

H – HYDROGEOLOGIE

Proudění podzemní vody ve východní a severovýchodní části české křídové pánve (^3H , ^{14}C a SF_6 stopovače, obsahy dusičnanů): doba zdržení a otázky efektivního monitoringu kontaminace

Groundwater flow in E and NE part of Bohemian Cretaceous Basin (^3H , ^{14}C and SF_6 tracers, nitrate content): mean residence time and question of effective contamination monitoring

ZDEŇKA CHURÁČKOVÁ¹ – JIŘÍ BRUTHANS¹ – VLADIMÍR LACHMAN^{1,2} – VOJTĚCH MUSIL² – RENÁTA KADLECOVÁ³

¹ Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha 2; churacko@natur.cuni.cz, bruthans@natur.cuni.cz

² DEKONTA a.s., Volutová 2523, 158 00 Praha 5

³ Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1

Key words: tritium, ^{14}C , SF_6 tracers, nitrates, well, mean residence time, Bohemian Cretaceous Basin

Abstract: Tritium activity, nitrate content and in 17 cases SF_6 was measured in samples of 22 springs and 46 wells in limy sandstones and spiculitic marlstone aquifers in E and NE part of Bohemian Cretaceous Basin. Based on the study, aquifer could be split into two parts: A) Flow zones with mean residence time in decades, having high nitrate content and sometimes carrying trace amounts of organic pollutants. Water from these zones was sampled in springs and intensively pumped wells. B) Stagnant zones with negligible flow rates, residence time in centuries or millennia, have nitrate content often below detection limit due to denitrification. Most of the monitoring wells are situated at the B type of the environment. Previously published water residence times based on radiocarbon dating (up to 11.5 kyr BP) are concerning the B type of the environment and are possibly biased too old (real mean residence time of water may be much lower than apparent radiocarbon age).

Ve východní a severovýchodní části české křídové pánve se vyskytují kolektory tvořené vápnatými pískovci a spikulitovými slínovci se značnými zdroji podzemních vod, které se využívají např. pro zásobování Brna a Hradce Králové pitnou vodou. V řadě jímaných vodních zdrojů se vyskytují vysoké koncentrace dusičnanů (až 49 mg/l – tab. 1), do některých vodních zdrojů pak proniklo stopové množství chlorovaných uhlovodíků (JÚ Litá; Bruthans et al. 2008). To je v ostrém kontrastu s předpokládanou dobou zdržení podzemní vody na základě radiouhlíkového datování (vypočteno podle 85% počáteční aktivity ^{14}C), která ve zmíněných kolektorech má dosahovat 3–11 tisíc let (Herčík et al. 1999, str. 104, příloha 6 a 7).

Charakter pórozity (propustných zón) kolektorů je velmi obtížně studovatelný. V zásadě existují dva názory: zatímco některé práce uvádějí krasovou propustnost (Hynie 1961, str. 388; Panoš 1965), jiné práce vysvětlují vysokou propustnost prostředí kolektorů sítí otevřených trhlin v důsledku tektonického poškození silicifikovaných pískovců a slínovců (Herčík et al. 1999).

Cílem této práce je popsat dobu zdržení v studovaných

kolektorech a vytvořit model charakteru pórozity na základě získaných dat. Pomocí stopovačů je studována doba setrvání vody od infiltrace po vzorkování v daném objektu. Ta často bývá i řádově delší než rychlost šíření hydraulické odezvy (např. reakce hladin vrtů či průtoku pramenů na srážkové události).

Metodika

Na rozdíl od starších prací (Herčík et al. 1999, Bruthans – Kadlecová 2005) bylo datování podzemních vod zaměřeno na dva druhy objektů:

1. Objekty, které drénují kolektor: prameny včetně jímaných (soustředěné prameny drénují převážnou část vody ze studovaných kolektorů) a také dlouhodobě intenzivně jímané vrty, zejména ty situované do oblastí bývalých pramenů či zón odvodnění kolektoru. Datováním těchto objektů lze získat střední dobu zdržení aktivně proudící vody v kolektoru.

2. Vrty nečerpané nebo využívané pouze občasně či s tak nízkou intenzitou čerpání, že do vrtu se stahuje voda jenom ze vzdálenosti desítek metrů. Datováním těchto objektů lze získat střední dobu zdržení vody v okolí vrtu. Voda v okolí vrtu nemusí být součástí aktivního proudění a může tak vykazovat značnou dobu zdržení, která však nemusí odpovídat době zdržení aktivně proudící vody v kolektoru.

