



Datel, J. V.; Hartlová, L.; Hrabánková, A.; Novotná, J.; Slavík, J.	1
Možnosti optimálního zajištění jakosti pitné vody v malých vodárenských systémech (in Czech) <i>Options to provide quality of drinking water in small water supply systems</i>	
Uhlík, J.; Milický, M.; Polák, M.; Baier, J.	5
Bilancování množství podzemní vody při využití hydraulických modelů (in Czech) <i>The groundwater resources estimation in the use of groundwater flow models</i>	
Fendeková, M.; Fendek, M.; Danáčová, Z.	9
Podzemný odtok v slovenskej časti Tatier (in Slovak) <i>Groundwater runoff in the Slovak part of the Tatry Mts.</i>	
Šeda, S.	14
Vrty pro tepelná čerpadla a jejich rizika pro hydrogeologickou stratifikaci (in Czech) <i>Boreholes for heat pumps and their risks for groundwater stratification</i>	
Muzikář, R.	18
Interakce podzemní a povrchové vody (in Czech) <i>Interaction of ground water and surface water</i>	
Falteisek, L.	22
Diverzita mikroorganismů jako indikátor procesů v podzemních vodách (in Czech) <i>Diversity of microorganisms as indicator of processes in underground waters</i>	

water management
vodní hospodářství

Specialized scientific and technical journal for projection, implementation and planning in water management and related environmental fields

Specializovaný vědeckotechnický časopis pro projektování, realizaci a plánování ve vodním hospodářství a souvisejících oborech životního prostředí

Editorial Board: Ing. Vojtěch Bareš, Ph.D.; Ing. Andrea Benáková, Ph.D.; Mgr. Jan Daňhelka, Ph.D.; Ing. Václav David, Ph.D.; doc. Ing. Petr Dolejš, CSc.; doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur; doc. RNDr. Langhammer Jakub, Ph.D.; Ing. Iveta Růžičková, Ph.D.; Ing. Bc. Martin Srb, Ph.D.; prof. Ing. Jiří Wanner, DrSc.

Chief Editor: Ing. Václav Stránský
E-mail: stransky@watermanagement.cz
GSM: +420 603 431 597

Editor's office:
Vodní hospodářství, spol. s r. o.
Bohumilice 89
384 81 Čkyně

ISSN 2336-3533
www.watermanagement.cz

© Vodní hospodářství, spol. s r. o.

Možnosti optimálního zajištění jakosti pitné vody v malých vodárenských systémech

Josef V. Datel, Ludmila Hartlová, Anna Hrabánková, Jitka Novotná, Josef Slavík

Abstrakt

Jakost pitné vody dodávané v malých obcích z vlastních vodních zdrojů je dlouhodobě méně vyhovující než zásobování z velkých vodovodních systémů jak v ČR, tak v jiných zemích EU. Management malých vodních zdrojů má svá specifika spojená s nižší úrovní ochrany zdrojů, menšími požadavky na monitoring a menší kvalifikovaností provozovatele. Článek popisuje dvě doplňující se metodiky připravované na pomoc malým vodárenským systémům, aby se zlepšila zabezpečení jakosti dodávané pitné vody. Jde o metodiku pro vytvoření jednoduchého plánu pro zajištění bezpečného zásobování pitnou vodou pro malé vodárenské systémy (water safety plans) a metodiku komplexního řízení malých vodních zdrojů. Ukazuje se, že pro bezproblémové využívání vodních zdrojů na místní úrovni malých obcí je zásadní správný technický návrh, robustní konstrukce a optimální umístění dostatečně vydatného vodního zdroje, aby se maximálně využila přirozená ochranná funkce horninového prostředí. I malá obec pak může bez větších problémů takový vodní zdroj úspěšně provozovat. V případě vzniku potíží s vydatností nebo jakostí jímané vody se ale místní provozovatel neobejde bez vnější odborné pomoci.

Klíčová slova

pitná voda – malé vodovody – jakost vody – malé obce

Úvod

Zásobování kvalitní pitnou vodou patří k současnému standardu evropské civilizace. Česká republika dlouhodobě přispívá k vysoké úrovni ochrany zdraví obyvatelstva dodávkami zdravotně nezávadné pitné vody. Jakost pitné vody dodávané v malých obcích s vlastními vodními zdroji je ale dlouhodobě méně vyhovující než ve velkých distribučních sítích a v nejdůležitějších ukazatelích nejvyšších mezních hodnot se v posledních letech celkově dále zhoršuje [1, 2].

Ještě nepříznivější situace panuje v oblasti zdrojů vody pro nouzové zásobování. Většina malých obcí spoléhá na základě dat z PRVKÚK (krajských plánů rozvoje vodovodů a kanalizací) na dovoz vody cisternami a balené vody, lze si ale představit celou škálu mimořádných situací daných např. živelnými pohromami, kdy bude obec na kratší či delší dobu odříznuta od okolí a bude se muset spolehnout na své vlastní zdroje. Část obcí pro nouzové zásobování počítá s místními domovními či veřejnými studnami, a jen malá část disponuje speciálními zdroji pro záložní zásobování.

Management malých vodních zdrojů má svá specifika a současná legislativní, technická i právní řešení většinou odrážejí situaci velkých sídel a velkých vodárenských společností. Problematická situace u malých zdrojů zásobování pitnou vodou je výsledkem kombinovaného působení řady příčin, jak historických, tak současných, jak je uvádí [2]. Některé z nich lze zdůraznit i zde:

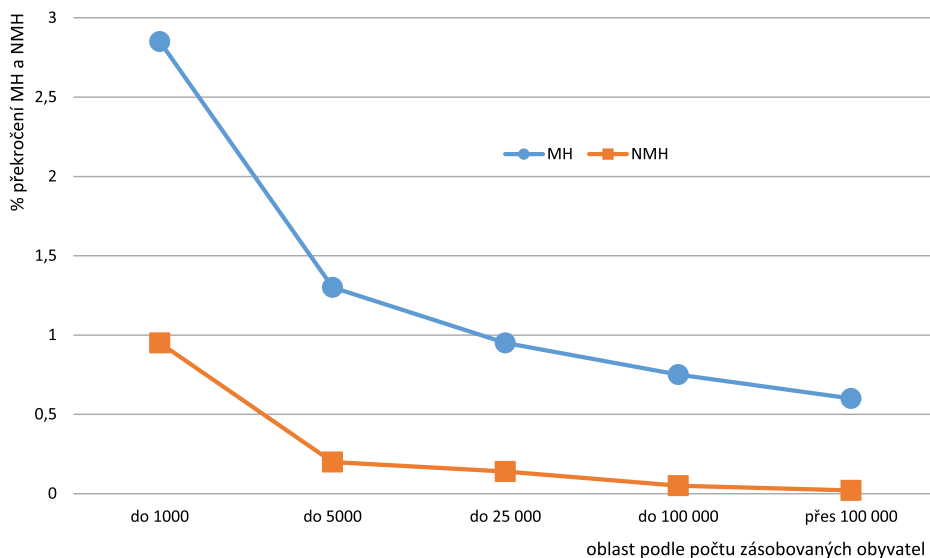
- Nižší úroveň ochrany malých zdrojů – ochranná pásma se podle zákona o vodách č. 254/2001 Sb. v platném znění stanovují povinně jen pro zdroje s odběrem nad 10 000 m³ za rok.

- Významné nedostatky a neúplnost v evidenci malých odběrů (odebíraná množství podle vyhlášky č. 431/2001 Sb., i jakost surové vody podle vyhlášky č. 428/2001 Sb.) ukazují, že pro některé malé obce je náročná i administrativa kolem provozování místního vodovodu.
- Povinná četnost rozborů surové vody je významně nižší (Vyhl. č. 428/2001 Sb. v platném znění), v nejnižší kategorii do 500 zásobovaných obyvatel se jedná pouze o jediný krácený monitorovací rozbor ročně. U vyrobené pitné vody jde o dva krácené monitorovací rozborů ročně a jeden úplný rozbor 1x za dva roky. Pravděpodobnost detekce občasných problematických stavů je tedy velmi nízká.
- Neexistují žádné legislativní požadavky na pravidelné kontroly stavu klíčových součástí celého systému zásobování, zhodnocení potenciálních rizik a provedení nápravných opatření. Orgány hygienické služby zaměřují svoji pozornost především na vyrobenou pitnou vodu. Kontrola a údržba vlastních jímacích objektů a dalších technických zařízení vodovodního systému (řady, vodojemy aj.) zůstává na provozovateli a jeho odpovědném přístupu. Ochranná pásma a stanovená opatření v nich se dle zkušeností autorů kontrolují u malých zdrojů jen sporadicky, vodoprávní úřady své kompetence v tomto směru příliš často nevyužívají.
- Malé zdroje mají obvykle jen velmi jednoduchou technologii úpravy (někdy pouze dezinfekci), a někdy ani není správně obsluhována, takže často nedosahuje optimální účinnosti.
- Nedostatek odborných znalostí a odborného zázemí na straně provozovatele. Odpovědné osoby malých vodovodů často nemají ani potřebné vzdělání, ani znalosti. Jsou dokonce případy (např. u gravitačních zdrojů), kdy provozovatel nezná přesné umístění jímacích zářezů, pramenních jímek apod., a jak se do nich dostat.

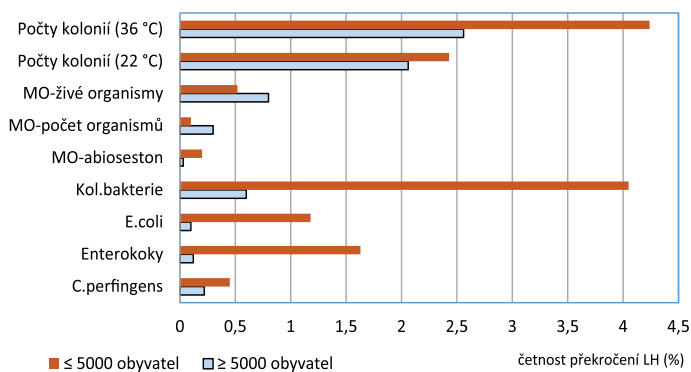
Z hlediska zabezpečení jakosti vody existuje jak v ČR, tak v jiných zemích EU zajímavá a varovná výrazná korelace mezi mírou překročení měrných hodnot a velikostí zásobované oblasti. Náhorně to ilustruje obr. 1, poskytující údaje o překračování hygienických limitů ve vodovodech (oblastech) zásobujících různý počet obyvatel. Zatímco u největších oblastí nalézáme nedodržení limitů zdravotně závažných ukazatelů (s nejvyšší mezní hodnotou – NMH) jen u asi 0,02 % stanovení, u nejmenších oblastí je to asi 1 % vzorků. U ukazatelů s mezní hodnotou (MH), které se vztahují především k ovlivnění organoleptických vlastností vody (ale do určité míry mají také zdravotní význam), je pak rozdíl ještě větší: u velkých oblastí byla v roce 2011 četnost nedodržení MH 0,5–0,8 %, u malých oblastí okolo 3 % [1].

Ještě více vynikne kritická situace u malých zdrojů tehdy, podíváme-li se na vodovody, u kterých byla udělena nějaká výjimka. Ze 124 veřejných vodovodů, na které byly v roce 2012 uděleny v ČR výjimky z nejvyšších mezních hodnot, bylo plných 114 malých vodovodů zásobujících méně než 1 000 obyvatel [3]. Graf na obr. 2 pak ukazuje nedobrou situaci v zabezpečení biologických ukazatelů pitné vody (ze kterých nelze udělit výjimku) podle počtu zásobovaných obyvatel.

Na základě doporučení Evropské komise a Světové zdravotnické organizace (WHO) se mají do řízení vodních zdrojů aplikovat nové přístupy založené na hodnocení a řízení rizika“ (RA/RM – Risk Assessment and Risk Management). Nejvíce rozšířená a využívaná forma



Obr. 1. Závislost jakosti pitné vody, vyjádřené jako procento překročení limitních hodnot (MH – mezní hodnota, NMH – nejvyšší mezní hodnota), na velikosti zásobované oblasti [1]



Obr. 2. Četnost překročení limitní hodnoty u mikrobiologických a biologických ukazatelů jakosti pitné vody u menších vodovodů. Česká republika, rok 2011 [1]

RA/RM je přijata a rozvíjena Světovou zdravotnickou organizací pod názvem „water safety plans“ (plány pro zajištění bezpečnosti vody nebo plány bezpečného zásobování pitnou vodou), viz <http://www.wsportal.org/ibis/water-safety-portal/eng/home>. V ČR je tato metodika podrobně rozpracovaná v monografii [4], a shrnuje ji také [3].

V rámci projektu [4] byly mimo jiné zpracovávány **metodiky pro vytvoření jednoduchého plánu pro zajištění bezpečného zásobování pitnou vodou** ze zdravotně-hygienického hlediska, a to odděleně pro jednoduché (malé) a komplexní vodárenské systémy. Metodika sestává z následujících kroků:

1. Ustavení týmu odpovědného za zpracování a zavedení plánu pro zajištění bezpečného zásobování pitnou vodou.
2. Popis systému zásobování (inventura systému po stránce technické, organizační i personální).
3. Identifikace nebezpečí (vyhledání všech existujících nebo hrozících nebezpečí v systému).
4. Charakterizace rizika (odhad pravděpodobnosti vzniku a následků zjištěných nebezpečí, určení prioritních rizik a kritických bodů).
5. Provedení či naplánování nápravných a kontrolních opatření u vysokých (nepříjemných) rizik. Potvrzení existujících nebo zavedení nových kontrolních či nápravných opatření ke snížení nebo předcházení ostatních významných rizik.
6. Zavedení systému provozního monitorování zvolených kontrolních opatření včetně správné provozní (výrobní) praxe a jejich dokumentace.
7. Verifikace – ověření správnosti plánu a jeho účinného provádění: sem patří jak externí audit čili nezávislé přezkoumání správnosti a úplnosti plánu, tak i rutinní (průběžná) verifikace ze strany provozovatele prostřednictvím povinných rozborů vody a sledování spokojenosti spotřebitelů.
8. Periodické přezkoumání účinnosti plánu na základě nových zkušeností, výsledků o kvalitě vody a havárií.

Zavedení plánů pro zajištění bezpečného zásobování pitnou vodou („water safety plans“)

Všichni výrobci potravin v Evropské unii musí podle zákona (v současné době platí přímo Nařízení EP a Rady č. 852/2004 (ES) o hygieně potravin; viz článek 5) při výrobě zavést postup HACCP (Analýza rizik a kritické kontrolní body), který má zvýšit bezpečnost vyráběných potravin. Podobný přístup při výrobě pitné vody – pod názvem „water safety plans“ – prosazuje již od roku 2004 také Světová zdravotnická organizace a Mezinárodní asociace pro vodu (IWA). Od té doby ho jako povinný zavedla do své legislativy řada zemí, např. Nizozemí, Velká Británie, Maďarsko ad.

S tímto přístupem se ztotožnila také Evropská komise a podle návrhu novely směrnice Rady 98/83/ES o jakosti vody určené pro lidskou spotřebu (přílohy II), který byl zveřejněn na podzim 2013 a měl by být schválen v roce 2014, se předpokládá, že cca do 5 let ho budou muset povinně zavést všichni výrobci pitné vody v Evropské unii. Publikace [3], na jejímž zpracování se podílel Státní zdravotní ústav (SZÚ) a Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (VÚV TGM, v.v.i.), a která je dostupná v elektronické verzi na stránkách www.szu.cz, obsahuje mimo jiné podrobnou metodiku zpracování plánu pro zajištění bezpečného zásobování pitnou vodou malých vodárenských systémů v českém jazyce.

Metodika komplexního řízení malých vodních zdrojů

Plány pro zajištění bezpečného zásobování pitnou vodou (water safety plans), hodnotící vlastní vodovodní systém (počínaje jímacím objektem), je třeba propojit s přírodovědnými (hydrogeologickými) informacemi o využívaném vodním útvaru, aspektech a rizicích jeho vodárenské exploatace. Vznikající metodika s názvem „Komplexní řízení malých vodních zdrojů pro optimální zajištění jakosti pitné vody za běžných i mimořádných situací“ bude proto vycházet ze dvou dílčích metodických materiálů:

- Z plánů zajištění bezpečného zásobování vodou (water safety plans), jejichž metodika je publikována a připravena k využití [3].
- Z metodiky hodnocení vlastního vodního zdroje (vodního útvaru), která v logické posloupnosti pohybu vody končí hodnocením vlastního jímacího objektu, tedy tam, kde začíná aplikace Plánu pro zajištění bezpečného zásobování pitnou vodou. Tato metodika striktně odděluje problematiku jímacího objektu (tzn. stavebního objektu sloužícího k odběru vody, většinou studny) a vodního zdroje (tzn. využívaného vodního útvaru v jeho hranicích), protože posuzování obou těchto záležitostí a přístup k nim jsou zcela odlišné. V prvním případě jde o technicko-provozní záležitosti konkrétního vodního díla (a de facto úvodní část water safety plans), zatímco ve druhém případě jde o hodnocení přírodního prostředí s výskytem vody (v případě malých vodárenských systémů většinou útvarů podzemní vody). Metodika hodnocení vodního zdroje je složena z těchto okruhů:

1. Východí informace
 - Hydrogeologické údaje o využívaném vodním zdroji (vodním útvaru) a jeho přírodních zdrojích;
 - Paspport dostupných údajů o hodnoceném jímacím objektu (objektech) a režimu odběru;
 - Ochrana a zranitelnost vodního útvaru a jímacích objektů.
2. Hodnocení kvalitativního stavu
 - Zhodnocení jakosti jímáné vody a její dlouhodobé zabezpečení;
 - Celkové zhodnocení kvalitativního stavu a ochrany vodního útvaru;
 - Technický stav jímacích objektů, jejich ochrana a údržba.
3. Optimalizace využívání a ochrany vodního zdroje za běžných podmínek
 - Návrh možností zlepšení situace v zabezpečení jakosti jímáné vody;
 - Vyhodnocení náročnosti těchto kroků (technické, finanční, personální, odborné), jejich prioritnosti a realizovatelnosti v podmínkách malé obce, jejich postupné uskutečňování.
4. Zásobování vodou v mimořádné situaci
 - Definování druhů rizik, pravděpodobnosti jejich hrozby, závažnost a délka dopadu pro konkrétní vodní útvar a jímací objekty, určení prioritních rizik;
 - Míra ohrožení jakosti jímáné vody v mimořádné situaci;
 - Místní možnosti náhradního provizorního zásobování pitnou vodou, vytipování možných záložních vodních zdrojů, doporučení pro jejich konstrukci, provoz, monitoring a ochranu za mimořádných podmínek.

Pracovní verze této metodiky je v letošním roce aplikována na pilotních územích a lokalitách, viz **obr. 3**. Po jejím ověření a odladění bude v roce 2015 k dispozici pro použití ve všech malých vodárenských systémech (v elektronické verzi na stránkách VÚV TGM, v.v.i. www.vuv.cz). Při formulaci metodických doporučení je kladen maximální důraz na jednoduchost jejich zavedení s ohledem na omezenou možnost malých obcí (personální, odborné, technické, finanční).

Zkušenosti z aplikace metodických doporučení na pilotních lokalitách

Metodické postupu jsou ověřovány na sedmi lokalitách malých obcí s vlastním vodárenským systémem, který provozují buď vlastními silami, nebo na objednávku u větší vodárenské společnosti [5, 6]. Osmým pilotním územím je okres Rakovník, na kterém je situace kolem malých vodních zdrojů ověřována z hlediska většího celku. Z **obr. 3** vyplývá, že ověřovací práce se soustředily do oblastí srážkové deficitních, kde v souvislosti se současnými klimatickými změnami hrozí sucho, které výrazněji ohrožuje především menší vodní zdroje, nejen z hlediska jímáného množství, ale i měnící se jakosti odebírané vody. K oblastem jižní Moravy a Rakovnícka (oblasti nejvíce ohrožené suchem a nedostatkem vody v ČR) byl připojen jako referenční ověřovací lokalita Velký Šenov.

