

Sebeorganizace proudění a pórozity v české křídové pánvi: výsledky stopovacích zkoušek a dalších metod

Self-organized flow and porosity in Bohemian Cretaceous Basin: Results of tracer tests and other methods

Jiří BRUTHANS^{1,2} – Petr MIKUŠ¹ – Jan SOUKUP¹ –
Daniel SVĚTLÍK¹ – Jiří KAMAS³ – Ondřej ZEMAN⁴

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

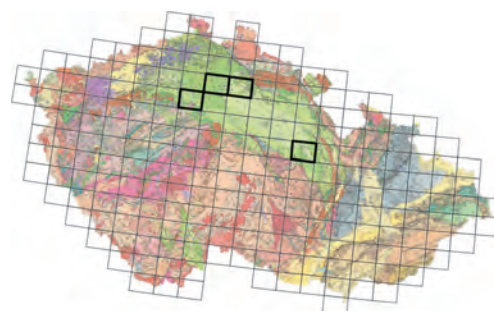
² Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1

³ EPS, s.r.o., V Pastouškách 205, 68604 Kunovice

⁴ PROGEO, s.r.o., Tiché údolí 113, 252 63 Roztoky u Prahy

Key words: Bohemian Cretaceous Basin, tracer test, self-organized flow, conduit, groundwater

Abstract: There are several areas in Bohemian Cretaceous Basin (BCB), where self-organized flow and porosity occurs. Some porosity is karstic in origin, created by dissolution of CaCO₃ cement in sandstone and sandy limestone (Miskovice in Kutná Hora surroundings), other porosity is clearly non-karstic, initiated by piping and later enlarged by collapse of overburden and sides of conduit (quartz sandstones with kaoline matrix in Střeleč Quarry). Concerning remaining part of porosity, it is not resolved yet which process from above mentioned was more important. From hydrogeological point of view however (flow pattern and velocity), all these phenomena are similar and can be dealt together as self-organized (SO) flow and/or porosity. Information from 32 successful tracer experi-



(03-33 Mladá Boleslav, 03-34 Sobotka, 12-22 Mělník, 14-31 Vysoké Mýto)

ments in BCB were collected and discussed in this study. Maximum flow velocity (calculated from time of first arrival of tracer) in conduits created by SO flow are between 2–35 km/day (up to 0,4 m/s) over direct distances up to 2 km, which is extreme velocity comparable with flow velocity in well developed karst. In other areas of BCB the tracer tests revealed maximum flow velocity in order of tens to hundreds m/day or even more (Mělnicko, surroundings of Benátky nad Jizerou). As SO flow is able to transport very quickly contamination over large distances, the future study is needed to delineate areas with SO flow and characterize the porosity and flow in detail.

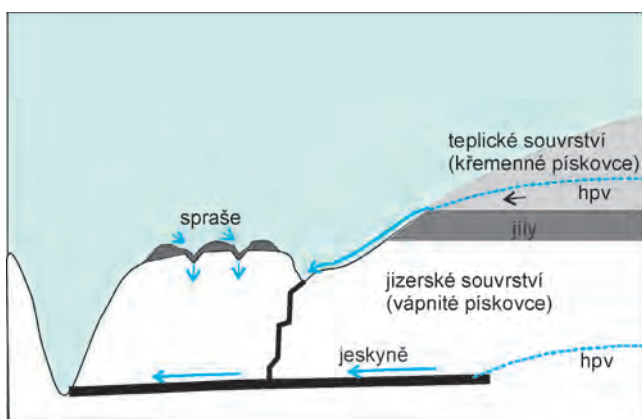
Jako kras je označováno území, kde převážná většina vody proudí druhotně rozšířenými krasovými kanály, vzniklými rozpouštěním okolní horniny (Klimchouk et al. 2000). Krasové kanály (jeskyně) jsou výsledkem sebeorganizace proudění a pórozity (Klimchouk et al. 2000). Voda zpočátku proudí obrovským počtem puklin a mezivrstevních ploch (dále puklin). Postupně se rozpouštěním pukliny zvětšují v zárodečné krasové kanálky. Jakmile první z těchto kanálků dosáhne místa odvodnění, dojde v něm k poklesu hladiny a ostatní kanálky se začnou šířit směrem k němu. Paralelní kanálky ztratí přítok a jejich rozšiřování se zastaví. Tak se postupně tvoří soustředný systém odvodnění, kdy jsou nakonec rozsáhlé oblasti drénovány do několika málo krasových pramenů (Klimchouk et al. 2000).

