STOPOVACÍ ZKOUŠKY V KRASU SKUPINY BRANNÉ V RYCHLEBSKÝCH HORÁCH

Tracer tests in Branná Group in Rychleby Mts.

Ondřej Zeman[1], Jiří Bruthans[2], Anna Vojtěchovská[2]

[1] Geologický ústav AV ČR, Rozvojová 135, 165 02 Praha 6 – Lysolaje

[2] Přírodovědecká fakulta UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2

(14-22 Jeseník)

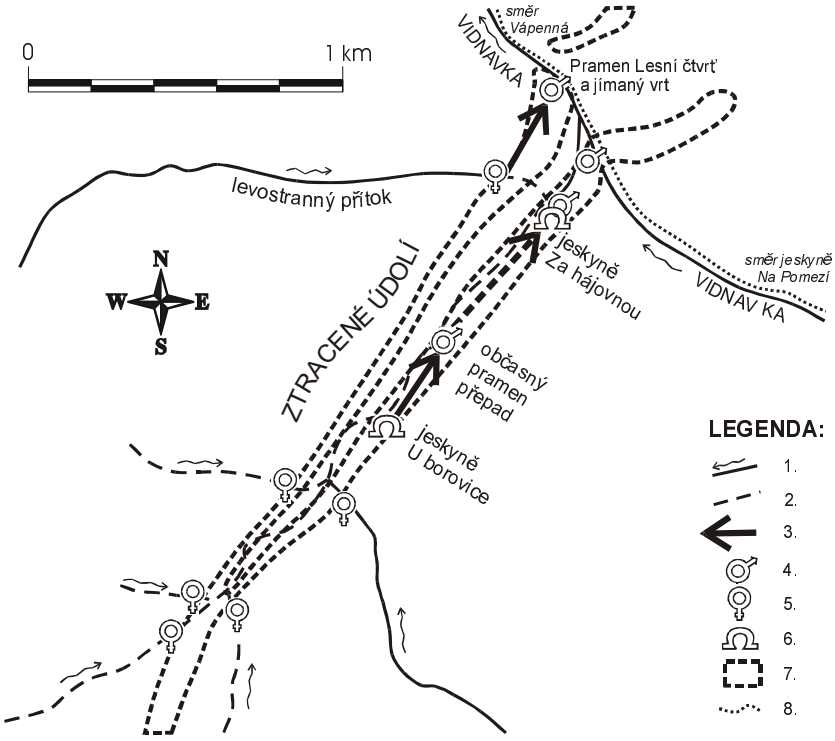
Key words: Branná Group, Rychleby Mts., tracer test, karst hydrology

Abstract

Several karst springs in Branná Group between Branná and Vápenná municipalities are used as important water supplies. Nevertheless, there are only few hydrogeology studies in the area. Three quantitative tracer tests were performed in karst occurrences. Velocity of flow, volume of karst conduits, Peclet numbers, recovery and other parameters were computed by means of Qtracer2 program.