Při plošné analýze povolených odběrů na území okresu Rakovník bylo zjištěno, že nedostatek informací o jakosti i množství čerpání



Obr. 3. Pilotní území a lokality pro ověření metodiky

vody pro pitné účely je problémem nejen u osamocených malých zdrojů, ale také v širším měřítku. Při srovnání seznamu povolených odběrů, evidovaných vodoprávním úřadem Rakovník, s databázemi odběrů a jakosti surové vody bylo zjištěno, že významná část povolených odběrů není evidována podle platných vyhlášek, jak z hlediska odebíraného množství (431/2001 Sb.), tak jakosti surové vody (428/2001 Sb.). Lze předpokládat, že podobná situace bude i v jiných regionech. Neúplnost těchto evidencí může být významnou překážkou hodnocení a posuzování malých vodárenských odběrů v širších územích. Prvním krokem takových prací musí být vždy kontrola a doplnění existujících informací na základě terénní rekonoskace a spolupráce s místním vodoprávním úřadem, který by vždy měl mít nejpřehlednější informace o spravovaném území.

Jednotlivé pilotní lokality reprezentují různé přírodní poměry, různé způsoby odběru, jakostní charakteristiky a další technické aspekty, aby mohly být metodické postupy ověřeny v různých podmínkách a souvislostech. Základním způsobem hodnocení lokalit a využívaných vodních útvarů je aplikace syntetické mapy zranitelnosti. Tyto mapy v měřítku 1 : 50 000 vznikly pro celou ČR v rámci projektu NAZV QH 82096, 2008–2012. Vycházejí ze syntézy 3 parametrů – zranitelnosti horninového prostředí (skládající se z dílčí syntézy tří map – zranitelnosti horninového prostředí, transmisivity a oběhu podzemní vody), zranitelnosti půdy a vláhové bilance. Součástí výzkumných prací na lokalitách je i podrobnější ověřování jakosti jímané surové vody, jak z hlediska rozsahu sledovaných parametrů, tak z hlediska četnosti odběrů, za účelem ověření sezónního kolísání některých parametrů. V dalším textu uvádíme základní charakteristiky pilotních lokalit.

Omice

Horninové prostředí: puklinové prostředí krystalinika brněnského masivu, průlinové prostředí zvětralínového pláště a pokryvných útvarů. **Hydrogeologický rajon:** 6570 Krystalinikum brněnské jednotky, 319 m n. m.

Jímací objekty a odběr: 3 širokoprofilové studny hluboké 6,6–9,9 m, odběr 1,1–1,2 l/s.

Jakostní problémy: kontaminace chloridy (vsak splachových vod z blízké dálnice D1), koncentrace průměrně 200–300 mg/l.

Ochrana a zranitelnost vodního zdroje: vyhlášená ochranná pásma 1. a 2. stupně, zranitelnost horninového prostředí střední až vysoká. **Prioritní problémy k řešení:** zabránit vsaku slaných splachových vod z dálniční komunikace do horninového prostředí; po vyřešení těchto splachů je předpoklad bezproblémového provozu jímacího území poskytujícího velmi kvalitní pitnou vodu (dnes s výjimkou chloridů).

Svatoslav

Horninové prostředí: puklinové prostředí krystalinika svratecké klenby (fylity), průlinové prostředí zvětralínového pláště a pokryvných útvarů. **Hydrogeologický rajon:** 6560 Krystalinikum v povodí Svratky, 517 m n. m. **Jímací objekty a odběr:** vrtaná studna HV 102, hloubka 20 m, odběr 1,8 l/s.

Jakostní problémy: nárůst koncentrací dusičnanů k 40 mg/l, původem ze zemědělské výroby na okolních pozemcích, pravděpodobná souvislost i s terénními úpravami a blízkostí rybníka a ČOV.

Ochrana a zranitelnost vodního zdroje: vyhlášena PFO 1. a 2. stupně, nejsou ale aktualizována podle stávajících předpisů, nízká až střední zranitelnost v místě jímacích objektů, v infiltrační oblasti zranitelnost vysoká.

Prioritní problémy k řešení: identifikace a eliminace kontaminace dusičnany, především ze zemědělských zdrojů, s důrazem na infiltrační území s vysokou zranitelností a preferenční cesty proudění podzemní vody.

Velký Šenov

Horninové prostředí: mělký, dominantně kvartérní kolektor s eluviálními partiemi podloží, výjimečně a pouze částečně jsou využívány i podzemní vody ze svrchní části krystalinika.

Hydrogeologický rajon: 6411 Krystalinikum Šluknovské pahorkatiny, 400 m n. m.

Jímací objekty a odběr: 6 dílčích jímacích území, jímací zářezy a mělké vrtané studny, celkový odběr kolem 5 l/s.

Jakostní problémy: potenciální zdroje znečištění v okolí některých zdrojů (staré průmyslové areály, skládka odpadů, železniční trať aj.), současná kvalita vody bez problémů.

Ochrana a zranitelnost vodního zdroje: aktualizovaná ochranná pásma dle stávajících předpisů, úroveň ochrany vyhovující, vysoká až velmi vysoká zranitelnost.

Prioritní problémy k řešení: s ohledem na vysokou zranitelnost prostředí nutné detailní zhodnocení potenciálních zdrojů kontaminace a eliminace zjištěných rizik.

Všechnovice

Horninové prostředí: sedimenty permu boskovické brázdy kryté neogenními sedimenty a kvartérním pokryvem, vodní zdroj využívá písčité neogenní sedimenty s napjatou podzemní vodou s průlinovou propustností kryté izolátorem neogenních jílu.

Hydrogeologický rajon: 2242 Kuřimská kotlina, 300 m n. m.

Jímací objekty a odběr: vrt HV 101, hloubka 63 m, odběr v desetinách l/s.

Jakostní problémy: velmi kvalitní podzemní voda bez aktuálních problémů.

Ochrana a zranitelnost vodního zdroje: vyhlášené jen ochranné pásmo 1. stupně, protože přírodní podmínky zajišťují dostatečnou ochranu využívaného vodního útvaru, zranitelnost území nízká, infiltrační území zalesněno bez potenciálních zdrojů kontaminace.

Prioritní problémy k řešení: udržení stávajícího příznivého stavu ochrany využívaného vodního útvaru.

Radějov

Horninové prostředí: flyšové horniny Bílých Karpat, v údolích kryté kvartérním pokryvem fluviálních sedimentů, v přípovrchové zóně převažující průlinová propustnost, hlouběji puklinová propustnost omezená rychlým střídáním různě propustných sedimentárních hornin.

Hydrogeologický rajon: 3222 Flyš v povodí Moravy, 250 m n. m.

Jímací objekty a odběr: vrt HVR-1 v údolí Radějovky, hloubka 20 m, vydatnost 1,5 l/s.

Jakostní problémy: v letních obdobích nedostatečná vydatnost a i zhoršující se kvalitativní stav jímané vody (souvislost jakosti vody s jakostí vody povrchového toku).

Ochrana a zranitelnost vodního zdroje: zranitelnost střední až vysoká, zvláště na svazích v infiltračních oblastech.

Prioritní problémy k řešení: obec vyřešila sezónní nedostatek vody napojením na dálkový vodovod, místní zdroj byl převeden do kategorie záložních zdrojů, prioritní je stanovení režimu dlouhodobé údržby záložního zdroje.

Velké Bílovice

Horninové prostředí: málo propustné neogenní sedimenty vídeňské pánve a karpatské předhlubně s převahou jílovitých vrstev, hydrogeologicky významné jsou pliocenní a kvartérní písky a štěrky, v nichž se vytváří mělká zvědeň s průlinovou propustností.

Hydrogeologický rajon: 2250 Dolnomoravský úval, 1652 Kvartér soutokové oblasti Moravy a Dyje, 250 m n. m.

Jímací objekty a odběr: odběry byly ukončeny před mnoha lety pro nevyhovující jakost vody.

Jakostní problémy: vysoké obsahy síranů (až 800 mg/l) z intenzivní zemědělské výroby (ošetřování vinnic), částečně možný i přirozený původ.

Ochrana a zranitelnost vodního zdroje: vysoká zranitelnost mělkého propustného kolektoru nedostatečně krytého půdní vrstvou.

Prioritní problémy k řešení: změna aplikace síranových preparátů s ohledem na zajištění ochrany podzemní vody (biohospodaření), aby byla aspoň perspektivně využitelná pro místní zásobování.

Višňové

Horninové prostředí: hlavním kolektorem s průlinovou propustností jsou spodnomiocenní štěrky a písky s ojedinělými polohami písčitéch jílu mocné cca 20 m.

Hydrogeologický rajon: 2241 Dyjsko-svratecký úval, 300 m n. m.

Jímací objekty a odběr: vrt HV-305, hloubka 20 m, odběr 3 l/s.
Jakostní problémy: rizika překročení radiologických ukazatelů (Vyhl. 307/2002 Sb.), závazný limit pro koncentraci přírodního uranu v pitné vodě byl stanoven hlavním hygienikem ČR na úrovni 15 µg/l, a to s vahou nejvyšší mezní hodnoty s platností od roku 2010.

Ochrana a zranitelnost vodního zdroje: pro ochranu vodního zdroje je limitující zemědělské hospodaření na okolních pozemcích, zranitelnost prostředí střední až vysoká.

Prioritní problémy k řešení: zhodnocení potenciálních zdrojů znečištění původem ze zemědělství, stanovení a zhodnocení radiologických ukazatelů, mj. i z hlediska výstavby nového záložního zdroje, protože obec v případě odstávky provozovaného vrtu nemá možnost jiného zásobování.

Dosažené dílčí závěry

Ukazuje se, že pro bezproblémové využívání vodních zdrojů na místní úrovni malých obcí je zásadní správný technický návrh, robustní konstrukce a optimální umístění dostatečně vydatného vodního zdroje, aby se maximálně využila přirozená ochranná funkce horninového prostředí. Za splnění těchto podmínek je pak odběr vody spojen jen s malým rozsahem potřebné údržby a kontroly. I malá obec pak může bez větších problémů takový vodní zdroj úspěšně provozovat.

Pokud je situace kolem ochrany vodního zdroje dlouhodobě ustálená, bylo by pravděpodobně často možné optimalizovat sledování jakosti jímané surové vody. I když je obecně malá četnost předepsaných povinných rozborů u nejmenších zdrojů, na mnoha lokalitách by bylo lepší individuálně stanovit sledované parametry a jejich četnost. Monitoring kvality vody by se tak zaměřil na problémové parametry, které jsou na různých lokalitách různé, jak vyplývá i z přehledu pilotních lokalit. Bez navýšení finančních prostředků na monitoring by se tak mohla zlepšit informovanost o kvalitě jímané vody.

Místní vodní zdroje často nemají potřebné záložní kapacity pro vyšší odběry, pro případ sezónního kolísání vydatnosti i potřeby vody. Část obcí si je vědoma tohoto faktu a snaží se postupně vybudovat záložní zdroje. Některé obce tento problém ale řeší napojením na vodovodní soustavu, pokud mají tuto možnost, a v nejlepším případě zůstávají místní zdroje v evidenci jako zdroje záložní.

Pokud dojde ke kontaminaci jímané vody, řešení situace často překračuje technické, odborné i finanční možnosti dané obce nebo malého provozovatele. Velmi často pak řešení směřuje k napojení obce na regionální vodovodní soustavu a místní znehodnocené zdroje jsou opuštěny.

V některých případech je kontaminace vody na obecní úrovni ale dobře řešitelná za nevelkých finančních prostředků, pokud se např. dosáhne dohody s místními zemědělci na úpravě hospodaření a aplikace hnojiv a dalších látek v infiltračních oblastech místních vodních zdrojů, na vymístění skládky odpadů z nevhodného místa, na vyřešení problémů s nekontrolovaným vypouštěním splaškových vod v obci apod. V naprosté většině případů však tyto obce potřebují odbornou pomoc a návrh řešení svých problémů. Odborně erudovaný hydrogeolog má zde nezastupitelnou funkci, aby navrhl odborně akceptovatelné, a přitom technicky a ekonomicky schůdné řešení v prostředí malé obce. Zdaleka ne vždy je optimálním řešením opuštění místních zdrojů a přenechání starostí se zásobováním obyvatelstva pitnou vodou na velkých vodárenských společnostech.

Významná část obcí se obtížně potýká se související administrativou, sledováním nových předpisů a povinností, mnohdy je i cena vody stanovena nesprávně, nejsou zvládnuta opatření pro případ výpadku dodávky vody apod. Nelze vyloučit, že potíže administrativního charakteru jsou jedním z hlavních důvodů, proč obec opouští provozování svých místních vodních zdrojů. Odborná metodická pomoc malým obcím musí tedy zahrnout i tuto stránku věci. Vznikající metodiky mohou významně pomoci malým obcím, které si chtějí zachovat své místní vodní zdroje a optimálně je provozovat v zájmu zajištění co nejlepší jakosti pitné vody pro své občany.

Je třeba zdůraznit, že pokud nastanou různé krizové a mimořádné situace, může být ve výhodě obec, která bude disponovat buď řádnými, nebo záložními místními zdroji vody, které budou odolné vůči suchu, povodňové situaci nebo jinému hrozcímu riziku, a nebudou se muset spoléhat na pomoc integrovaného záchranného systému, který ne vždy může pomoci v krátké době. A z druhé strany i síly integrovaného záchranného systému se budou moci lépe soustředit na pomoc obcím a územím, kde místní zásobování vodou není z různých důvodů možné, pokud se část obcí, zvláště odlehlejších a hůře dostupných (hornaté oblasti, pohraniční území), obejde bez jejich bezprostřední pomoci.

Poděkování: Článek vznikl za finanční podpory Technologické agentury ČR v rámci řešení projektu TAO2020184 Zajištění jakosti pitné vody při zásobování obyvatelstva malých obcí z místních vodních zdrojů.

Literatura/References

- [1] Gari, D. W.; Kožíšek, F. Zdravotní důsledky a rizika znečištění pitné vody. Zpráva o kvalitě pitné vody v ČR. Odborná zpráva za rok 2011. Praha: SZÚ, 2012.
- [2] Kožíšek, F. Problematika malých zdrojů pitné vody. Vodní hospodářství, 2011, 6, 225–227.
- [3] Kožíšek, F., Paul, J., Datel, J. V. Zajištění kvality pitné vody při zásobování obyvatelstva malými vodárenskými systémy. Praha: VÚV TGM, 2013, 114 s., ISBN 978-80-87402-26-9.
- [4] Tuhovčák, L.; Ručka, J.; Kožíšek, F.; Pummann, P.; Hlaváč, J.; Svoboda, M. aj. Analýza rizik veřejných vodovodů. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 254 s. ISBN 978-80-7204-676-8.
- [5] Datel, J. V. et al. (2013): TAO2020184 Zajištění jakosti pitné vody při zásobování obyvatelstva malých obcí z místních vodních zdrojů, Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2012. VÚV TGM, Praha.
- [6] Datel, J. V. et al. (2014): TAO2020184 Zajištění jakosti pitné vody při zásobování obyvatelstva malých obcí z místních vodních zdrojů, Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2013. VÚV TGM, Praha.

RNDr. Josef V. Datel¹⁾, Ph.D. (autor pro korespondenci)

Mgr. Ing. Ludmila Hartlová²⁾

Ing. Anna Hrabánková¹⁾

RNDr. Jitka Novotná²⁾

RNDr. Josef Slavík²⁾

¹⁾ Výzkumný ústav vodohospodářský

T. G. Masaryka, v.v.i.

Podbabská 2582/30

160 00 Praha 6

datel@vuv.cz

²⁾ GEOTest, a. s.

Šmahova 1244/112

627 00 Brno

Options to provide quality of drinking water in small water supply systems (Datel, J. V.; Hartlová, L.; Hrabánková, A.; Novotná, J.; Slavík, J.)

Abstract

Quality of drinking water in small communities with their own water resources has long been less satisfactory than in large water-supply systems in the Czech Republic as well in the EU. Management of small water resources has its own specifics associated with lower levels of resource protection, smaller monitoring requirements and usually smaller operators' competence. The paper describes two complementary methodologies prepared for improving quality of drinking water in small water supply systems. They are a methodology for simple water safety plans and a methodology for comprehensive management of small water resources. It turns out that for smooth use of water resources at the local level of small communities is a fundamental right technical design, robust construction and optimum location of wells with the required yield, in order to use in maximum the natural protective function of geological environment. Then also a small village could operate such water supply system successfully without major problems. In the event of difficulties with yields or quality of abstracted water a local operator usually has to rely on external assistance.

Key words

drinking water – small water supply – water quality – small municipalities

Tento článek byl recenzován a je otevřen k diskusi do 31. října 2014.

Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků.

Příspěvky posílejte na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.

Bilancování množství podzemní vody při využití hydraulických modelů

Jan Uhlík, Martin Milický, Michal Polák, Jan Baier

Abstrakt

Ocenění přírodních zdrojů pomocí hydraulických modelů závisí významně na množství a kvalitě vstupní informace o drenáži podzemní vody do říční sítě. Dostupné hydrologické metody stanovení podzemního odtoku poskytují rozdílné výsledky a chybí sjednocení optimálního postupu – alespoň pro potřeby porovnání jednotlivých rajonů, výpočtu bilanční napjatosti a případně jako základ pro další přesňování výsledku.

Hydraulické modely pracují obvykle s průměrnou hodnotou přírodních zdrojů v simulacích stacionárních. Kolísání množství přírodních zdrojů řeší simulace transientní. Využitím hydraulických modelů lze zúžit interval předpokládaného rozpětí přírodních zdrojů při využití informací hydraulických charakteristik, geometrie struktury a úrovní hladiny podzemní vody.

Klíčová slova

hydraulický model – přírodní zdroje podzemní vody – hydrogeologický rajon

Úvod

Stanovení množství je činnost, kterou člověk pro různé účely řeší po tisíciletí. Bez tohoto úkonu by se např. nerozvinul obchod, nebylo by možné plánování. Rozvoj vědy, vědění a odvozených metodik lidem umožnil počítat galaxie ve vesmíru, atomy v gramu libovolných látek nebo variety genů v dědičné informaci. Metodika je rozpracována i pro bilancování podzemní vody. Přesto se výsledky bilančních hodnocení v některých případech výrazně liší.

Stanovení množství podzemní vody je úloha do určité míry specifická: množství

- 1) kolísá v čase,
- 2) závisí na bilancovaném prostoru a
- 3) je, jak z názvosloví plyne, před měřením skryto pod zemským povrchem.

Množství podzemní vody charakterizují dvě veličiny – objem a průtok. Předkládaný text se soustředí na dynamickou složku podzemní vody (proudění). Průtok podzemní vody způsobený opakovaným doplňováním zásob ze srážkové infiltrace je označován jako přírodní zdroje (podzemní vody).

V období s výskytem srážek je celkový odtok v říční síti dán superpozicí složek podzemního, hypodermického a povrchového odtoku. Metodicky je stanovení podzemního odtoku obvykle založeno na separaci odtoku podzemního z odtoku celkového. Podrobný výčet a zhodnocení separačních metod zpracovala Švarcová [1]. Porovnáním výsledků vybraných separačních metod se zabývali Kněžek a Kessler [2] a Kadlecová [3].

Při splnění specifických hydrogeologických podmínek (uzavřenost struktury) dochází nad uzavěrovým profilem říční sítě k úplné drenáži proudy podzemní vody. Separované množství podzemní vody v tomto případě určuje celkové množství podzemní vody proudící ve struktuře (přírodní zdroje). Výsledkem snah o vymezení jednotek se stanovitelným množstvím přírodních zdrojů ve vazbě na geologické a hydrologické informace je hydrogeologická rajonizace území ČR, naposledy aktualizovaná ve VÚV TGM v roce 2005 [4].

Cílem projektu „Rebilance zásob podzemních vod“ je pro vybrané hydrogeologické rajony, pokrývající cca 1/3 území ČR, přehodnotit přírodní zdroje podzemní vody. K tomuto účelu jsou využity i hydraulické modely.