Sebeorganizace proudění a pórozity se ale uplatňuje i v některých pískovcích s kaolinickým tmelem, které neobsahují žádný karbonát. V takovém případě nelze mluvit o krasu. Dále existuje řada přechodných litologií, kde je obtížné rozhodnout, zda rozpouštění hraje zásadní či vůbec nějakou roli. Dosud neexistuje jednotný pohled na to, kam zařadit jevy, které nelze řadit pod kras. Často jsou zařazovány pod termín pseudokras, což však není vhodné, protože pseudokras zahrnuje i širokou škálu jiných jevů vzniklých velmi různými

procesy (např. svahovými pohyby), které mají často velmi různé hydrogeologické vlastnosti.

Vzhledem k extrémně vysokým rychlostem proudění podzemní vody a tendenci drénovat většinu vody několika málo cestami jsou oblasti se sebeorganizací proudění silně zranitelné, protože případné kontaminanty se mohou rychle šířit na značné vzdálenosti (Domenico – Schwartz 1998). Je proto důležitá taková území lokalizovat a studovat vlastnosti jejich extrémně propustné pórozity a proudění. Pokud jsou v těchto oblastech jímány zdroje podzemní vody, je nutné zamezit kontaminaci zejména těch míst, kde dochází k soustředěné infiltraci (závrty, místa ztracení trvalých či občasných vodních toků).

Cílem této práce je popsat doložené příklady sebeorganizované pórozity a proudění v české křídové pánvi a též příklady, kde rychlosti proudění ze stopovacích zkoušek naznačují přítomnost takové pórozity. Při sebeorganizaci proudění dochází k rozšiřování hlavních proudových cest ať už rozpouštěním, nebo jiným procesem (Klimchouk et al. 2000). Rozšíření puklin činností vody a jejich schopnost drénovat rozsáhlé oblasti je důkazem sebeorganizace. Vysoká rychlost proudění na hlavních proudových cestách a přítomnost velkých pramenů jsou rovněž typické pro sebeorganizované proudění.



Obr. 1. Schematizovaný hydrogeologický řez prostorem Bartošovy pece a okolí. hpv – hladina podzemní vody.

Metodika

Z archivních prací byly získány dostupné údaje o stopovacích zkouškách.

Pro vzájemné srovnání jsou použity pouze rychlosti z prvního objevení stopovače (označované v textu jako maximální rychlosti), protože je uvádějí všichni autoři. Rychlosti proudění podzemní vody ze stopovací zkoušky v kanálech, které nebyly prozkoumány v celé délce a jejich geometrie proto není přesně známa (Miskovice, s. okolí Turnova), jsou udávány po opravě na nerovnou vzdálenost podzemních kanálů (přímá vzdálenost je násobena 1,5; viz Field 2002, což přináší dobrou shodu se skutečnou délkou kanálů). V lomu Střeleč byly použity změřené délky kanálů. V případech všech ostatních oblastí byla použita přímá vzdálenost mezi injektážním a vzorkovaným objektem, protože není známo, o kolik je skutečná dráha proudění delší než přímá spojnice.

Nově byly provedeny stopovací zkoušky v lomu Střeleč, v oblasti Turnova a Miskovic pomocí rozpuštěné NaCl, jejíž koncentrace byla monitorována pomocí měření konduktivity a kalibrací mezi nárůstem koncentrace NaCl a zvýšením konduktivity. K vyhodnocení průnikových křivek stopovacích zkoušek byl použit program QtracerII (Field 2002).

Okolí Kutné Hory

Miskovický kras se čtyřmi závrtů s celkovou hltností přes 23 l/s a pramen Sv. Vojtěch s vydatností až 54 l/s se nachází 2 km západně od Kutné Hory. Oblast a charakter proudění detailně popisují Bruthans a Churáčková (2011). V jednom ze závrtů (Z1) byl speleologickým průzkumem obnažen krasový kanál, kterým voda ze závrtu odtéká. Na lokalitě bylo provedeno šest úspěšných stopovacích zkoušek na přímé vzdálenosti 2 km. Maximální rychlosti proudění se pohybují mezi 5–15 km/den. Zkrasovění je ale popisováno i z dalších míst na Kutnohorskú a Kolínsku: Matula a Pašek (1986) popisují únik vody z hráze v silně vápnitých pískovcích se stopami zkrasovění u Neškaredic na Kutnohorskú. Smutek

a Kříž (2007) popisují v cenomanských pískovcích s embryonálním krasověním u Polep na Kolínsku šíření NEL v saturované zóně až 40 m/den a šíření par benzínu v nesaturované zóně až 100 m/den.