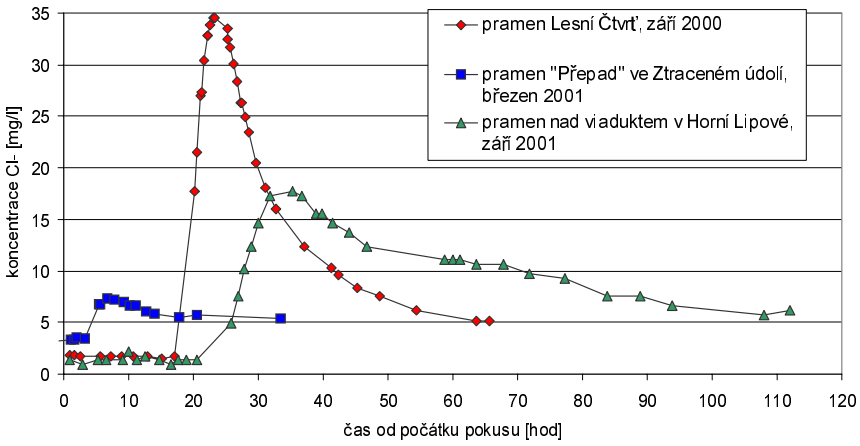
Úvod

V rámci projektu FRVŠ 2066/2001 a disertační práce O. Zemana byla v letech 1999 – 2002 zkoumána hydrogeologická funkce karbonátových pruhů skupiny Branné mezi obcemi Vápenná a Branná a provedeny tři nové úspěšné stopovací zkoušky. Karbonáty jsou zde zastoupeny nesouvislými pruhy metamorfovaných vápenců a erlánů, zavrásněnými v okolních krystalinických horninách. Jsou protaženy ve směru JJZ –SSV. Šířka pruhů činí pouhé desítky, výjimečně první stovky metrů, celková délka nesouvislých výskytů však přesahuje 40 km. Karbonáty jsou zkrasovělé, což dokládá existence řady jeskyní, ponorů, velkých pramenů, závrtů pod Ramzovským sedlem či u Horní Lipové a ve Ztraceném údolí. Některé z velkých pramenů vázaných na karbonáty jsou využívány jako zdroje pitné vody. Především tzv. „Maďarské prameny" u jeskyní Na Pomezí s vydatností okolo 45 až 70 l.s^{-1} (Panoš 1962) zásobující město Jeseník a pramen Štola ve Vápenné s dlouhodobě sledovanou vydatností kolísající mezi 17 a 223 l.s^{-1} (Český hydrometeorologický ústav – dále jen ČHMÚ), který donedávna zásoboval místní skupinový vodovod. Nově využívaný je pramen Lesní Čtvrť, při ústí Ztraceného údolí (obr. 1), s vydatností 0 až 150 l.s^{-1} (ČHMÚ). Nevyužívaným velkým pramenem je vývěr v Branné s celkovou vydatností 65 l.s^{-1}, jehož jedna větev je dlouhodobě sledována ČHMÚ a pramen nad viaduktem v Horní Lipové (15 až 200 l.s^{-1}).



Obr. 1 – Ztracené údolí východně od Vápenné a provedené stopovací zkoušky. Ztracené údolí. Legenda: 1 – povrchový tok a jeho směr, 2 – občasný tok, 3 – stopovací zkouška, 4 – pramen, 5 – nesoustředěný ponor, 6 – jeskyně, 7 – karbonáty, 8 – státní silnice.

Fig. – 1 Valley near Vápenná and tracer tests performed in the area. Legend: 1 - perennial superficial streams, 2 – intermittent superficial streams, 3 – direction of ground water flow, 4 – spring, 5 – influent part of streams, 6 – cave, 7 – carbonate rocks, 8 – main road.



Obr. 2 – Průnikové křivky tří stopovacích zkoušek.
Fig. 2 – Break-throgh curves of three tracer tests.

Sledování pohybu podzemních vod zde již dříve prováděl Panoš (1962), který uskutečnil čtyři stopovací zkoušky v oblasti Vápenné, v okolí jeskyní Na Pomezí a jeskyní Na Špičáku. Zbytek oblasti je velmi málo prozkoumán. Před zahájením projektu byla provedena zimní termometrie některých toků, při níž byla lokalizována řada velkých krasových ponorů a pramenů, které dosud unikly hydrogeologickému mapování.

Aplikované metody a dosažené výsledky

V oblasti byly provedeny tři stopovací zkoušky koncipované jako kvantitativní – tzn. byly měřeny průtoky v místě ponoru i vývěru a dostatečně často odebírány vzorky pro stanovení koncentrace, což umožnilo získat průnikové křivky stopovače (obr. 2). Na jejich základě lze získat informace o proudění podzemní vody a charakteru krasové pórorzity. Průnikové křivky byly vyhodnoceny programem Qtracer2 podle metodiky Fielda (2002). Souhrnný přehled nejdůležitějších výsledků platných pro zkoumané krasové kanály podává tabulka1. Koncentrace chloridů byla určena argentometrickou titrací.

