

Podíl říční vody a zdroj vod s vysokými koncentracemi dusičnanů ve studňových řadech jímacího území Káraný

River water fraction and source of water rich in nitrates in Káraný wells

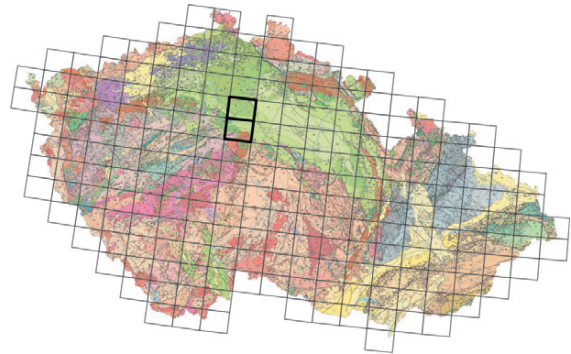
LUKÁŠ HRONEC¹ – Jiří BRUTHANS^{1,2} – RENÁTA KADLECOVÁ²

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

² Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1; jmeno.prijmeni@geology.cz

Key words: nitrates, well, aquifer, chemistry, Jizera River, Bohemian Cretaceous Basin

Abstract: The water supply system Káraný (WSSK), supplied by water from Quaternary fluvial aquifer and induced recharge from the Jizera River, has been affected by increase of nitrate content in recent years. Infiltration tests demonstrated low infiltration rate at soil surface of agricultural land and therefore Horton surface flow is generated after heavy rains and during watering periods. Horton surface flow is disappearing into open cracks. This concentrated recharge may be responsible for fast transport of water and nitrates via vadose zone. The fraction of water from Jizera River in individual wells of WSSK is calculated using calcium, sulphate and hydro-



(13-11 Benátky nad Jizerou, 13-13 Brandýs nad Labem-Stará Boleslav)

gen carbonate concentrations. For Sojovice, Skorkov and Benátky part of WSSK the water from Jizera River accounts for ~ 70–80%, ~ 30–40% and ~ 45–55% respectively. The remaining part of water is either derived from Quaternary fluvial aquifer (high nitrates) and/or water from Cretaceous Jizera Formation Aquifer (nitrates <40 mg/l).

Jímací území Káraný se nachází na dolním toku Jizery od jejího soutoku s Labem po Dražice u Benátek nad Jizerou (obr. 1). Odběr podzemní vody okolo 1000 l/s zde byl již od začátku 20. století využíván pro zásobování zejména Prahy pitnou vodou (Kněžek – Křivánek 2001). Od 70. let 20. století přibyla ještě tzv. umělá infiltrace, kterou lze zvýšit kapacitu jímacího území o dalších ca 900 l/s.

V jímacím území Káraný se podzemní voda získává převážně dvěma způsoby. Prvním je jímání podzemní vody z kvartérních fluviálních sedimentů pomocí 659 studní seřazených do linií, které se táhnou podél řeky Jizery (násoskové řady) v délce ca 250 m. Vzdálenost jednotlivých studní od sebe je okolo 40 m (tab. 1). Druhým způsobem je umělá infiltrace, kdy voda z řeky Jizery je přes pískový filtr infiltrována v zasakovacích nádržích mezi obcemi Káraný a Sojovice a poté jímána jednak násoskovými řadami a jednak samostatnými jímacími studnami s radiálními sběrači.

Podzemní voda z klasických zdrojů (násoskové řady, klasické jednotlivé jímací studny) může pocházet ze tří různých zdrojů: a) z řeky Jizery (břehová infiltrace, rozliv za povodní, umělá infiltrace), b) z kolektoru turonského (jizerské souvrství, případně přípovrchová zóna bělohorského souvrství) a c) voda ze srážek a závlah infiltrovaná v prostoru kvartérních fluviálních sedimentů.

V posledních deseti letech vzrostly koncentrace dusičnanů v podzemní vodě některých jímacích studní podél toku Jizery, zejména v sojovickém a skorkovském řadu. Z dů-

vodu udržení kvality jímání podzemní vody bylo studováno chemické složení podzemní vody a byl vytvořen hydraulický model (Milický et al. 2004). Dále byl velmi detailně studován původ dusičnanů pomocí izotopových metod, zejména s ohledem na jejich zdroj (hnojiva umělá, statková, úniky splaškových vod); byly vytvořeny geochemické modely míšení říční vody, vody z vadózní zóny a podzemní vody kvartérního/křídového kolektoru (Buzek et al. 2006, 2011). Geochemické modely jsou postaveny zejména na časovém průběhu hodnot $\delta^{18}\text{O}$, který je však výrazně utlumen jak ve vodě Jizery, tak i v podzemní vodě fluviálních sedimentů. Geochemické modely tak dovolují interpretovat data několika způsoby (srov. Buzek et al. 2006 a Buzek et al. 2011).

Cílem této práce bylo pokusit se upřesnit původ vody s vysokým obsahem dusičnanů v jímacích studních. K tomu bylo třeba:

1. Získat více informací o koncentracích dusičnanů a dalších látek ve vadózní (nenасыcené) zóně kvartérních fluviálních sedimentů.
2. Pomocí vhodných chemických stopovačů se pokusit rozlišit vodu z popsaných tří typů zdrojů.

Přírodní poměry

Průměrné roční teploty se ve studovaném území pohybují v rozmezí 9–10 °C a průměrné srážkové úhrny mezi



Obr. 1. Schematická mapa jednotlivých jímacích řadů.

450–550 mm. Území je tvořeno horninami české křídové pánve, při bázi sedimenty cenomanu, dále bělohorské a v nadloží jizerské souvrství. Podél toku Jizery a Labe jsou vyvinuty mocné kvartérní fluviální sedimenty, které leží v nadloží křídových sedimentů. Bělohorské souvrství, tvo-

řené slínovci a prachovci (Müller et al. 2001), je izolátorem propustným jen v přípořchové zóně rozpukání. Jizerské souvrství, tvořené jemnozrnnými pískovci až prachovci s vápnitým tmelem (Müller et al. 2001), je významným regionálním kolektorem. Horniny jizerského souvrství se nevyskytují na J od denudační hranice probíhající v okolí Sojovic. Kvartérní terasy o mocnosti až 20 m mají na bázi hrubé štěrky, které přecházejí až do jemných písků a případně i prachů (Müller et al. 2001). Střední hodnoty transmisivity kvartérního kolektoru jsou podobné jako u kolektoru jizerského souvrství (2×10^{-3} až 4×10^{-3} m²/s), ale maximální hodnoty transmisivity jizerského souvrství jsou zhruba o řád vyšší.