Okolí Turnova

V oblasti ohraničené obcemi Hrubý Rohozec, Jenišovice, Frýdštejn, Malá Skála, Dolánky se nacházejí závrtů, ponory, poloslepá údolí a dvě jeskyně protékané podzemními toky s prozkoumanou délkou až 225 m a průtokem za maxima přesahujícím 100 l/s (Bruthans et al. 2006). Ponory a závrtů se vyskytují v místech, kde voda z teplického souvrství (výrazně nenasycená vzhledem k CaCO₃) nebo povrchová voda akumulovaná na mocnějších spraších se dostává do kontaktu s horninami jizerského souvrství obsahujícího až 80 % karbonátu (obr. 1). Tyto jevy jsou s vysokou pravděpodobností krasové, jak naznačuje přítomnost poloh s vysokým obsahem CaCO₃ a pozice ponorů v místech, kde se nenasycená voda dostává do kontaktu s horninou obsahující CaCO₃. Ve vstupních částech nejvýznamnějšího kanálu – jeskyně Bartošova pec – byly však novějšími výzkumy v osmi vzorcích horniny z hloubek 0–20 cm pod povrchem skalní stěny kanálu zjištěny obsahy CaCO₃ pouze 0,2–16 % (průměr 10 %), v úrovni 0–0,8 m nad tokem. Nelze proto vyloučit ani možnost, že kanál se rozšiřuje v polohách málo zpevněných kaolinických pískovců. Vstupní část jeskyně Bartošova pec, kde byly vzorky odebrány, je uměle rozšířená a zárodečný kanál může být situován až 2 m pod současnou úroveň sedimentů. Průzkum ve vnitřní části jeskyně, který by umožnil určit jednoznačně procesy vzniku, zatím není možný bez účasti speleopotápěčů.

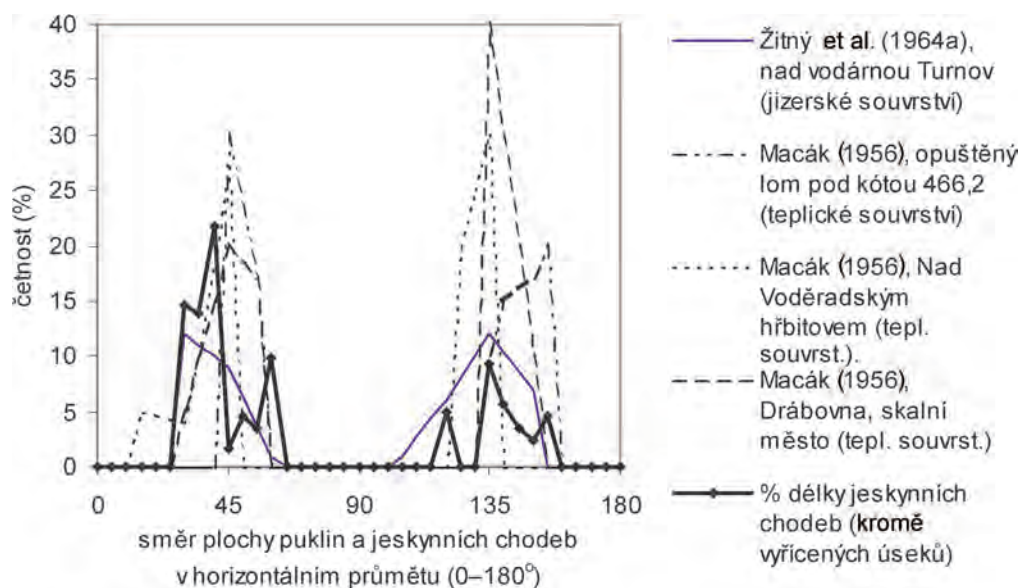
Při mapování a průzkumu jeskyně Bartošova pec se ukázalo, že původně nepatrné pukliny, které se na výchozech opakují po několika desítkách metrů, byly rozšířeny do kanálu o příčném průřezu 1–5 m² (obr. 2; Bruthans et al. 2006), který stahuje veškerou podzemní vodu z plochy 5–7 km². Je tak jednoznačně doloženo, že jde o sebeorganizaci proudění.