Každý vzorkovaný vrt byl před vzorkováním pokud možno čerpán tak, aby došlo k odčerpání nejméně tří objemů vrtu.

Aktivita tritia byla měřena po elektrolytickém obohacení na kapalínovém scintilačním spektrometru Tri Carb 3170 na PřF UK, obsah SF_6 byl měřen pomocí plynové chromatografie (GC–ECD Spurenstoff laborator, Německo). Obsah dusičnanů byl měřen pomocí HPLC v Laboratořích geologických ústavů na PřF UK. Pro modelování střední doby zdržení pomocí tritia a SF_6 byl použit program FLOW PC (Maloszewski – Zuber 1996; detaily viz Bruthans 2006 a Bruthans et al. 2008).

Tabulka 1. Aktivita tritia a obsah dusičnanů měřený ve studovaných pramenech

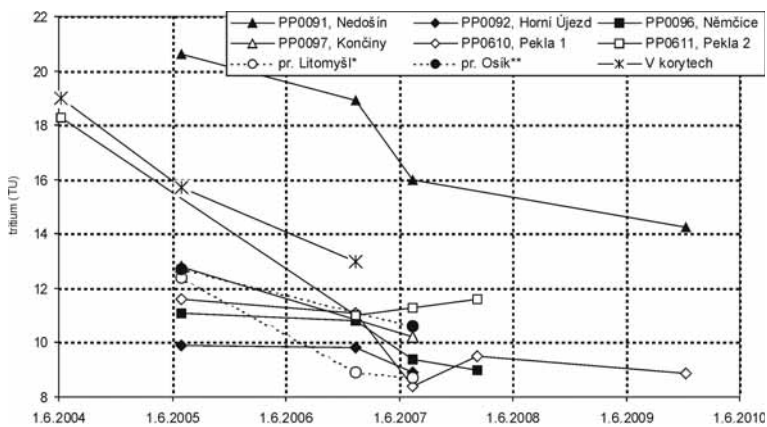
rajon	kolektor	pramen	NO ₃ (mg.l ⁻¹) 15.7.2007	tritium (TU) 15.7.2007	tritium (TU) 8.2.2008
U	Tstř	Hladové pr.	32	9,4 ± 0,2	9,1 ± 0,2
U	Tstř	PB0305, Radiměř	26	8,8 ± 0,2	
U	Tsp	PB0307, Sulkův pr.	27	7,0 ± 0,1	7,4 ± 0,1
U	Tsp, C	PB0308, Nádražní pr.	30	8,1 ± 0,1	8,3 ± 0,2
U	Tsp, C	PB0309, Nádražní pr.			8,0 ± 0,1
U	Tsp	PB0315, Rozhraní	25	6,1 ± 0,1	
U	Tstř	Petrovy pr., přepad	49	9,9 ± 0,2	9,5 ± 0,2
V	Tsv	PP0055, Žďár nad Orlicí	6	6,6 ± 0,1	
V	Tstř	PP0091, Nedošín	81	16,0 ± 0,6	
V	Tsp	PP0092, Horní Újezd	81	8,9 ± 0,2	
V	Tstř	PP0096, Němčice	32	9,4 ± 0,2	
V	Tstř	PP0097, Končiny	53	10,2 ± 0,2	
V	Tstř	PP0098, Zálší	83	9,2 ± 0,2	
V	C	PP0106, Zderaz	42	10,1 ± 0,2	
V	C	PP0145, Jarošov	6	10,2 ± 0,2	
V	C	PP0146, Jarošov	6	12,1 ± 0,3	
V	Tstř	PP0610, Pekla 1	45	8,4 ± 0,2	9,5 ± 0,2
V	Tstř	PP0611, Pekla 2	47	11,3 ± 0,3	11,6 ± 0,3
V	Tsv	PP0702, Kost. horky	132	6,6 ± 0,1	
V	Tstř	pr. Litomyšl*	42	8,7 ± 0,2	9,0 ± 0,2
V	Tstř	pr. Osík**	59	10,6 ± 0,2	
V	Tstř	řeka Loučná, most Hrušová	42	10,0 ± 0,2	9,9 ± 0,2