Metodika

Půdní voda byla zachycována v gravitačních lyzimetrech sestávajících z polypropylenových misek o půdorysech 19×25 až 32×50 cm, umístěných v hloubkách 20–60 cm pod povrchem půdy. Ve dvou případech byla miska umístěna pod neporušený půdní profil (do bočního zářezu), u ostatních lyzimetrů byla nádoba zaházena porušenou zemínou, která byla zhutněna. Z misek byla půdní voda svedena do sběrného kanystru a odtud zhruba jednou za měsíc odebrána. Vzorky půdní vody odebrané z lyzimetrů na chemické analýzy byly po odběru zfiltrovány ($0,45 \mu\text{m}$) a vzorky na stanovení kationtů okyseleny HNO_3 .

Pro zjištění hydraulické vodivosti byly provedeny infiltrační zkoušky za použití válce o průměru 20 cm. Pro zajištění vertikálního proudění byla voda infiltrována i do vykopaného zářezu podél vnějšího obvodu válce a zkouška se tak blíží podmínkám při použití dvouprstencových infiltrometrů (Hronec 2012).

Kationty a křemík byly stanovovány metodou ICP-OES (optická emisní spektrometrie s induktivně vázaným plazmatem), anionty pomocí HPLC (vysoce účinná kapalinová chromatografie) a alkalita titrací v laboratořích geologických ústavů Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy.

Poskytnuté údaje o chemickém složení podzemní vody jednotlivých studní sojovického, skorkovského, kocháneckého a benáteckého řadu z let 2005–2011 byly srovnány s chemickým složením povrchové vody řeky Jizery v profilech Předměřice nad Jizerou a Bakov (2005–2008), monitorovaných pramenů z jizerského souvrství v okolí obcí Čečelice, Košátky, Kropáčova Vrutice (roky 1974–2008), monitorovacích vrtů v jizerském a bělohorském souvrství a kvartéru, sledovaných Českým hydrometeorologickým

Tabulka 1. Základní údaje o studovaných jímacích řadech (Kněžek – Křivánek 2001, Jiráková 2007)

řad	břeh Jizery	začátek řadu	konec řadu	vzdálenost od řeky (m)		rozetup studní (m)	vydatnost řadu (l/s)
				min	max		
sojovický	L	1 km z. od obce Káraný	1,5 km s. od Sojovic	230	510	40	50–250
skorkovský	L a P	1,5 km jz. od Tuřic	1,3 km sz. od Předměřic nad Jizerou	200	340	40	40–115
kochánecký	P	1,9 km jz. od Kochánek	1,6 km v. od Kochánek	220	340	25	–
benátecký	L	2,5 km jz. od Benátek nad Jizerou	0,25 km jv. od Dražic	210	320	37	–

Tabulka 2. Průměrné koncentrace a směrodatné odchylky vybraných iontů v jednotlivých typech potenciálních zdrojů vody a ve studních jímacích řadů s nižším obsahem říční vody

iont	řeka Jizera (ČHMÚ)	bělohorské a jizerské souvrství (ČGS)	jizerské souvrství (ČHMÚ)	kvartérní pole (Geofond)	lyzimetry kvartérní náplavy	sojovický řad	skorkovský řad	benátecký řad
vápník	41 ± 12	139 ± 35	173 ± 7	142 ± 54	84 ± 56	157 ± 33	191 ± 34	161 ± 31
hořčík	4 ± 1	18 ± 11	17 ± 1	14 ± 7	5 ± 3	12 ± 6	13 ± 6	14 ± 9
hydrogenkarb.	96 ± 30	336 ± 75	324 ± 21	254 ± 77	159 ± 155	255 ± 25	301 ± 36	313 ± 40
sířany	31 ± 9	111 ± 49	148 ± 11	142 ± 94	41 ± 24	127 ± 38	154 ± 33	111 ± 34
dusičnany	11 ± 2,7	18 ± 26	27 ± 16	32 ± 37	59 ± 45	85 ± 39	73 ± 29	45 ± 34
chloridy	17 ± 7	31 ± 20	50 ± 10	38 ± 29	12 ± 9	34 ± 9	54 ± 16	41 ± 9

Poznámka: u jímacích řadů byla statistika provedena jen pro podzemní vody s obsahem říční vody pod 50 % (podle koncentrace vápníku); koncentrace sodíku, draslíku a křemíku ve vodách se mezi jednotlivými skupinami objektů výrazně neliší, proto zde nejsou uvedeny; objekty *kvartér pole* – objekty situované v prostoru orné půdy na fluvialních sedimentech.

ústavem (ČHMÚ) v rámci státní pozorovací sítě ČHMÚ, tak i výsledky archivních analýz uložených v České geologické službě (archivní údaje z vrtů mezi Benátkami nad Jizerou a soutokem s Labem do vzdálenosti zhruba 6 km od toku Jizery; roky 1955–2008). Mezi chemickým složením podzemní vody z vrtů jizerského a bělohorského souvrství nebyl zjištěn zásadní rozdíl, proto byly zpracovány společně. Celkem šlo o údaje ze 134 hydrogeologických objektů. Seznam uvedených objektů, jejich členění a statistické zpracování uvádí Hronec (2012). Použití dat s širokým časovým rozpětím odběrů vzorků může zvýšit variabilitu dat. Tento přístup nicméně považujeme za vhodnější než použití jen velmi omezeného počtu objektů s dostupnými informacemi např. z posledních deseti let. Navíc střední doby zdržení se v nížinatých oblastech Česka pohybují v řádu desítek let.