V oblasti provedl řadu stopovacích zkoušek L. Žitný v 60. letech minulého století, a to jak v povodí Bartošovy pece, tak i v okolí Hrubého Rohozce. Tyto i další zkoušky a citace původních prací obsahuje práce Bruthanse et al. (2006), novější stopovací zkoušky jsou shrnuty v práci Mikuše et al. (v tisku). Maximální rychlosti proudění z celkem jedenácti úspěšných stopovacích zkoušek se pohybují mezi 0,3 a 17 km/den (medián 5 km/den).

Lom Střeleč

Sebeorganizace proudění podzemní vody, jejíž projevy a změny lze navíc sledovat v měřících lidského času (roky, desetiletí), je vyvinuta v lomu Střeleč u Mladějova v Českém ráji. V lomu se těží sklářské písky teplického souvrství. Kaolinický pískovec zde neobsahuje CaCO₃, zejména v nižších

Obr. 2. Směry puklin v jizerském souvrství a nadložních kvádrových pískovcích teplického souvrství. Pro srovnání též délky chodeb jeskyně Bartošova pec, vyvinutých v návaznosti na pukliny s různou orientací. Je zřejmé, že jeskynní chodby sledují stejné směry puklin jako byly naměřeny na povrchových výchozech.



úrovňích lomu jsou zrna spojena jen kaolinovým matricem a pískovec je téměř nesoudržný (Procházka – Kořalka 2003), nicméně celkově je nutné ho rozduřovat odstřely (Smutek 2001). Podle čerpacích zkoušek na vrtech (např. Smutek 2001) i vlastních infiltračních zkoušek v lomu se hydraulická vodivost pískovce pohybuje mezi $3 \cdot 10^{-5}$ a $1 \cdot 10^{-3}$ m/s, takže ani při jednotkovém hydraulickém gradientu proudění v pórech pískovce nepřesahuje první mm/s a nedostačuje tak k erozi a odnosu pískovce. K rozšiřování puklin v zárodečné kanály dochází podle terénních pozorování zprvu podél otevřených puklin, které umožňují velmi rychlé proudění vody v řádu až prvních desítek cm/s. Rozšiřování puklin do kanálů se děje díky:

a) překonání kritické rychlosti na hranici pukliny a pískovce, kdy síla proudící vody puklinou působící na zrna pískovce (v zónách minimální soudržnosti) je vyšší než síly, které drží zrna pohromadě anebo

b) pískovec pod úrovní hladiny podzemní vody je natolik málo soudržný, že ztektí, rozpadá na zrna a ta jsou transportována puklinou.

Iniciátorem obou těchto odlišných procesů je vytvoření dostatečného hydraulického gradientu a tím i rychlosti proudění v otevřených puklinách aby mohl být transportován písek a uvolnil se prostor pro další erozi. Po vytvoření kanálu o určitém příčném průřezu se začne uplatňovat nízká pevnost pískovce v tahu i nad úrovní proudící vody, takže dochází k řízení bloků pískovce (i opadávání jednotlivých zrn) do toku, který bloky rozplavuje a odnáší. Řízení navíc ucpává po určitou dobu hlavní koryto a zvyšuje hydraulický gradient, čímž je voda toku vtlačována do stran do paralelních puklin, které se rozšiřují.

Během sedmi let zde vznikl kanál o příčném průřezu až 50 m^2 , dnes sanovaný. Zatímco transport písku zajišťuje výlučně vodní proud, zvětšování profilu se s výjimkou zárodečného kanálu děje prakticky výlučně opadem a sesouváním, avšak i v tomto případě je primární příčinou podemlání vodou (vytváření nestability v nadložích a stěnách). Protože stěny ně-

kteřých puklin jsou řádově odolnější vůči vodní erozi, než materiál pískovce uvnitř bločků omezených puklinami, eroze nezanechává na stěnách kanálu často žádné stopy (obr. 3). Měření rychlosti proudu pomocí hydrometrického křídla bylo doloženo, že pískovec ve stěně některých puklin není erodován ani při proudu okolo 0,6 m/s. Kanály v lomu Střeleč jsou velmi podobné přirozeným kanálům vyvinutým v některých oblastech české křídové pánve (obr. 4). I tyto kanály mají rovné stěny, bez stop vodní eroze. V lomu bylo v kanálech samovolně vytvářených proudící vodou provedeno celkem jedenáct stopovacích zkoušek na vzdálenost 14–61 m.