Dle zákona č. 254/2001 Sb. (tzv. Vodní zákon) je vyčíslením podzemního odtoku na území ČR v roční periodě pověřen ČHMÚ. Nejistoty ve stanovení přírodních zdrojů se dle Pavlíkové vyskytují především v hydrogeologicky neuzavřených rajonech s hraničními přetoky podzemní vody [5]. Vlnas [6] se zabývá návrhem metodiky stanovení podzemního odtoku při využití Eckhardtova filtru, diskutovány jsou dosavadní metody stanovení přírodních zdrojů.

Hydraulický model

Hydraulický model je schematická numerická reprezentace hydraulického systému proudění podzemní vody. Příčiny schematizace jsou dány především:

- 1) omezeným množstvím vstupních dat,
- 2) volbou matematického popisu proudění podzemní vody,
- 3) volbou podrobnosti výpočtu simulovaných jevů ve vztahu k prostorové a časové diskretizaci a
- 4) volbou zadání vstupních dat v modelu.

Hydraulický model je nástroj, jehož užitím modelář upřesňuje informace o simulované struktuře. Osoba zpracovatele modelu je zárukou správné interpretace získaných výsledků, protože disponuje komplexní znalostí:

- 1) přijaté schematizace,
- 2) míry souladu modelu s realitou a
- 3) metodiky naplnění cílů zadání modelových prací.

Znalost o simulované struktuře, získaná zpracovatelem při kalibraci hydraulického modelu, je do určité míry nepřenositelná.

Nástrojem hodnocení kvality modelů je porovnání jejich shody s pozorováním (v oboru výsledků i vstupních dat). V případě hydraulických modelů je dokladem jejich kvality porovnání:

- 1) měřeného a modelového množství podzemní vody,
- 2) měřených a modelových hladin a
- 3) naměřených a v modelu zadaných vstupních dat – např. koeficientu hydraulické vodivosti K [$m \cdot s^{-1}$].

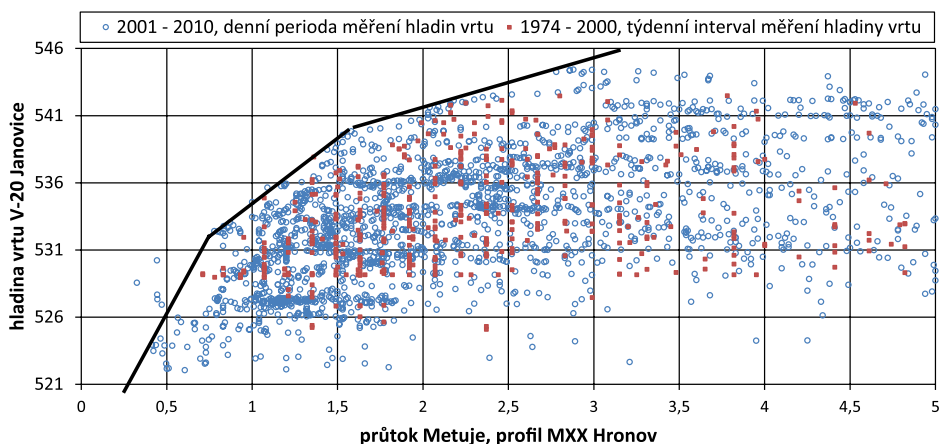
Přesnost regionálních hydraulických modelů je závislá na informaci o podzemním odtoku v říční síti.

Hydrologické metody bilancování množství podzemní vody

Hydrologické metody bilancování jsou založeny na zpracování průtoků, popřípadě průtoků a hladin podzemní vody s cílem separovat z celkového odtoku odtok podzemní. Bilancování obvykle komplikuje kombinace následujících faktorů:

- 1) přetok podzemní vody přes hranice bilancované oblasti,
- 2) příron podzemní vody z bilancovaného mezipovodí je menší či srovnatelný s chybou stanovení průtoku – v rajonech odvodňovaných do větších řek (např. Labe, Vltava, Morava a další) brání bilancování hydrogeologických rajonů velká vodnost drenážního toku,
- 3) metody stanovení přírodních zdrojů poskytují zpracovateli značný prostor pro subjektivní posouzení, výsledkem je nejednoznačnost závěru i v případě využití jediné metody stanovení podzemního odtoku.

Stanovení obalové křivky v metodě Kněžek–Kliner (obr. 1) pro každou úroveň hladiny vychází z naměřeného absolutního minima odtoku – tedy z extrému. Metoda v závislosti na délce analyzovaného období udává podzemní odtok s vysokou až absolutní bezpečností, nikoliv podzemní odtok průměrný. Ojedinelé chyby podhodnocení



Obr. 1. Separace podzemního odtoku Metuje metodou Kněžek-Kliner

Tab. 1. Porovnání výsledků metod separace podzemního odtoku, profil MXX – Hronov

metoda / období	2001–2010	1981–2000	1981–2010
Q_{270} ($m^3 \cdot s^{-1}$)	1,37	1,46	1,40
Kille ($m^3 \cdot s^{-1}$)	1,34	1,47	1,43
Castany ($m^3 \cdot s^{-1}$)	1,53	1,65	1,61
Kněžek–Kliner ($m^3 \cdot s^{-1}$)	0,90	0,92	0,91

průtoku mají dopad na celé stanovení podzemního odtoku. Problematikou je výběr vhodného, neovlivněného, pravidelně měřeného vrtu.

Z tabulky 1 vyplývá, že stanovená hodnota podzemního odtoku závisí na použité metodě separace a délce zpracovávaného období.

Například v oblasti Polické pánve bylo období hydrologických let 2001–2010 sušší ve srovnání s obdobím hydrologických let 1981 až 2000. Užití vrtu V-20 Janovice pro separaci podzemního odtoku metodou Kněžek–Kliner poskytlo výrazně nejnižší hodnoty podzemního odtoku. Bez sjednocující metodiky je vyčíslení podzemního odtoku a přírodních zdrojů z různých hydrologických metod završeno „pouze“ vymezením pravděpodobného intervalu výskytu.

Další možnost stanovení podzemního odtoku poskytují hydrologické modely.

Aplikace hydraulických modelů

Hydraulické modely byly pro popis podzemní části hydrologického cyklu využity již při zpracování Hydrogeologické syntézy České křídové pánve [7]. Modely byly vzhledem k výpočetním možnostem koncipovány:

- 1) jako jednovrstevné,
- 2) s hrubou výpočetní sítí,
- 3) s podstatně schematizovanými okrajovými podmínkami a
- 4) v režimu stacionárních simulací.

Cílem byla interpretace obvyklých tlakových a průtočných poměrů v hlavních kolektorech simulovaných struktur, nikoliv upřesnění celkového množství přírodních zdrojů v řešeném hydrogeologickém rajonu.

Při tomto konceptu modelování byly ztíženy možnosti porovnání:

- 1) měřených a modelových hladin v oblastech hydraulického vlivu menších toků a
- 2) simulovaného a vyhodnoceného podzemního odtoku.

U struktur s více kolektory (např. bilanční celek 3) bylo vertikální přetékaní řešeno pouze v oblastech evidentního výskytu tohoto jevu. Jímací území byla simulována úhrnným odběrem ve zvoleném uzlu výpočetní sítě. I přes uvedené schematizace byly modely zpracovány vysoce odborně a s využitím dostupných dat pro kalibraci.

Aktuálně realizované modelové práce pro úkol Rebilance zásob podzemních vod jsou vyprojektovány s cíli:

- 1) Simulovat proudění podzemní vody mezi terémem a stropem nepropustného podloží. Množství podzemní vody v rámci tohoto konceptu odpovídá přírodním zdrojům a hydraulický model má potenciál toto množství upřesnit/ověřit v závislosti na znalosti hydraulických charakteristik zvodněného prostředí.
- 2) Simulovat prostorové proudění podzemní vody. V křídových rajonech se obvykle vyskytuje více těles s rozdílnou hydraulickou funkcí na škále kolektor–izolátor. Prostorové proudění je v mnoha lokalitách způsobeno i existencí připovrchové zóny s intenzivním oběhem podzemní vody.
- 3) Řešit časové změny velikosti přírodních zdrojů v rámci ročního cyklu.
- 4) Umožnit v rámci simulovaného detailu:
 - a) popis proudění v jednotlivých jímacích územích a
 - b) interakce podzemní a povrchové vody v délce celé říční sítě (nejen podél zvolených hlavních toků).
- 5) Volit okrajové podmínky tak, aby v místech hranic hydrogeologických rajonů s předpokládaným přetokem podzemní vody docházelo k jeho výpočtu hydraulickým modelem na základě zadané

hydraulické vodivosti a infiltrace. Důsledkem tohoto přístupu je zvětšení některých modelovaných oblastí za hranice řešených hydrogeologických rajonů.

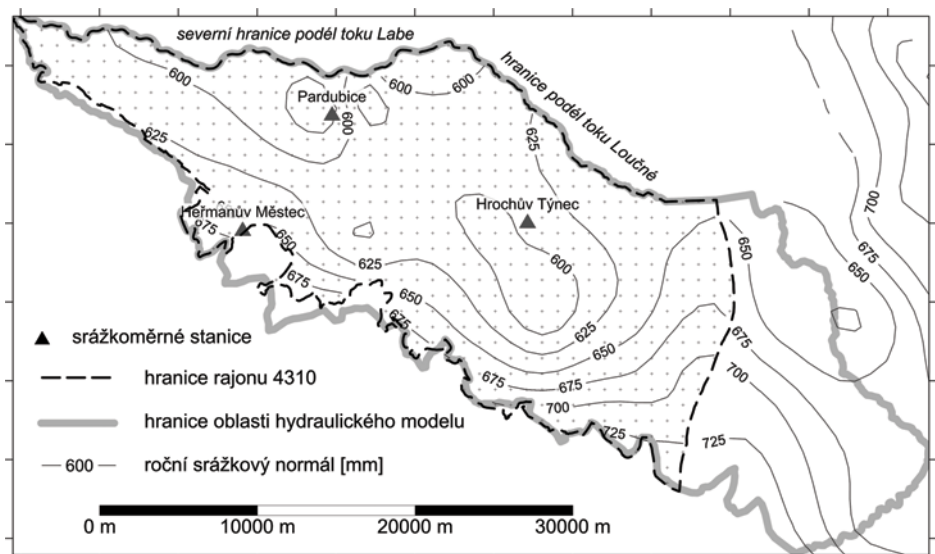
Uvedené principy zadání hydraulických modelů jsou dále v článku nepřímo zdokumentovány na základě průběžných výsledků pro hydrogeologické rajony 4310 (Chrudimská křída) a 4110 (Polická pánev). Ve všech popisovaných modelech je řešeno nasycené proudění podzemní vody při využití softwaru MODFLOW 2000 a 2005. Ve stacionárních simulacích je řešeno proudění podzemní vody na úrovni dlouhodobých průměrů infiltrace, odběru a drenáže do říční sítě. Nestacionárními simulacemi je zpracováno období hydrologických let 2001–2010 v měsíčním časovém kroku při kolísání odběru a srážkové infiltrace.

Nové informace bilanční povahy byly pro všechny řešené rajony získány z hydrologického modelu BILAN (průměrný podzemní odtok + měsíční údaje o doplňování zásob podzemní vody) aplikovaného ve VÚV TGM. Pro všechna modelová území byla k dispozici síť s prostorovým rozložením srážkového normálu (údaj ČHMÚ) s podrobností 1 km (obr. 2). Pro oblast rajonu 4310 byla poskytnuta detailní data o průměrném odtoku podzemní vody v říční síti, ztotožněném s Q_{270} (údaje VZ Chrudim).

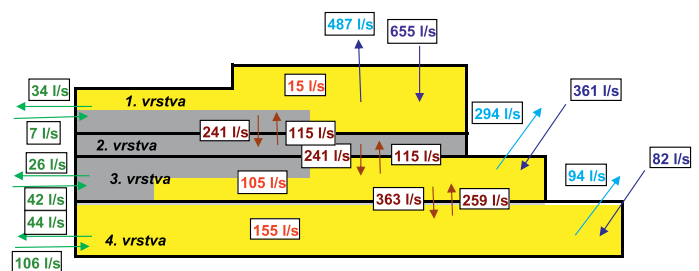
Ve srovnání se staršími regionálními hydrogeologickými pracemi [8] bylo v rámci projektu Rebilance zásob podzemních vod pro rajon 4310 uplatněno podrobnější schéma rozložení kolektorů a izolátorů (obr. 3).

Schéma na obr. 3 zachycuje idealizovaný řez strukturou Chrudimské křídové pánve od severu (vlevo) k jihu (vpravo). Šedivě je znázorněn faciální přechod souvrství z psamitických do pelitických hornin. Bazální perucko–korycanské souvrství (4. modelová vrstva) je v celém rozsahu vyvinuto jako kolektor. Bělohorské souvrství (3. modelová vrstva) přechází směrem k Labi v izolátor. Na bázi jizerského souvrství je v celé oblasti vyvinut izolátor (2. modelová vrstva). První modelová vrstva zastupuje připovrchovou vrstvu v místě absence kolektorských hornin na terénu a kolektor C v místě jeho výskytu. Rozsah první a druhé modelové vrstvy je v modelu totožný.

Šipky směřující dovnitř modelových vrstev znázorňují přítok podzemní vody (vlevo přes okraje hydrogeologického rajonu, na výcho-



Obr. 2. Srážkový normál na území modelu s rajony 4310 (Chrudimská křída) a 4270 (Vysokomýtská synklinála)



Obr. 3. Modelové bilanční schéma proudění s maximálními odběry podzemní vody (1992) – Chrudimská křída, plocha rajonu 4310, stacionární simulace

zech z infiltrace). Šipky směřující z modelových vrstev reprezentují simulovaný odtok (drenáž do říční sítě a pramenů nebo odtok přes okraje rajonu). Hodnoty bez šipek odpovídají úhrnné velikosti odběru podzemní vody. Na styku vrstev jsou znázorněny vertikální přetoky mezi simulovanými hydrogeologickými tělesy.

Severní hranici rajonu 4310 tvoří tok Labe a Loučné. Příron podzemní vody z území rajonu do Labe je neměřitelný. Modelem vyčíslený nátok pro úsek mezi obcí Řečany a zaústěním Chrudimky je 58 l.s^{-1} , přičemž z toho na kolektor perucko-korycanského souvrství připadá 25 l.s^{-1} . Ve srovnání s metodou hydraulického výpočtu proudu podzemní vody poskytuje model podstatně přesnější výsledek, podložený prostorovou kalibrací koeficientu hydraulické vodivosti a kontrolou modelovaného množství podzemní vody ze srážkové infiltrace.

Stanovený přítok podzemní vody z bazálního kolektoru křídly do toku Labe (25 l.s^{-1}) je velmi malý. Jev je způsoben poklesem hydraulické vodivosti bazálního kolektoru směrem k Labi i absencí perucko-korycanského souvrství na holicko-novoměstské elevaci předkřídového reliéfu. Podzemní vody jsou z bazálního křídového kolektoru především odvodňovány přes nadloží do levostranných přítoků Labe, nebo jsou čerpány jímacími vrtly.

Vyčíslené přírodní zdroje hydrogeologického rajonu 4310 (obr. 3) jsou dány modelovou infiltrací ($655 + 361 + 82 \text{ l.s}^{-1}$) a rozdílem přítoků a odtoků podzemní vody přes hranice ($7 + 42 + 106 - 34 - 26 - 44 \text{ l.s}^{-1}$) = celkem 1149 l.s^{-1} . Při ploše rajonu 596 km^2 vychází specifická hodnota přírodních zdrojů $1,93 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{km}^2$. Dlouhodobé odběry odčerpávají přírodní zdroje a snižují drenáž podzemní vody do říční sítě. Pro rok 1992 byl modelový odběr podzemní vody z území rajonu zadán 275 l.s^{-1} (24 % množství přírodních zdrojů).

Zkalibrováním [9] hydrogeologického modelu BILAN [10, 11] pro povodí Novohradky a mezipovodí Chrudimky (období 1971–1996) a následným využitím analogie pro řešení hydrogeologický rajon byly přírodní zdroje Chrudimské křídly stanoveny hodnotou specifika $1,39 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{km}^2$, respektive absolutní hodnotou 828 l.s^{-1} .

Herčík [8] pro profil Nemošice na Chrudimce udává $Q_{270} = 1710 \text{ l.s}^{-1}$, respektive $2,01 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{km}^2$. Povodí Chrudimky (plocha $851,86 \text{ km}^2$) je z větší části budováno horninami krystalinika. V rámci prací Hyd-

rogeologické syntézy České křídové pánve [7] bylo hydrogeologickým modelem pro částí povodí Chrudimky na území hydrogeologického rajonu stanoveno specifikum podzemního odtoku $2,9 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{km}^2$.

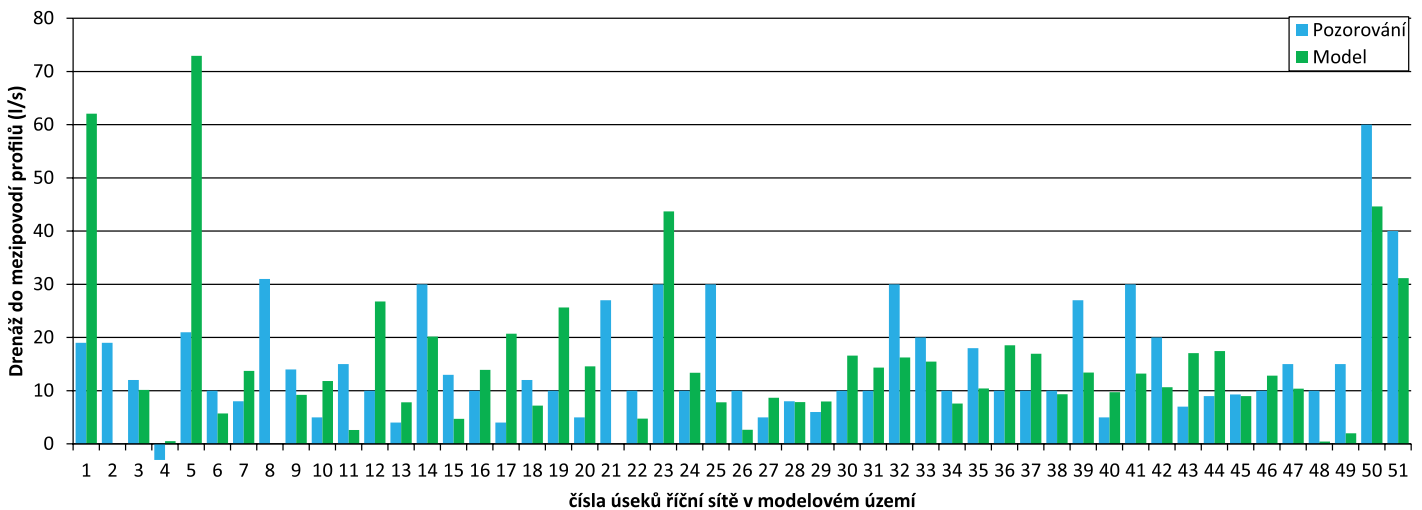
Množství přírodních zdrojů zadané v hydraulickém modelu (1149 l.s^{-1}) má oporu v prostorovém porovnání modelové drenáže a podzemního odtoku v říční síti (data VZ Chrudim) – viz obr. 4.

Úhrn modelové a vyhodnocené drenáže podzemní vody do mezipovodí říční sítě levostranných přítoků Labe a Loučné je téměř shodný. Rozdíly modelu a pozorování jsou rozloženy rovnoměrně. Při nižší modelové infiltraci (testováno snížení o 20 %) již nebylo možné simulovat docílené maximální odběry při odpovídajících sníženích hladin (zejména v jímacích územích Jankovice–Brloh a Podlažice).