Výsledky a diskuse

Vertikální hydraulická vodivost

Celkem bylo provedeno osm infiltračních zkoušek ve vzdálenosti 500–750 m s. od obce Sojovice v okolí studní 203–208, kde se vyskytují vysoké koncentrace dusičnanů v podzemních vodách a kde se nacházely půdní lyzimetry. Propustnosti na povrchu půdy se pohybovaly v řádu 10^{-5} m/s, v hloubce 20 cm byly hodnoty výrazně nižší (od $< 7 \times 10^{-6}$ po 2×10^{-5} m/s). Výrazně nižší propustnost jak na povrchu půdy, tak v hloubce 20 cm vykazaly zkoušky pod hnojištěm v poli ($< 2 \times 10^{-6}$ m/s). Další pozorování ukázala, že při zavlažování polí anebo silnějších srážkách se na povrchu polí osázených bramborami tvoří drobné povrchové toky, které drénují značnou plochu povrchu a soustředěně se ztrácí do trhlín v půdě (až 0,1 l/s). Při této extrémní bodové infiltraci nelze vyloučit rychlý transport vody a rozpuštěných látek včetně dusičnanů vadózní zónou o mocnosti pouhých 5 m. Pozorovaná intenzivní bodová infiltrace může vysvětlit rychlý transport vody skrze vadózní zónu, zmiňovaný Buzkem et al. (2006) a zviditelněný krátkodobými propady hodnot $\delta^{18}\text{O}$ podzemní vody (Buzek et al. 2011).

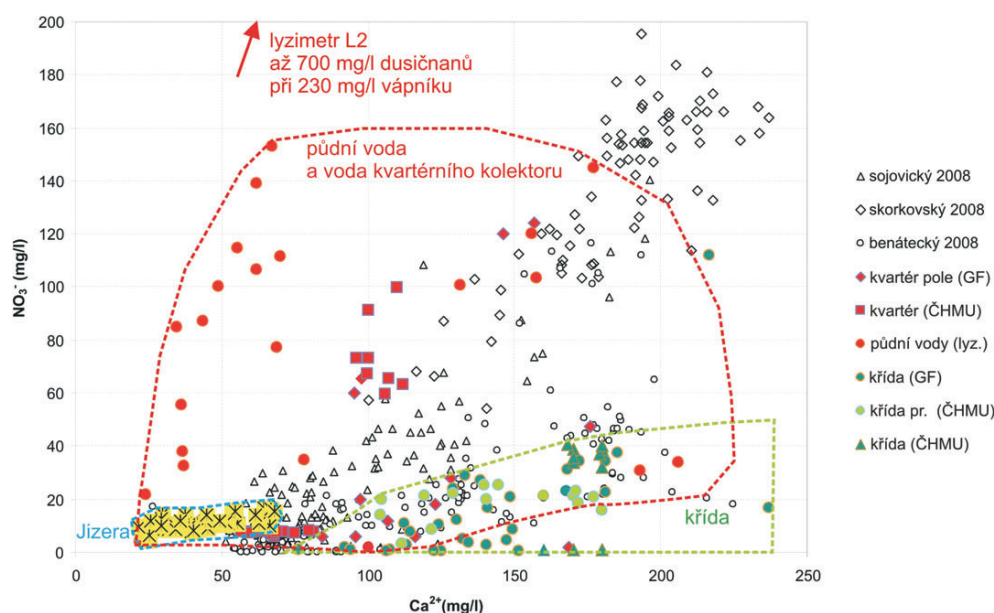
Tabulka 3. Koncentrace iontů v lyzimetru L2 související s extrémními koncentracemi dusičnanů

mg/l	datum odběru	
	18.12.2008	16.3.2009
pH	–	5
Ca	230	169
Mg	32	25
Na	14	10
K	10,00	5
Fe	< 0,20	< 0,05
Cl ⁻	109	86
SO ₄ ²⁻	57	51
NO ₃ ⁻	696	542
NO ₃ ^{-*}	762	585
HCO ₃ ⁻	0	5

* – analýza v jiné laboratoři

Lyzimetry

Lyzimetry byly umístěny ve vzdálenosti 500–750 m na s. od obce Sojovice v okolí studní 203–208 v poli, kde se pěstovaly brambory a pšenice, ve vzdálenosti ca 0,5–1 m od okraje pole (viz Hronec 2012). Z let 2008–2010 se podařilo získat měření z celkem osmi lyzimetrů. V jednotlivých lyzimetrech se zachytilo zhruba 2–25 % z ročního úhrnu srážek. Lze předpokládat, že v sušších obdobích část půdní vody lyzimetry obtékala (díky negativním sacím tlakům). Průměrné, maximální a minimální hodnoty iontů v půdní vodě zachycené v lyzimetrech uvádí tab. 2. Za zmínku stojí vysoké koncentrace dusičnanů (průměr 59 mg/l, bez lyzimetru L2) v půdní vodě. Extrémní koncentrace dusičnanů v půdní vodě byly zjištěny v lyzimetru L2, kde koncentrace postupně klesaly mezi prosincem 2008 a dubnem 2009 z počátečních 700 mg/l na 100 mg/l. Vysoké koncentrace dusičnanů byly potvrzeny analýzou ve dvou nezávislých laboratořích. Chemické analýzy těchto vod uvádí tab. 3. Nicméně na žádném jiném lyzimetru – a to ani na lyzimetrech L6 a L9 vybudovaných v těsném okolí ztraceného



Obr. 2. Obsahy vápníku a dusičnanů v jednotlivých typech vod a ve studnách jímacích řadů.

lyzimetru L2 – nebyly v půdní vodě zjištěny koncentrace dusičnanů vyšší než 160 mg/l. Extrémní koncentrace dusičnanů byly pravděpodobně způsobeny jednorázovým vymytím dusičnanů akumulovaných ve velmi málo propustné půdě (lokální deprese, kde se usazuje jemný materiál), kam mohly být dusičnany transportovány povrchovým splachem z hnojiště ležícího 80 m proti směru sklonu svahu od lyzimetru (viz Hronec 2012), nebo jde o lokální znečištění např. z nerozdrceného kusu hnojiva. K jejich vymytí došlo pravděpodobně po rozrušení půdy, kterou byl lyzimetr shora zasypán. K podobnému vymytí dusičnanů může dojít i při rozorání půdy s lokálně akumulovanými dusičnany. Koncentrace dusičnanů jsou v půdní vodě ostatních lyzimetru nejvyšší vesměs v únoru až dubnu (80–150 mg/l). Během jara a léta jejich koncentrace výrazně klesají, neboť jsou převážně spotřebovány rostlinami. Podobný trend během roku vykazují také chloridy. Koncentrace chloridů v půdní vodě až na výjimky nepřesáhly ve sledovaném období 30 mg/l.