V – vysokomýtská synklinála, U – ústecká synklinála, C – cenoman, pr. Litomyšl* (49°52'47.6"N, 16°17'50.6"E); pr. Osík** (49°50'34.7"N, 16°17'13.6"E)

Výsledky a diskuse

Srovnání aktivity tritia a obsahu dusičnanů v pramenech a vrtech

V prostoru vysokomýtské a ústecké synklinály a podorlické křídly bylo z 22 pramenů a 23 vrtů odebráno celkem 74 vzorků, na kterých byly provedeny tritiové analýzy



Obr. 1. Vývoj tritiové aktivity na opakovaně vzorkovaných pramenech.

(tab. 1, 2). U pramenů se prováděly opakované odběry pro ověření stálosti tritiové aktivity v čase a získání poklesových trendů za několikaleté období (obr. 1). Aktivita tritia v pramenech dosahuje 6–16 TU a voda pramenů tak z převážné části pochází z infiltrace po roce 1950. Poklesové trendy aktivity tritia simulované pomocí programu FLOW PC umožňují odhadnout střední dobu zdržení u pramenů Pekla 1 a 2, Němčice a V korytech na 22–25 let za předpokladu disperzního modelu s malou disperzí (D 0,05). V případě pramene Nedošín je doba zdržení 30 let (D 0,1).

Významný rozdíl je v tritiové aktivitě pramenů a vrtů (obr. 2). Zatímco v pramenech naprosto převažují aktivity 7 TU a vyšší, indikující převažující podíl vody infiltrované po roce 1950, u 37 % pozorovacích vrtů ČHMÚ je aktivita 4 TU a nižší, což ukazuje na významný podíl vody infiltrované před rokem 1950.

Obsah dusičnanů v pramenech dosahuje 6–130 mg.l⁻¹, v průměru 45 mg.l⁻¹. Obsahy dusičnanů pod 25 mg.l⁻¹ vykazují pouze menší prameny drénující lesní povodí (jen 14 % pramenů). Protože prameny v konečném důsledku drénují nebo v minulosti drénovaly naprostou

většinu odtoku ze synklinál, je zřejmé, že ve většině aktivně proudící vody panují aerobní podmínky, takže nedochází k rozkladu dusičnanů (měření obsahu rozpuštěného kyslíku viz Bruthans et al. 2008). Průměrné obsahy dusičnanů se blíží limitní koncentraci v pitné vodě dané vyhláškou č. 252/2004 Sb. v platném znění.

Zcela jiná je situace u vrtů (tab. 2), kde 67 % studovaných vrtů ČHMÚ v kolektorech středního a spodního turonu má koncentrace dusičnanů pod 4 mg/l. Ve vrtech, kde byla zjištěna aktivita tritia pod 5 TU, jsou koncentrace dusičnanů v řádu jednotek mg.l^{-1} a nižší. Obráceně to však neplatí: vrty s vyšší aktivitou tritia obsahují v některých případech vysoké koncentrace dusičnanů, v jiných (anaerobní podmínky – dokumentováno měřeními) jsou dusičnany pod mezí detekce (tab. 2).

Studium střední doby zdržení v jímacím území Litá (České Meziříčí)

V prostoru jímacího území Litá a jeho okolí bylo ovzorkováno 23 vrtů. Ve všech vzorcích bylo stanoveno tritium a ve výběru sedmnácti vzorků i SF_6 (tab. 3). Přítomnost tritia na všech studovaných vrtech ukazuje na poměrně rychlé proudění vody v zájmovém kolektoru. Na většině vrtů převažují složky se střední dobou zdržení v desítkách let. Ve vrtech J1, J3, V1 a Lt1 je zřejmě výraznější podíl složky s dobou zdržení ve stovkách až prvních tisících let (podle radiouhlíkového datování, viz Bruthans et al. 2008). Poměrně malé zastoupení vody infiltrované po roce 1985 (podle SF_6) oproti výraznému množství vody infiltrované mezi lety 1960–1980 (podle tritia) na řadě vrtů svědčí pro disperzní model s relativně nízkou disperzí. Střední doby zdržení podle SF_6 a tritia se pro většinu vrtů pohybují mezi 20–90 lety (disperzní model D 0,05), výjimkou je vrt NM2, kde střední doba zdržení činí pouhých 6 let, a vrt INM1 se střední dobou zdržení 14 let. Oba vrty mají hladinu pod úrovní řeky Metuje a nacházejí se v její těsné blízkosti, proto do nich může pronikat vzezováním povrchová voda z řeky a tím ředit podzemní vodu v okolí těchto vrtů s významně vyšší dobou zdržení.

