

- Würckung und Gebrauch beschrieben. – Jakub Maxmilian Swoboda. Brünn.
- BURACHOVIČ, S. – WIESER, S. (2001): Encyklopedie lázní a léčivých pramenů v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. – Nakl. LIBRI. Praha.
- ČÁMEK, V. (2005): Historie Nových Hvězdic – Zdravá Voda. – Hvězdlický zpravodaj, 1, 3–5. Nové Hvězdlice.
- ČURDA, J. (1994): Soubor geologických a účelových map přírodních zdrojů. Hydrogeologická mapa ČR. List 24-42 Kojetín. Měřítko 1 : 50 000. – Čes. geol. úst. Praha.
- ČURDA, J. (1995): Zaniklé lázeňské lokality na území západomoravské křídly. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 1994, 33–36. Praha.
- KALABIS, V. (1964): Vyškovský úval II. Lokality Zdravá Voda, Moravské Málkovicce, Rybníček. Zpráva o výsledku hydrogeologického průzkumu. – MS Geol. průzk. Brno.
- KLVAŇA, J. (1897): Geologické poměry. Dodatek o minerálních pramenech moravských. In: Vlastivěda moravská, I. Země a lid, Díl I. Přírodní poměry Moravy. – Matice Moravská. Brno.
- KOVARÍK, P. (1998): Studánky a prameny Čech, Moravy a Slezska. – Nakl. Lidové noviny. Praha.
- POSPÍŠIL, Z. (1994): Hvězdlice, doplňkový hydrogeologický průzkum pro posílení vodárenského odběru pitné vody. – MS Zdeněk Pospíšil. Brno.
- KVĚT, R. – KAČURA, G. (1976): Minerální vody Jihomoravského kraje. – Ústř. úst. geol. Praha.
- MELION, J. (1855): Über die balneograpische Literatur Mährens. – Schr. hist. stat. Sect. k. k. mähr.-schl. Gesell. Befor. Ackerbau, 9, 31. Brünn.
- REMĚŠ, M. (1929): Příspěvky k balneologii Moravy a Slezska. – Čas. Vlasten. muz. Spol. v Olomouci, 41, 1–4. Olomouc.
- TENORA, J. (1927): Lázně a kaplička u Zdravé Vody u Nových Hvězdic. – Čas. Spol. Přátel Starožitností českosl. v Praze, 35, 59–63.
- sine (1821): Vrchnostenský archiv v Nových Hvězdicích, XVII., fol. 17. – St. okres. archiv Vyškov se sídlem ve Slavkově u Brna. Slavkov u Brna.

## DOBA SETRVÁNÍ A PŮVOD NITRÁTŮ V PODZEMNÍ VODĚ V OKRAJOVÝCH PARTIÍCH KŘÍDOVÝCH PÁŇVÍ

### Groundwater residence time and nitrate contamination in shallow aquifers formed in basin Cretaceous sedimentary fills

RENÁTA KADLECOVÁ<sup>1</sup> – JIRÍ BRUTHANS<sup>2</sup> – FRANTIŠEK BUZEK<sup>3</sup> – HARALD OSTER<sup>4</sup> – ONDŘEJ ZEMAN<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1

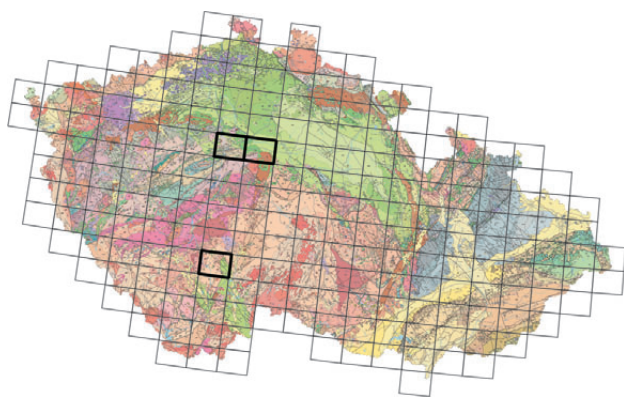
<sup>2</sup> Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha 2

<sup>3</sup> Česká geologická služba, Geologická 6, 152 00 Praha 5

<sup>4</sup> Spurenstofflabor Bornweg 10, Wachenheim, 67157 Bundesrepublik Deutschland

<sup>5</sup> Progeo s.r.o., Tiché údolí, 252 63 Roztoky u Prahy

(12-24 Praha, 13-13 Brandýs nad Labem – Stará Boleslav, 22-42 Bechyně)



**Key words:** resident time, nitrate concentration, oxygen and nitrate stable isotopes CFC, SF<sub>6</sub>, tritium activity

**Abstract:** The dynamics of the groundwater circulation were studied in two catchment areas of the Bohemian Cretaceous Basin edge in central part of the Czech Republic and one catchment area located in the northern part of the Třeboň Basin in the southern Bohemia. Both of the studied areas are affected with extensive agriculture exploitation.