Kvantitativní stopovací zkoušky v kanálech vzniklých sebeorganizací proudění a pórozity

Výsledky celkem dvaceti kvantitativních stopovacích zkoušek, provedených přímo v kanálech vzniklých sebeorganizací, jsou vyneseny v obr. 5. Jak je z obrázku patrné, nejvyšších rychlostí dosahuje proudění v kanálech v lomu Střeleč (až 35 km/den, tj. 40 cm/s). Tyto rychlosti jsou nutné k transportu hrubozrnné frakce písku (a tedy k rozšiřování kanálu), jak je zřejmé z Hjulström-Sundborgova diagramu (Blatt et al. 1980). Odečtené hodnoty rychlosti proudu – maximální velikosti transportovaných zrn – dobře souhlasí se skutečnou velikostí klastů v kanálech.

Jak vyplývá ze stopovacích zkoušek, vysoké rychlosti proudění okolo 40 cm/s se uplatňují i v zárodečných kanálech s velmi malým průtokem (0,6 l/s); této rychlosti proudění dosahuje díky značnému spádu hladiny takových kanálů (5 %; měřeno přesným digitálním sklonoměrem). Rychlost proudění klesá pod 30 km/den pouze v kanálech, kde došlo k částečnému zatopení díky umělému zvýšení hladiny v jezeře v lomu (obr. 5). Rychlost blízka 30–35 km/den se v kanálech udržuje autoregulační koryta (zvýšení rychlosti vede k erozi písku, což zvětší průtočný řez a tím rychlost klesne zpět na původní



Obr. 3. Kanál v kaolinickém pískovci v lomu Střeleč, vytvořený sebeorganizací proudění vody od ledna 2009 díky snížení hladiny podzemní vody v prostoru lomu. Šířka kanálu s vodou je 30 cm. Ve střední části je kanál rozšířen díky erozi a opadu méně odolných bločků pískovce.



Obr. 4. Přírozně vytvořený kanál v kaolinickém pískovci 100 m z. od hráze rybníka Věžák u Krčkovic v Českém ráji. Šířka kanálu je okolo 10 cm. Srovnej s obr. 3.

hodnoty a naopak). Ve všech zkoumaných kanálech v lomu Střeleč se průtok během roku téměř nemění.

Zcela odlišná situace je u soustředěných ponorů v Miskovickém krasu a v okolí Turnova. Rychlosti proudění v těchto systémech jsou nižší (2–17 km/den). Ve dvou kanálech (kanál mezi závrtem Z4 a pramenem Sv. Vojtěch a kanál mezi ponorem Podhorčí a Bartošovou pecí) byly stopovací zkoušky opakovány za různých průtoků na ponorech. V obou případech existuje velmi těsná závislost mezi průtokem na ponoru a maximální rychlostí proudění (obr. 5). S exponenciálním růstem průtoku roste rychlost proudění lineárně. Důvodem, proč se v těchto případech na rozdíl od Střelče zvyšuje rychlost proudění s průtokem, je velké kolísání průtoku na ponorech (písek je přitom transportován pouze za nejvyšších průtoků) a nedostatečné množství transportovaného písku, aby mohl docházet k okamžité autoregulaci průtočného řezu za středních a nižších průtoků. Výše uvedené rychlosti proudění v kanálech jsou plně srovnatelné s rychlostí proudění v jeskynních systémech Moravského krasu (Mikuš et al. v tisku).