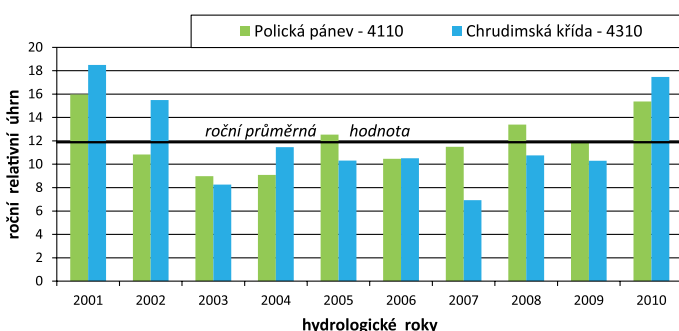
Časové řady úrovní hladiny podzemní vody poskytují nepřímé informace o absolutní velikosti a změně zásob – prázdnění a doplňování. Kalibrací nestacionární simulace podle průběhu hladiny podzemní vody ve vrtech (zpracováno období hydrogeologických let 2001–2010 v měsíčním kroku) lze proces doplňování a prázdnění hydrogeologické struktury kvantifikovat. Ze statistického zpracování získaných modelových dat lze vyvozovat závěry o obvyklých trendech vývoje zásob podzemní vody (statických i dynamických).

Roční průměrná relativní infiltrace má hodnotu 12. Z obr. 5 je možné určit roky s nadprůměrným a podprůměrným doplněním zásob podzemní vody. V obou hydrogeologických rajonech (Polická pánev a Chrudimská křída) byly infiltračně maximální roky 2001 a 2010. Minimální doplnění zásob podzemní vody nastalo v rajonu 4310 v roce 2007 a v rajonu 4110 v roce 2003. V Chrudimské křídě je rozdíl minimální a maximální roční infiltrace přibližně v poměru 1 : 3, v Polické pánvi 1 : 2. Polická pánev ve srovnání s Chrudimskou křídou je oblastí s rovnoměrnějším a podstatně větším doplňováním zásob podzemní vody ze srážkové infiltrace. Hydraulickým modelem byla pro rajon 4110 (rozloha 214 km^2) ověřena specifická hodnota přírodních zdrojů $7,39 \text{ l.s}^{-1}$.

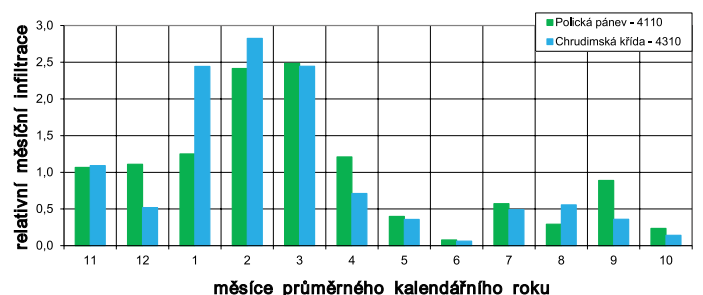
V rajonu Chrudimská křída nejintenzivněji dochází k obnově zásob podzemní vody vlivem srážkové infiltrace v lednu až březnu. V Polické pánvi nastává maximální doplnění v únoru a březnu. V rámci analyzovaného desetiletí se v obou strukturách nejmenší doplnění



Obr. 4. Porovnání modelové a vyhodnocené drenáže podzemní vody (Q_{270}) pro 51 mezipovodí modelového území



Obr. 5. Porovnání roční relativní modelové infiltrace v hydrogeologických rajonech 4110 a 4310



Obr. 6. Porovnání průměrné měsíční relativní modelové infiltrace v hydrogeologických rajonech 4110 a 4310, zpracováno pro hydrogeologické roky 2001–2010

zásob podzemní vody vyskytuje v červnu (pouze minimální doplnění nastalo v obou strukturách v letech 2001 a 2006). Ve zbylých osmi letech hodnocené dekády se v červnu dotace zásob podzemní vody vůbec nevyskytla (obr. 6).

V době extrémní povodně na Vltavě (srpen 2002) bylo doplnění zásob podzemní vody ve struktuře Polické pánve minimální. Ani v rajonu Chrudimské křída doplnění zásob podzemní vody nijak nevybočilo z běžných hodnot – 1,74násobek měsíčního průměru analyzované dekády. Extrémní srážkové úhrny se v popisovaných hydrogeologických rajonech 4310 a 4110 nevyskytly (obr. 7).

Diskuse

V širším pojetí termín podzemní voda zahrnuje veškeré vody pod zemským povrchem. Hydrogeologové, orientovaní obvykle směrem k bilancování velikosti přírodních zdrojů, definici zužují na množství vody ve spojitě nasycené oblasti horninového prostředí (viz též „vodní zákon“ č. 254/2001 Sb.), protože jímáním využitelný podzemní odtok je trvale generován pouze z prostoru pod hladinou podzemní vody. Zúženou verzi definice užívá např. Krásný [12].

Komplikované procesy proměnlivě nasyceného odtoku z vrstvy mezi terémem a hladinou podzemní vody v obdobích srážkové infiltrace by v rámci širšího pojetí definice byly součástí odtoku podzemní vody. Separční metody, vyvinuté pro účely stanovení podzemního odtoku, hypodermickou složku odtoku vylučují. Hranice mezi podzemním odtokem a hypodermickým odtokem je neostrá. Vypočtené množství podzemního odtoku se při užití rozdílných metod separace obvykle liší. V současnosti množství přírodních zdrojů stanovené hydrologickými metodami charakterizuje spíše pravděpodobný interval výskytu než jediný „správný“ údaj – hlavní příčinou této „nepřesnosti“ jsou zejména odtokové děje na rozhraní saturované a nesaturované zóny a míra jejich započtení do odtoku podzemního. Tento stav komplikuje posuzování bilanční napjatosti jednotlivých struktur z důvodů realizovaných odběrů podzemní vody.

V budoucnosti je vhodné zpřesňování informace o množství přírodních zdrojů podzemní vody v hydrogeologických rajonech založit na:

- 1) sjednocení metodiky stanovení,
- 2) omezení subjektivních úsudků zpracovatele a
- 3) metodickém směřování k výpočtu průměrné hodnoty, nikoliv trvale zabezpečeného množství.

Nalezení shody na vhodné a jednoduché hydrologické metodě ocenění množství přírodních zdrojů lze pokládat za cennější než prosazování komplikovaného výpočtu „přesného“ množství. Standardně jako součást informace o velikosti přírodních zdrojů by mělo být doplňováno období zpracování, protože celkový i podzemní odtok podléhá trendům přesahujícím desetiletí.

V hydraulickém modelu určuje množství podzemní vody (přírodní zdroje) zadaná efektivní srážková infiltrace, specifikovaná pomocí okrajové podmínky. Velikost přírodních zdrojů je vstupní hodnota modelu podléhající kalibraci na základě porovnání modelové a vyhodnocené drenáže podzemní vody do říční sítě. Přesnost hydraulických modelů ve vztahu k absolutní hodnotě přírodních zdrojů tak do určité míry závisí na kvalitě vstupní informace srážkově-odtokových poměrů modelované hydrogeologické struktury a aplikované metodě hydrologického vyhodnocení podzemního odtoku.

Přínos modelu spočívá v možnosti podrobně bilancovat libovolně zvolenou podoblast simulované struktury – např. hydrogeologické povodí jímacího území. Hydraulickými modely je řešeno rozdělení přírodních zdrojů do jednotlivých hydrogeologických těles. Zpřesnění/ověření informace o množství podzemní vody oproti hydrologickým metodám umožňuje zahrnutí informací, které jinak zůstávají nevyužity (sklony hladiny podzemní vody, informace o odběrech, informace o hydraulické vodivosti horninového prostředí, informace o geometrii struktury, geologické informace). Současná aplikace hydrologických metod a hydraulických modelů pro účely ověření/zpřesnění množství přírodních zdrojů se stává standardem.

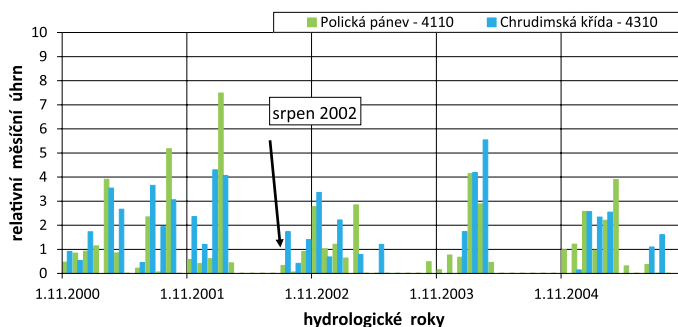
Do budoucna lze neustále se zvětšující množství vstupních dat hydraulických modelů dále rozšířit o údaje:

- 1) chemismu,
- 2) stáří a
- 3) teplotě podzemní vody.

Prostorová změna těchto ukazatelů souvisí s řaděním a velikostí proudu podzemní vody.

Závěr

Výsledek vhodně zadaných a zkalibrovaných hydraulických modelů poskytuje informace o:



Obr. 7. Porovnání měsíční relativní modelové infiltrace v hydrogeologických rajonech 4110 a 4310, období hydrologických let 2001–2005

- 1) průtoku v jednotlivých útvarech podzemní vody,
- 2) přeshraničním přetoku podzemní vody do sousedních rajonů,
- 3) míře antropogenního ovlivnění struktur z hlediska snížení hladiny podzemní vody, změně směru a rychlosti proudění, poklesu drenáže do říční sítě,
- 4) plošné distribuci a vzniku přírodních zdrojů a
- 5) časové proměnlivosti zásob, doplňování a drenáže podzemní vody.

Hydraulické modely jsou nejkompaktnější dostupné nástroje pro popis a kvantifikaci podzemní složky hydrologického cyklu. Určitou daní za komplexní možnosti jsou časová náročnost a specifické požadavky na vstupní data.

Poděkování: Tato práce vznikla díky existenci projektu „Rebilance zásob podzemní vody“, který pod vedením České geologické služby bude probíhat do roku 2015.

Literatura/References

- [1] Švarcová, E.: Diplomová práce Porovnání vybraných metod výpočtu základního odtoku na malém povodí a zhodnocení vlivu základního odtoku na koncentrace fosforu v celkovém odtoku, 2013.
- [2] Kessl, J.; Kněžek, M.: Metody výpočtu základního odtoku, PODZEMNÁ VODA VI/2000 Č. 2, 2000, s. 52–58.
- [3] Kadlecová, R.; Herrmann, Z.; Kašpárek, L.; Vlnas, R.; Frydrych, V.; Stibitz, M.; Slavík, J.; Milický, M.; Olmer, M.: Oceňování velikosti zdrojů podzemních vod, SBORNÍK GEOLOGICKÝCH VĚD 24 – Hydrogeologie, Inženýrská geologie, ČGS, 2010.
- [4] Olmer, M. et al.: Hydrogeologická rajonizace České republiky. Česká Geologická služba ve spolupráci s VÚV T. G. M. Praha, 2005.
- [5] Pavlíková, D.: Stanovení základního odtoku pro zdrojovou část vodohospodářské bilance. In: Sborník XII. Národního hydrogeologického kongresu, České Budějovice, 2005.
- [6] Vlnas, R.: Návrh metodiky stanovení přírodních zdrojů podzemních vod z průtoků povrchových toků, Český hydrometeorologický ústav, 2009.
- [7] Herčík, F.; Herrmann, Z.; Nakládal, V.: Hydrogeologická syntéza České křídové pánve. MS. Stavební geologie. Praha, 1987.
- [8] Herčík, F.; Herrmann, Z.; Valečka, J.: Hydrogeologie české křídové pánve. Český geologický ústav, Praha, 1999.
- [9] Kašpárek, L.; Hanel, M. a kol.: Rebilance zásob podzemních vod, Aktivita 6 Hydrologické modely, Koncept – Hydrogeologický rajon 4310 Chrudimská křída, VÚV T. G. M., 2014.
- [10] Tallaksen, L. M.; Lanen, H. A. J. (eds). Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Amsterdam, 2004.
- [11] Horáček, S.; Rakovec, O.; Kašpárek, L.; Vizina, A. Vývoj modelu hydrologické bilance – BILAN. VTEI, 51, mimoř. č. I, příloha Vodního hospodářství č. 11/2009.
- [12] J. Krásný, J. et al.: Podzemní vody České republiky – Regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod, ČGS, 2012.

Ing. Jan Uhlík Ph.D. (autor pro korespondenci)

RNDr. Martin Milický

Mgr. Michal Polák

Ing. Jan Baier Ph.D.

PROGEO, s. r. o.

Tiché údolí 113

252 63 Rostoky u Hlavy

progeo@1progeo.cz, +420 233 910 935

www.1progeo.cz

Abstract

The groundwater resources estimation obtained from the groundwater model is strongly influenced by the quantity and quality of information describing groundwater drainage into the river system. Existing hydrological methods of baseflow calculation produce different results. The optimal approach is the matter of the subjective decision – any unifying recommendation on this topic is absent in the Czech Republic.

The average groundwater resources are usually used in the steady-state hydraulic model. The temporal variation of the groundwater resources is described in the transient simulation. The amplitude of the estimated groundwater resources may be reduced by the ground-

water flow model under certain circumstances. Groundwater flow model is exploiting the data outside the reach of the hydrological methods of baseflow calculation – such as hydraulic conductivity, groundwater levels and geometry of geological structure.

Key words

groundwater flow model – groundwater resources – hydrogeological region

Tento článok bol recenzovaný a je otvorený k diskusi do 31. júna 2014. Rozsah diskusného príspevku je omezený na 2 normostrany A4, a to vrátane tabuliek a obrázkov. Príspevky pošlite na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.

Podzemný odtok v slovenskej časti Tatier

Miriam Fendeková, Marián Fendek, Zuzana Danáčová

Abstrakt

V príspevku je hodnotený vývoj podzemného odtoku v slovenskej časti Tatier za obdobie 1981–2010. Ako vstupné dáta boli použité časové rady priemerných denných prietokov z 13 povodí. Podzemný odtok bol stanovený dvoma metódami – separačnou metódou lokálneho minima, ktorou boli získané priemerné denné podzemné odtoky, a metódou Killeho, ktorej výsledky predstavovali priemerne dlhodobé podzemné odtoky troch dekád obdobia 1981–2010. Killeho metóda bola zároveň etalónovou metódou pre voľbu dĺžky N časového kroku pri metóde lokálneho minima. Výsledky dokumentovali najlepšiu zhodu pri dĺžke časového kroku $N = 15$ až 20 dní. Vypočítané hodnoty merného podzemného odtoku mali veľkosť 2,94 l.s⁻¹.km⁻² až 22,69 l.s⁻¹.km⁻². Index podzemného odtoku nadobúdajú hodnoty 0,62–0,79, ktoré prislúchajú povodiam s dobrou priepustnosťou a pomerne vyrovnaným režimom odtoku. Porovnanie podzemného odtoku v troch hodnotených dekádach ukázalo vyrovnanosť podzemného odtoku. Vo väčšine hodnotených povodí prevláda mierne stúpajúci trend podzemného odtoku, ktorý však ani v jednom prípade nebol štatisticky významný.

Kľúčové slová

podzemný odtok – metóda lokálneho minima – Killeho metóda – časové zmeny – Tatry

1 Úvod

1.1 Význam stanovenia podzemného odtoku a ciele výskumu

Podzemný odtok je jedným z parametrov, ktorými z hydrogeologického hľadiska charakterizujeme množstvo podzemnej vody v povodí, útvare podzemných vôd alebo v hydrogeologickej štruktúre. Podzemná voda je v Slovenskej republike prednostne určená na zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou v zmysle [1] § 3 ods. 4 Zákona č. 364/2004 Z. z. o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon), preto je poznanie jej množstiev a ich potenciálnych zmien veľmi dôležité.

Zmeny klímy, ktoré v ostatných desaťročiach pozorujeme aj na Slovensku, sa prejavujú generálne v zložkách hydrologického cyklu, a to tak v povrchových vodách [2, 3], ako aj na množstvách podzemnej vody. Jednou z hlavných príčin zmien je nárast teploty vzduchu [4] a s ním spojených hodnôt aktuálnej i potenciálnej evapotranspirácie v tom prípade, keď sa hladina podzemnej vody nachádza v blízkosti povrchu, resp. v dosahu koreňového systému vegetácie. Ďalším faktorom ovplyvňujúcim množstvo podzemnej vody v povodí je dopĺňanie jej zásob, ktoré je v prevažnej časti územia Slovenska závislé na zrážkach. Aj v množstvách zrážok sa prejavujú zmeny, ktoré sú však priestorovo podstatne variabilnejšie. Jedným z prejavov zmien je zvýšenie extrémnosti zrážok, či už v oblasti maximálnych intenzít dažďa [2] alebo výskytu periód meteorologického sucha [5].

Identifikácia vplyvu sucha na podzemnú vodu však nie je možná bez primárneho poznania množstva vody v horninovom prostredí a jeho časovo-priestorového vývoja. Jedným z parametrov, na základe ktorého posudzujeme množstvo vody v horninovom prostredí, je popri výdatnosti prameňov a parametroch hladiny podzemnej vody aj podzemný odtok.

Cieľom výskumu bolo stanovenie veľkosti podzemného odtoku v slovenskej časti Tatier, ktoré bude podkladom pre porovnanie stanovených hodnôt s doteraz publikovanými hodnotami a následné charakterizovanie časového vývoja podzemného odtoku v tejto časti Slovenska. Veľkosť podzemného odtoku v jednotlivých povodiach bude analyzovaná z pohľadu hydrogeologických a zrážkových pomerov. Následne bude možné v ďalšej fáze výskumu vyhodnotiť výskyt suchých období z pohľadu ich sezónnosti a charakterizovať ich z pohľadu závažnosti jednotlivých epizód sucha.

1.2 Metódy stanovenia veľkosti podzemného odtoku

Stanovenie veľkosti podzemného odtoku je už desaťročia výzvou pre hydrogeológov, pretože dodnes nebola vytvorená metóda, ktorá by bola všeobecne uznávaná ako najreprezentatívnejšia a mohli by sme ju považovať za etalón pre všetky ostatné, viac či menej subjektívne metódy.

Ostatné komplexné hodnotenie veľkosti podzemného odtoku v spoločnom Československu bolo vykonané v prvej polovici osemdesiatych rokov 20. storočia skupinou popredných hydrogeológov a jeho výsledkom bola monografia *Odtok podzemnej vody na území Československa* [6]. Táto monografia obsahuje cenné údaje o veľkosti podzemného odtoku v jednotlivých hydrogeologických celkoch a dodnes slúži ako zdroj údajov pre porovnanie vývoja podzemného odtoku. Pre určenie podzemného odtoku bola v tejto monografii ako jedna z metód použitá zjednodušená Killeho metóda, ktorá vychádzala z minimálnych mesačných prietokov za desaťročné obdobie, usporiadaných od minimálnej po maximálnu hodnotu a vynesenej v semilogaritmickom meradle. Spodnou časťou množiny bola preložená vyrovnávajúca priamka predĺžená aj do oblasti vyšších hodnôt. Pri prenesení vyrovnávajúcej priamky do lineárneho zobrazenia vznikla exponenciála, ktorá spolu so súradnicovými osami vymedzila plochu predstavujúcu celkové odtečené množstvo. Z tejto hodnoty sa potom získal priemerný podzemný odtok za spracovávané obdobie.

V roku 1999 túto metódu podrobili analýze Fendeková a Fendek [7] a zistili, že použitím takto zjednodušeného postupu sa získané veľkosti podzemného odtoku pre vybrané povodia Slovenska líšia od hodnôt, vypočítaných použitím pôvodného postupu publikovaného Killeho v roku 1970 [8]. Rozdiely pri použití oboch postupov predstavovali podhodnotenie podzemného odtoku pri použití zjednodušenej metódy o 6–16 %.

Nevýhodou Killeho metódy je, že umožňuje stanoviť iba dlhodobú priemernú hodnotu podzemného odtoku za desaťročné obdobie. Pri analýze výskytu sucha v podzemnej vode však už dnes pracujeme s kratšími časovými intervalmi, pričom z mesačného časového kroku, využívaného ešte pred 10–15 rokmi, sa ťažisko analýzy presunulo k dennému časovému kroku.