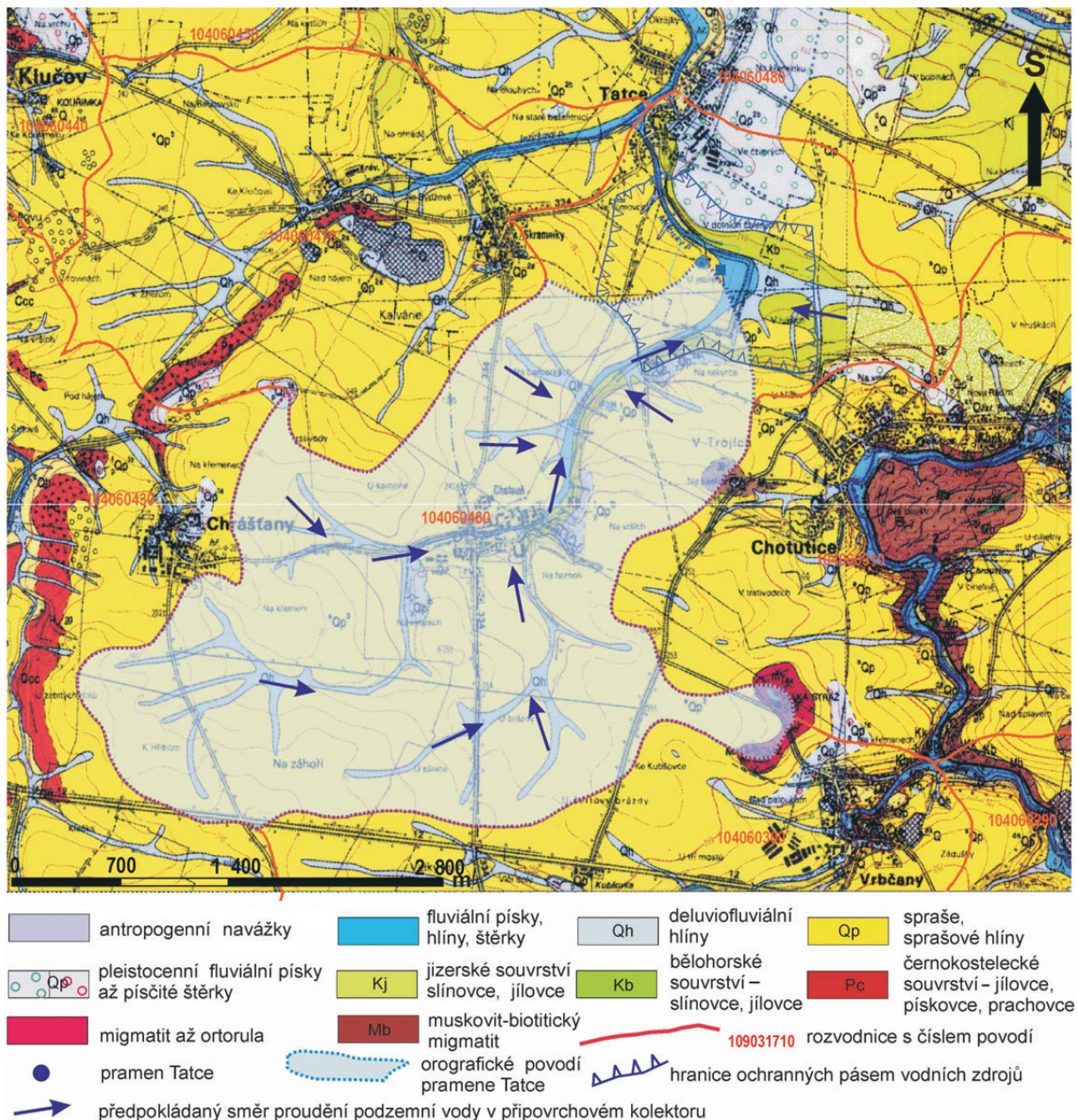
Groundwater nitrate content together with CFCs, SF<sub>6</sub>, oxygen stable isotopes and tritium activity were used to estimate the pro-

portion of modern water in springs and wells. The average period of groundwater residence time in the Bohemian Cretaceous Basin ranges from 10 to 35 years (including non-saturated zones). The average period of groundwater residence time in the N part of the Třeboň Basin from V-23 borehole varies from 35 to 45 years.

V posledních několika letech se oddělení hydrogeologie a izotopové geochemie České geologické služby zabývala v rámci projektů VaV 510/4/98 a SP 2e7/229/07a posudkové činnosti nadlimitním výskytem dusičnanů ve vodních zdrojích a průměrnou dobou zdržení podzemní vody v okrajových partiích křídových pánví. Výzkum probíhal na zachycených pramenech v lokalitách Tatce a Zeleneč, které odvodňují puklinový kolektor bělohorského souvrství v hydrogeologických rajonech 451 – Křída severně od Prahy a 435 – Velimská křída (OLMER – KESL et al. 1990). Další lokalitou byla obec Vlastiboř, která leží v hydrogeologickém rajonu 215 – Třeboňská pánev – severní část (OLMER – KESL et al. l. c.), kde byla studována zvodeň klikovského souvrství. Všechny studované lokality jsou v zemědělsky intenzivně využívaných územích, v jejichž orografických povodích je více než 70 % orné půdy.

### Studijní lokality

V lokalitách Tatce a Zeleneč, kde dochází k odvodnění pří-  
povrchové zóny slínovců bělohorského souvrství, ovlivňu-



Obr. 1. Geologická situace zachyceného pramene Tatce (upraveno podle HOLÁSKA et al. 1987).

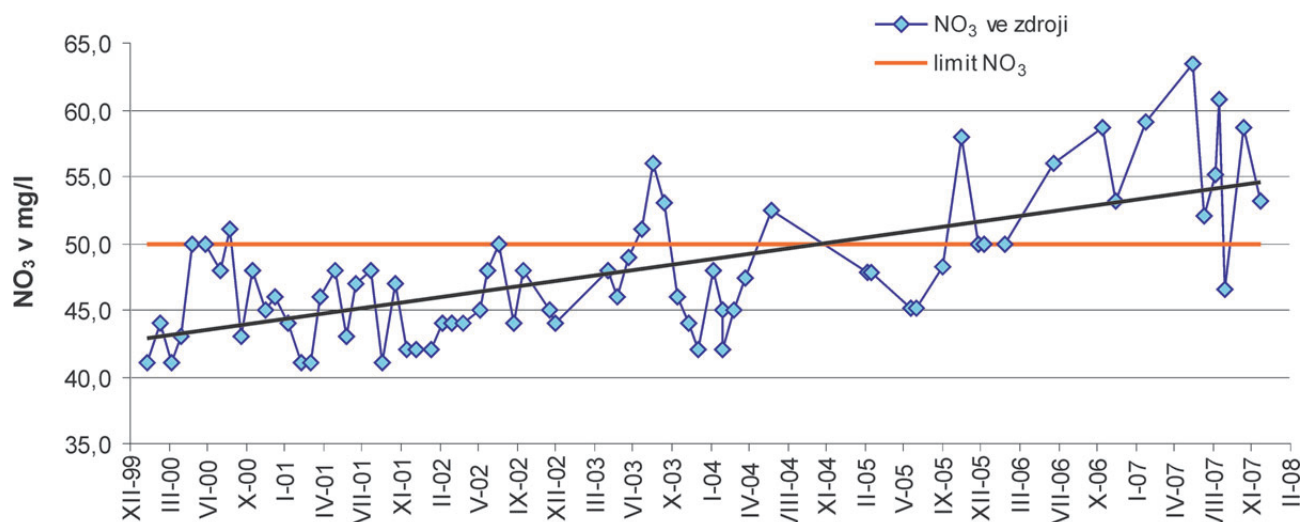
je tvorbu a odtok podzemní vody zejména morfologie terénu. V obou lokalitách je výše specifického podzemního odtoku  $1\text{--}2\text{ l.s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$  (KRÁSNÝ et al. 1981).