Mělnicko

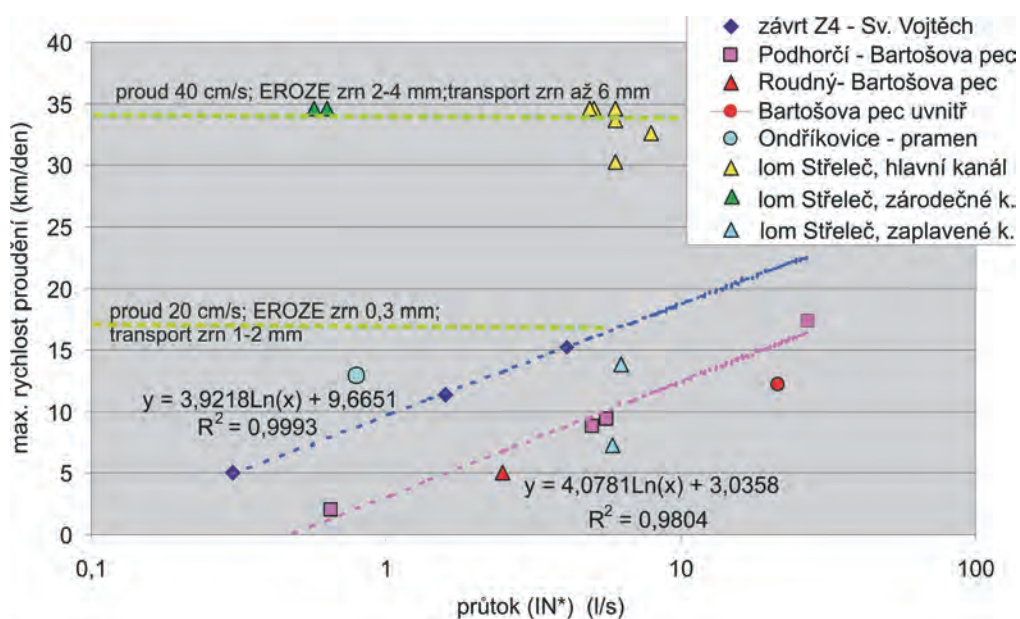
Hercog (1962) provedl stopovací zkoušku na ztrácejícím se toku Obrtky s použitím 100 kg NaCl a směsi 3 kg fluoresceinu a 3 kg uraninu jako stopovače. Voda z Obrtky se ztrácela v množství 9–18 l/s asi 300 m v. od obce Mošnice. Mezi Mošnicí a Velkým Hubenovem je tak údolí za nízkých vodních stavů suché. Sledováno bylo jak šest pramenů ve Velkém Hubenově, níže po proudu Obrtky, tak i šest pramenů s celkovou vydatností 28 l/s v Zakšínském dole v povodí sousední Liběchovky. Odběry byly prováděny v intervalu dvou a později čtyř hodin po dobu sedmi dnů. Hercog (1962) uvádí, že „kolorační výzkum prokázal nespornou spojitost povrchových vod Obrtky s podzemními vodami Zakšínské pramenní skupiny“. Objevení fluoresceinu a současné zvýšení obsahu chloridových iontů nastalo po 32 hodinách po injektáži a za tu dobu oba stopovače urazily 2–2,2 km, což odpovídá maximální rychlosti 1,7 km/den. V pramenech ve Velkém Hubenově stopovače prokázány nebyly.

Čapek et al. (1978) provedli stopovací zkoušku s 20 kg fluoresceinu injektovaného do bývalého Velkého pramene v Mělnické Vrutici. Při stopovací zkoušce bylo z náhonu do pramene injektováno 40–45 l/s. Fluorescein nebyl zjištěn na čerpaných vrtech Pš 2, 3, 3a a 16, zato dorazil po čtyřech dnech do pstruhárny, kterou napájí pramen vzdálený 880 m od místa injektáže. Rychlost proudění tak dosahovala 200 m/den. Fluorescein dále dorazil do studní č.p. 1 a 3 a studny býv. Fruty (dnes Benkor) v Mělnické Vrutici, s rychlostmi až 300 m/den.

Prostor Kozích hřbetů u Benátek nad Jizerou

Na lokalitě Nádrž – Kozí Hřbety v bývalém VVP Mladá, ve vzdálenosti 2 km s. od letiště Boží dar a 700 m jz. od obce

Obr. 5. Výsledky kvantitativních stopovacích zkoušek provedených v kanálech jednoznačně vzniklých díky sebeorganizaci. IN^* – v prvních třech systémech je udáván průtok na ponoru (průtok na vývěru kolísá méně a není tak těsně svázán s rychlostí proudu), v ostatních průtok platný v celé dráze stopovací zkoušky. Velikosti erodovaných a transportovaných klastů byly odečteny z Hjulström-Sundborgova diagramu.



Všejany, je prováděna sanace ropných uhlovodíků v puklinovém kolektoru. V roce 2010 byla na lokalitě provedena stopovací zkouška s použitím fluoresceinu (1 kg) a eosinu (250 g), injektovaných do vrtů a sledovaných po dobu jednoho měsíce (Skalický et al. 2010).

