

H – HYDROGEOLOGIE

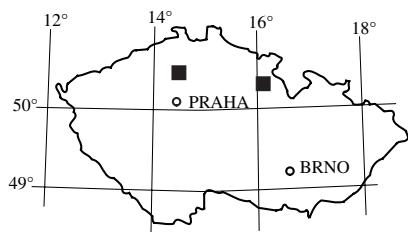
VYUŽITÍ FREONŮ (CFC 11, 12, 113), SF₆ A TRITIA PRO URČENÍ ZASTOUPENÍ RECENTNÍCH VOD KONTAMINOVANÝCH DUSIČNANY V ČESKÉ KRÍDOVÉ PÁNVI (JÍMACÍ ÚZEMÍ LITÁ A ŘEPÍNSKÝ DŮL)

**Use of freons (CFC 11, 12, 113), SF₆ and tritium for estimation of proportion of the recent nitrate-contaminated waters in the Bohemian Cretaceous Basin
(Litá and Řepínský důl water supplies)**

Jiří BRUTHANS¹ – Renata KADLECOVÁ²

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

² Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1



Key words: CFC, tritium, water contamination, wells

Abstract: CFCs, SF₆ and tritium were used to estimate the proportion of recent water in supply wells in two areas of Bohemian Cretaceous Basin in connection with higher content of nitrates. Wells contaminated by nitrates showed considerably higher proportion of recent waters (compared to those with low nitrate content).

Úvod

Doba zdržení vody pod zemským povrchem je nezbytná jako vstup pro předpověď budoucího vývoje kontaminace (např. vývoj koncentrace NO₃⁻ v závislosti na čase; KATZ a kol. 2004). V silně heterogenním puklinovém prostředí, kde dobu zdržení nelze ani zhruba odhadnout z hydraulických vlastností kolektoru, je nutné použít pro určení doby zdržení stopovačů, které se pohybují spolu s vodou podzemním prostředím (např. ¹⁸O, CFC, SF₆, tritium, ¹⁴C atd.). V řadě jímacích území v české krídové pánvi narůstá v posledních desetiletích obsah dusičnanů, což koliduje s představami o dlouhé době zdržení podzemních vod odvozených z radiouhlíkového datování (např. ŠÍLAR 1982).

Metodika

Využití samotného tritia již v současnosti nedovoluje jednoznačnou interpretaci dob zdržení. Proto byly využity další dostupné druhy stopovačů, a to freony (CFCs) a SF₆. Jde o metody využívané hojně v zahraničí, v ČR zřejmě dosud neaplikované.

Chlorofluorované uhlovodíky (freony) jsou stabilní,

plynné, syntetické organické látky, které se začaly vyrábět ve třicátých letech pro chladící zařízení. Pro datování podzemních vod se využívají následující tři látky: CFC 11 (CFCl₃), CFC 12 (CF₂Cl₂) a CFC 113 (C₂H₂F₃Cl₃); PLUMMER et al. (1998). Koncentrace těchto látek začala v atmosféře stoupat po roce 1940, rychlý nárůst se zastavil až koncem 90. let, od kdy jejich koncentrace začala zvolna klesat díky zákazu jejich výroby. Poté, co koncentrace CFC začaly klesat, byly hledány nové stopovače, které by v budoucnu nahradily CFC. Takovým stopovačem je SF₆. Běžněji se používá teprve v posledních letech (např. BAUER et al. 2001). Průmyslová výroba SF₆ začala v roce 1953 jako plynného media do el. rozvodů, z kterých uniká do atmosféry, kde se jeho koncentrace rychle zvyšuje. Ačkoli je SF₆ téměř výhradně antropogenního původu, existují i přírodní hlubinné zdroje SF₆, které komplikují datování v některých oblastech. Vyšší koncentrace SF₆ zřejmě přírodního původu byla zjištěna v polských Sudotech (H. Oster, ústní sdělení) a v oblasti Králického Sněžníku na české straně.

Vstupní funkce všech stopovačů jsou známy (koncentrace ve vzduchu). Pomocí průměrné teploty, nadmořské výšky a dalších faktorů je možné spočítat koncentrace v infiltrované vodě. V současnosti je velmi výhodné kombinovat CFC s SF₆, protože trend vývoje jejich koncentrací je přesně opačný. Degradace CFC probíhá pouze v anaerobním prostředí. Nejstabilnější je CFC12, naopak CFC11 se degraduje nejsnadněji. O SF₆ se předpokládá že nedegraduje vůbec (<http://water.usgs.gov/lab/cfc/cfcindex.html>).