Obec Tatce se nachází v Polábí, 4 km na Z od města Pečky. Ve vzdálenosti 1 km na J od centra obce v ohybu Milčického potoka je dokladován již od středověku významný pramen, který vytvořil jezírko o průměru cca 15 m. V roce 1930 byl pramen zachycen jímkou o průměru 4 m jako zdroj pitné vody pro město Pečky a jezírko zasypáno.

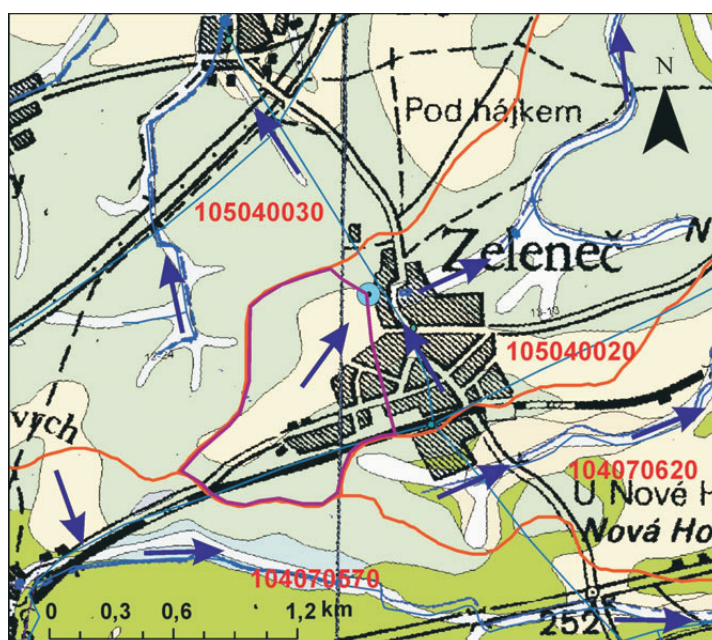
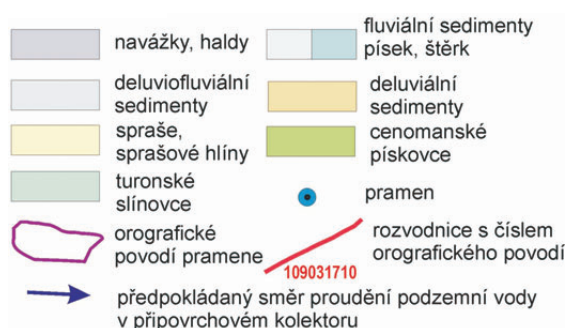
Vydatnost pramene se 16. 7. 1927 pohybovala mezi  $18\text{ až }22\text{ l.s}^{-1}$  a v květnu 1930 byla naměřena hodnota  $32,7\text{ l.s}^{-1}$ . Na jaře roku 1969 (CHRÁSTKA 1969) proběhla na zachyceném prameni hydrodynamická zkouška v délce trvání 28 dní, která při snížení hladiny podzemní vody v jímce o  $1,1\text{--}2,3\text{ m}$  dokumentovala vydatnost zdroje  $34\text{--}36,4\text{ l.s}^{-1}$ .

Podle geologické mapy (HOLÁSEK et al. 1987) je hydrologické povodí pramene o rozloze  $35,4\text{ km}^2$  tvořeno křídovými sedimenty bělohorského souvrství, které jsou překryty relikty fluviálních písků se šterkem paleotoků (obr. 1). V podloží křídových sedimentů se vyskytuje ve v. části hydrologického povodí pramene kutnohorské krystalinikum s kouřimskými ortorulami a migmatity a v z. části povodí se slepenci, pískovci a jílovci permokarbonu černokosteckého souvrství. Celé hydrologické povodí až na dno a svahy údolí Milčického potoka, který území odvodňuje generelně k SV, pokrývají spraše a sprašové hlíny.

Z celkové rozlohy orografického povodí pramene Tatce tvoří 90 % orná půda a pouze 3,6 % travní porost. Zastavěná plocha obce Chotouň, která nemá kanalizaci a kde je zemědělský statek již několik desetiletí, je nepatrná.



Obr. 2. Vývoj koncentrací nitrátů v podzemní vodě v lokalitě Tatce za období 1/2000 až 12/2007 (černá linie ukazuje vzrůstající trend dusičnanů).



Obr. 3. Geologická situace zachyceného pramene Zeleneč (upraveno podle HAVLÍČKA et al. 1986 a HOLÁSKA et al. 1987).