Pri riešení úloh spojených s výpočtom podzemného odtoku a následnou analýzou sucha v podzemných vodách sa zhruba od roku 2005 začala na Katedre hydrogeológie využívať metóda lokálneho minima [9]. Táto metóda patrí k automatizovaným separačným metódam riešeným v dennom kroku. Vychádza z priemerných denných prietokov a je založená na separácii minimálnej hodnoty prietoku z N-denného časového úseku. Táto minimálna hodnota je vynásobená korekčným faktorom (zväčša s hodnotou 0,9) a porovnaná s hodnotou

získanou rovnakým postupom v predchádzajúcom a nasledujúcom časovom kroku. Ak je získaná hodnota nižšia, resp. rovná obom porovnaným hodnotám, ponecháme ju v časovom rade a stáva sa tzv. bodom zvratu, ktorým vedieme separačnú čiaru medzi priamym a základným odtokom. V opačnom prípade ju vynecháme a postupujeme k ďalšiemu N-dennému úseku. Spojením získaných bodov zvratu dostávame separačnú čiaru, pričom hodnoty medzi bodmi zvratu získavame lineárnu interpoláciou. Takto vzniknutý časový rad hodnôt predstavuje podzemný odtok v dennom kroku.

Pôvodný program vznikol vo Veľkej Británii, bol označený ako BFI [9] a pracoval s fixnou hodnotou N-denného časového úseku 5 dní. Korekčný faktor bol kalibráciou nastavený na hodnotu 0,9. Pri aplikácii 5-denného časového kroku boli pre povodia Slovenska získavané príliš vysoké hodnoty podzemného odtoku, neporovnateľné s výsledkami dovtedy zaužívaných metód (Killeho metóda, Fosterova separačná schéma, Klíner-Kněžkova metóda a iné). Preto bol program BFI preprogramovaný Gregorom [10] do verzie BFI+2.0, resp. BFI+3.0 [11], v ktorej je možné nastaviť dĺžku N-denného časového úseku v ľubovoľnom rozsahu a podobne je možné voliť aj hodnotu korekčného faktora f.

Doterajšie štúdie ukázali, že pri použití hodnoty podzemného odtoku určenej Killeho metódou ako porovnávacjej hodnoty sa ako najvhodnejšia dĺžka časového kroku ukazuje byť hodnota $N = 15-30$ v závislosti na hodnotenom povodí. Stojková [12] pri hodnotení podzemného odtoku z 33 povodií Slovenska aplikovala hodnotu $N=30$. Rôznu dĺžku časového kroku pre stanovenie podzemného odtoku vo vybraných povodiach východného Slovenska testovali Stojková a Fendeková [13] a aj v tomto prípade sa ako vhodná ukázala dĺžka časového kroku $N=30$. Fendeková a Fendek [14] pre povodie Nitry použili dĺžku časového kroku $N=20$. Pri analýze veľkosti podzemného odtoku vo vybraných českých a slovenských povodiach [15] sa ako najvhodnejšia ukázala hodnota N v rozsahu 20–25.

Nami vypočítané hodnoty podzemného odtoku budú použité ako podklad pri následnej analýze výskytu suchých období v tatranských povodiach.

2 Vstupné údaje a metodika výskumu

2.1 Vstupné údaje

Ako vstupné údaje boli použité časové rady priemerných denných prietokov z vodomerných profilov pozorovaných Slovenským hydrometeorologickým ústavom. Celkovo sme mali k dispozícii údaje z 55 vodomerných profilov zo všetkých troch častí pohoria Tatry, mnohé z nich však mali príliš krátke rady pozorovaní na to, aby pre ne bolo možné vypočítať reprezentatívne parametre podzemného odtoku. Preto bolo vybraných 13 vodomerných profilov (obr. 1), v ktorých boli k dispozícii minimálne dvadsaťročné neprerušené časové rady. Väčšina z hodnotených radov však dosahovala dĺžku viac ako tridsať rokov. Základné údaje o vodomerných profiloch použitých pri analýze sú uvedené v tab. 1.

2.2 Stručná charakteristika hodnoteného územia

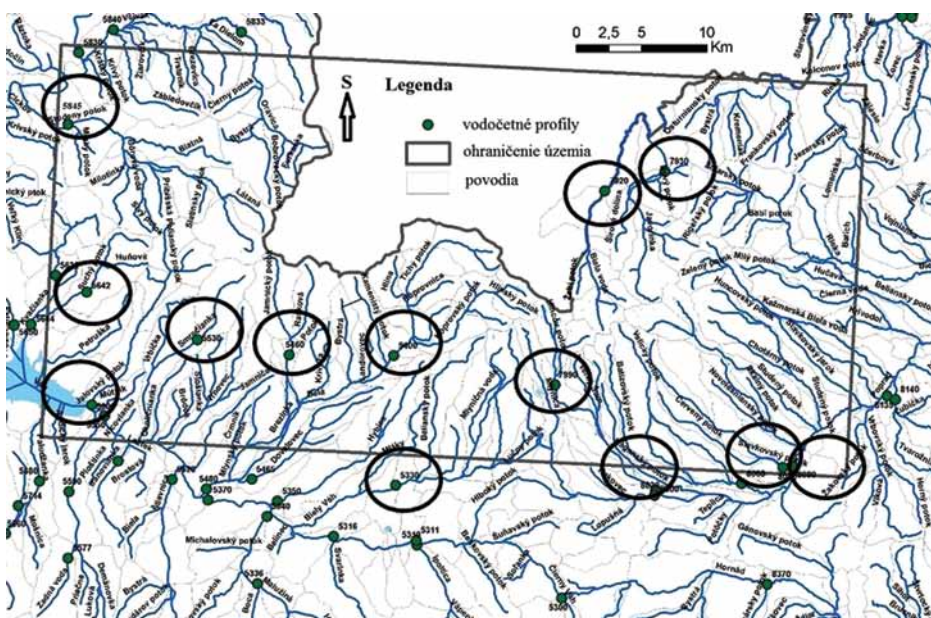
Pohorie Tatry sa nachádza v severnej časti Slovenska a tvorí geomorfologicky výraznú hranicu s Poľskom. V zmysle geomorfologického členenia sa celok Tatier delí na dva podcelky, a to na Západné a Východné Tatry [16]. Podcelok Východné Tatry zahŕňa dve oblasti, a to Vysoké Tatry a Belianske Tatry.

Tatry sú charakteristické svojou asymetrickou stavbou so striedaním štítov a dlhých rázsoch s hlbokými trógmami. Na južných svahoch Vysokých a Západných Tatier rozlišujeme staršie a mladšie typy dolín [17]. Staršie doliny majú široko rozložené bazény pod hlavným hrebeňom s tvarom ovplyvneným ľadovcovou činnosťou, mladšie doliny sú

tvorené bazénmi, ktoré nezasahujú pod hlavný hrebeň a odvodňujú trojuholníkové plochy rázsoch. K zaľadneniu na tomto území prišlo koncom treťohôr a pokračovalo až do štvrtohôr. V Tatrách sa najviac prejavujú účinky posledného, würmského glaciálu, ktorý zničil reliktu starších glaciálov [16].

Z klimatického hľadiska dosahujú teploty v Tatrách veľmi rozdielne hodnoty, závislé na nadmorskej výške. Vo výškach nad 2 000 m dosahuje priemerná ročná teplota vzduchu záporné hodnoty, napr. na Štrbskom Plese je to $-3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ [18]. V stredných polohách, napr. na podhorí stúpa na $4-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Poprad $5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Počet dní so snehovou pokrývkou je vo vrcholových častiach pohoria vyšší ako 200 dní v roku, v stredných polohách dosahuje 140–160 dní a na podhorí 100–120 dní [19]. Zrážkové úhrny sú rovnako závislé na nadmorskej výške, vo vrcholových častiach pohoria dosahujú v priemere viac ako 2 000 mm ročne, v stredných polohách je to 1 400–1 600 mm a na podhorí 800–1 000 mm [20].

Z hydrologického hľadiska patrí územie Tatier do dvoch úmori. Západné Tatry sú odvodňované riekou Váh a jej prítokmi a patria do úmoria Čierneho mora. Vysoké a Belianske Tatry sú odvodňované tokmi Poprad a Dunajec s ich prítokmi a patria do úmoria Baltického mora. Hranica medzi oboma úmormi prechádza v oblasti tzv. štrbského prahu na západnom okraji obce Tatranská Štrba a zároveň oddeľuje Liptovskú a Popradskú kotlinu. Prevažná časť územia Tatier patrí z hľadiska odtoku [21] do vysokohorskej oblasti s prechodne



Obr. 1. Lokalizácia hodnotených povodí

Tab. 1. Základné charakteristiky hodnotených vodomerných profilov

Profil Číslo/tok/názov vodomernej stanice	Plocha povodia (km ²)	Nadmorská výška vodočtu (m n. m.)	Obdobie pozorovania	Prevládajúci typ horninového prostredia
7920 Biela voda-Lysá Poľana	63,82	965,57	1972–2012	K granitoidy +M karbonáty+ Qgl
7930 Javorinka-Ždiar Podspády	34,89	907,80	1962–2012	K granitoidy+M karbonáty+Qgl
8070 Slavkovský p.-Poprad-Matejovce	44,64	655,52	1962–2012	Qgf
8060 Velický p.-Poprad-Matejovce	57,50	675,18	1962–2012	Qgl+Qgf
8020 Mlynica-Svit	80,01	729,66	1962–2012	K granitoidy+Qgl+Qgf
7990 Poprad-Štrbské Pleso	17,80	1264,50	1977–2012	K granitoidy+Qgl
5330 Biely Váh-Východná	105,64	731,64	1961–2012	K granitoidy+M+Qgf
5400 Belá-Podbanské	93,49	922,72	1961–2012	K granitoidy+Qgf
5460 Račkov p.-Račkova dolina	35,51	894,41	1963–2012	K metamorfity
5530 Smrečianka-Žiarska dolina	17,99	872,11	1962–2012	K metamorfity
5600 Jalovský p.-Jalovecká dolina	45,00	566,59	1972–2012	K metamorfity+Pg
5642 Suchý p.-Liptovské Matiašovce	18,85	690,35	1979–2012	M karbonáty+Pg
5845 Studený p.-Oravský Biely Potok	118,09	632,54	1979–2012	K metamorfity+M+Pg

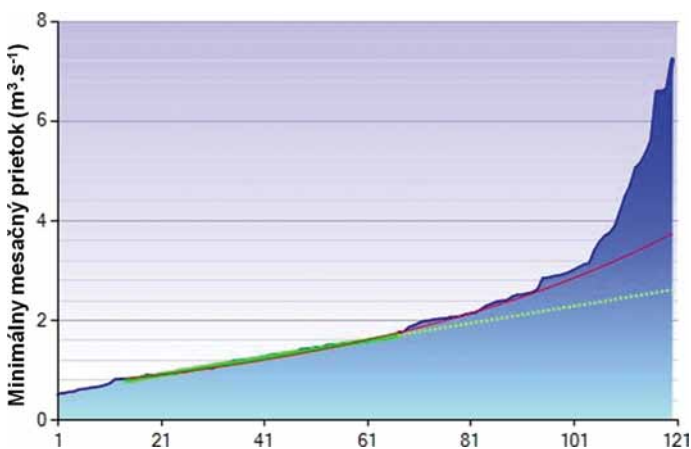
Vysvetlivky: K – kryštalinikum, M – mezozické horniny, Pg – paleogénne sedimenty, Qgl – kvartérne glaciálne sedimenty, Qgf – kvartérne glaciáluálne sedimenty

snehovým režimom, kde obdobie akumulácie je v mesiacoch október až marec, vysoké vodnosti tokov sú dosahované v mesiacoch apríl až júl (august) s maximami v mesiacoch máj–jún. Najnižšie vodnosti sú dosahované v januári–februári. Stredné polohy a podhorie Tatier zaradujeme k stredohorskej oblasti s dažďovo-snehovým režimom. Tu je obdobím akumulácie obdobie november–marec, vysoké vodnosti sú dosahované v mesiacoch apríl–jún s maximami v máji. Podobne ako u vysokohorskej oblasti, aj tu sa minimá vodnosti vyskytujú v mesiacoch január–február.

Z geologického hľadiska patria Tatry do pásma jadrových pohorí vnútorných Západných Karpát a tvoria výraznú asymetrickú neotektonicky sformovanú morfoštruktúrnú eleváciu. V pohorí vystupuje kryštalické jadro, tvoriace hlavnú časť hrebeňa a južné svahy Tatier. Jadro je tvorené prevažne magmatickými horninami, najmä granitoidmi, ktoré prevládajú vo Vysokých Tatrách, a tiež kryštalickými bridlicami, vyvinutými najmä v Západných Tatrách. Z juhu je tatridné kryštalikum utaté chočsko-podtatranským zlomom [22], zo severu a západu je na kryštaliniku uložený mezozoický obal. Mezozoické horniny vystupujú aj na južnej strane pozdĺž chočsko-podtatranského zlomu vo forme ostrovov. Na tomto komplexe hornín sú vyvinuté kvartérne pokryvné útvary, tvorené prevažne glaciálnymi a glacifluviálnymi sedimentmi, ktoré majú významnú hydrogeologickú funkciu.

Hydrogeologické pomery sú typické výskytom troch hlavných typov hornín s rozličnými hydrogeologickými parametrami. Prevažná časť územia je budovaná kryštalickými horninami, ktoré sú nositeľmi puklinovej priepustnosti. Odlišnosť v charaktere rozpukania týchto hornín sa odráža aj v stupni ich zvodnenia. Výdatnosť puklinových prameňov z kryštalických bridlíc ojedinele presahuje $0,1 \text{ l.s}^{-1}$, len v prípade silne tektonicky porušených hornín sú hodnoty vyššie, ako napr. v Žiarkej či Račkovej doline. Väčšia rozpukanosť a otvorenosť puklín v granitoidoch umožňuje väčšiu infiltráciu zrážok a vznik prameňov s vyššími výdatnosťami, a to ojedinele až do $15,0 \text{ l.s}^{-1}$ v puklinových prameňoch vo Važeckej, Tichej či Kamenistej doline [23].

Veľký význam pre obeh a režim podzemných vôd majú v Tatrách pokryvné kvartérne útvary, najmä glaciálne a glacifluviálne sedimenty s medzizrnovou priepustnosťou, ktoré vytvárajú jednak vhodné prostredie pre infiltráciu zrážok a následnú tvorbu podzemného odtoku,



Obr. 2. Stanovenie priemerného podzemného odtoku Killeho metódou: Belá 2001–2010

Tab. 2. Výsledky výpočtu podzemného odtoku v hodnotených povodiach

Profil	Priemerný podzemný odtok metóda lokálneho minima (MLM) ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)			Priemerný podzemný odtok Killeho metóda ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)			Priemerný merný odtok MLM ($\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$)	Priemerný merný odtok Kille ($\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$)	Priemerný index podz. odtoku
	1981–1990	1991–2000	2001–2010	1981–1990	1991–2000	2001–2010			
Biela Voda	1,158	1,386	1,370	1,229	1,381	1,295	20,44	20,80	0,652
Javorinka	0,782	0,741	0,852	0,768	0,775	0,821	22,69	22,58	0,670
Slavkovský p.	0,275	0,259	0,336	0,270	0,270	0,335	6,50	6,68	0,680
Veľký p.	0,354	0,438	0,596	0,388	0,456	0,615	8,05	8,46	0,638
Mlynica	0,257	0,249	0,199	0,246	0,266	0,212	2,94	3,01	0,618
Poprad	0,304	0,270	0,340	0,315	0,304	0,281	17,10	17,33	0,638
Biely Váh	0,777	0,828	0,844	0,711	0,850	0,880	7,73	7,70	0,719
Belá	1,410	1,824	1,626	1,509	1,792	1,603	17,33	17,49	0,717
Račkov p.	0,659	0,643	0,643	0,756	0,735	0,734	18,26	20,89	0,655
Smrečianka	0,291	0,266	0,260	0,303	0,307	0,314	15,14	17,12	0,632
Jalovský p.	0,428	0,462	0,428	0,487	0,517	0,463	9,76	10,87	0,635
Suchý p.	0,128	0,136	0,108	0,132	0,142	0,113	6,58	6,84	0,557
Studený p.	1,602	1,570	1,616	1,707	1,606	1,665	13,53	14,05	0,669

ale aj drény pre zónu prípoверхového rozvolnenia kryštalického masívu. Hrúbka glaciálnych sedimentov na niektorých miestach presahuje stovky metrov, napr. v centrálnej časti Roháčskej doliny, resp. v Kôprovej doline [23]. Priemerná hrúbka glaciálnych a glacifluviálnych sedimentov je 30–50 m [24]. Aj fluviálne sedimenty tokov dosahujú značné hrúbky, na toku Belá je to 4–17 m, na Smrečianke 9–17 m, na Jalovskom potoku 3,4–10 m a na Suchom potoku 4–6,3 m [23].

Tretím významným typom horninového prostredia sú mezozoické karbonáty, ktoré sú charakteristické pre Belianske Tatry, ostrovy v oblasti chočsko-podtatranského zlomu, v Tomanovskej doline, na pravom svahu Tichej doliny, budujú skupinu Červených vrchov a Rozpadlého grúňa v Západných Tatrách (obr. 1). Pre akumuláciu podzemných vôd sú najvýznamnejšie stredotriasové vápence a dolomity s puklinovo-krasovou priepustnosťou. Z nich vyvierajú prameňe s výdatnosťami do 80 l.s^{-1} , ako napr. v skupine Červených vrchov a Rozpadlého grúňa [23].

Podstatná časť podzemných vôd kryštalinika Tatier vyvierajú v tektonickom styku kryštalinického jadra so sedimentmi podtatranskej skupiny vyplňajúcimi Liptovskú a Popradskú kotlinu a Skorušinskú panvu. Flyšové sedimenty podtatranskej skupiny vytvárajú plytko cirkulujúcim podzemným vodám nepriepustnú bariéru.

2.3 Metodika výskumu

Metodika výskumu bola založená na niekoľkých, na seba nadväzujúcich krokoch. V prvom kroku bolo potrebné z údajov o priemerných denných prietokoch stanoviť hodnoty podzemného odtoku. Na ich výpočet boli použité dve metódy, a to metóda lokálneho minima a metóda Killeho. Metóda lokálneho minima umožnila získať hodnoty podzemného odtoku v dennom kroku, Killeho metóda poskytla dlhodobé priemerné podzemné odtoky za desaťročné obdobia. Na výpočet podzemného odtoku metódou lokálneho minima aj Killeho metódou bol použitý softvérový produkt HydroOffice 2012 [11]. Príklad vyčlenenia podzemného odtoku Killeho metódou pre profil Belá za obdobie 2001–2010 je na obr. 2.

Pri testovaní dĺžky časového kroku N v metóde lokálneho minima boli testované hodnoty N s dĺžkou 15, 20, 25 a 30 dní, z ktorých boli vypočítané priemerné desaťročné hodnoty. Ako porovnávacie hodnoty boli použité výsledky Killeho metódy za rovnaké desaťročné obdobia.

Následne boli hodnoty podzemného odtoku prepočítané na merné podzemné odtoky a boli vypočítané indexy podzemného odtoku BFI ako pomer priemernej hodnoty podzemného odtoku a prietoku v hodnotenom vodnom profile. Hodnoty indexu podzemného odtoku v rozsahu 0,15–0,20 charakterizujú povodia s nízkou hodnotou priepustnosti a veľmi nevyrovnaným odtokom, hodnoty vyššie ako 0,90 zas veľmi priepustné povodia s vyrovnaným odtokovým režimom [9].

Získané výsledky boli porovnané v rámci jednotlivých profilov pre rôzne desaťročia a vzájomne boli porovnané aj jednotlivé profily. Výsledky boli diskutované v kontexte výsledkov predchádzajúcich výskumov v predmetom území.

3 Výsledky práce a diskusia

3.1 Získané výsledky

Porovnanie výsledkov testovania dĺžky časového kroku N s výsledkami Killeho metódy ukázalo, že najväčšia zhoda bola preukázaná pre dĺžku časového kroku 20 dní. Tieto hodnoty boli následne použité pre výpočet priemerného ročného a priemerného desaťročného podzemného odtoku.