Vzorky pro stanovení CFC a SF₆ byly odebrány podle metodiky popsane OSTEREM et al. (1996). H. OSTER zaslal pro odběry speciální skleněné odběrné nádoby o objemu 500 ml v ochranných kovových schránkách. Odběr vzorků probíhal pod vodní hladinou v patnáctilitrové plastové nádobě. Skleněná vzorkovnice byla kontinuálně proplachována vodou z hadice přímo napojenou na čerpaný vrt (bez přístupu vzduchu). Po protečení cca 15 l vody byla vzorkovnice pod vodou vodotěsně uzavřena a umístěna do kovového ochranného kontejneru, který byl též vodotěsně uzavřen. Vzorkovnice je tak chráněna před kontaminací atmosférickým CFC dvojitým obalem a vodou. Měření CFC a SF₆ prováděl H. Oster v Spurenstofflabor (Německo).

ko) pomocí plynové chromatografie (GC-ECD). Tritium bylo po nabohacení analyzováno na kapalinovém scintilačním spektrometru na Přírodovědecké fakultě UK v Praze.

Studované lokality

Jímací území Řepínský důl – Mělnická Vrutice se nachází 10 km v. od Mělníka (jímané množství okolo 400 l/s). Podzemní voda je jímána ze svrchní části kolektoru C – jizeranského souvrství, tvořeného převážně pískovci, méně pak slínovci s dominantní puklinovou porózitou. Jakost podzemní vody v objektech jímacího území je velmi dobrá, koncentrace nitrátů dosahují jednotek až 20 mg/l.

Jímací území Litá leží v okolí Českého Meziříčí sv. od Hradce Králové. Hlavní vodárenský využitelný kolektor B je vázán na horní část bělohorského souvrství, tvořeného rigidními křehkými horninami typu „opuk“, prachovitými spikulitovými slínovci až spongility. Při televizních prohlídках nově vyhloubených vrtů byly dokumentovány otevřené pukliny v kolektoru zejmí přes průměr vrtu (Z. Herrman, ústní sdělení). V součastnosti se v oblasti odebírá cca 200 l/s. Obsah dusičnanů se pohybuje od jednotek po 50 mg/l.

Výsledky a závěr

Na obou lokalitách byly odebrány vzorky s vysokým a nízkým obsahem dusičnanů, protože lze předpokládat, že nejstarší voda bude vykazovat nejnižší obsah dusičnanů a nej-

Tabulka 1. Výsledky stanovení CFC, SF₆ a tritia v podzemní vodě (pmol/l . 10⁻¹² mol/l; fmol/l . 10⁻¹⁵ mol/l; TU tritiová jednotka)

vzorek	Pš 2	S 25	Litá 6	Litá 9
datum odběru	1. 6. 2004	1. 6. 2004	21. 5. 2004	21. 5. 2004
CFC 12 (pmol/l)	2,5	0,8	33	0,25
+/-	0,2	0,1	10	0,05
CFC 11 (pmol/l)	4,1	6	12	0,05
+/-	0,5	0,6	3	0,05
CFC 113 (pmol/l)	0,13	0,04	0,04	pod 0,01
+/-	0,05	0,05	0,05	
SF ₆ (fmol/l)	0,8	0,3	0,5	pod 0,1
+/-	0,1	0,1	0,1	
tritium (TU)	7,5	4,5	15,2	11,2
+/-	0,6	0,5	0,7	0,6
NO ₃ ⁻ (mg/l)	16,2	3,7	28,4	1,1