Jelikož k vymývání posledních zbytků stopovače z horninového prostředí dochází po delší dobu, než je z časových a ekonomických důvodů možné sledovat, byly konce průnikových křivek, kdy již byla koncentrace stopovače nízká a málo proměnlivá, extrapolovány použitým programem.

Přímková vzdálenost „x“ bodů injektáže a odběru je v krasovém prostředí nerealistická a upravuje se vynásobením koeficientem 1,5 na opravenou vzdálenost „x_s“, která je obvykle bližší skutečné délce krasového kanálu (Field 2002).

Střední rychlost proudění kanálem je získána z opravené vzdálenosti a střední doby zdržení stopovače. Maximální rychlost proudění je z doby prvního objevení stopovače ve vývěru.

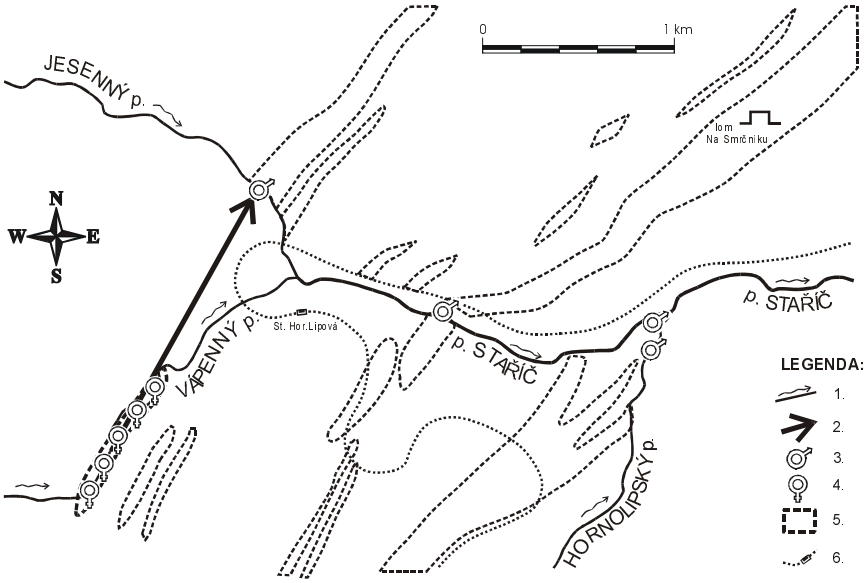
Objem krasového kanálu mezi místem injektáže a sledování odpovídá zatopené části kanálu zasažené prouděním podzemní vody. Může být určen na základě času průniku stopovače a známého průtoku. Vypočtený objem se může lišit podle toho, zda v průběhu krasového kanálu převládá průtok obdobný jako v místě ponoru, či jako v místě vývěru, nebo může být i zcela odlišný.

Průměrná plocha průtočného profilu je stanovena na základě opravené vzdálenosti a objemu krasového kanálu. Dává dobrou představu o rozměru právě zatopených částí krasových kanálů.

Pecletovo číslo „P_e“ je míra relativního příspěvku hydrodynamické disperze a difuze na transport rozpuštěné látky ve srovnání s transportem v rámci advekce. Pecletovo číslo lze získat výpočtem na základě znalosti koeficientu disperzivity ($P_e < 0,4$ indikuje převládání difuze a disperze; $P_e = 0,4 – 6,0$ přechod difuze a advekce; při $P_e > 6,0$ převládá advekce při transportu stopovače). Ve většině případů transportu rozpuštěných látek v krasu je Pecletovo číslo vetší než 6,0, a to obvykle velmi výrazně (P_e až 1000).