Výsledky výpočtu priemerného podzemného odtoku oboma metódami za desaťročia 1981–1990, 1991–2000 a 2001–2010, spolu s výsledkami stanovenia priemerného merného podzemného odtoku a indexu podzemného odtoku za rovnaké obdobie sú uvedené v **tab. 2**. Výsledky dokumentujú relatívnu vyrovnanosť veľkosti priemerného podzemného odtoku vo všetkých troch hodnotených dekádach. Z tabuľky je ďalej zrejмый rozsah hodnôt merného podzemného odtoku, ktorý sa pohybuje od 2,94 (3,01) $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ v povodí Mlynice až po 22,69 (22,58) $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ v povodí Javorinky. Rozdiel je daný typom horninového prostredia, ako aj nadmorskou výškou vodomerneho profilu a s ňou spojeným úhrnom zrážok.

Vývoj hodnôt priemerného merného podzemného odtoku v jednotlivých povodiach je na **obr. 3**. Z neho je vidieť, že hodnoty merného podzemného odtoku sú za celé hodnotené obdobie pomerne vyrovnané, v povodiach Bielej Vody, Belej a Jalovského potoka bola najvodnejšou dekáda 1991–2000, v povodí Javorinky, Slavkovského potoka, Velického potoka a Popradu v profile Štrbské pleso to zas bola dekáda 2001–2010.

Prekvapujúco vyrovnané hodnoty boli získané pri výpočte indexu podzemného odtoku, ktoré sa pohybovali v rozsahu 0,56 (Suchý potok) až po 0,72 (Biely Váh a Belá). Tieto hodnoty charakterizujú povodia s dobrou, resp. veľmi dobrou priepustnosťou a vyrovnanosťou odtoku.

Analýza trendu vývoja podzemného odtoku dokumentovala všeobecne vyrovnaný vývoj, v mnohých prípadoch mierne stúpajúci trend, ktorý však v žiadnom z povodí nebol štatisticky významný. Vývoj priemerného ročného podzemného odtoku v hodnotených povodiach je na **obr. 4**.

3.2 Diskusia

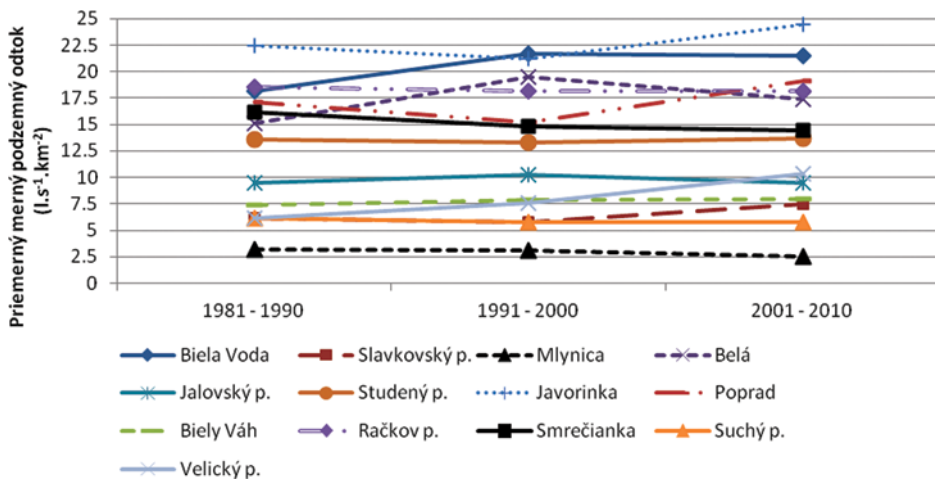
Ak chceme porovnať získané výsledky s výsledkami predchádzajúcich výskumov, môžeme sa oprieť najmä o práce Dovinu [25], monografiu Krásného et al. [6] a publikáciu Hanzela a Meliorisa [26].

Dovina [25] vo svojej dizertačnej práci na vyčlenenie podzemného odtoku použil Fosterovu separačnú schému, zjednodušenú Killeho metódu (sensu Fendeková a Fendek [7]) a Castanyho metódu. Minimálny podzemný odtok vyčleňoval ako hodnotu 355-denného prietoku z čiar prekročenia prietokov. V práci konštatuje, že v kryštaliniku Západných a Vysokých Tatier majú významnú hydrogeologickú funkciu glaciálne a glaciľuviálne sedimenty. V podmienkach tvorby podzemného odtoku v prostredí granitoidných hornín s uvedeným typom kvartérnych pokryvných sedimentov boli dokumentované extrémne vysoké hodnoty merného podzemného odtoku v rozsahu hodnôt 19,34–24,48 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$, ktoré poukazujú na veľkú retenčnú schopnosť povodí. Na území Tatier hodnotil povodia Belej, Račkovho potoka a Smrečianky, pre ktoré stanovil hodnoty priemerného merného podzemného odtoku za obdobie 1971–1980 nasledovne:

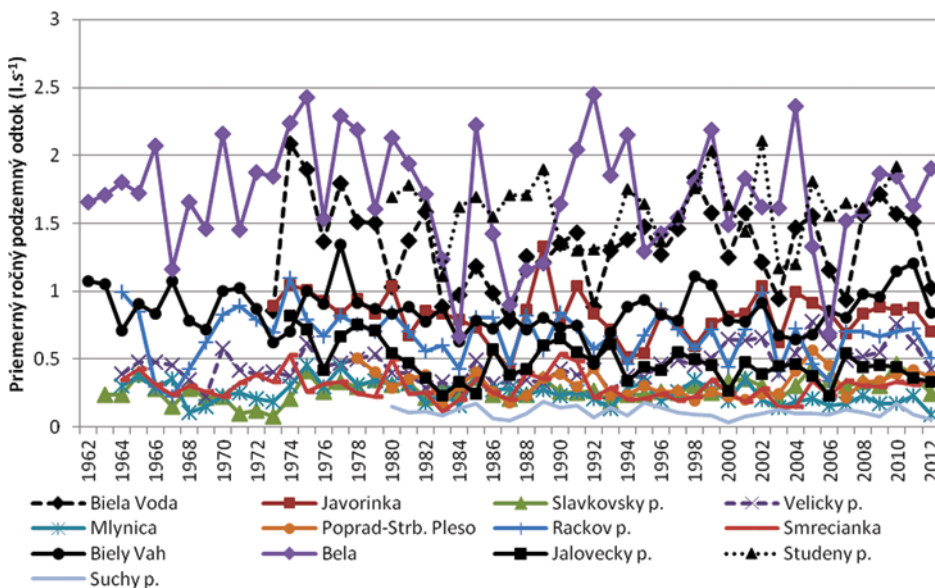
Belá: 21,69 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$,
Smrečianka: 20,05 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$,
Račkov potok: 24,48 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$,

pričom pre povodia budované granitoidnými horninami s pokryvom glaciálnych a glaciľuviálnych sedimentov, a súčasne s mezozoickými karbonátmi v tektonickej pozícii, stanovil hodnoty merného podzemného odtoku na 19–22 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$. Pre povodia budované prevažne kryštalickeými bridlicami s menším podielom granitoidov a s pokryvom glaciálnych a glaciľuviálnych sedimentov určil priemerné merné podzemné odtoky na 20–25 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$. Pre povodia budované čisto granitoidnými horninami odhadol veľkosti merného podzemného odtoku na 5–6 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ a pre povodia budované čisto kryštalickeými bridlicami na 4–6 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$.

Krásný et al. [6] uvádza pre Západné Tatry hodnoty viac ako 10 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ (povodie Belej a Račkovho potoka) a pre povodia budované mezozoickými karbonátmi rovnaké hodnoty – viac ako 10 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$.



Obr. 3. Vývoj priemerného merného podzemného odtoku v hodnotených povodiach



Obr. 4. Vývoj priemerného ročného podzemného odtoku v hodnotených povodiach

Predkladané výsledky výskumu dokumentovali, že hodnoty merného podzemného odtoku tatranských povodí, ktoré sú budované mezozoickými karbonátmi, resp. sa tieto v nich vyskytujú v tektonickej polohe sú podstatne vyššie ako hodnoty uvádzané [6], v niektorých prípadoch až dvojnásobne. Výnimkou je len špecifický prípad povodia Suchého potoka, kde sa realizuje hlbší obeh infiltrujúcich zrážkových vôd.

Pri porovnaní výsledkov s výsledkami publikovanými Dovinom [25] sme pre rovnaké obdobie stanovili hodnoty merného podzemného odtoku metódou lokálneho minima na 20,94 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ pre Belú, 19,17 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ pre Smrečianku, a 22,7 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ pre Račkov potok, teda hodnoty takmer identické, s rozdielom spôsobeným výpočtovou metódou. Pre obdobie 1981–2010 sme vyšli o niečo nižšie hodnoty merných podzemných odtokov pre prostredie granitoidných hornín a kryštalickeými bridlicami s pokryvom glaciálnych a glaciľuviálnych sedimentov v povodiach Belej, Račkovho potoka a Smrečianky. Rozdiely však nie sú veľmi výrazné a sú zrejme spôsobené chodom klimatických činiteľov v troch nami hodnotených dekádach.

Nami získané výsledky pre tok Belá sú vyššie ako hodnoty priemerného merného podzemného odtoku vypočítané Hanzelom a Meliorisom [26], ktorí stanovili hodnotu na 14,8 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$, podobne sú vyššie aj výsledky získané pre Račkov potok (17,93 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$) a Smrečianku (13,7 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$). Hodnoty priemerného merného podzemného odtoku pre tok Javorinka sú vo veľmi dobrej zhode s hodnotou priemerného merného odtoku vypočítanej zjednodušenou Killeho metódou Hanzelom a Meliorisom [26], ktorí stanovili túto hodnotu na 23 $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$.

Záver

Vyhodnotenie podzemného odtoku v slovenskej časti Tatier dokumentovalo niekoľko skutočností. Prvou z nich je, že v tejto časti Slovenska nedochádza k výraznému poklesu podzemného odtoku,

ako je tomu v mnohých iných oblastiach. Veľkosť podzemného odtoku je relatívne stabilná a významne koreluje s nadmorskou výškou prietokového profilu a v súvislosti s ňou aj s ročným úhrnom zrážok. Najnižšie merné podzemné odtoky boli dokumentované v povodiach s minimálnym kvartérnym pokryvom, resp. v tých, kde sa tok vetví a preteká glaciálnymi a glacifluviálnymi sedimentmi (Slavkovský a Veľký potok), resp. v dolnom toku tečie v paleogénnych sedimentoch (Jalovský potok). Najvyššie podzemné odtoky boli dokumentované v povodiach Belianskych Tatier, kde sa na stavbe strednej, resp. dolnej časti hodnotených povodí podieľajú mezozoické karbonáty.

Získané poznatky budú slúžiť ako podklad pre analýzu výskytu sucha v prietokoch a v podzemnom odtoku v hornej časti povodí Váhu a Popradu.

Podakovanie: Príspevok bol vypracovaný ako výsledok výskumu v rámci projektu APVV-0089-12 *Prognóza výskytu hydrologického sucha na Slovensku (zodp. riešiteľ M. Fendeková).*

Literatúra

- [1] Zákon č. 364 z 13. mája 2004 o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon).
- [2] Szolgay, J.; Hlavčová, K.; Lapin, M.; Parajka, J.; Kohnová, S. (2007). Vplyv zmeny klímy na odtokový režim na Slovensku. 1st Ed. Ostrava, KEY Publishing s.r.o. 160 s. ISBN 978-80-87071-50-2.
- [3] Pekárová, P.; Szolgay, J. Eds. (2005). Scenáre zmien vybraných zložiek hydrosféry a biosféry v povodí Hrona a Váhu v dôsledku klimatickej zmeny. Bratislava, VEDA. 496 s. ISBN: 80-224-0884-0.
- [4] Lapin, M.; Bašák-Durán, I.; Faško, P.; Gera, M.; Hrvoľ, J.; Kremler, M.; Melo, M.; Nejedlík, P.; Štátný, P. (2011). Zmeny klímy na Slovensku v období 1881–2010 a klimatické scenáre do roku 2100. S. 6–20. In: Klimatická zmena a krajina: dopady klimatickej zmeny a zhodnotenie zraniteľnosti územia na Slovensku v sektoroch „vodné hospodárstvo, lesy a poľnohospodárstvo“. Zvolen, Technická univerzita. ISBN 978-80-228-2272-5.
- [5] Lapin, M.; Gera, M.; Hrvoľ, J.; Melo, M.; Tomlain, J. (2009). Possible Impacts of Climate Change on Hydrologic Cycle in Slovakia and Results of Observations in 1951–2007. S. 454–459. In *Biologia*, 64, Nr. 3. ISSN 0006-3088.
- [6] Krásný, J.; Kněžek, M.; Šubová, A.; Daňková, H.; Matuška, M.; Hanzel, V. (1982). Odtok podzemní vody na území Československa. Praha: Český hydrometeorologický ústav. 1982. 50 s.
- [7] Fendeková, M.; Fendek, M. (1999): Killeho metóda – teória a prax. S. 77–87. In *Podzemná voda*, 5. Nr. 2. ISSN 1335-1052.
- [8] Kille, K. (1970). Das Verfahren MoMNQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse. S. 89–95. In *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*. Band Sonderba.
- [9] Institute of Hydrology (1980). Low flow studies. Res. Rep. 1. Institute of Hydrology, Wallingford, UK. 50 s. Manuscript.
- [10] Gregor, M. (2011). Možnosti využitia softvérového balíka HydroOffice 2010 pre hydroológov a hydrogeológov. S. 95–104. In *Acta Geol. Slovaca*, 3. Nr. 1. ISSN 1338-0044.
- [11] Gregor, M. (2013). Surface- and groundwater quality changes in periods of water scarcity. Springer Theses. Berlin Heidelberg: Springer. 230 s. ISBN: 978-3-642-32243-3.
- [12] Stojkovicová, M. (2009). Prognóza vývoja podzemného odtoku na Slovensku v závislosti na zmene úhrnov zrážok. Dizertačná práca. Univerzita Komenského, Bratislava: 2009. pp. 1–195. Manuscript.
- [13] Stojkovicová, D.; Fendeková, M. (2010). Časové a priestorové zmeny podzemného odtoku v povodiach flyšového pásma severovýchodného Slovenska. S. 142–151. In *Podzemná voda*, XVI. Nr. 2. ISSN 1335-1052.
- [14] Fendeková, M.; Fendek, M. (2012). Groundwater Drought in the Nitra River Basin – Identification and Classification. S. 185–193. In *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 60. Nr. 3. ISSN 0042-790X.
- [15] Fendeková, M.; Fendek, M.; Porubská, D.; Hanel, M.; Horáček, S.; Martinková, M.; Vizina, A. (2013). Analysis of drought occurrence in selected Slovak and Czech catchments. S. 1–8. In: *Seminář Adolfa Patery 2013 Extrémní hydrologické jevy v povodí*. Praha: České vysoké učení technické.
- [16] Mazúr, E.; Lukniš, M. (1986). 21. Geomorfologické jednotky. M 1:1 000 000. S. 88. In: *Atlas krajiny SR*. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR. 344 s. ISBN 80-88833-27-2.
- [17] Lukniš, M. (1973). Reliéf Vysokých Tatier a ich predpolia. 375 s. Bratislava, Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied. ISBN 71-018-73.
- [18] Štátný, P.; Nieplová, E.; Melo, M. (2002). 49. Priemerná ročná teplota vzduchu. M 1:2 000 000. S. 98. In: *Atlas krajiny SR*. Bratislava, Ministerstvo životného prostredia SR. 344 s. ISBN 80-88833-27-2.
- [19] Faško, P.; Handžák, Š.; Šrámková, N. (2002). 53. Počet dní so snehovou pokrývkou a jej priemerná výška. M 1:2 000 000. S. 99. In: *Atlas krajiny SR*. Bratislava, Ministerstvo životného prostredia SR. 344 s. ISBN 80-88833-27-2.
- [20] Faško, P.; Štátný, P. (2002). 54. Priemerné ročné úhrny zrážok. M 1:2 000 000. S. 99. In: *Atlas krajiny SR*. Bratislava, Ministerstvo životného prostredia SR. 344 s. ISBN 80-88833-27-2.
- [21] Šimo, E.; Zaľko, M. (2002). 71. Typy režimu odtoku. M 1:2 000 000. S. 103. In: *Atlas krajiny SR*. Bratislava, Ministerstvo životného prostredia SR. 344 s. ISBN 80-88833-27-2.
- [22] Nemček, J.; Bezák, V.; Janák, M.; Kahan, Š. (1993). Vysvetlivky ku geologickej mape Tatier. 135 s. Bratislava, Geologický ústav Dionýza Štúra. ISBN 80-85314-23-1.
- [23] Dovina, V.; Franko, O.; Hanzel, V.; Kullman, E. (1984). Prehľad hydrogeológie Liptovskej kotliny a prilahlých pohorí. 102 s. In: *Po obyčajných a minerálnych vodách Liptovskej kotliny a prilahlých pohorí*. Bratislava, Geologický ústav Dionýza Štúra.
- [24] Zakovič, M.; Hanzel, V.; Kullman, E.; Franko, O.; Móza, A.; Jetel, J.; Klinec, A.; Polák, M.; Haško, J.; Gross, P.; Gašparík, J.; Vaškovský, I. (1976). Hydrogeológia územia listu – 26 Žilina mapy ČSSR 1:200 000. Čiastková záverečná správa. Archív Geofondu Bratislava. 358 s. Manuscript.
- [25] Dovina, V. (1984). Podzemný odtok kryštalinika Západných Karpát. Dizertačná práca. Univerzita Komenského, Bratislava. 151 s. Manuscript.
- [26] Hanzel, V.; Melioris, L. (2002). Hydrogeológia Tatier a ich predpolia. S. 37–61. In *Podzemná voda*, VIII. Nr. 1. ISSN 1335-1052.

prof. RNDr. Miriam Fendeková, CSc.¹⁾
(autorka pre korešpondenciu)
doc. RNDr. Marián Fendek, CSc.¹⁾
Ing. Zuzana Danáčová, PhD.²⁾

¹⁾ Univerzita Komenského v Bratislave
Prírodovedecká fakulta
Katedra hydrogeologie
Mlynská dolina
842 15 Bratislava
Slovenská republika
+421-2-60296593, fendekova@fns.uniba.sk

²⁾ Slovenský hydrometeorologický ústav
Jeseniouva 17
833 15 Bratislava
Slovenská republika

Groundwater runoff in the Slovak part of the Tatry Mts. (Fendeková, M.; Fendek, M.; Danáčová, Z.)

Abstract

Development of the groundwater runoff in the Slovak part of the Tatry Mts. in the period 1981–2010 is evaluated in the paper. Time series of average daily discharges from 13 catchments were used as the input data. The groundwater runoff was estimated using two methods – separation method of local minimum, giving average daily base flow values, and by the method of Kille, giving long-term average values for three decades of the period 1981–2010. The method of Kille was also used as the etalon for choosing the length of the time step used in the local minimum method. The time step of 15 to 20 days was estimated as the one, showing the best deuce. Values of the groundwater runoff varied between 2.94 l.s⁻¹.km⁻² and 22.69 l.s⁻¹.km⁻². The value of the base flow index ranged in the interval 0.62–0.79 characterizing catchments with the good permeability and runoff regime stability. Comparison of the groundwater runoff values within three evaluated decades also showed its stability. The slightly increasing trend was obtained for groundwater runoff values in the most of evaluated catchments, without any statistical significance.

Key words

groundwater runoff – local minimum method – method of Kille – temporal changes – Tatry Mts.

Tento článok bol recenzovaný a je otvorený k diskusii do 31. ríjna 2014. Rozsah diskusijného príspevku je omezený na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků. Príspevky pošlite na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.

Vrty pro tepelná čerpadla a jejich rizika pro hydrogeologickou stratifikaci

Svatopluk Šeda

Abstrakt

Vrty pro tepelná čerpadla zpravidla zasahují do zvodnělé svrchní části zemského povrchu a pokud se při jejich provádění nerespektují místní hydrogeologické poměry, mohou způsobit nevratnou změnu ve vodním režimu konkrétní lokality. Cílem příspěvku je upozornit na nejvýznamnější rizika při provádění těchto prací a prezentovat základní postupy, jak těmto rizikům předcházet.