Stopovače se objevily v sedmi z celkem čtrnácti sledovaných vrtů, situovaných od injektážních vrtů ve vzdálenosti až 160 m. Maximální rychlosti proudění se pohybovaly mezi 8–120 m/den (medián 33 m/den).

Vysokomýtská a ústecká synklinála

V oblasti vysokomýtské a ústecké synklinály je řada znaků, které svědčí pro přítomnost sebeorganizované pórozity v křídových hodinách. Nejpersvědčivějším důkazem o rozšiřování puklin do podoby kanálů je zpráva televizní prohlídky vrtu Lo15/4 na lokalitě Pekla ve vysokomýtské synklinále (Žižka 1984): „... v hloubce 85,4 až 85,7 m byly zastiženy oválné otvory v protilehlých stěnách, vysoké asi 30 cm a široké kolem 40 cm“. Z tohoto místa pocházel prakticky veškerý přítok vody do vrtu, který činil 100 l/s.

Pauliš (1981) popisuje ve vysokomýtské synklinále náznaky až pseudokrasové propustnosti pískovců. Jde zejména o vrt Cl 1 u Čisté, který při odpouštěcí zkoušce z kolektoru B (spodnoturonská zvođen) dosáhl vydatnosti 208 l/s. V obou synklinálách existují velmi vydatné prameny, které rychle reagují na srážkové události a průběhem vydatnosti v závislosti na čase připomínají krasové prameny. Vydatnost Petrových a Lučních pramenů v Březové, dnes jímaných pro brněnský vodovod, dosahovala až 1100 l/s. Časový průběh vydatnosti pramenů je způsoben infiltrací vod občasných povrchových toků po táních sněhu či srážkách. Voda mizí někdy i přímo do otevřených puklin, zřejmě rozšířených rozpuštěním.

Závěr

V české křídové pánvi se vyskytuje řada příkladů sebeorganizovaného proudění a pórozity. Část lze řadit pod kras, protože jevy vznikly rozpouštěním (Miskovice u Kutné Hory), část je jednoznačně nekrasová (kaolinické pískovce, lom Střeleč), část je na pomezí obou těchto typů anebo není dosud jednoznačně doloženo, jaký proces převládá (severní okolí Turnova, prameniště Pekla). Z hlediska rychlostí a charakteru proudění a tedy z hydrogeologického hlediska jsou si však všechny tyto jevy dosti podobné a je nejnvhodnější shrnout je pod termín **sebeorganizované (SO) proudění**.

V prostoru české křídové pánve byly v této práci shromážděny informace z 32 úspěšných stopovacích zkoušek. Rychlosti proudění v kanálech vzniklých sebeorganizací dosahují 2–35 km/den na vzdálenost až 2 km, což jsou extrémní rychlosti plně srovnatelné s rychlostí proudění v krasových kanálech Moravského krasu. V řadě dalších oblastí archivní i nové stopovací zkoušky doložily rychlosti proudění v řádu desítek až stovek m/den i více (Mělnicko, okolí Benátek nad Jizerou), což jsou pro podzemní vodu velmi vysoké rychlosti proudění; v těchto případech však jednoznačné důkazy o sebeorganizaci zatím chybějí, může to být např. i proudění na otevřené tektonice.

V budoucnu by mělo být prostředí s kanály vzniklými sebeorganizací detailněji studováno, protože se o něm dosud ví – s výjimkou několika omezených oblastí – velmi málo. Měly by též být lépe vymezeny oblasti, kde se tento typ pórozity vyskytuje.

Poděkování. Práce byly provedeny v rámci projektů GAUK 380511, MSM0021620855 a VaV SP/2e1/153/07. Autoři děkují firmě Sklopísek Střeleč, a. s., a RNDr. Danielu Smutkovi za možnost provádět výzkum v prostoru lomu Střeleč, Martinu Knížkovi a Petru

Nakládalo se za cenné kritické připomínky. Řešeno v rámci vědecko-výzkumného projektu VMG ČL, PFF UK, SCHKO Český ráj a ZIP Plzeň, o. p. s. „Kvartérní sedimenty pískovcové krajiny středního Pojizeří a Českolipska“.