Vysoká doba zdržení (okolo 80 let) v nečerpaných pozorovacích vrtech Lts 5, 6 a 17, doložená velmi nízkými aktivitami tritia, ukazuje, že tyto vrty nebyly situovány do hlavních proudových cest povodí Metuje do prostoru Litá (existující představy o směru proudění jsou odvozeny ze spádu hladiny a dosavadních hydraulických modelů; Herrmann 2005).

Diskuse charakteru proudění v kolektorech

V prostoru jímacího území Litá byl studován vztah zlomů a transmisivity (specifické vydatnosti) zjištěné z čerpacích zkoušek na vrtech. Vrty s nejvyšší specifickou vydatností (Lt2, Lt6, V1, V2, J1 – až $90 \text{ l.s}^{-1} \text{ m}^{-1}$) leží ve vzdálenosti vesměs vyšších stovek metrů od známých zlomů (opočenská flexura a bohuslavický zlom). Naopak vrty ležící v těsném okolí zlomů (Lt3, Lt4 atd.) mají často specifické vydatnosti spíše průměrné i podprůměrné ($0,01\text{--}4 \text{ l.s}^{-1} \text{ m}^{-1}$). Voda z vrtů Lt1 a Lt4, které leží v těsné blízkosti zlomů,

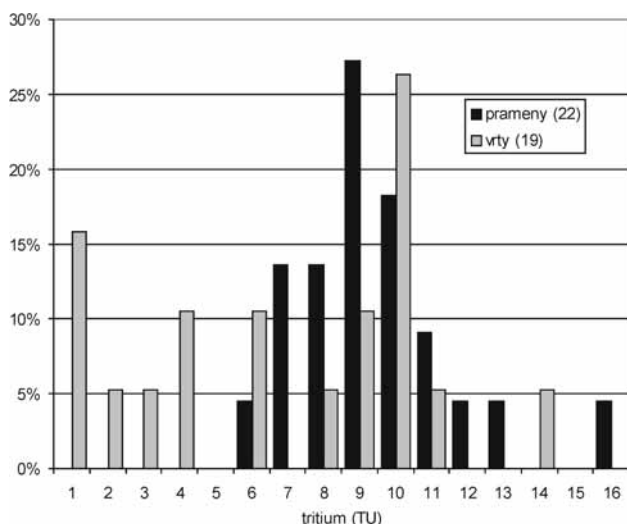
Tabulka 2. Aktivita tritia (duben 2008) a obsah dusičnanů ve studovaných vrtech

rajon	kolektor	označení	tritium (TU)	NO_3 (mg/l)
Q	Q	VP0026 Nové Město nad Metují	$11,7 \pm 0,3$	pod 1
Q	Q	VP0031 Rychnověk	$8,6 \pm 0,2$	60
Q	Q	VP0131 České Meziříčí	$8,2 \pm 0,2$	3
Q	Q	VP0210 Radhošť	$7,7 \pm 0,2$	11
P	C	VP7004 Chvalkovice	$14,0 \pm 0,4$	78
P	Tsp	VP7005 Chvalkovice	$3,6 \pm 0,2$	pod 1
P	Tsp	VP7018 Provodov 422	$2,5 \pm 0,2$	pod 1
P	Tsp	VP7020 Lejšovka	$5,8 \pm 0,2$	pod 1
P	Tsp	VP7221 Potštejn	$10,4 \pm 0,2$	pod 1
P	Tsp	VP7222 Byzhradec	$1,1 \pm 0,2$	pod 1
P	Tsp	VP7224 Černíkovice	$8,0 \pm 0,2$	pod 1
U	Tsp	VP7211 Opatovec	$9,9 \pm 0,2$	18
U	Tsp	VP7213 Dětrichov	$2,4 \pm 0,2$	pod 1
U	Tsp	VP7215 České Libchavy	$1,4 \pm 0,2$	3
U	Tsp	VP7217 Opatov	$10,4 \pm 0,2$	39
V	Tsp	VP7303 Trstěnice	$5,9 \pm 0,2$	30
U	Tstř	VP7212 Opatovec	$8,6 \pm 0,2$	pod 1
U	Tstř	VP7214 Dětrichov	$9,2 \pm 0,2$	82
U	Tstř	VP7218 Opatov	$10,6 \pm 0,2$	21
V	Tstř	VP7210 Mikuleč (VP7310)	$10,5 \pm 0,2$	2
V	Tstř	VP7304 Trstěnice (VP7313)	$9,6 \pm 0,2$	15
V	Tstř*	VP7305 Cerekvice	$4,4 \pm 0,2$	1
V	Tstř*	VP7308 Slatina	$1,3 \pm 0,2$	3