Potenciální zdroje podzemní vody jímané ve studnách jímacích řadů

Srovnání chemického složení povrchové vody řeky Jizery, podzemní vody křídových hornin a kvartérních fluvialních sedimentů a půdní vody v prostoru fluvialních sedimentů je uvedeno v tab. 2. Z ní je zřejmé, že existuje poměrně výrazný rozdíl mezi chemickým složením povrchové vody Jizery a všech ostatních typů vod, zejména u koncentrací vápníku. Průměrné koncentrace vápníku v Jizeře jsou 2–4× nižší než v ostatních objektech. Vápník byl proto vybrán pro výpočet přibližného zastoupení říční vody v jímacích řadech. Naopak chemické složení podzemní vody křídových hornin se výrazněji neliší od složení podzemní vody fluvialních sedimentů u žádného z iontů s výjimkou dusičnanů (tab. 2). Ze 49 hydrogeologických vrtů a pramenů z jizerského a bělohorského souvrství pouze u dvou přesa-

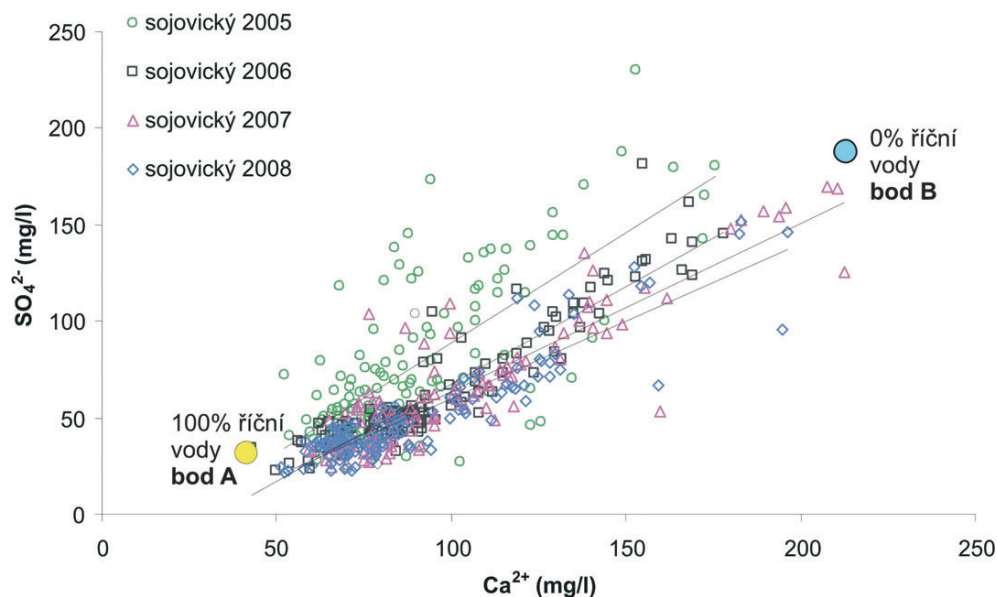
hovaly koncentrace dusičnanů v podzemní vodě 40 mg/l. Naopak v podzemní vodě kvartérního kolektoru byly zjištěny koncentrace dusičnanů často i přes 100 mg/l. Rozsah koncentrací dusičnanů v podzemní vodě jímacích řadů je podobný rozsahům v půdní a podzemní vodě fluvialních sedimentů. To naznačuje, že podzemní vody s koncentracemi dusičnanů nad 40 mg/l pocházejí z kvartérního kolektoru, na němž je intenzivně obdělávaná orná půda, nebo ze zástavby (úniky ze septiků). Nízké koncentrace síranů byly zjištěny v povrchové vodě Jizery i v půdní vodě a naopak výrazně vyšší koncentrace síranů jsou charakteristické pro kvartérní a jizerskou zvodně. Střední doba zdržení půdní vody bude dosahovat pouhých několika měsíců (Buzek et al. 2011) a i v povrchové vodě řeky Jizery bude pravděpodobně převažovat voda, která dopadla do povodí teprve po odsíření elektráren a má proto nízké koncentrace síranů. Naopak u podzemních vod z jizerského a kvartérního kolektoru lze očekávat dobu zdržení v řádu až desítek let (Bruthans 2006, Churáčková et al. 2010) a tedy převahu vod obsahujících vysoké koncentrace síranů z doby před odsířením elektráren. Vysoké obsahy síranů tak lze použít jako indikátor přítomnosti starších vod.

Z obrázku 2 je dobře patrné, že hodnoty dusičnanů benáteckého řadu padají převážně do pole křídových podzemních vod, zatímco vody ze sojovického a skorkovského řadu padají do pole vody z kvartérní zvodně.

Podíl říční vody v jímacích studnách a zdroje vody s vysokými obsahy dusičnanů

Koncentrace vápníku a síranů byly použity pro výpočet orientačního podílu říční vody v podzemní vodě jímacích řadů. Při vykreslení závislosti mezi koncentracemi síranů a vápníku se ukázalo, že studny padají na grafu podél linie (obr. 3). Průměrná koncentrace vápníku, síranů i hydrogenukarbonátů v povrchové vodě Jizery (bod A) se dobře shoduje s nejnižšími koncentracemi těchto iontů ve studo-

Obr. 3. Definování 0% a 100% podílu říční vody podle koncentrace vápníku a síranů.