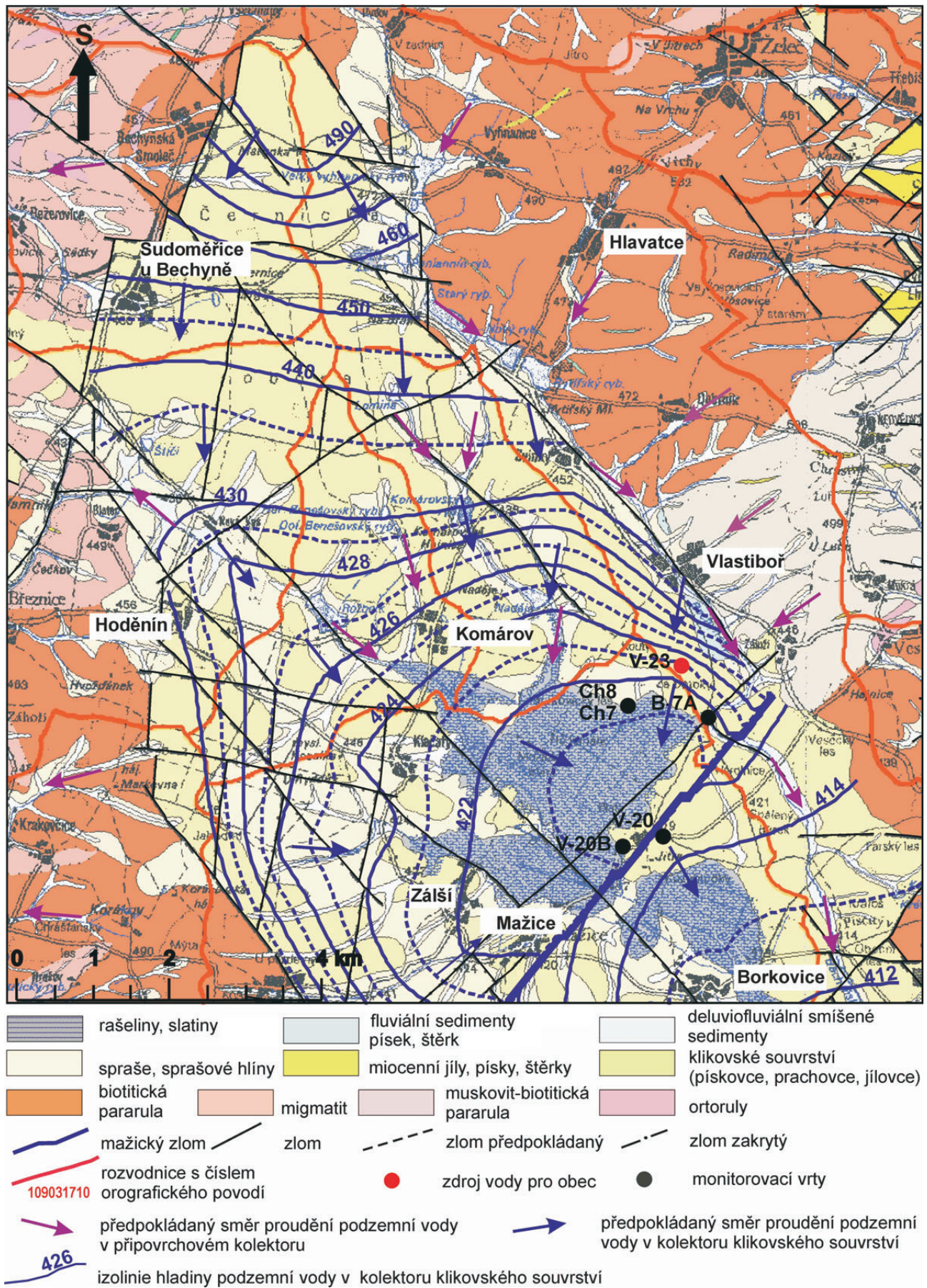
Podzemní voda v prameni Tatce je neutrální reakce, molární subfacie Ca-HCO<sub>3</sub>-Mg s celkovou mineralizací 0,8 až 0,9 g.l<sup>-1</sup>. Z analýz pramenné vody poskytnutých městem Pečky a z analýz ČGS za období 1/2000 až 12/2007 je zřejmý pozvolný nárůst koncentrací dusičnanů v podzemní vodě (obr. 2). V 60. letech 20. století se jejich koncentrace pohybovaly okolo 30 mg.l<sup>-1</sup> (CHRÁSTKA 1969). Z obrázku 2 je patrné, že od roku 2003 docházelo v koncentracích dusičnanů (50 mg.l<sup>-1</sup>) k občasnému překročení limitní hodnoty vyhlášky č. 376/2000 Sb., resp. 252/2004 Sb. (kvalitativní limity pitné vody) a od konce roku 2006 k více méně trvalému mírnému překračování limitní hodnoty koncentrace dusičnanů.

Zeleneč se nachází v Polabí, 2 km za v. okrajem Prahy – Horních Počernic. V obci při jejím s. okraji vyvěrá z vápni-  
tých slínovců bělohorského souvrství pramen „Zeleneč U studánky“, který napájí obecní rybník. Slínovce jsou čas-

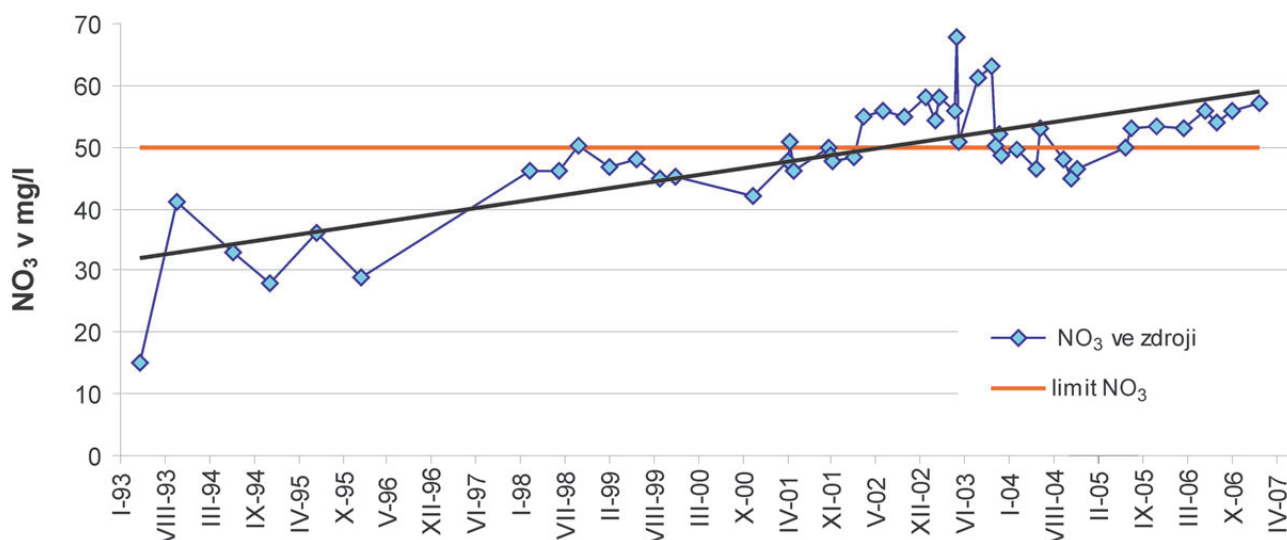
tečně překryty sprašemi a sprašovými hlínami (HAVLÍČEK et al. 1986 a HOLÁSEK et al. 1987). V ploše orografického povodí pramene o rozloze 0,76 km<sup>2</sup> převažuje orná půda, plocha zastavěná obcí tvoří jen malou část.