Tabulka 2. Interpretace výsledků

vrt	Pš 2	S 25	Litá 6	Litá 9
stáří podle exponenciálního modelu (H. Oster) roky ± odchylka	31 ± 18	87 ± 3	?	přes 200
použitý stopovač pro exponenciální model (H. Oster)	12, 113, SF ₆	12, SF ₆		11, 113, SF ₆
zastoupení infiltrace po roce 1970 (podle SF ₆)	přes 30 %	přes 10 %	přes 20 %	5 %
zastoupení vody z 60. a 70. let (podle tritia)	pod 10 %	pod 15 %	10–25 %	pod 20 %

mladší naopak nejvyšší. Na každém objektu bylo stanoveno celkem pět nezávislých stopovačů (CFC 11, 12, 113; SF₆; tritium; viz tab. 1). Pro interpretaci výsledků je důležité, že CFC 11 a 12 se mnohdy vyskytují ve výrazně vyšších koncentracích než zbylé stopovače, protože se do prostředí dostávají často jako kontaminace ze skládek (PLUMMER et al. 1998). Protože současné koncentrace ve vodě jsou zcela nepatrné (řád 10⁻¹² mol/l), již malé množství těchto látek je schopno zkontaminovat nesmírné objemy vody. Při interpretaci byla proto dávána přednost CFC 113 a zejména SF₆, který má vůbec nejlepší vlastnosti (ne-degraduje, jeho koncentrace v atmosféře plynule stoupá). Zjištěné koncentrace lze interpretovat více způsoby (tab. 2):

1. Při aplikování exponenciálního modelu vychází doba zdržení od 30 (Pš 2) po více než 200 let (Litá 9). Výsledek se odvíjí z distribuce dob zdržení (od současné infiltrace po extrémně staré vody, přičemž nejmladší složky v modelu převládají – detaily viz MALOSZEWSKI – ZUBER 1996).
2. Druhou možností je mísení dvou různých typů vod: a) vody výrazně starší než rok 1970 (i tisíce let) a b) vody současné (tab. 2). Vyšší koncentrace SF₆ se vyskytují od 80. let, proto lze dobře určit zastoupení vody infiltrované v posledních 25 letech. Po opravě na rozpad tritia vykazuje voda z 60.–70. let aktivitu 55–65 TU, voda z posledních 25 let aktivitu 10 TU a voda z 50. let a starší 0 TU. Pomocí dvousložkového modelu je tak podle tritia možné určit zastoupení vody z 60. a 70. let.

Vzhledem k značnému radiouhlíkovému stáří vod v širším okolí (stovky, tisíce let, ŠILAR 1982) je pravděpodobná spíše druhá varianta. Stanovení přirozených stopovačů (CFC, SF₆, tritium) na obou lokalitách ukázalo, že vody s obsahem dusičnanů nad 5 mg/l obsahují nezanedbatelné zastoupení mladé vody (s dobou zdržení jen v rocích či desítkách let).

V řadě oblastí české křídy je pravděpodobně vyvinuto rychlé preferenční proudění po promytných zónách (vymývání písčitého materiálu, relativně malé profily vysoce propustných cest vzhledem k vysoké intenzitě proudění). V prostoru, který leží mimo tyto zóny, pak lze zachytit vodu pomalého oběhu o době zdržení v tisících let (¹⁴C datování), ale současně může ve stejně oblasti voda ve větších prameništích vykazovat vysoké a stálé narůstající koncentrace dusičnanů a tedy dobu zdržení v rádech prvních desítek let, a to přesto, že infiltracní oblast je vzdálená i desítky kilometrů (voda do pramenišť proudí rela-

tivně rychle promytými zónami, např. Ústecká synklinála). Je to zřejmé i z obsahu dusičnanů v pramenech a vrtech sledovaných ČHMÚ v křídových rajonech v letech 1992–1999. Průměrný obsah dusičnanů nad 15 mg/l vykazuje 65 % pramenů (z celkem 35), ale pouze 25 % vrtů a vrtných úseků (z celkem 184). V řadě případů tak může být správnější interpretovat výsledky přirozených stopovaců jako míšení dvou typů vod o velmi různé době zdržení než pomocí exponenciálního či jiného modelu.

Poděkování. Děkujeme Dr. H. Osterovi za provedení analýz CFC a SF₆. Práce byly podpořeny VaV QF4062.