Tabulka 4. Koncentrace vybraných iontů použitých pro výpočty podílu říční vody Jizery v jímacích studních

objekt	obsah vápníku (mg/l)	obsah síranů	obsah hydrogenkarbonátů	odpovídající podíl říční vody (%)
řeka Jizera	41	31	96	100
sojovický řad	213	188	–	0
skorkovský řad	239	237	–	0
kochánecký řad	252	–	450	0
benátecký řad	232	–	406	0

vaných jímacích řadech (obr. 3, viz Hronec 2012). Za nulový procentní obsah vody z řeky byl zvolen bod B na opačném konci lineárně protaženého shluku dat (obr. 3). Skutečné chemické složení podzemní vody z hydrogeologického zázemí – tzv. „neříční vody“ (bez přítomnosti složek pocházejících z řeky) může být pro jednotlivé jímací studny různé. Výsledkem je, že z uvedených výpočtů lze poměrně dobře odhadnout podíl říční vody pro nízké koncentrace vápníku, síranů a hydrogenkarbonátů a naopak u vyšších koncentrací vápníku a síranů je výsledek ovlivněn nejistotou v pozici bodu B. Hodnoty vápníku, síranů a hydrogenkarbonátů použité pro výpočty uvádí tab. 4. U sojovického a benáteckého řadu se výsledky výpočtů obsahu říční vody v jímacích studních pomocí dvou vybraných látek (vápníku a síranů; vápníku a hydrogenkarbonátů) od sebe neliší o více než 15 % (tab. 5). U skorkovského řadu dosahují rozdíly až 24 %.

Z tabulky 5 je zřejmé, že nejvyšší obsah říční vody v podzemní vodě jímacích studní vykazuje sojovický řad (v průměru ~ 70–80 %), nižší hodnoty benátecký (průměr ~ 45–55%) a zejména skorkovský řad (průměr ~ 30–40 %). Hodnoty z jednotlivých let se od sebe příliš neliší. Vypočtené hodnoty podílu říční vody pro skorkovský řad (~ 30–40 %) se příliš neshodují s odhadem podle modelování hodnot $\delta^{18}\text{O}$ (60 % říční vody, Buzek et al. 2006) ani s hodnotami odhadnutými z konduktivity (80 % vody z jizerského kolektoru – Šantrůček in Milický et al. 2004). Průměrné hodnoty uvedené v tab. 5 se naopak blíží výsledkům hydraulického numerického modelu (45 % říční vody

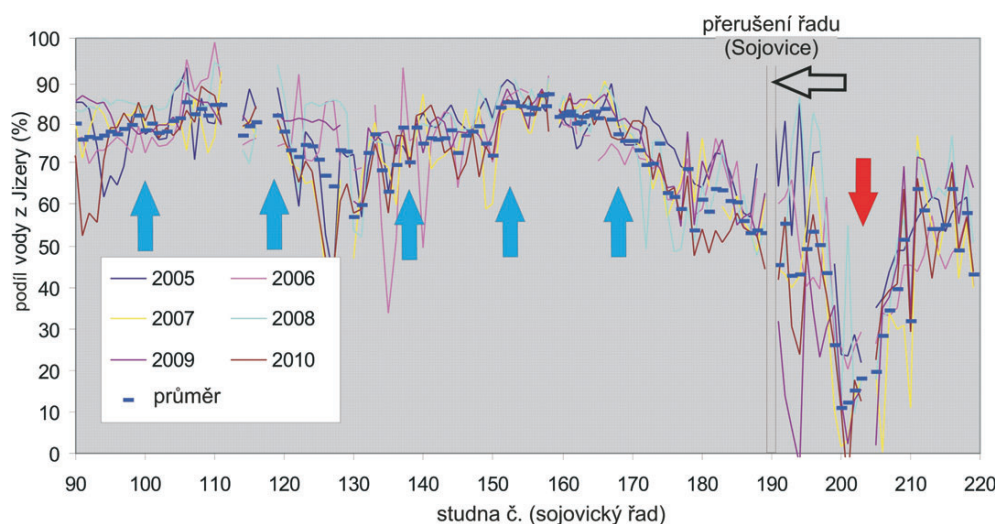
Tabulka 5. Vypočtený průměrný obsah vody z Jizery ve všech jímacích studních jednotlivých řadů (%)

řad	sojovický		skorkovský		kochánecký		benátecký	
	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻
2005	72	70	38	37	–	–	57	47
2006	68	79	34	48	–	–	–	–
2007	67	80	30	52	–	–	54	45
2008	72	88	27	48	45	33	56	45
2009	69	81	28	44	58	43	61	46
2010	66	78	11(?)	34	60	48	50	44
2011	61	77	6(?)	29	–	–	50	40
průměr	68	79	31	42	54	41	55	44

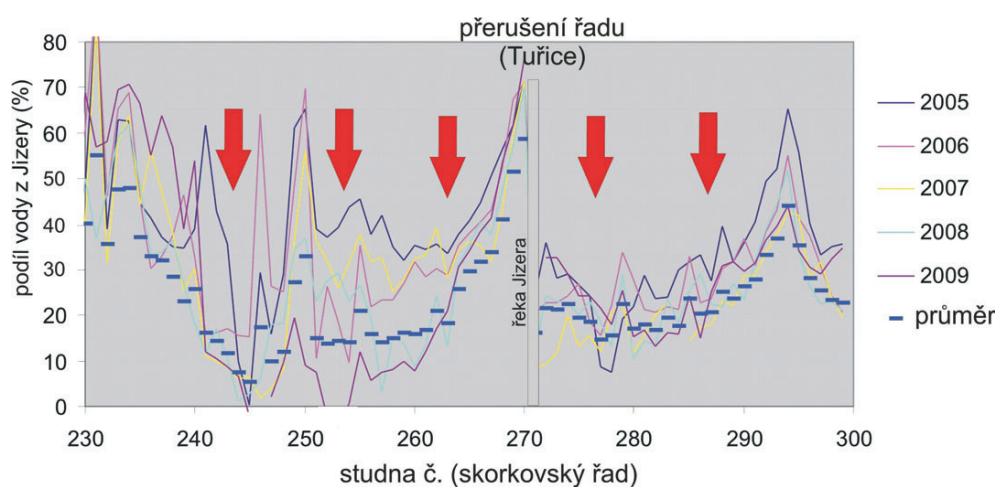
? – hodnoty nelze pro nízký obsah vápníku považovat za věrohodné (možné ovlivnění vzorků po odběru)

jak pro benátecký, tak skorkovský řad – viz Šantrůček in Milický et al. 2004).