Klíčová slova

přírozená hydrogeologická stratifikace – porušení stratifikace – vrt pro tepelné čerpadlo – riziko pro vodní režim – eliminace rizik

1. Úvod

Zlomová část studia medicíny spočívá ve složení, nebo nesložení obávané zkoušky anatomie. Má-li lékař zasáhnout do lidského těla, musí přesně vědět, jak to tělo vypadá, jak jednotlivé orgány vypadají a pokud si při nějakém úrazu, zánětu či novotvaru není jistý rozsahem a charakterem poškození lidského těla, použije nejprve všechny diagnostické metody, aby – dříve než „řízne“ – s maximální možnou podrobností věděl, co ho očekává a jak na různé varianty bude reagovat. Zranitelnost člověka při chybě lékaře je značná, až fatální.

Hydrogeolog svůj profesní život věnuje Zemi, zejména její svrchní části, do hloubek zpravidla několika set metrů, kde proudí nebo se akumuluje podzemní voda. Tato část Země má, podobně jako lidské tělo, svoji strukturu. Hydrogeolog by měl vědět, co vedle sebe nebo nad sebou leží, jak jednotlivé části horninového prostředí vypadají a jaké mají vlastnosti, a pokud má do povrchu terénu zasáhnout, musí vědět, na co narazí. Pokud to neví, má dnes řadu možností, jak míru neznalosti významně snížit. Zranitelnost zvodněného horninového prostředí při případné chybě hydrogeologa je, obdobně jako v medicíně, značná až fatální. Mohou vznikat, a bohužel velmi často i vznikají, nevratné změny vodního režimu. Hydrogeolog však má oproti budoucímu lékaři jednu zásadní nevýhodu, neboť neskládá zkoušku z nauky, které se říká hydrogeologická stratifikace, což je jakási obdoba anatomie lidského těla, ale i „výhodu“, protože se na jeho chybu nemusí vůbec přijít. Cílem příspěvku je prezentovat desítky let sbírané praktické poznatky o hydrogeologické stratifikaci v různých částech ČR, upozornit na chyby, které jsou způsobeny neznalostí nebo nerespektováním hydrogeologické stratifikace konkrétní lokality, a to v jednom dramaticky se rozvíjejícím oboru, kterým je získávání a využívání zemského tepla prostřednictvím vrtů pro tepelná čerpadla.

2. Přírozená hydrogeologická stratifikace

2.1 Co je to přírozená hydrogeologická stratifikace a co o ní říká současné právo

Přírozená hydrogeologická stratifikace je jev, který definuje místa výskytu určitého významnějšího množství podzemní vody, pro které se používají různé, i když ne zcela identické názvy (zvodněn, zvodnělý kolektor, obzor či horizont podzemní vody, nádrž podzemní vody, vodní útvar podzemní vody, vodní zdroj podzemní vody apod.). Tato místa jsou vzájemně od sebe oddělená izolátory, případně polozilátory. Nauka popisuje přírozenou spojitost nebo nespojitost těchto významnějších množství podzemní vody v horninovém prostředí a charakterizuje vlastnosti jednak kolektorské horniny a jednak vlastní podzemní vody, to vše vždy ve srovnání s okolním prostředím, respektive s okolním významnějším množstvím podzemní vody. Je to tedy jakýsi 3D řez svrchní části horninového prostředí od místa vsaku srážkové vody do jednotlivých kolektorů, přes její oběh a akumulaci až po místa její drenáže na povrch terénu, popisující tedy geometrii a vlastnosti vodních těles podzemní vody a jejich vzájemnou interakci.

Porušením přírozené hydrogeologické stratifikace je jakákoliv činnost, která změní geometrii a především vlastnosti vodních těles podzemní vody porušením izolátoru. Současné vodní právo v klíčovém zákoně č. 254/2001 Sb. o pojmu hydrogeologická stratifikace nehovoří, definuje však v § 2 pojmy jako jsou: podzemní voda, vodní útvar, útvar podzemní vody, vodní zdroj podzemní vody, kolektor a hydrogeologický rajón. Odstavec 3 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon), říká, že *vodním útvarem je vymezené významné soustředění povrchových nebo podzemních vod v určitém prostředí charakterizované společnou formou jejich výskytu nebo společnými vlastnostmi vod a znaky hydrogeologického režimu*, v odstavci 7 se uvádí, že *útvar podzemní vody je vymezené soustředění podzemní vody v příslušném kolektoru nebo kolektorech; kolektorem se rozumí horninová vrstva nebo souvrství hornin s dostatečnou propustností, umožňující významnou spojitou akumulaci podzemní vody nebo její proudění či odběr* a v odstavci 12 je charakterizován hydrogeologický rajón jako *území s obdobnými hydrogeologickými poměry, typem zvodnění a oběhem podzemní vody*.

Ve vyhlášce č. 5/2011 Sb., o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, je vyčleněno 152 hydrogeologických rajonů a 174 útvarů podzemních vod s vyjádřením vlastního stavu, navazujícím návrhem opatření na zlepšení tohoto stavu podzemních vod což znamená, že v některém hydrogeologickém rajonu je vymezeno více vodních útvarů. Na rozdíl od hydrogeologických rajonů, které mají konsenzuálně stanovené hranice poplatné aktuálním znalostem o zvodněném horninovém prostředí, totiž podléhají vodní útvary různým vlivům (např. antropogenní činnosti), které mohou měnit jejich stav. V rámci šestiletých hodnocení v rámci plánů oblasti povodí se tak bude provádět jejich aktualizace a do budoucna, budou-li aplikována účinná opatření na zlepšení jejich chemického nebo kvantitativního stavu, může dojít k situaci, kdy se počet hydrogeologických rajonů a útvarů podzemní vody sblíží.

Vyčleněním útvarů podzemní vody ve smyslu vyhlášky č. 5/2011 Sb. stojíme před klíčovým problémem dnešní hydrogeologie, kde nám legislativa příliš nepomůže a musíme nasadit odbornost a cit. Srovnajme některá ustanovení:

- již citovaný § 2 vodního zákona v odstavci 7 říká, že *útvar podzemní vody je vymezené soustředění podzemní vody v příslušném kolektoru nebo kolektorech; kolektorem se rozumí horninová vrstva nebo souvrství hornin s dostatečnou propustností, umožňující významnou spojitou akumulaci podzemní vody nebo její proudění či odběr*;
- ČSN 75515 Jímání vody, jejíž části o umístování a zřizování studen se staly závaznými novelou vyhlášky č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území, ve znění pozdějších předpisů, říká v článku 5.3.5.1, že *v případech, kdy vrtaná studna zastihuje více útvarů podzemní vody, je zpravidla nutno provést ve studni další těsnění zajišťující vzájemné oddělení těch zvodnělých kolektorů, na které jsou vázány rozdílné útvary podzemní vody. Odtěsnění kolektorů je nutno provést prokazatelně funkčním způsobem podle zpracované projektové dokumentace s uvedením konstrukčních parametrů a technologického postupu těsnících prací*;
- vyhláška č. 22/1989 Sb., o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti, uvádí v § 203, že *„vrt musí být proveden a při opuštění likvidován tak, aby bylo zamezeno nežádoucímu propojení zvodněných nebo plynonosných horizontů...“*

A co říká o vodním útvaru či o „zvodnělém horizontu“ odbornost a hydrogeologický cit? Asi to, co se říká v § 2 odstavci 3 vodního zákona, tzn. že *vodní útvar je vymezené významné soustředění podzemní nebo povrchové vody v určitém prostředí, charakterizované společnou formou jejich výskytu nebo společnými vlastnostmi vod a znaky hydrogeologického režimu*. Jinými slovy, soustředěné množství podzemní vody lišící se svou geometrií, časově prostorovým režimem tvorby a jakostí vody od jiného soustředěného množství podzemní vody je základním článkem přírozené hydrogeologické stratifikace horninového souboru, který nesmíme svou činností trvale narušovat!!! Útvar podzemní vody dle vyhlášky č. 5/2011 Sb. s tím zpravidla nemá nic společného a pokud by vše výše uvedené bylo vztaženo na to, že přírozená hydrogeologická stratifikace je množina útvarů podzemní vody v intencích vyhlášky č. 5/2011 Sb. a hydrogeologové by takto uvažovali a podle toho svou práci prováděli, v tu chvíli by došlo, troufám si říci, k nevratnému poškození přírodního režimu proudění podzemní vody a k totální změně vodních poměrů v rozsáhlých územích ČR, především v pánevních oblastech ale i jiných vícekolektorových hydrogeologických strukturách. V kontextu s v úvodu zmíněnou analogií anatomie lidského těla je to totiž stejné, jako by se v lidském těle definovaly a vyčleňovaly pouze jednotlivé systémy, jako je kožní systém, kosterní systém, svalový systém, nervový systém, oběhový

system atd. Při takovémto velmi hrubém vyčlenění by jakýkoliv zásah do lidského organismu, například propojení centrálního a periferního typu nervového systému, byl pro pacienta zásahem posledním. V přírodě, konkrétně v ekosystému podzemních vod, je to stejná „konečná“, jen následky toho nejsou zpravidla okamžitě vidět.

2.2 Přírozená hydrogeologická stratifikace v podmínkách ČR a typové příklady

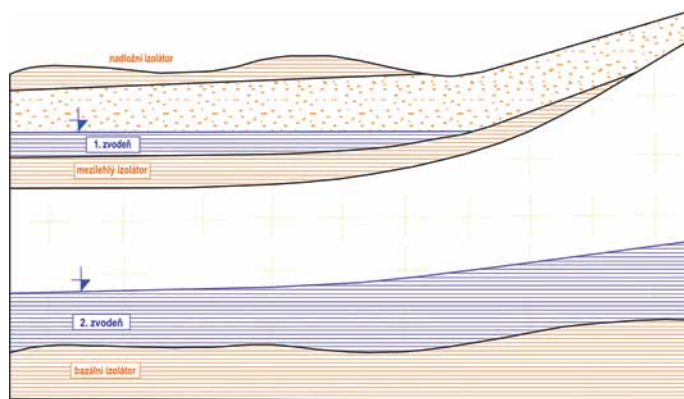
2.2.1 Krystalinické struktury

Jev, kterému říkáme přírozená hydrogeologická stratifikace, můžeme pozorovat na území celé naší republiky. V oblastech krystalinika, tj. především v jižní polovině naší republiky a v severních pohraničních horách, jsou rozsáhlé lokality, kde se obvykle vyskytují pouze jedna až dvě základní vodárensky využitelné zvodně. První, často nespojitá, omezená na menší plochy dané především morfologií terénu, ale současně zvodně prakticky přítomná v každém dílčím povodí, je vázána na kolektor, který tvoří kvartérní pokryv a mělké pásmo zvětralín či masivního připovrchového rozpojení puklin skalního podkladu. Mocnost této zvodně činí zpravidla pouze několik metrů, hladina podzemní vody je volná a nachází se mělce pod povrchem terénu. Podložním (v daném případě mezilehlým) izolátorem je buď tzv. „cementační pásmo“ o mocnosti obvykle pouze několika desítek centimetrů, tj. pásmo snižené propustnosti nezpevněných kvartérních sedimentů vniklé vypadáváním některých iontů z vodního roztoku, nebo skalní prostředí, sice zvětralé či rozpukané, ale v němž jsou pro vodu propustné dutiny druhotně zatěsněné jílovitými produkty větrání matečné horniny nebo jílovitými záteky z kvartérního pokryvu. V minulosti a mnohde doposud je tato voda využívána šachtovými studnami, jímacími zářezy, pramenními jímkami a vydatnosti se obvykle pohybují v setinách až desetínách l/s na jeden jímací objekt.

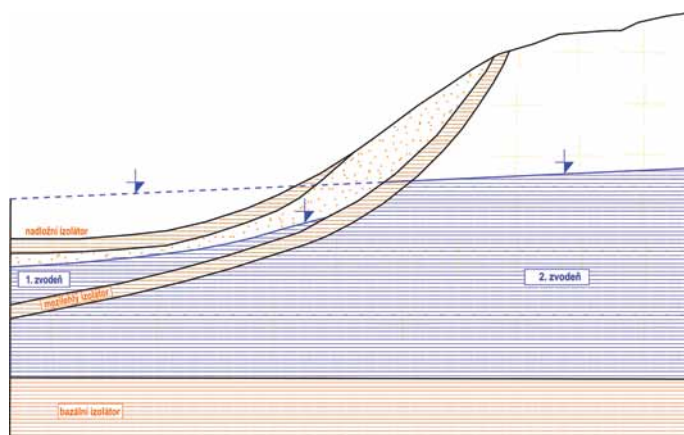
Druhá vodárensky využitelná zvodně v oblasti krystalinika je obecně vázaná na pásmo připovrchového rozpojení puklin skalního podkladu. Je to pásmo zasahující do hloubek několika desítek metrů, někdy, především v oblastech rigidních vyvřelin, i výrazně přes sto metrů, přičemž bazální izolátor tvoří pásmo, kdy se pro vodu propustné pukliny svírají. Tato druhá zvodně v oblasti krystalinika je těžko definovatelný systém dílčích subzvodní, které dohromady vytvářejí jeden zvodnělý systém charakteristický stejnou či obdobnou ustálenou úrovní hladiny podzemní vody, podobnou jakosti vody a časovým režimem tvorby podzemní vody. Činitelů, které její výskyt určují, je celá řada, avšak kromě morfologie terénu se jako klíčový jeví litologický charakter horniny a stupeň jejího tektonického postižení. Tato zvodně je se změnou vrtné technologie od 80. let minulého století, kdy původně pomalá nárazovotočivá technologie vrtní byla nahrazena rychlou až superrychlou technologií příklepového vrtní se vzduchovým výplachem, stále častěji využívána a běžné vydatnosti jímacích objektů se pohybují v desetínách, výjimečně i v jednotkách l/s. Ve vztahu k nadložní kvartérní zvodni je na plošně velmi rozsáhlých náhorních plošinách (například prakticky celá Českomoravská vysočina) obvyklé, že ustálená hladina podzemní vody první zvodně (kvartérní) je zpravidla výše až významně výše než hladina zvodně druhé (krystalinické) a při jejich propojení hrozí ztráta vody v první zvodni. V oblastech okrajových horstev nebo obecně v členitějším terénu se často stává, že naopak druhá zvodně má vyšší výtlačnou úroveň než zvodně kvartérní a při jejich propojení hrozí jednak změna kvality vody v původní kvartérní zvodni (například nárůst železa nebo radonu), anebo dochází k podmáčení pozemků a v krajním, ale nikterak řídkém případě i k trvalé umělé drenáži podzemní vody do povrchového toku. Obě popsané zvodně se v České republice vytvářejí tisíce, statisíce a mnohdy i miliony let a představují jedno z největších bohatství naší republiky. Na **obrázcích 1 a 2** jsou dva výše popsané typové příklady znázorněny.

2.2.2. Pánevni struktury

Naše pánevni struktury, na rozdíl od krystalinika, jsou charakteristické nesrovnatelně bohatšími vodárensky využitelnými zásobami podzemní vody a vícekolektorovými zvodněnými systémy. Tím se zvyšuje riziko jejich poškození při případném porušení přírozené hydrogeologické stratifikace. Permokarbonské pánevni struktury a především hydrogeologické rajony české křídové pánve nebo jihočeských pánví jsou natolik vnitřně diferencované a filtračně anizotropní, že by v nich bylo možno vyčlenit snad stovky útvarů podzemní vody, které by nepřímo splňovaly definice vodního útvaru nebo útvaru podzemní vody v intencích § 2 odstavců 3 a 7 vodního zákona, neboť tyto stovky útvarů, tvořících subsystém 174 útvarů podzemní vody ve smyslu vyhlášky č. 5/2011 Sb., jsou charakteristické specifickou formou svého výskytu, jakosti vody, jejími tlakovými poměry a formou doplňování či



Obr. 1. Přírozená hydrogeologická stratifikace na náhorních plošinách v krystaliniku. Idealizovaný řez dvoukolektorovou strukturou [2]



Obr. 2. Přírozená hydrogeologická stratifikace v členitém terénu krystalinika. Idealizovaný řez dvoukolektorovou strukturou [4]

drenáže. Například v jednom z našich největších pánevni hydrogeologických rajonů, v rajonu 4270 Vysokomyštská synklinála s plochou cca 800 km² a přírodními zdroji podzemní vody ve výši přes 3 000 l/s, který je dle vyhlášky č. 5/2011 Sb. jedním útvarem podzemní vody, lze prokazatelně rozlišit 5 samostatných zvodněných kolektorů oddělených mezilehlými izolátory. Navíc významné regionální tektonické linie (jako je například jílovická porucha nebo javornický zlom) člení některé kolektory do víceméně samostatných bloků, jejichž podzemní vody mezi sebou prakticky nekomunikují. Takovým typickým příkladem je jímací území Pekla v údolí Loučné, kdy například z kolektoru Cb se prostřednictvím studny S-1 s vydatností přes 100 l/s odebírá podzemní voda s volnou hladinou podzemní vody, mineralizací kolem 500 mg/l a koncentrací dusičnanů téměř 50 mg/l. Mezilehlý izolátor Ca/Cb o mocnosti několika desítek metrů odděluje zvodně kolektoru Cb od zvodně kolektoru Ca, využívané nedalekým vrtem LO-15/4 s vydatností rovněž přes 100 l/s, avšak s tlakem vody v úrovni terénu kolem 900 kPa, mineralizací cca 400 mg/l a nulovou koncentrací dusičnanů. Představa, že by někdo z neznalostí tyto zvodně propojil v jednom vrtu, tedy narušil přírozenou hydrogeologickou stratifikaci, by znamenala nejen zásadní změnu tlakových poměrů a jakosti vody v jímacím území velkého skupinového vodovodu, ale i obrovský technický problém dodatečného zatěsnění vysoce natlakované podzemní vody v množství nad 100 l/s, zejména v případě, že by vrt svou projektovanou konstrukcí byl běžnou úzkoprofilovou „dírou“ do země. Dosah tlakového uvolnění zvodně by totiž činil více než 10 km a projevily by se poklesem hladiny podzemní vody v řadě okolních jímacích objektů centrálního zásobování. Dle současného práva, konkrétně ve smyslu vyhlášky č. 5/2011 Sb., by přesto takový vrt zastihl pouze jeden útvar podzemní vody č. 42700. Zmíněný případ tedy ukazuje, jak zásadní roli ve vodárenské praxi, ale obecně i v ochraně přírodního prostředí hraje pojem přírozená hydrogeologická stratifikace a jeho věcně správné chápání. Na **obrázku 3** je uvedena výše popisovaná hydrogeologická stratifikace v jímacím území Pekla.

Existují však i hydrogeologické struktury podstatně složitější, kde porušení přírozené hydrogeologické stratifikace, pokud by vrtnou son-

dáž provázela neznalost území, hrozí při většině hlubších zásahů do zemského povrchu. Příkladem může být hydrogeologický rajon 4110 Polická pánev schematicky znázorněný na obrázku 4.

3. Vrtý pro tepelná čerpadla a rizika ovlivnění přirozené hydrogeologické stratifikace při jejich provádění a provozu

Největším rizikem této novodobé a dynamicky se rozvíjející aktivity pro vodní režim podzemních vod je skutečnost, že instalace tepelných čerpadel systému země x voda a voda x voda byly ve velkém zahájeny při totální absenci právního statutu těchto vrtů, technologie jejich provádění, zohledňující mimořádnou složitost geologických a hydrogeologických poměrů v ČR, a s nulovou zkušeností při řešení havarijních stavů, které zcela logicky při subtilnosti těch děl nastanou ať již porušením přirozené hydrogeologické stratifikace horninového souboru, nebo únikem oběžných medií (byť ojedinělým) s příměsími aditiv s nejasnými riziky do vodního ekosystému.