V období 12/1957–10/1961 byl uvedený pramen pod identifikačním číslem PP 733 zařazen do monitorovací sítě ČHMÚ. Pramen je zachycen jímkou z betonových skruží o průměru 1 m s přepadem. Ve sledovaném období byla podle údajů ČHMÚ maximální vydatnost pramene 5,6 l.s<sup>-1</sup> a minimální 0,2 l.s<sup>-1</sup>. Průměrná vydatnost se pohybovala okolo 1,4 l.s<sup>-1</sup>. V listopadu 2006 měl pramen vydatnost 0,8 l.s<sup>-1</sup>.

Pramen má vodu slabě alkalické reakce, molární subfacie Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> s celkovou mineralizací okolo 0,9 g.l<sup>-1</sup>. V říjnu 2004 se koncentrace dusičnanů ve vyvěrající vodě pohybovaly okolo 75,5 mg.l<sup>-1</sup>. Aktuální režimní sledování jakosti pramenní vody nejsou k dispozici.



Obr. 4. Hydrogeologická situace v širším okolí vrtu V 23 (upraveno podle VRÁNY et al. 1993 a ČURDY et al. 2003).



Obr. 5. Průběh koncentrací nitrátů v podzemní vodě klikovského souvrství ve vrtu V-23 Vlastiboř (černá linie ukazuje vzrůstající trend).

Obec Vlastiboř leží 5 km na Z od Soběslavi při sv. okraji třeboňské pánve. V roce 1987 byl zhruba 1 km od jejího tektonicky omezeného sv. okraje vyhlouben vrt V-23 v průlinově propustném kolektoru klikovského souvrství. Vrt o hloubce 50,0 m s otevřeným úsekem 21–47 m je zdrojem vody pro obecní vodovod ve Vlastiboři. Do hloubky 19 m je mezikruží vrtu zatěsněno cementační směsí. Ustálená hladina podzemní vody se nachází v hloubce kolem 13,5 m pod terénem. Specifická vydatnost vrtu byla v roce 1987 (KNEŽEK 1987) až  $13,5 \text{ l.s}^{-1}.\text{m}^{-1}$ . Obec Vlastiboř odebírá z výše uvedeného vodního zdroje  $0,3 \text{ l.s}^{-1}$ .

Klikovské souvrství tvořené písčitymi jíly, křemennými pískovci, kaolinickými jílovci až hrubozrnnými pískovci je prostředím s nepravidelným střídáním propustných a nepropustných poloh sedimentů různého rozsahu. Díky tomu nelze v pánvi vymezit spojitě jednotlivé kolektory a izolatory, a proto je zvodněné prostředí charakterizováno v celé jeho mocnosti jako jediný kolektor s výrazným rozdílem mezi horizontální a vertikální propustností.

Proudění podzemní vody v pánevní výplni probíhá především v průlinově propustných sedimentech. V horizontálním směru se podle KRÁSNÉHO a ČURDY (2001) průtočnost sedimentů klikovského souvrství pohybuje v řádu  $10^{-4}$  až  $10^{-2} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ , s koeficienty filtrace v rozmezí  $10^{-5}$  až  $10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$ .

Z hlediska oběhu podzemní vody lze v regionu rozlišit oběh lokální a regionální. Lokální oběh probíhá v rámci hydrologického povodí ve svrchních partiích pánevní výplně a přilehlého krystalinika, které tvoří hydrogeologické povodí pánve. Směřuje od míst srážkové infiltrace do lokálních drenážních bází, které tvoří povrchové toky. Regionální proudění podzemní vody v s. části třeboňské pánve probíhá od s. až sz. okraje pánve k JV k mažickým a borkovickým blatům (obr. 4). Podzemní voda je do pánevních sedimentů infiltrována ze srážek převážně v ploše pánevní výplně. Přitoky z nesedimentárních okrajů jsou z hydrologického povodí, které je v podstatě totožné s infiltrační oblastí pánve (KRÁSNÝ – ČURDA 2001).

Hydrologické povodí vrtu V-23 o ploše cca  $33 \text{ km}^2$  je

podle geologické mapy (VRÁNA et al. 1993) tvořeno moldanubickými pararulami a migmatity a křídovými sedimenty klikovského souvrství. Výše uvedené horniny jsou na sv. svazích překryty sprašemi a sprašovými hlínami (obr. 4). Podél Bechyňského potoka a Blatské stoky, které odvodňují území k JV, jsou vyvinuty fluvialní písčité hlíny. Mezi Klečaty, Mažicemi a Zálší se vyskytuje výrazná nehomogenita – mažický zlom, tvořící bariéru, na níž dochází k přetékání proudu podzemní vody ve svrchní části pánevní výplně k J (KRÁSNÝ – ČURDA 2001).

V těchto místech vznikla rašelinista mažická blata.

Hydrologické povodí vrtu V 23 má na téměř 70 % území ornou půdu a na 30 % lesy.

Podzemní voda je slabě kyselá reakce, molární subfacie  $\text{HCO}_3\text{-NO}_3\text{-Ca}$  s celkovou mineralizací okolo  $0,15 \text{ g.l}^{-1}$ . V září 1987 (KNEŽEK 1987) se koncentrace dusičnanů v podzemní vodě ve vrtu V-23 pohybovaly okolo  $36 \text{ mg.l}^{-1}$ .

Z chemických analýz podzemní vody z vrtu V-23, které poskytly obecní úřad ve Vlastiboři a VaK České Budějovice, a z analýz ČGS za období 4/1993–2/2007 je patrný vzrůstající trend koncentrací dusičnanů v podzemní vodě ve vrtu V-23. Jak ukazuje obr. 5, dochází od roku 2002 k více méně trvalému překročení limitní hodnoty koncentrací dusičnanů v podzemní vodě ve smyslu vyhlášky č. 376/2000 Sb., resp. 252/2004 Sb.