U sojovického řadu je vysoký a v čase dosti stálý obsah říční vody (průměrně 75–85 % pro jednotlivé jímací studny, obr. 4) typický pro jímací studny mezi Káraným a Sojovicemi (zhruba po studnu 180). V tomto úseku jsou jímací řady sevřeny mezi řeku Jizeru a vsakovací nádrže umělé infiltrace. Mnohem nižší obsah říční vody byl zjištěn na jímacích studních 199–208 asi 0,5 km na S od obce Sojovice. Podíl říční vody zde klesá na 10–25 %.



Obr. 4. Obsah vody z řeky Jizery v jímacích studních sojovického řadu, vypočtený z koncentrací vápníku. ↑ – oblast s převahou říční vody, ↓ – zóna s převahou neříční vody, ⇐ – zóna s výrazným kolísáním obsahu říční vody v čase díky míšení vody z různých zdrojů.



Obr. 5. Obsah vody z řeky Jizery v jímacích studních skorkovského řadu vypočtený z koncentrací vápníku. ↓ – zóna s převahou neříční vody.

Původem vody v jímacích studních 199–208 a příčinou velmi vysokých koncentrací dusičnanů v podzemní vodě se zabývali Buzek et al. (2006) a zejména Buzek et al. (2011). Dusičnany dosahují koncentrací až 180 mg/l. Koncentrace dusičnanů ve sledovaných jímacích studních pozvolna rostou od března do listopadu, pak dochází k výraznému propadu jejich koncentrací v zimních a jarních měsících (Buzek et al. 2011). K propadu koncentrací dusičnanů došlo po výrazných srážkách a též jarní povodni. Buzek et al. 2011 interpretují naměřené údaje jako směs 70–80 % podzemní vody s koncentrací dusičnanů pouhých 40 mg/l s vodou z půdy (20–30 %) s extrémní koncentrací až 1200 mg/l (!) dusičnanů. Tento model sice poměrně dobře vystihuje časový průběh dusičnanů na jímacích studních 198 a 209, ale zdá se být s ohledem na chemické složení podzemních a povrchových vod nereálný z následujících důvodů:

1. Model vyžaduje extrémní koncentrace dusičnanů v půdní vodě. Na žádném lyzimetru v oblasti a to ani v L2 však takové koncentrace zjištěny nebyly, v L2 byla koncentrace 700 mg/l zjištěna pouze jednorázově a další rok na stejném místě již byly v půdě zjištěny koncentrace dusičnanů řádově nižší během celého roku (Hronec 2012);

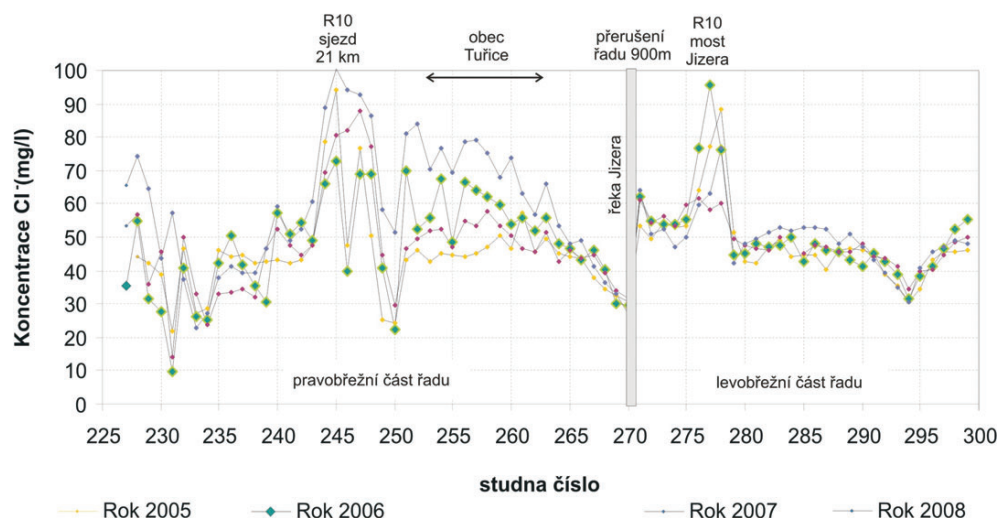
2. Pokud by měly v půdní vodě existovat díky hnojení koncentrace dusičnanů na úrovni vyšších stovek mg/l

a více, musely by být podobné koncentrace zastiženy alespoň v některých studních v okolí, které nejsou významně ředěny vodou s nižší koncentrací dusičnanů. Takové koncentrace ale nebyly zatím dokumentovány na žádném objektu.

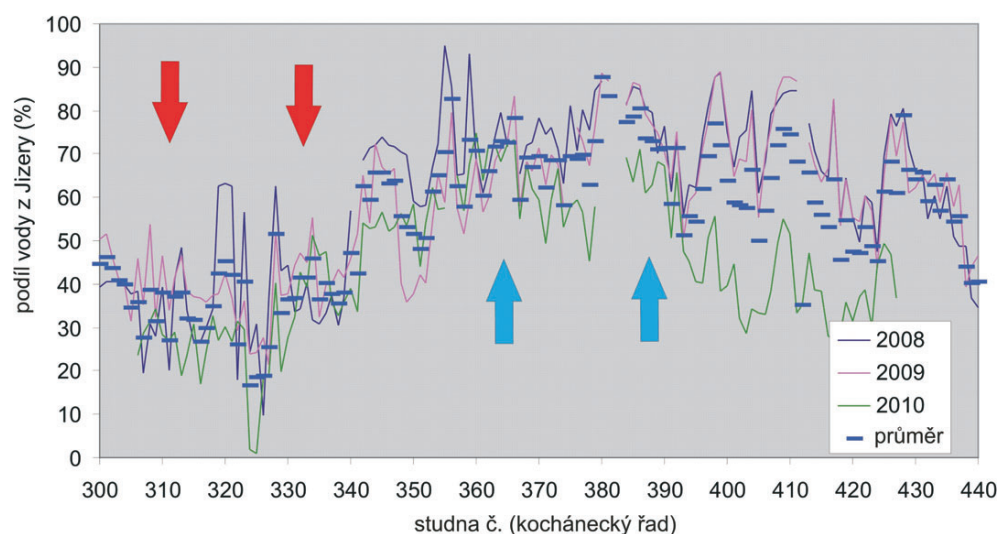
Z grafů závislosti mezi obsahem říční vody a obsahem dusičnanů a chloridů je zřejmé, že „neříční“ část vody pochází z jediného homogenizovaného zdroje (těsná nepřímá lineární závislost mezi obsahem dusičnanů a chloridů a procentuální podíl říční vody). Stu procentům „neříční vody“ odpovídá 180 mg/l dusičnanů a okolo 50 mg/l chloridů. Tyto hodnoty mírně přesahují koncentrace v blízkém monitorovacím vrtu NV17 (100–170 mg/l dusičnanů) a též studny ZŠ Sojovice a vrtu NV18 u Sojovic (90–140 mg/l dusičnanů). Podzemní voda z vrtu NV17 byla datována pomocí freonů a SF₆ a střední doba zdržení odhadnuta na 13 let (Buzek et al. 2011).