Literatura

BAUER, S. – FULDA, C. – SCHÄFER, W. (2001): A multi-tracer study in shallow aquifer using age dating tracers ³H, ⁸⁵Kr, CFC-113 and SF₆ –

- indication for retarded transport of CFC – 113. – J. Hydrol. 248, 14–34.
 KATZ, B. G. – CHELETTE, A. R. – PRATT, T. R. (2004): Use of chemical and isotopic tracers to assess nitrate contamination and ground-water age, Woodville karst Plain, USA. – J. Hydrol. 289, 36–61.
 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. – International Atomic Energy Agency. Wien.
 OSTER, H. – SONNTAG, C. – MÜNNICH, K. O. (1996): Groundwater age dating with chlorofluorocarbons. – Water Resour. Res. 32 (10), 2989–3001.
 PLUMMER, L. N. – BUSENBERG, E. – DRENKARD, S. – SCHLOSSER, P. – EKWURZEL, B. – WEPPERNIG, R. – MCCONNELL, J. B. – MICHEL, R. L. (1998): Flow of river water into karstic limestone aquifer – 2. Dating the young fraction in groundwater mixtures in the Upper Floridan aquifer near Valdosta, Georgia. – Applied Geochemistry 13, 1017–1043.
 ŠILAR, J. (1982): Stanovení obsahu radiouhlíku a střední doby zdržení podzemní vody v oblasti severočeské křídové pánve. – MS Přírodověd. fak. Univ. Karl. 8 str.

STUDIUM PROUDĚNÍ A ZRANITELNOSTI PODZEMNÍCH VOD V KARBONÁTECH SKUPINY BRANNÉ: VODOHOSPODÁŘSKY VÝZNAMNÁ OBLAST NA JESENICKU

Study of flow and vulnerability of groundwater in Branná Group: Important source of water in Jeseníky region

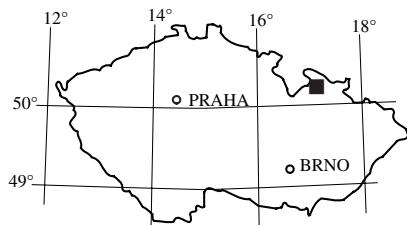
JAN KUKAČKA ¹ – JIŘÍ BRUTHANS ¹ – ONDŘEJ ŽEMAN ² – VIOLA ALTOVÁ ³

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

² Geologický ústav Akademie věd České republiky, Rozvojová 135, 165 02 Praha 6

³ Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta, Chittussiho 10, 710 00 Ostrava – Slezská Ostrava

(14-24 Bělá pod Pradědem, 14-22 Jeseník)



Key words: karst, vulnerability, Branná group, catchment area, watersupply

Abstract: This study is focused on hydrogeology of metamorphosed carbonates of the Branná group in the Jeseníky Mts. Springs, sinkholes and sinking streams were located in the area. Flow geometry was determined by stream hydrometry and tracer tests. Recently GIS and vulnerability map is being prepared. Carbonate aquifers represent an important water source in a region with generally limited groundwater abstraction possibilities.

Úvod

Regionální průzkum skupiny Branné ukázal, že v oblasti lze očekávat významné vodní zdroje vázané na karbonáty (ŘEZNÍČEK 1990a). K druhé, detailnější fázi hydrogeologic-

kého zhodnocení, při které měly být mj. také lokalizovány ponory a určeny směry proudění pomocí stopovacích zkoušek, však již nedošlo. Neznalost základních hydrogeologických údajů (směry, rychlosť a množství proudící vody, lokalizace ponorů jako potenciálních vstupů kontaminace, zastoupení vody z ponoru oproti rozptýlené infiltraci přes půdní profil) omezuje možné vodohospodářské využití této oblasti. Pro studium byla vybrána oblast mezi obcemi Branná a Vápenná, která tvoří severní ukončení skupiny Branné.

Skupina Branné tvoří úzký protáhlý pruh ve směru SSV-JJZ, ležící v podloží ramzovského nasunutí a k východu navazuje na pestré souvrství keprnické jednotky. Vápence skupiny Branné jsou slabě metamorfované a tvoří protáhlé pruhy, jejichž souvislost je porušena příčnou zlomovou tektonikou. Vápence účinkují jako regionální drén (ŘEZNÍČEK 1990a).

Geologickou stavbou oblasti se zabývala řada autorů. Za zmínku stojí práce VOCÍLKY (1973a), který uvádí detailní geologickou mapu celé studované oblasti v měřítku 1 : 10 000 podloženou značným množstvím technických prací. Krasové jevy popsal MADĚRA (1985). PANOV (1962) provedl v oblasti několik stopovacích zkoušek. Hydrogeologií vápencových výskytů, včetně řady čerpacích zkoušek, se zabývali zejména ŘEZNÍČEK (1990a), GALGÁNEK a TIŠNOVSKÁ (1999) a další. ČHMÚ dlouhodobě režimně měřilo následující vydatné krasové prameny: Branná U sil-