## Metodika a výsledky

Ve studijních lokalitách byly odebrány vzorky podzemní vody, na nichž byly stanoveny stabilní izotopy kyslíku, které charakterizují rychlou složku oběhu podzemní vody, a stabilní izotopy dusíku, na jejichž základě lze určit původ dusičnanů. Analýzy byly provedeny prostřednictvím analyzátoru Fisons 1108 a na spektrometru Mat 251.

Pro určení střední doby zdržení vody ve studovaném objektu bylo použito široké spektrum přírodních stopovačů – freony 11 ( $\text{CFCl}_3$ ), 12 ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ) a 113 ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$ ),  $\text{SF}_6$  a tritium. Freony a  $\text{SF}_6$  byly odebrány podle metodiky OSTE-

Tabulka 1. Přehled stabilních izotopů dusíku a kyslíku v podzemní vodě v lokalitách Tatce, Zeleneč a Vlastiboř

lokality	$\delta^{15}\text{N}$	$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg.l}^{-1}$ )	$\delta^{18}\text{O}$	datum odběru vzorku
Tatce	6,0	63,4	-8,9	15.6.2007
Tatce	7,0	52,0	-8,9	11.7.2007
Tatce	7,1	55,2	-8,5	13.8.2007
Tatce	7,6	60,8	-9	20.8.2007
Zeleneč	7,5	96,0	-	7.11.2006
Vlastiboř	3,2	47,6	-9,5	24.4.2001
Vlastiboř	2,6	48,5	-9,8	5.11.2001
Vlastiboř	4,3	48,4	-9,5	10.2.2002
Vlastiboř	3,2	55,0	-10,1	28.3.2002
Vlastiboř	-0,4	55,0	-9,1	1.10.2002

RA et al. (1996) Měření obsahu freonů a  $\text{SF}_6$  bylo provedeno pomocí plynové chromatografie (GC-ECD). Analýza tritia ve vodě po elektrolytickém nabohacení proběhla na kapalinovém scintilačním spektrometru na PřFUK Praha. Pro výpočet obsahu freonů a  $\text{SF}_6$  v infiltrované vodě byly použity atmosférické koncentrace PLUMMERA et al. (1998). K modelování střední doby zdržení byl použit program FLOW (MALOSZEWSKI – ZUBER 1996).

## Diskuse

### Lokalita Tatce

Hodnoty stabilního izotopu dusíku ( $\delta^{15}\text{N}$ ) v podzemní vodě vzorků z lokality Tatce, uvedené v tab. 1, ukazují na smíšené zdroje dusíkatých látek s dominantní převahou organického dusíku (kejdy, hnoje). Hodnoty  $\delta^{18}\text{O}$  (tab. 1) indikují mělký oběh podzemní vody.

Naměřené hodnoty freonů,  $\text{SF}_6$  a tritia udává tab. 2. Koncentrace freonu 11 jsou vyšší, než odpovídá rovnováze s atmosférou. Hodnoty jsou zřejmě navýšeny díky únikům stopových množství freonu např. ze skládek v širším okolí zájmového území, např. u obce Chotutice nebo Radim, proto nelze výsledky z měření freonu 11 použít pro interpretaci stáří vody.

Střední doby zdržení se týkají pouze saturované zóny, doba zdržení v nesaturované zóně se u freonů a  $\text{SF}_6$  neprojevuje (koncentrace stopovačů nad hladinou vody jsou v rovnováze s půdní atmosférou).

Při aplikování exponenciálního modelu vychází střední doba zdržení vody v horninovém prostředí v rozmezí 15–50 let pro jednotlivé stopovače. Při aplikaci disperzního modelu se střední doba zdržení pohybuje mezi 12–35 lety.  $\text{SF}_6$  je více než freony náchylná ke kontaminaci atmosférickým  $\text{SF}_6$ , neboť jeho koncentrace v atmosféře velmi prudce stoupá. U freonu 12 bývají hodnoty v nižších polohách České republiky, mezi něž náleží i Polabí, často zvýšeny úniky stopových množství freonu např. ze skládek v širším okolí jímací studny, průmyslových podniků apod.

Oba procesy vedou k podhodnocení střední doby zdržení podzemní vody v horninovém prostředí.

Hodnoty tritia ukazují, že 5–20 % vody v prameni Tatce pochází z infiltrace během 60. a 70. let, kdy díky termionukleárním pokusům v atmosféře byly obsahy tritia extrémně vysoké.

Střední doba zdržení podzemní vody v povodí pramene Tatce se pravděpodobně pohybuje mezi 20–35 lety včetně nesaturované zóny (exponenciální model). Datování pramenné vody ukazuje, že současné koncentrace dusičnanů jsou výsledkem zemědělské činnosti v povodí pramene v sedmdesátých a osmdesátých letech minulého století. Je pravděpodobné, že i pokud byla snížena aplikace přírodních anebo umělých hnojiv po roce 1989, bude mírný nárůst koncentrací dusičnanů pokračovat po následující desetiletí díky značné střední době zdržení podzemní vody.

Získané střední doby zdržení lze vysvětlit nízkou intenzitou infiltrace v nižších a středních polohách ČR, tedy i v Polabí. Při specifickém podzemním odtoku okolo  $2 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$  je roční úhrn infiltrované vody okolo 60 mm. Při vlhkosti půdy 20 % je již v 1 m mocném půdním profilu možné teoreticky dosáhnout střední doby zdržení čtyř let. V saturované zóně o efektivní pórozitě 5 % je k době zdržení 20 let nutná střední dráha proudění pouhých 24 m (bez koncentrování proudění). V reálném případě se proudění postupně koncentruje (stejným průřezem proudí ve směru proudnice postupně stále více vody), a proto je reálná dráha pro dobu zdržení 20 let mnohem vyšší.

### Lokalita Zeleneč

Hodnoty stabilního izotopu dusíku ( $\delta^{15}\text{N}$ ) v podzemní vodě z pramene v Zelenci ukazují na převážně organické zdroje dusíkatých látek. Průměrná doba zdržení vody ve slínovcích v povodí pramene v Zelenci s plochou hydrologického povodí  $0,76 \text{ km}^2$  je na základě freonu 113 a  $\text{SF}_6$  mezi 5–10 lety (exponenciální model). Podíl vody infiltrované po roce 1970 tvoří minimálně 85 %; toto množství vody je v souladu s naměřenou aktivitou tritia ve vyvěrající vodě pramene, která dokumentuje minoritní zastoupení vody z 60. a 70. let minulého století.