Z druhého vojenského mapování z let 1836–1852 je zřejmé, že do prostoru jímacích studní 199–208 směřovalo v 19. století podél Sojovic slepé rameno Jizery, které bylo později zasypáno. Je pravděpodobné, že jímací studny jsou dotovány vodou infiltrovanou v prostoru zemědělsky využívaných pozemků na S a Z od Sojovic. Nelze vyloučit ani úniky odpadních vod z obce Sojovice podél zasypaného slepého ramene do těchto jímacích studní.

Obr. 6. Distribuce koncentrací chloridů v podzemní vodě skorkovského řadu a prostorový vztah k potenciálním zdrojům chloridů.



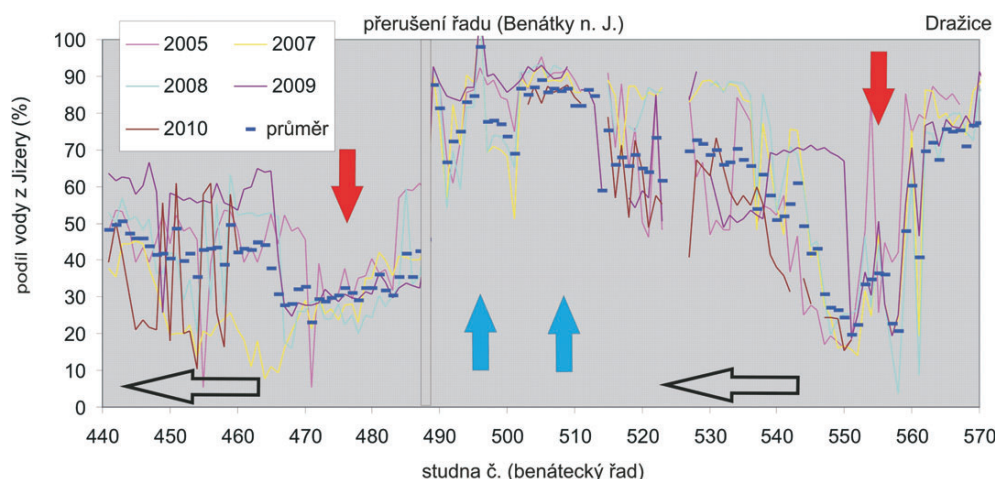
Obr. 7. Obsah vody z řeky Jizery v jímácích studních kocháneckého řadu vypočtený z koncentrací vápníku. ↑ – oblast s převahou říční vody, ↓ – zóna s převahou neříční vody.



U skorkovského řadu se v letech 2005–2011 průměrné obsahy vody z Jizery pohybovaly na jednotlivých jímácích studních mezi 10–60 % (obr. 5). U „neříční“ části vody se koncentrace dusičnanů pohybují mezi 40–140 mg/l a obsahy chloridů mezi 50–100 mg/l. Vysoké koncentrace dusičnanů naznačují, že jejich zdrojem bude spíše kvartérní kolektor. Koncentrace chloridů ani dusičnanů nevykazují těsný vztah s obsahem říční vody. Je tak zřejmé, že „neříční“ část vod tvoří různé zdroje vody s různou koncentrací chloridů i dusičnanů (na rozdíl od jímácích studní 198–209 v sojovickém řadu). To dobře souhlasí s výsledky práce Buzka et al. (2006) rozlišující podle koncentrací dusičnanů a izotopového složení $\delta^{15}\text{N}$ zdroje dusičnanů v levobřežní a pravobřežní části skorkovského řadu. U skorkovského řadu je dobře patrný vztah mezi blízkými antropogenními zdroji chloridů a jejich koncentracemi ve studních. Nejvyšší koncentrace chloridů v podzemní vodě úzce prostorově korelují s místy, kde lze očekávat vsak chloridů z rozmrazovacích prostředků (R10, sjezd 21 km a most přes Jizeru a nivu řeky; obr. 6).

U kocháneckého řadu se v letech 2008–2010 průměrné obsahy vody z Jizery pohybovaly v jednotlivých jímácích studních mezi 20–80 % (obr. 7). U „neříční“ části vody

koncentrace dusičnanů dosahovaly 0–50 mg/l a obsahy chloridů 40–70 mg/l. Zdrojem dusičnanů může proto být jizerské souvrství. U benáteckého řadu se průměrné obsahy vody z Jizery v letech 2005–2011 pohybovaly v jednotlivých jímácích studních mezi 30–90 % (obr. 8). U „neříční“ části vody se koncentrace dusičnanů pohybovaly mezi 20–180 mg/l a obsahy chloridů mezi 40–70 mg/l. Je tak zřejmé, že neříční složku tvoří různé zdroje vody s velmi různou koncentrací dusičnanů i chloridů. Nejvyšší obsahy říční vody byly zjištěny v prostoru Benátek nad Jizerou (jímací studny 489 a 510), kde jsou studny jímacího řadu sevřeny z jedné strany korytem Jizery a z druhé slepým ramenem řeky. Zóny s nízkým (20–30 %) a v čase stálým obsahem vody z řeky Jizery (jímací studny 467–486 a 548–558) se vzdáleností od řeky ani v jiných ohledech neliší od pozice ostatních jímácích studní. Koncentrace dusičnanů pro „neříční“ část vody jsou poměrně nízké: 60 mg/l pro jímací studny 467–486 a 30–40 mg/l pro jímací studny 548–558. U studní 548–558 může jít o přítok podzemní vody z jizerského kolektoru do kvartérního kolektoru. Ve směru toku řeky od těchto zón je možné pozorovat velké změny zastoupení říční vody v jednotlivých letech (v jímácích studních



Obr. 8. Obsah vody z řeky Jizery v jímácích studních benáteckého řadu vypočtený z koncentrací vápníku. ↑ – oblast s převahou říční vody, ↓ – zóna s převahou neříční vody, ← – zóna s výrazným kolísáním obsahu říční vody v čase díky míšení vody z různých zdrojů.