Literatura

- BLATT, H. – MIDDLETON, G. – MURRAY, R. (1980): Origin of Sedimentary Rocks. – 782 s. Prentice Hill.
- BRUTHANS, J. – CHURÁČKOVÁ, Z. (2011): Využití stopovačů pro studium proudění, původu a vývoje chemického složení vody pramene (Sv. Vojtěch, česká křídlová pánev). – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2010.
- BRUTHANS, J. – ZEMAN, O. – VYSOKÁ, H. (2006): Geologie a hydrologie Bartošovy pece a okolí. In: JENČ, P. – ŠOLTYSOVÁ, L., ed.: Pískovcový fenomén českého ráje, 79–91. – Správa CHKO Čes. ráj, Turnov.
- ČAPEK, A. – NĚMEC, V. – ČURDA, S. – KNĚNICKÝ, S. – ŠANTRŮČEK, J. – CHALOUPEK, J. – KOČÍČKA, J. – PILAŘOVÁ, M. (1978): Souhrnná zpráva o úkolu Řepínský důl – doplňkové práce. – 43 s. Vodní zdroje, n. p. Praha.
- DOMENICO, P. – SCHWARTZ, W. (1998): Physical and chemical hydrogeology (second edition). – 497 s. John Wiley and sons, Inc. New York.
- FIELD, M. (2002): The QTRACER2 program for Tracer Breakthrough Curve Analysis for Tracer Tests in Karstic Aquifers and Other hydrologic Systems. – U.S. Env. protect. agency. <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=54930>.
- HERCOG, F. (1962): Zhodnocení koloračního výzkumu pohybu podzemních vod v horní části povodí Obrtky. – 7 s. Vodní zdroje, n. p.
- KLIMCHOUK, A. B. – FORD, D. C. – PALMER, A. N. – DREYBRODT, W. (2000): Speleogenesis, Evolution of Karst Aquifers. – 521 s. NSS, Huntsville. USA.
- MACÁK, P. (1956): Hydrogeologické poměry na Drábovně u Malé Skály. Diplom. práce, 38 s. – MS Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.
- MATULA, M. – PASEK, J. (1986): Regionální inženýrská geologie ČSSR. – 296 s. St. nakl. techn. lit., Praha.
- MIKUŠ, P. – BRUTHANS, J. – SOUKUP, H. (v tisku): Nové stopovací zkoušky za vysokých vodních stavů v infiltračním území Bartošovy pece. In: JENČ, P., ed.: Pískovcový fenomén Českého ráje. – Turnov.
- PAULÍŠ, R. (1981): Zhodnocení hydrogeologického průzkumu na lokalitě Čistá u Litomyšle I a II etapa. – 101 s. MS Vodní zdroje, Chrudim, Čes. geol. služba – Geofond P035952.
- PROCHÁZKA, S. – KOŘALKA, M. (2003): Závěrečná zpráva o katotázním měření ve vrtech (lom Střeleč). In: SMUTEK, D.: Střeleč lom. Režim podzemních a povrchových vod, Vyhodnocení monitorování za rok 2002. – MS Vodní zdroje, Chrudim, Čes. geol. služba – Geofond P105257.
- SKALICKÝ, M. – KAMAS, J. – JANOUŠKOVÁ, I. (2010) Dokončení sanace lokality po bývalé Sovětské armádě Kozí hřbety – metodická změna č. 4 – závěrečná zpráva. – 30 s. ENVIGEO, s.r.o.
- SMUTEK, D. (2001): Hydrogeologická funkce skaříšovského jihozápadního zlomu. – MS Vodní zdroje, Chrudim, Čes. geol. služba – Geofond P100417.
- SMUTEK, D. – KRÍŽ, L. (2007): Krasové jevy a jejich role při řešení hydrogeologických úkolů: případové studie z Prachovic (okres Chrudim) a Polep (okres Kolín). – Speleofórum 2007, 97–101.
- ŽITNÝ, L. – FAHRNICHOVÁ, V. – ŠTÁVA, M. – MATYÁS, V. (1964): Vymezení ochranných pásem v oblasti rohožeckých pramenů. – MS Vodní zdroje, Chrudim, Čes. geol. služba – Geofond P16502.
- ŽIŽKA, V. (1984): Závěrečné zhodnocení vrtů Lo 15/4 v Peklech a Lo 5/3 v Chocni – Pelinách. – MS Vodní zdroje, Praha, Čes. geol. služba – Geofond P045435.