### Lokalita Vlastiboř

Hodnoty stabilního izotopu dusíku ( $\delta^{15}\text{N}$ ) v podzemní vodě ve vrtu V-23 ukazují na anorganický původ dusičnanů, tj. z umělých hnojiv. Znečištění podzemních vod dusičnany dokumentované v podzemní vodě vrtu V-23 s otevřeným úsekem 21–47 m pochází z největší pravděpodobností z lokálního zdroje kontaminace, resp. ze skladování umělých hnojiv v prostoru zemědělských objektů situovaných na okraji obce Vlastiboř.

Z průběžného monitoringu jakosti podzemních vod v s. části třeboňské pánve (např. ČURDA et al., ZEMAN et al. 2006) a z výsledků řešení projektu VaV/510/4/98 ČGS v letech 1998–2002 (ROSENDORF et al. 2002) je patrné, že vlivem přirozeného proudění podzemní vody dochází k postupnému šíření kontaminace dusičnanů ve směru proudu podzemní vody do centra pánve s kvalitní podzemní vo-

Tabulka 2. Výsledky stanovení freonů, SF<sub>6</sub> a tritia v podzemní vodě

vzorek	datum odběru freonů a SF <sub>6</sub>	freon 12 (pmol/l)	±	freon 11 (pmol/l)	±	freon 113 (pmol/l)	±	SF <sub>6</sub> (fmol/l)	±	datum odběru tritia	tritium (TU)	±	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg.l <sup>-1</sup> )
Tatce	6.11.2007	2,5	0,2	6,1	0,7	0,21	0,05	1,5	0,2	15.6.2007	10,9	0,3	55
Zeleneč	7.11.2006	3,5	0,2	10,0	0,1	0,52	0,05	2,2	0,3	7.11.2006	8,9	0,2	–
Vlastiboř	30.11.2005	0,6	0,1	1,4	0,1	0,06	0,05	0,1	0,1	30.11.2005	17,6	0,3	60

pmol/l...10<sup>-12</sup> mol/l; fmol/l...10<sup>-15</sup> mol/l; TU tritiová jednotka

Tabulka 3. Přehled základních údajů o vrtech v okolí Vlastiboře

objekt	perforovaný úsek vrtu (m)	využití	datum analýzy	NO <sub>3</sub> (mg.l <sup>-1</sup> ) 2002	hloubka vrtu (m)	pozice objektu v rámci struktury/vzdálenost od V-23
V-23 Vlastiboř	21,0–47,0	vrt obecní čerpán	10.2.2002 28.3.2002 1.10.2002	48,4 48,9 72,7	50	oblast infiltrace a oblast transportu
CH-7 Borkovice	25,0–35,0	nečerpán	10.2.2002 19.3.2002 1.10.2002	9,00 42,3 67,3	63	oblast infiltrace a oblast transportu
CH-8 Borkovice		nečerpán	1.10.2002	–	82	transportu
B-7A Vlastiboř	10–59	nečerpán	25.3.2002	22,0		oblast transportu
V-20	7–15 20–58	nečerpán	10.2.2002 18.4.2002	2,1 2,1	68	oblast drenáže
V-20B					87	oblast drenáže
B-7A					61	oblast drenáže

dou. Nárůst dusičnanů je dokumentován ve vrtu CH-7, který je situován ve směru proudu podzemní vody pod vrtem V-23 v pánvi (obr. 4). Podzemní voda ve vrtu CH-7 obsahuje směsný, popř. denitrifikovaný dusík. Vyšší koncentrace dusičnanů ve vrtu CH-7 ukazují na vertikální šíření kontaminace. V okolí vrtu CH-7 dochází k naředění kontaminované vody poměrně velkým přítokem podzemní vody ze zbývající části pánve od S a SZ.

Doba zdržení podzemní vody v horninovém prostředí byla v lokalitě Vlastiboř stanovena pomocí dvousložkového modelu, kde první složka má dobu zdržení několik málo let a druhá složka, neobsahující freony ani SF<sub>6</sub>, je voda, která infiltrovala před rokem 1940. Zároveň byla doba zdržení počítána i pomocí jednosložkového modelu s exponenciální distribucí doby zdržení.

Varianta dvousložkového modelu vycházela z podílu mladé vody o objemu 4–10 %. Výše uvedený předpoklad je nereálný, neboť koncentrace dusičnanů v podzemní vodě dosahují 60 mg.l<sup>-1</sup> a zároveň podzemní voda vykazuje zvýšenou aktivitu tritia (tab. 2).

U varianty jednosložkového modelu s exponenciální distribucí doby zdržení vychází střední doba zdržení podle jednotlivých freonů na 120–300 let. Exponenciální model však má výrazné zastoupení vody s velmi krátkou dobou zdržení. Vyšší aktivity tritia ve vodě spolu s velmi nízkou koncentrací freonů a SF<sub>6</sub> ukazují na nevhodnost použití exponenciálního modelu pro výpočet doby zdržení vody v horninovém prostředí. Za vhodný model lze v tomto případě pokládat disperzní model s malou disperzí (D = 0,05),

ze kterého vychází střední doba zdržení 40–45 let podle freonů 11,12 a 113 i SF<sub>6</sub>, nebo model pístového toku, podle kterého vychází střední doba zdržení podle jednotlivých stopovačů 35–40 let.

Zvýšený obsah tritia 17,6 TU v podzemní vodě vrtu V-23 ukazuje, že podzemní voda obsahuje nezanedbatelnou příměs infiltrovaných vod z 60. a 70. let 20. století, neboť vody z tohoto období si udržely do současnosti zvýšené aktivity tritia. Naopak vody infiltrované během posledních 25 let již vykazují po opravě na rozpad relativně stálou aktivitu tritia okolo 8–10 TU. Obsah tritia v podzemní vodě odpovídá 20–35 % podílu vody infiltrované během 60 a 70. let 20. stol. Střední dobu zdržení tak na základě stopovačů (freonů, SF<sub>6</sub>, tritií a δ<sup>18</sup>O) lze ve vrtu V-23 odhadnout na 35–45 let. Podle všech poznatků lze očekávat nízké zastoupení vod infiltrovaných v posledních 10–25 letech a naopak vyšší zastoupení vod infiltrovaných před 25–50 lety, čemuž nasvědčuje vyšší tritiová aktivita a současně velmi nízké obsahy freonů, ale i SF<sub>6</sub>.