440–465 se obsah říční vody pohybuje mezi 20–60 %, v jímácích studních 520–540 mezi 50–80 %, obr. 8).

Závěr

Severně od obce Sojovice byly v letech 2008–2010 vzorkovány půdní vody v prostoru intenzivně obhospodařovaných polí pro stanovení koncentrací dusičnanů a dalších látek v půdní vodě. Chemické složení těchto vod bylo srovnáno s archivními údaji o chemickém složení povrchové vody řeky Jizery a podzemní vody z jizerského a kvartérního kolektoru (celkem 134 objektů). Ukázalo se, že podzemní vody z jizerského souvrství až na výjimky neobsahují koncentrace dusičnanů nad 40 mg/l, vyšší koncentrace jsou naopak typické pro podzemní vody kvartérního kolektoru, na kterém probíhá intenzivní zemědělské hospodaření. Podzemní vody s obsahem dusičnanů nad 40 mg/l tak velmi pravděpodobně pocházejí ze zdrojů z kvartérního kolektoru, nikoli z jizerského souvrství.

Na základě rozdílů v obsahu vápníku, síranů a hydrogenuhličitanů mezi vodou řeky Jizery a ostatních typů vod byly vypočteny orientační hodnoty zastoupení říční vody v jednotlivých jímácích studních v letech 2005–2011. Vypočtené údaje relativně dobře souhlasí s výsledky numerických hydraulických modelů zpracovaných Milickým et al. (2004).

Tam, kde jsou jímací řady dotovány říční vodou z obou stran (jímací studny 86–180 a 489–510), dosahuje podíl říční vody vypočtený z koncentrací vápníku a síranů obsažených v jednotlivých typech zdrojů vod okolo 80 % i více. V ostatních částech jímácích řad se říční voda podílí obvykle jen 20–50 % v jímání podzemní vodě s výjimkou kocháneckého řadu, kde to je až 80 %.

Povrch půdy na polích je podle infiltračních zkoušek i pozorování velmi málo propustný, což vede k vytváření povrchového stoku a bodové infiltraci velkého množství vody. Tím je možné vysvětlit velmi rychlý průnik určité frakce vody vadózní zónou, pozorovaný předchozími autory na časových průbězích koncentrací dusičnanů a i hodnot $\delta^{18}\text{O}$.

Poděkování. Za pomoc s terénními pracemi a zapůjčení terénního náčiní děkujeme P. Hroncovi, I. Hroncové, P. Mikušovi, H. Pokorné a M. Pokornému. Za poskytnuté informace o jímacím území Káraný děkujeme pracovníkům PVK Ing. L. Herčíkovi a L. Koudelové. Studie byla podpořena projekty VaV SP/2e1/153/07, SP/2e7/229/07 a MSM0021620855. M. Šandovi a P. Příbkovi děkujeme za cenné konzultace, J. Šantrůčkovi a M. Milickému za cenné kritické připomínky k textu.

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. – MS Přírodověd. fak. Univ. Karlova v Praze.
- BUZEK, F. – KADLECOVÁ, R. – JACKOVÁ, I. – LNEICKOVÁ, Z. (2011): Nitrate transport in the unsaturated zone: a case study of the riverbank filtration system Karany, Czech Republic. – Hydrolog. Proc. ISSN 1099-1085.
- BUZEK, F. – KADLECOVÁ, R. – KNEZEK, M. (2006): Model reconstruction of nitrate pollution of riverbank filtration using ^{15}N and ^{18}O data, Karany, Czech Republic. – Appl. Geochemistry 21, 4, 656–674, ISSN 0883-2927.
- HRONEC, L. (2012): Zdroje dusičnanů v náplavech dolní Jizery: Nenasyčená zóna a další možné zdroje. Dipl. práce, 109 str. – MS Přírodověd. fak. Univ. Karlova v Praze.
- CHURÁČKOVÁ, Z. – BRUTHANS, J. – LACHMAN, V. – MUSIL, V. – KADLECOVÁ, R. (2010): Proudění podzemní vody ve východní a severovýchodní části české křídové pánve (3H, 14C a SF6 stopovače, obsahy dusičnanů): doba zdržení a otázky efektivního monitoringu kontaminace. In: Geoscience Research Reports for 2009. – Czech Geol. Survey, Prague.
- JIRÁKOVÁ, H. (2007): Jakost podzemní vody v jímacím území Káraný. Dipl. práce, 77 str. – MS Přírodověd. fak. Univ. Karlova v Praze.
- KNEZEK, M. – KRIVÁNEK, O. (2001): Zdroje pitné vody v Káraném. – Pražské vody a kanalizace, a.s., závod Káraný.
- MILICKÝ, M. – HÖSL, P. – ŠANTRŮČEK, J. (2007): Hodnocení jakosti podzemních vod pro úpravnu vody Káraný. – SOVAK Čas. vodovodů a kanalizací 16, 10, 2–6, ISSN 1210-3039.
- MILICKÝ, M. – ŠANTRŮČEK, J. – ŠOUTA, M. – UHLÍK, J. – ZEMAN, O. – CHALOUPOKOVÁ, M. (2004): Hodnocení jakosti podzemních vod v jímacím území Káraný v roce 2004. – Praha.
- MÜLLER, V. – HAVLÍČEK, P. – HOLÁSEK, O. – HRADECKÁ, L. – JINOCHOVÁ, J. – KLEČÁK, J. – MAJER, V. – MANOVÁ, M. – RUDOLSKÝ, J. – ŠALANSKÝ, K. – ZELINKA, Z. (2001): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1 : 50 000, list 13-11 Benátky nad Jizerou. – Čes. geol. úst. Praha.