Množství zachyceného stopovače je součtem zachycených množství na všech sledovaných objektech. Pokud vydělíme celkové zachycené množství stopovače množstvím, které bylo injektováno do systému, získáme návratnost stopovače (recovery). V ideálním případě dosahuje návratnost 100%, tj. byl zachycen veškerý stopovač. V reálných případech bývá tato hodnota nižší. Nízké množství zachyceného stopovače obvykle znamená odtok stopovače mimo sledovaný profil nebo sorpci stopovače v krasovém kanálu. V případě níže uvedených stopovacích zkoušek je sorpce nepravděpodobná vzhledem ke konzervativnímu chování použitých Cl^- iontů.

První zkouška proběhla již v září 2000 v ústí údolí Lesní Čtvrti u Vápenné (obr. 1). Ukázalo se, že vody ponořující se z posledního levostranného přítoku se po 20 hodinách objevují v prameni Lesní Čtvrť. Padesát metrů pod pramenem je přitom situován vrt, který slouží jako nový zdroj pro skupinový vodovod obcí Vápenná a Žulová. Výsledky zkoušky jsou tak důležitým podkladem pro citlivější stanovení ochranných pásem vodního zdroje, které jsou dnes situovány pouze v bezprostředním okolí jímacího objektu. Vzhledem ke snadné zranitelnosti tohoto vodního zdroje může být významným parametrem také nově zjištěný koeficient difuzivity (0,3 $m^2.s^{-1}$), který lze uplatnit při odhadu šíření případného znečištění. Nízké množství zachyceného stopovače (9 %) je způsoben tím, že za suchého období odtéká naprostá většina vody pramene výplní údolního



Obr. 3 – Údolí Vápenného a Jesenného potoka u obce Horní Lipová. Legenda: 1 – povrchový tok, 2 – stopovací zkouška, 3 – pramen, 4 – nesoustředěný ponor, 5 – karbonáty, 6 – železniční trať.
Fig. 3 – Valley of Vápenný and Jesenný brook near Horní Lipová municipality. Legend: 1 – perennial superficial streams, 2 – direction of ground water flow, 3 – spring, 4 – influent part of streams, 5 – carbonate rocks, 6 – railway.

dna přímo do říčky Vidnavky. Díky velkému zředění stopovače v říční vodě nebylo možné stanovit množství vody pramene odtékající skrytě přímo do toku. V prameni Za hájovnou ani v dalších objektech v okolí stopovač zjištěn nebyl.

Druhá stopovací zkouška v Lesní Čtvrti (obr. 1) byla provedena na přelomu března a dubna 2001 za výrazně zvýšeného vodního stavu. Stopovač byl injektován do podzemního toku protékajícího jeskyní U borovice. Již po 3 hodinách se stopovač objevil v občasném prameni asi 350 m od místa injektáže. Skutečnost, že se v bezprostředním okolí tohoto vývěru nachází dva další prameny, do kterých stopovač nedorazil, ukazuje na přítomnost velmi komplikovaného systému vzájemně nesouvisejících krasových kanálů. Velké zředění stopovače bohužel znemožnilo sledovat jeho přítomnost i v dalších objektech a zjistit, jestli vody z této oblasti směřují pouze do vývěru Za hájovnou, nebo zdali je možné proudění i směrem k jímacímu objektu, jako tomu bylo v předchozím případě.