Ve vrtu V-23 se tedy projevuje jak lokální, tak i regionální proudění podzemní vody. Regionální proudění dokumentuje převážně složka s dlouhou dobou zdržení, neboť plocha hydrogeologické povodí vrtu V-23 dosahuje cca 69 km<sup>2</sup>. Lokální proudění s relativně krátkou dobou oběhu dokumentují stabilní izotopy kyslíku. Vzhledem ke sklonu hladiny podzemní vody (obr. 4), geologické situaci okolí obce Vlastiboř a vrtu V-23 a hloubkovému dosahu dusičnanů ve vrtech V-23 a CH-7 je pravděpodobné, že kontaminace dusičnanů se šíří podzemní vodou z orografického

povodí jímacího vrtu z prostoru v okolí obce Vlastiboř. Do hlubších částí pánve se dusičnanová kontaminace dostává pravděpodobně po zlomech, které omezují sv. okraj pánve.

## Závěr

- V okrajových částech české křídové pánve se v připovrchové zóně bělohorského souvrství mezi Prahou a Pečkami pohybuje střední doba zdržení vody mezi 10 až 35 lety v závislosti na rozsahu hydrogeologického povodí, mocnosti nesaturované zóny a hloubkovém dosahu oběhu podzemní vody.
- V severní části třeboňské pánve byla cca 1 km od v. okraje pánve zjištěna střední doba zdržení podzemní vody v klikovském souvrství v hloubkovém úseku 21–47 m, kde se míchá lokální a regionální oběh podzemní vody, mezi 35–45 lety.
- Dusičnany v podzemní vodě v prameni Tatce mají převážně organický původ a jsou výsledkem zemědělské činnosti v sedmdesátých a osmdesátých letech minulého století. Je pravděpodobné, že i za předpokladu snížené aplikace dusíkatých hnojiv po roce 1989 bude mírný nárůst koncentrací dusičnanů pokračovat po následující desetiletí vlivem značné střední doby zdržení podzemní vody.
- Dusičnany v podzemní vodě vrtu V-23 u Vlastiboře pochází z anorganických hnojiv. Z vývoje kontaminace a střední doby zdržení vody v horninovém prostředí lze usuzovat na bodový zdroj kontaminace, který se nacházel v okolí Vlastiboře v blízkosti tektonického omezení pánevních sedimentů.
- Výsledky studia koncentrací dusičnanů v podzemní vodě ukazují na nutnost monitoringu obsahů dusíkatých látek v podzemní vodě v zemědělsky obhospodařovaných oblastech. Jak dokumentují uvedené výsledky, je setrvalost dusičnanů v podzemní vodě a případný pokles jejich koncentrací dlouholetou záležitostí. Je pozdě hledat zdroj dusičnanové kontaminace, když koncentrace dusičnanů v podzemní vodě překračují limitní hodnotu vyhlášky č. 252/2004 Sb., ve znění pozdějších předpisů, 50 mg.l<sup>-1</sup>.
- Lze konstatovat, že řada organizačních opatření včetně změn způsobu hospodaření v území, která by měla zamezit či alespoň omezit pokračující kontaminaci podzem-

ních vod dusíkatými látkami, se neprojeví okamžitě, ale až za deset a více let.

## Poděkování

*Tento výzkum byl finančně podpořen projekty výzkumu a vývoje VaV/510/4/98 a SP 2e7/229/07 a rovněž výzkumným záměrem MSM0021620855.*

## Literatura

- ČURDA, S. et al. (2003): Třeboňská pánev severní část – bilance zásob podzemních vod a jejich jakosti v hydrologickém roce 2002. – MS Progeo s.r.o. Roztoky.
- HAVLÍČEK, P. et al. (1986): Soubor geologických a ekologických účelových map. Geologická mapa ČR. List 12-24 Praha. Měřítko 1 : 50 000. – Ústř. úst. geol. Praha.
- HOLÁSEK, O. et al. (1987): Soubor geologických a ekologických účelových map. Geologická mapa ČR. List 13-13 Brandýs nad Labem – Stará Boleslav. Měřítko 1 : 50 000. – Ústř. úst. geol. Praha.
- CHRÁSTKA, F. (1969): Vyhodnocení čerpací zkoušky ze studny v Tatcích. – MS Čes. geol. služba – Geofond. Praha.
- KNĚŽEK, V. (1987): Zhodnocení hydrogeologického průzkumu Záluží u Vlastiboře. – MS Vodní zdroje, Praha.
- KRÁSNÝ, J. – ČURDA, S. (2001): Optimální vodárenská exploatace a ochrana povrchových a podzemních vod v Jihočeském regionu. – MS Progeo. Roztoky u Prahy.
- KRÁSNÝ, J. et al. (1981): Odtok podzemní vody na území Československa. – Čes. hydrometeor. úst. 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. – International Atomic Energy Agency. Wien.
- OLMER, M. – KESSL, J. a kol. (2006): Hydrogeologická rajonizace České republiky. – Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., 23.
- OSTER, H. – SONNTAG, C. – MÜNNICH, K. O. (1996): Groundwater are dating with chlorofluorocarbons. – Wat. 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. – Appl. Geochem., 13, 1017–1043.
- ROSENDORF, P. et al. (2002): Omezování plošného znečištění podzemních a povrchových vod dusičnany. Závěrečná zpráva. – MS Výzk. úst. vodohospod. T. G. Masaryka.
- VRÁNA, S. et al. (1993): Soubor geologických a ekologických účelových map. Geologická mapa ČR. List 22-42 Bechyně. Měřítko 1 : 50 000. – Čes. geol. úst. Praha.
- ZEMAN, O. et al. (2007): Třeboňská pánev severní část – bilance zásob podzemních vod a jejich jakosti v hydrologickém roce 2006. – MS Progeo s.r.o. Roztoky.