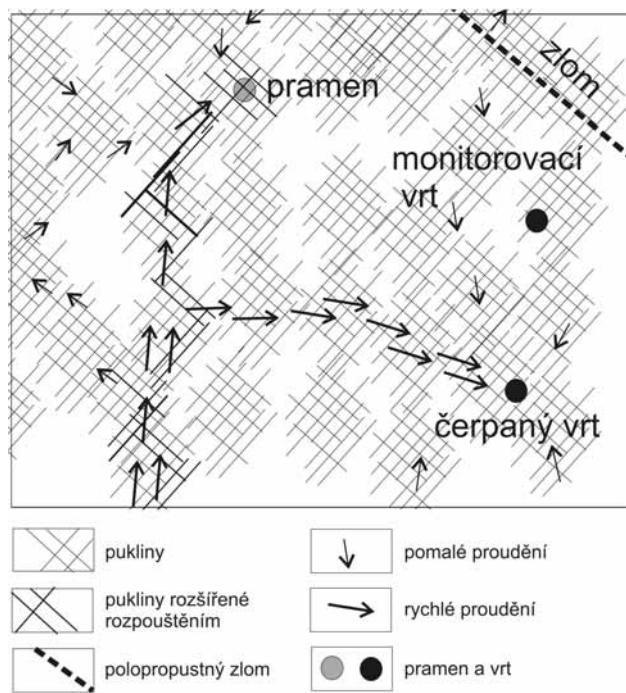
V – vysokomýtská synklinála, U – ústecká synklinála, P – podorlická křída, C – cenoman, Q – kvartér, * – vrt s přetokem; obsah dusičnanů převzat z analýz na www.chmi.cz (průměr za rok 2007)

vykazuje poměrně dlouhé doby zdržení (ca 80 let). Naopak vrty Lt2, Lt6 a V2, ležící 400–1200 m od průběhu opočenské flexury, mají (kromě již zmíněných vrtů INM1 a NM2) nejnižší dobu zdržení v jímacím území Litá (23–30 let). Je tedy zřejmé, že hlavní směry proudění podzemní vody nekopírují hlavní zlomové linie.

Preferované cesty proudění jsou zřejmě tvořeny zejícími puklinami (televizní prohlídka vrtů, Herrmann 2005). Analogicky s vysokomýtskou synklinálou (Žižka 1984), tvořenou stejnými horninami, však lze očekávat, že puklinové sítě budou v zúžených místech rozšířeny korozí a odnosem jemného klastického materiálu proudící vodou. Není proto důvod, aby směry proudění musely kopírovat hlavní zlomové linie. Přítomnost extrémně vydatných pramenů drénujících velmi rozsáhlé oblasti naznačuje, že v pískovcích a spikulitových slínovcích došlo v důsledku rozpouštění CaCO_3 a odnosu



Obr. 2. Četnost výskytu (vertikální osa) tritiových aktivit zaokrouhlených na celá čísla a seskupených do frekvenčních tříd (horizontální osa). Zdrojová data viz tab. 1 a 2. Údaje z vrtů situovaných do kvartérních náplavů a cenomanu byly z analýzy vyloučeny.



Obr. 3. Idealizovaný model puklinového kolektoru vápnných pískovců a spikulitových slínovců.

klastického materiálu k rozšíření a propojení puklinových systémů do rozsáhlých celků.