místo injektáže	ponor přítoku nad Hájovnou	jeskyně U borovice	Vápenný potok ponor
místo sledování	pramen Lesní Čtvrť	vývěr přepad	pramen nad viaduktem
datum a čas injektáže od / do	27.9.2000 13:55 až 14:20	30.3.2001 23:30 až 23:59	4.9.2001 18:45 až 21:35
období sledování od / do	26/09/00 17:25 02/10/00 17:30	30/03/01 22:43 01/04/01 09:00	04/09/01 21:03 09/09/01 12:10
data extrapolována programem Qtracer2 do	04/10/00 09:24	13/04/01 19:55	28/09/01 09:16
použitý stopovač	NaCl	NaCl	NaCl
hydrologické podmínky v době stopovací zkoušky	suché období	tání sněhu	průměrný stav
průtok v místě injektáže [l/s]	1.5	min 10	20
průtok v místě vývěru [l/s]	0.9	15	48
přímá vzdálenost [m]	300	350	1,500
opravená vzdálenost [m]	450	525	2,250
čas prvního objevení stopovače [hod]	17.1	3.4	22.7
čas maximální koncentrace stopovače [hod]	23.6	6.7	36.3
čas těžiště (střední doba zdržení stopovače) [hod]	35.4	26	71
střední rychlost proudění [m/hod]	12.8	20.3	31.8
maximální rychlost proudění [m/hod]	22.4	253.6	82.6
objem kanálů [m3]	120 až 1000	950 až 1400	5200 až 12500
průměrná plocha průtočného profilu kanálu [m2]	0,3 až 3	1,8 až 2,7	2,3 až 5,6
disperzní koeficient [m2/s]	0.15	0,26 *	0.3
longitudální disperzivita [m]	4.2	46,9 *	30.6
pecletovo číslo [1]	105	11	74
převládající proces transportu stopovače	advekce	advekce	advekce
množství zachyceného stopovače (recovery) [%]	9	39	52

Tab. 1 – Výsledky stopovacích zkoušek. U první stopovací zkoušky bylo při výpočtu objemu krasového kanálu a plochy omočeného profilu uvažována voda tekoucí skrytě do Vidnavky. (* hodnoty pravděpodobně nadhodnoceny).
Tab. 1 – Result of tracer tests.

Třetí stopovací zkouška se uskutečnila ve Vápenném údolí nad obcí Horní Lipová v září 2001. Stopovač byl injektován do povrchového toku pozvolna se ztrácejícího v povrchovém řečišti. Stopovač byl zachycen v prameni nad viaduktem u Jesenného potoka v Horní Lipové (obr. 3). Část vody pramene vtéká přímo do povrchového toku. Poměrně nízký výnos stopovače je zapříčiněn buď zachycením části stopovače v sedimentech vyplňujících koryto Vápenného potoka před ponory, nebo v jeskyních prostorách, je ale také možné, že část vody proudí dále k sv. do údolí Lesní Čtvrť.

Stopovací zkoušky a další práce provedené na pruzích krystalických karbonátů mezi Horní Lipovou a Vápennou ukázaly, že kvalita vody některých vydatných jímaných pramenů může být ohrožena znečištěním ponorů.

Závěr

Výsledky provedených stopovacích zkoušek jsou velmi důležitým podkladem pro rozšíření ochranných pásem příslušného vodního zdroje o okolí ponorů z kterých voda odtéká do jímaného objektu. V budoucnu bude vhodné provést regionální stopovací experiment z ponorů v oblasti Ramzovského sedla. Je možné, že právě v této oblasti se infiltrují vody, které pak vyvěrají ve vydatném Maďarském prameni, který zásobuje pitnou vodou město Jeseník. Překvapením jsou velké rozměry omočených profilů krasových kanálů a nízká Pecletova čísla, získané ze stopovacích zkoušek (tab. 1). Krasové kanály jsou zřejmě ze značné části vyplněny sutí a sedimenty, takže dochází k velkému rozptylu stopovače.

Poděkování

Stopovací zkoušky byla provedeny v rámci grantového projektu Fondu rozvoje vysokých škol 2001/2066. Práce byly podpořeny z výzkumného záměru MSM 1131 00006. Autoři děkují Daliboru Janákovi, Petrovi Kubalákovi, Petrovi Jeřábkovi a Michalovi Filippimu za poskytnutí zázemí v oblasti, pomoc při terénních pracích a za zajištění ubytování.

Literatura:

Panoš, V. (1962): Krasová hydrografie malých vápencových oblastí na severní Moravě a ve Slezku. – Československý kras 13: 67 – 87. Academia. Praha.

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/recordisplay.cfm?deid=54930