů ve velkých sifonových partiích. Souvislost Šolimovy mísy s aktivním tokem podzemní Punkvy v Amatérské jeskyni nebyla prokázána, ovšem potvrdila

se značná doba zdržení vod v kanálech a jezerech mimo aktivní tok Punkvy.

Poděkování

Děkujeme Ivanu Balákovi a Antonínu Tůmovi ze Správy CHKO Moravský kras, Hynku Pavelkovi a pracovníkům Správy Punkevních jeskyní za pomoc a umožnění provedení stopovacích zkoušek. Za další spolupráci děkujeme Tomáši Kuchovskému, Jiřímu Vaňkovi a skupinám České speleologické společnosti ZO 6-25 Pustý žleb, 6-19 Plánivý a 6-16 Tartaros.

Literatura

- Balák, I. (1993): Zpráva o barvení Suchdolského ponoru. – Speleofórum 1993, 12, 61–62. Brno.
- Field, M. (2002): The Qtracer2 program for Tracer Breakthrough Curve Analysis for Tracer Tests in Karstic Aquifers and Other hydrologic Systems. – U.S. Environmental protection agency hypertext multimedia publication in the Internet at <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recorddisplay.cfm?deid=54930>.
- Knížek, M. (2006): Charakter proudění vody a krasových kanálů na základě kvantitativních stopovacích zkoušek. – 1–89, MS, diplomová práce, PřF MU. Brno.
- Knížek, M. – Vojtěchovská, A. – Bruthans, J. – Vysoká, H. (2006): Nové stopovací zkoušky v Moravském krasu I: jeskynní systém Rudické propadání – Býčí skála. – Geol. Výzk. Mor. Slez. v r. 2005, 13, 122–126. Brno.
- Kožnárek, Z. (1985): Příklad použití radionuklidů v povodí Punkvy v roce 1978. – Region. Sbor. okresu Blansko, 1985, 98–100. Blansko.
- Mokrý, T. – Sirotek, J. (2002): Nové objevy na podzemní Punkvě. – Speleofórum 2002, 21, 30–32. Praha.
- Motyčka, Z. – Polák, P. – Sirotek, J. – Vít, J. (Eds.) (2000): Amatérská jeskyně. – 1–232, Česká speleologická společnost. Praha.
- Musil, R. (Ed.) (1993): Moravský kras – labyrinty poznání. – 1–336, GEOprogram. Adamov.
- Píše, J. – Vlček, V. – Vodička, J. (1968): Některé výsledky hydrologických výzkumů v Moravském krasu. – Čs. kras, 19, 41–58. Praha.
- Ryšavý, P. (1962): Výsledky barvicích experimentů v severní části Moravského krasu. – Kras v Českoslov., 1–2/1962, 1–2. Brno.
- Zajíček, P. (Ed.) (2000): Punkevní jeskyně. – 1–2, AOPK ČR – Správa jeskyní Moravského krasu, propagační materiál. Blansko.
- Zeman, O. (1999): Hydrogeologie jižní a východní části Českého krasu. – 1–123, MS, diplomová práce, PřF UK. Praha.
- Zeman, O. – Bruthans, J. (2002): Příspěvek k hydrologii Amatérské jeskyně a k otázce vzniku labyrintů jeskyní. – Speleofórum 2002, 21, 28–30. Praha.