Idealizovaný model puklinového kolektoru ukazuje obr. 3. Mezi oblastí infiltrace a velkými prameny lze očekávat zvýšení propustnosti puklinové sítě rozpouštěním a existenci preferovaných cest proudění s relativně vysokými rychlostmi proudění. Dlouhodobě čerpané vrty budou stahovat část vod z preferovaných cest směřujících původně do pramenů. Naopak monitorovací (trvale nečerpané) vrty popisují složení vody jen ve svém bezprostředním okolí. Většina objemu vody v kolektoru bude vázána na menší pukliny, kde voda proudí velmi pomalu.

Tabulka 3. Aktivita tritia, koncentrace SF₆ a obsah dusičnanů ve studovaných vrtech v jímacím území Litá

objekt	tritium (TU)	SF ₆ (fmol/l)	NO ₃ (mg.l ⁻¹)
Bohemilk	11,1 ± 0,1		23,3
HV2	7,7 ± 0,1		17,3
INM1	6,9 ± 0,1	1,5 ± 0,2	15,0
J1	3,4 ± 0,2	< 0,1	2,1
J3	2,9 ± 0,2	< 0,1	2,2
J7	5,7 ± 0,1		12,5
Lt01	7,5 ± 0,2	0,1 ± 0,1	9,1
Lt02	7,8 ± 0,2	0,1 ± 0,1	3,7
Lt1	6,1 ± 0,1	< 0,1	2,0
Lt2	8,6 ± 0,1	0,9 ± 0,1	36,5
Lt3	9,1 ± 0,2	0,3 ± 0,1	11,9
Lt4	7,2 ± 0,1	0,1 ± 0,1	3,6
Lt6	9,5 ± 0,1	0,7 ± 0,1	35,8
Lt8	8,2 ± 0,1	0,3 ± 0,1	16,6
Lt9	7,9 ± 0,1	< 0,1	2,4
Lts15	10,3 ± 0,1		2,2
Lts17	4,3 ± 0,1		pod 1
Lts5	4,5 ± 0,1		2,4
Lts6	2,8 ± 0,2	0,9 ± 0,1	1,1
NM2	7,6 ± 0,1	2,3 ± 0,3	pod 1
Sk19	6,8 ± 0,3	0,4 ± 0,1	1,8
V1	7,2 ± 0,1	0,1 ± 0,1	14,3
V2	8,4 ± 0,1	0,5 ± 0,1	29,7

Diskuse nesouladu mezi starším radiuhlíkovým datováním a výsledky současného studia

V letech 1972–1980 provedl J. Šilar celkem 16 radiuhlíkových datování anorganického uhlíku v podzemní vodě odebrané z kolektorů v prostoru vysokomyšské a ústecké synklinály, a to ze třinácti vrtů a tří pramenů (archiv PřF UK). Vypočtené radiuhlíkové stáří, převzaté např. Herčíkem et al. (1999), dosahuje od 0 po 11 500 let (průměr 4600 let); ve všech případech je vypočteno na základě počáteční radiuhlíkové aktivity 85 % moderního uhlíku. Z původních dat je přitom zřejmé, že počáteční aktivita má daleko větší rozptyl – od 50 % moderního uhlíku (pramen v Sudislavi, vrt US 6b s významnou tritiovou aktivitou) po 95 % moderního uhlíku (vrt VS4b). Skutečné radiuhlíkové stáří tak může být v mnoha případech až o 4000 let nižší než hodnoty publikované Herčíkem et al. (1999). Avšak i při použití počáteční aktivity 50 % moderního uhlíku dosahuje vypočtené radiuhlíkové stáří v průměru 1700 let, což je nereálný údaj pro průměrnou dobu zdržení v kolektoru, neboť při specifickém podzemním odtoku okolo 3,5 l.s⁻¹.km⁻² (Herčík et al. 1999) se taková zásoba vody rovná 190 m průměrné výšky vodního

sloupce v ploše celého kolektoru, což je řádově více než reálné množství vody obsažené v kolektorech. Nad vší pochybnost je tak zjevné, že radiouhlíkové stáří anorganického uhlíku v podzemní vodě (s uvažovanou počáteční aktivitou 85 %) ve studovaných kolektorech nelze spojit s dobou zdržení aktivně proudící vody stanovené podle aktivity tritia a obsahu SF₆. Radiouhlíkové stáří anorganického uhlíku v podzemní vodě namísto toho indikuje přítomnost stagnujících a velmi pomalu proudících vod. Interpretace doby zdržení podzemní vody z těchto dat je však v řadě případů díky nejistotě v počáteční aktivitě značně problematická.

Závěr

V kolektorech tvořených vápnatými pískovci a spikulitovými slínovci byly provedeny dvě velmi rozsáhlé studie pomocí přirozených stopovačů vzorkovaných z 22 pramenů a 46 vrtů, které umožňují popsat dobu zdržení v kolektorech vysokomýtské a ústecké synklinály a podorlické křídly a charakter proudění podzemních vod.

Obě studie dokládají, že je nutné rozlišovat mezi dvěma typy vod:

A) aktivně proudící vodou v kolektorech, která v převážné části vykazuje aerobní podmínky, obsahuje dusičnany a v některých případech organické polutanty a má dobu zdržení obvykle v řádu prvních desítek let a

B) vodou stagnující či proudící velmi pomalu, která vykazuje často anaerobní podmínky, má nízkou tritiovou aktivitu a často neobsahuje dusičnany v důsledku denitrifikace. Zatímco vodu typu A lze zkoumat na pramenech a intenzivně jímaných vrtech, vrty monitorovací sítě ČHMÚ a běžné vrty (bez intenzivního čerpání) zachycují velmi často pouze vodu typu B. Důvodem je, že preferované zóny proudění jsou omezeny na velmi malou plochu kolektoru, takže jsou zachyceny pouze v malém procentu dlouhodobě nejímaných vrtů. Tento poznatek je zásadní při navrhování a optimalizaci monitorovací sítě ke sledování kvality podzemních vod a případného pohybu kontaminace,

protože klasické monitorovací vrty v mnoha případech nemusí zachytit rychlé změny v kvalitě podzemních vod, popř. pohybující se kontaminaci po preferenčních zónách proudění (obr. 3). Studie zásadně upravuje starší představy o dlouhé době zdržení vody v kolektorech vápnatých pískovců a spikulitových slínovců na základě radiouhlíkového datování.

Poděkování. Studii v prostoru JÚ Litá podpořilo město Nové Město nad Metují a Krajský úřad Královéhradeckého kraje. Ostatní analýzy tritia byly provedeny v rámci projektu MSM0021620855 a VaV SP/2e1/153/07. Za odběr vzorků z vrtů ČHMÚ patří poděkování pánům Lipanským z.fy Watersystem. Za cenné poznámky a kritické připomínky děkujeme recenzentům M. Šandovi a J. Slavíkovi.

Literatura

- 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. Doktor. disert. práce, 207 s. – Přírodověd. fak. Univ. Karl. v Praze.
- BRUTHANS, J. – KADLECOVÁ, R. (2005): Využití freonů (CFC 12, 13, 113), SF₆ a tritia pro určení zastoupení recentních vod kontaminovaných dusičnany v české křídové pánvi (jímací území Litá a Řepínský důl). – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2004, 161–163.
- BRUTHANS, J. – LACHMAN, V. – CHURÁČKOVÁ, Z. – MUSIL, V. – URBAN, O. – POLÁK, M. (2008): Doplnění rizikové analýzy: potenciální ohrožení jímacího území Litá – proudový systém, střední doba zdržení vod a původ CIU v jímacích vrtech území Litá. Závěrečná zpráva, 66 s. – Dekonta. Dřetovice.
- HERCÍK, F. – HERRMANN, Z. – VALEČKA, J. (1999): Hydrogeologie české křídové pánve. – Čes. geol. úst. Praha.
- HERRMANN, Z. (2005): Litá – ochranná pásma. – MS Aquatest, Praha. P114081.
- HYNIE, O. (1961): Hydrogeologie ČSSR I. – Praha.
- MALOSZEWSKI, P. – ZUBER, A. (1996): Lumped parameter models for interpretation of environmental tracer data. In: Manual on mathematical models in isotope hydrology. IAEA-TECDOC-910: 9-59. – Int. Atom. Energy Agency. Wien.
- PANOŠ, V. (1965): Problém krasovění nekarbonátových hornin. – Čas. Mineral. Geol. 10, 1, 105–109.
- ŽIŽKA, V. (1984): Závěrečné zhodnocení vrtů Lo 15/4 v Peklech a Lo 5/3 v Chocní – Pelinách. – MS Vodní zdroje, Praha, Čes. geol. služba – Geofond, Praha. P45 435.