3.1 Vrtý pro tepelná čerpadla typu voda x voda

Tyto vrtý jsou v podstatě totéž co studny s tím rozdílem, že jímací vrtý vodu jímají a vsakovací vrtý tuto zasakují zpět do horninového prostředí. Vodní zákon je v tomto případě mimořádně benevolentní, když v § 8 odstavci 1 obecně připouští čerpání povrchových nebo podzemních vod a jejich následné vypouštění do těchto vod za účelem získání tepelné energie. Legální je tedy kombinovat vody v procesu využití její tepelné energie, tzn. například odebírat podzemní vodu a vypouštět ji do vody povrchové nebo odebírat povrchovou vodu a po projití výměníkem tepelného čerpadla tuto vypouštět do vody podzemní, právě tak jako je možno odebírat vodu z jedné zvodně a vypouštět ji do druhé zvodně a naopak. Naštěstí platí ustanovení § 9 odstavce 1 vodního zákona, kdy se k nakládání s podzemní vodou musí vyjádřit osoba s odbornou způsobilostí, a je jen chybou hydrogeologů, že ani těm nejkřiklavějším případům nedokáží vždy účinně zabránit. Jaké je tedy řešení směřující ke zlepšení stávající nepříliš utěšené situace? Spatřuji je v následujícím:

- odběr podzemní vody a její energetické využití lze optimálně realizovat v případě, kdy odběr vody a její vypouštění se dějí na úkor stejné, zpravidla mělce uložené zvodně. Pak je riziko pro vodní ekosystém podzemních vod minimální, ale vyskytuje se zde jeden základní technický problém: zasakovat je podstatně horší než vodu odebírat, a ekonomika takovýchto vrtů bude zatěžována pravidelnou a mnohdy dosti nákladnou regenerací vsakovacích objektů;
- odběr vody z jedné zvodně a její vypouštění do jiné zvodně je sice možný, ale je třeba specifikovat a vyhodnocovat důsledky tohoto způsobu využití podzemní vody pro bilanci jejich zásob v případě zvodně jímání a pro stav hladiny podzemní vody s možnými významnými vzestupy v případě zvodně sloužící pro vsakování vody. Stejně tak je třeba podrobně posuzovat rozdíly v jakosti vody, kdy promíchávání vody jednotlivých zvodní při odběru a vsakování může mít fatální důsledky pro vodárenské využití podzemní vody. Jsou známy příklady, kdy odběr podzemní vody z hlubší zvodně s vysokou koncentrací

arsenu znehodnotil do té doby nekolizně využívanou mělkou zvodně, do které byla voda z hlubší zvodně zasakována;

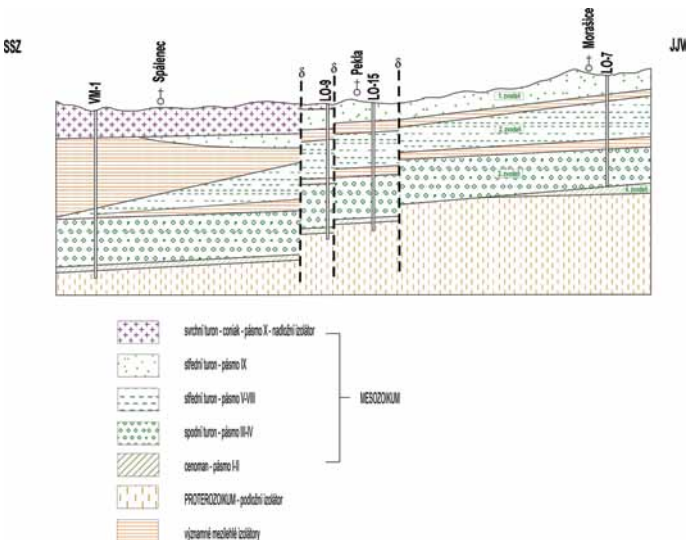
- vypouštění podzemní vody do vody povrchové, což je případ dosti běžný a představuje nepřijatelné bilanční ochuzení zásob podzemní vody, které by ve smyslu vodního zákona měly být přednostně využity pro pitné účely.

Z uvedeného vyplývá, že případy využití energetického potenciálu podzemní vody jsou možné a mnohde i vhodné, vždy však vyžadují podrobnou analýzu rizika, kterou tento proces pro vodní režim daného území představuje. Podrobná znalost přirozené hydrogeologické stratifikace horninového souboru je přitom nezbytná. Významným pomocníkem může být poloprovozní čerpací a vsakovací zkouška a ve složitějších případech lze navíc využít matematickou simulaci budoucího vývoje změn vodního režimu činností spojenou s využitím tepla podzemní vody.

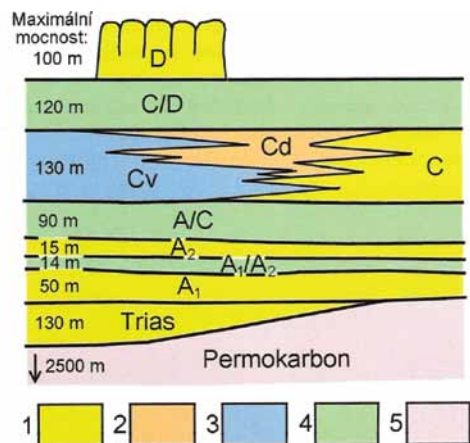
3.2 Vrtý pro tepelná čerpadla typu země x voda

Tyto vrtý jsou dnes v podstatě nejrozšířenějším druhem zásahu do vodního režimu území a s ohledem na počet těchto vrtů, jejich hloubku, subtilní parametry a jejich provádění velmi často bez účasti kvalifikovaného hydrogeologa jsou pro přirozenou hydrogeologickou stratifikaci horninového souboru mimořádně rizikové. Jaké je v tomto případě řešení směřující k zásadnímu zlepšení současného stavu, je uvedeno na následujících případech:

- riziko těchto vrtů spočívá primárně v jejich hloubce a v malém průměru vrtání. Při běžné hloubce 100–200 m tyto vrtý procházejí dvěma i více zvodněmi a při průměru vrtání pod 150 mm a vystrojení vrtného stvolu vertikálním kolektorem s oběžným médiem zbývá na odtěsnění jednotlivých zvodněných kolektorů prostor v mocnosti několika milimetrů, a to ještě v případě zpravidla nerespektovaného centrického umístění kolektorů. Je-li proto předpoklad, že ve vrtném sledu budou zastíženy zvodně s výrazně odlišnými tlakovými poměry nebo s významně odlišnou jakostí vody, je třeba buď v takovýchto podmínkách vrtý vůbec nenavrhnout a neprovádět, anebo pokud je to nezbytné, bude třeba volit významně vyšší průměr vrtání (nad 200 mm) umožňující funkční oddělení jednotlivých zvodněných poloh;
- složitější situace nastává v případě, že ve spodní části vrtů pro TČ systému země x voda je zastížena tlaková zvodně s pozitivní výtlačnou úrovní. V takovém případě by bylo třeba volit speciální technologii vrtání a vystrojení vrtů, aby byl vertikální vzestupný pohyb vody ve vrtném stvolu utlumen. To však vyžaduje jednak dobrou znalost geologického prostředí, tzn. vědět, v kterých částech horninového souboru lze přítoky tlakové podzemní vody očekávat, a potom i ovládnutí technologie těsnění tlakových poloh, což dnes bohužel málokdo umí. Běžně tak dochází k situaci, kdy vrtý v pod-



Obr. 3. Přirozená hydrogeologická stratifikace v křídových pánevích strukturách. Idealizovaný řez čtyřkolektorovou strukturou v osové části vysokomýtské synklinály [4]



Obr. 4. Hydrogeologická tělesa v Polické pánvi [1]

- 1 převážně propustné horniny (kolektory): trias bohdašínského souvrství, A₁ cenoman „psamitické souvrství“, A₂ cenoman „rohovcové souvrství“ C pískovce Broumovských stěn, D kvádřové pískovce skalních měst
- 2, 3 tělesa s proměnlivou hydrogeologickou funkcí: C_d distální facie pískovců, C_v slínovce se zvýšeným vápnitým obsahem
- 4 převážně málo propustné horniny (izolátory): A₁/A₂ „prachovcové souvrství“, A/C slínovce až vápnité jílovce nad bazálním komplexem, C/D slínovce oddělující tělesa C a D
- 5 permokarbon v podloží triasu a křídý

mínkách tlakových zvodní působí jako drenážní díla, odvádějící podzemní vodu z hlubších kolektorů do kolektorů výše uložených, nebo dokonce až do povrchového recipientu. Samozřejmě skryté, nepovoleně, často v množství desítek až stovek m³/den;

- nejsložitější situace je pak při provádění těchto vrtů v území výskytu vysoce porézního nebo dokonce krasově nebo pseudokrasově propustného horninového prostředí. Používaná technologie příklepového vrtání se vzduchovým výplachem velmi těžko těmito horninami prochází a co je nejzávažnější, kavernový systém zůstává trvale narušen, protože je nereálné takto porušené horniny funkčně injektovat. Zde platí jediná rada: vrtv v těchto podmínkách vůbec neprovádět a pokud je to z různých důvodů nezbytné, je nutno volit technologii velkopřůměrového a zpravidla teleskopického způsobu vrtání a etážové injektáže kritických poloh horninového souboru;
- zmíníme ještě jednu okolnost rizika vrtů pro tepelná čerpadla systémů země x voda pro vodní režim. Tou je naprosto nedomyšlený způsob sanace prostředí v případech, kdy dojde k úniku oběžného média obsahujícího aditiva, která povětšinou patří mezi látky pro vodu nebezpečné. Varianta náhrady těchto speciálních médií je sice možná (lín, solanka apod.), ale chybějící aditiva v těchto oběhových médiích obecně provoz teplovodního systému ztěžují a dodavatelé nejsou tomuto řešení příliš nakloněni;

Z tohoto krátkého a samozřejmě neúplného přehledu rizik vyplývá, že vrtv pro tepelná čerpadla jsou významným rizikem pro režim podzemních vod zejména v podmínkách tlakových zvodní, v podmínkách výskytu vysoce propustných hornin a obecně všude tam, kde se ve vertikálním sledu pod sebou nachází několik významně se od sebe odlišujících zvodní. K tomu několik obecných doporučení:

- vrtv systému voda x voda jsou vodními díly, vyžadující územní řízení, stavební povolení a povolení k nakládání s vodami. Vyjádření osoby s odbornou způsobilostí k nakládání s podzemními vodami by vždy mělo obsahovat buď návrh na podrobný hydrogeologický průzkum před zahájením stavby, realizovaný pro účely její projekční přípravy, nebo alespoň návrh na realizaci doplňkového hydrogeologického průzkumu v průběhu stavby tak, aby vhodnost projektovaných parametrů díla byla v průběhu prací verifikována nebo v případě potřeby modifikována;
- vrtv systému země x voda s celkovým instalovaným výkonem do 20 kW vyžadují dle současného práva pouze územní rozhodnutí a souhlas vodoprávního orgánu, který může být podmíněn vyjádřením osoby s odbornou způsobilostí. Vyjádření osoby s odbornou způsobilostí k nakládání s podzemními vodami by vodoprávním orgánem mělo být požadováno, s výjimkou nejjednodušších případů, vždy a toto vyjádření by mělo obsahovat návrh doplňkového hydrogeologického průzkumu v průběhu stavby tak, aby vhodnost projektovaných parametrů díla byla v průběhu prací verifikována nebo v případě potřeby modifikována;
- vrtv systému země x voda s celkovým instalovaným výkonem nad 20 kW vyžadují územní rozhodnutí, souhlas vodoprávního orgánu, který může být podmíněn vyjádřením osoby s odbornou způsobilostí, a stavební povolení. Vyjádření osoby s odbornou způsobilostí k nakládání s podzemními vodami by vodoprávním orgánem mělo být s ohledem na metráž vrtů zpravidla přesahující 400–500 m požadováno na žadateli vždy a hydrogeologové by v tomto případě měli povinně zpracovávat toto vyjádření na základě podrobného ověření místní hydrogeologické stratifikace formou průzkumné sondáže v rozsahu minimálně 5% celkové metráže projektované stavby vrtů. Návrh doplňkového hydrogeologického průzkumu v průběhu stavby by měl být samozřejmostí a měl by být zakotvený ve stavebním povolení.

4. Závěr

Pojem přirozená hydrogeologická stratifikace a rizika spojená s jejím narušením se samozřejmě netýkají jenom vrtů pro tepelná čerpadla, ale rovněž studen, především vrtaných, hlubokých pilotových či plošných zásahů, energetických pilot apod. Primárně se jedná o pojem obecného ohrožení přírodního prostředí způsobem často nevratným. Je jednoznačně věcí státu a státních orgánů těmto rizikům předcházet, teprve v druhé řadě jde o ohrožení práv právnických či fyzických osob nebo občanů, kterým porušením přirozené hydrogeologické stratifikace vznikají škody na majetku projevující se například ztrátou nebo úbytkem vody ve studních, zhoršenou jakostí využívané podzemní vody, podmáčením či ohrožením stability nemovitostí apod. Uvědomíme-li si, že ročně vzniká několik tisíc takovýchto zásahů do horninového prostředí, a kdyby pouze v jednom procentu případů došlo k trvalému porušení přirozené hydrogeologické stratifikace (což je odhad za horní hranici optimismu), je to číslo alarmující a za

období „volného trhu“ po sametové revoluci potom číslo děsivé. Hydrogeologů je ve srovnání s jinými profesemi pár a není divu, že se jim v dnešním světě plném lobbismu nedostává sluchu. Zkuste se proto alespoň vy, odpovědnější za život v naší zemi, zamyslet nad následujícím návrhem hydrogeologa, který svůj celý profesní život věnoval terénní hydrogeologii:

- v adekvátním rozsahu začlenit studium přirozené hydrogeologické stratifikace do učebních osnov všech středních a vysokých škol, které se zabývají buď přímo podzemními vodami, nebo stavbami a zařízeními, která pod hladinu podzemní vody zasahují a mohou ovlivňovat vodní poměry. Pro toto studium zpracovat učební texty a pro specializované obory hydrogeologie, sanační geologie, ochrana podzemních vod, environmentální geologie apod. organizovat několikadenní terénní exkurze, kde by se studenti v praxi mohli seznámit s hlavními prvky a zákonitostmi jevu nazývaného přirozená hydrogeologická stratifikace;
- na centrálních orgánech, především na MŽP, MZe a MMR, vytvořit pracovní skupinu, která by objektivně problematiku porušování přirozené hydrogeologické stratifikace analyzovala, a pokud se v tomto příspěvku avizovaná rizika prokážou jako reálná hrozba pro přírodní režim podzemní vod v ČR, přijala systémová opatření na zlepšení současného stavu, počínaje změnou právních předpisů, přes osvětu až po kontrolní činnosti a sankce;
- odbornou i laickou veřejnost, tj. úřady, podnikatelskou sféru i obyčejné občany (těch se například často týká možnost ztráty vody ve studnách), vhodnou formou seznamovat s aspekty přirozené hydrogeologické stratifikace, aby se sami mohli bránit tam, kam státní správa v počátcích kauz často nedosáhne;
- podnikatelskou sféru, tj. studnaře, výrobce a dodavatele tepelných čerpadel, včetně zemních kolektorů, vrtné firmy, projektanty a hydrogeology informovat o metodách provádění vrtů pro tepelná čerpadla ve víceelektrorových zvodněných systémech, jak to například uvádí v literatuře citovaná Příručka pro tepelná čerpadla Hesenského zemského úřadu životního prostředí a geologie z roku 2007. Tyto subjekty formou školení, seminářů, odborných článků, metodik apod. přesvědčit, že snížení rizika přirozené hydrogeologické stratifikace je v zájmu všech občanů ČR, tedy i jejich. Něco to bude stát, především koncového zákazníka. Bude-li nezbytné provést průzkum, bude to stát čas i peníze. Bude-li třeba v průběhu vrtání vrtné práce přerušit a zvodnělý kolektor otestovat, práce se přeruší a bude se pokračovat, až bude jasné, jak pokračovat dál bez rizika poškození vodního ekosystému. Pokud se narazí na prostředí vylučující jeho využití pro daný záměr, práce se ukončí a dílo se zlikviduje, a ne že se volně přetékající podzemní voda, kterou nelze zatěsnit, zaústí do prvního potoka. Může se stát, že vrtv pro tepelná čerpadla nebo studny v důsledku přijatých opatření, zvýšené kontroly hydrogeologů apod. významně podraží. Ukáže-li se to pro ochranu životního prostředí nezbytné, bude třeba touto cestou jít, podobně jako se do automobilů instalují katalyzátory anebo se mění málo účinné kotle na tuhá paliva za kotle účinnější. Jen někdo musí mít odvalu říct, že pro naši zemi je porušování přirozené hydrogeologické stratifikace rizikové, i když to většinou není vidět. V tomto mají hydrogeologové morální povinnost apelovat na každého, kdo může pomoci současnou situaci změnit.

Literatura/References

- [1] Krásný, J. Podzemní vody České republiky. Česká geologická služba, Praha, 2012.
- [2] Šeda, S. Vrtv pro tepelná čerpadla jako průzkumné vrtv. OHGS, Ústí nad Orlicí, 2010, Manuskript
- [3] Šeda, S. Vrtv pro tepelná čerpadla a rizika jejich provádění. OHGS, Ústí nad Orlicí, 2010, Manuskript pro krajské úřady.
- [4] Šeda, S. Podzemní vody ve vodárenské praxi. Sborník přednášek z konference. Dolní Morava, 2014.
- [5] Tepelná čerpadla pro využití energetického potenciálu podzemních vod a horninového prostředí z vrtů. Metodické doporučení pro stavební a vodoprávní úřady. MMR, Mze a MŽP, Praha 2013.
- [6] Využívání zemního tepla v Hesensku (Hessen). Příručka pro tepelná čerpadla o tepelném výkonu do 30 kW. 3. přepracované vydání. Hesenský zemský úřad životního prostředí a geologie, Wiesbaden 2007.

RNDr. Svatopluk Šeda
OHGS s.r.o
17. listopadu 1020
672 01 Ústí nad Orlicí
seda@ohgs.cz

Abstract

Boreholes for heat pumps usually extend into the upper aquifer of the earth's surface, and if their implementation do not respect the local hydrogeological conditions, they may cause irreversible changes in the water regime at the site. The aim of this paper is to highlight the most important risks in implementation of these works and present the basic procedures eliminate risks.

Key words

natural groundwater stratification – breach of stratification – borehole for heat pump – risk for aquatic regime – risk elimination

Tento článek byl recenzován a je otevřen k diskusi do 31. října 2014. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků. Příspěvky pošlete na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.

Interakce podzemní a povrchové vody

Radomír Muzikář

Abstrakt

Povrchové a podzemní vody jsou ve vzájemné interakci a jejich oběh je proměnlivý a vzájemně se podmiňující. Malé průtoky povrchových toků jsou tvořeny podzemní složkou odtoku, což hraje významnou roli při řešení interakce podzemních a povrchových vod. Rámcová směrnice EU o vodách a zákon o vodách hodnotí stavy povrchových a podzemních vod, které zahrnují jejich kvantitativní, chemické a ekologické stavy. To znamená, že vlivy lidské činnosti na režim podzemních a povrchových vod, které jsou v hydraulické spojitosti, je nutno řešit společně. Nezbytným vstupním podkladem pro hodnocení interakce podzemní a povrchové vody je poloha koryta vzhledem ke zvodni a stupeň kolmatace. V článku jsou uvedeny základní typy zařízení koryta v našich podmínkách a informace o kolmataci koryta, její proměnlivosti a vyšetřování. Na styku útvaru podzemní a povrchové vody je přechodná zóna, v níž dochází k významným biochemickým pochodům. Je diskutována úloha přechodné zóny a doporučení pro průzkum jejich charakteristik. Dále je uvedeno vyhodnocování interakce podzemní a povrchové vody a související legislativní požadavky. Na závěr je upozorněno na nejčastější nedostatky při vyšetřování interakce podzemní a povrchové vody.

Klíčová slova

dobrý stav podzemní vody – dobrý stav povrchové vody – hydraulická spojitost podzemní a povrchové vody – hyporheická zóna – kolmatace – zařízení koryta povrchového toku

Úvod

Podzemní a povrchová voda jsou součástí oběhu vody v přírodě. Jsou v interakci a významně se v důsledku morfologických, geologických a klimatických podmínek ovlivňují. V minulosti se problematika obou řešila většinou odděleně. U povrchových vod byla pozornost zaměřena především na povodňové stavy a využívání vodní energie. Minimálním průtokům se věnovala malá pozornost [1]. Malé průtoky jsou tvořeny podzemní složkou odtoku. U podzemních vod převládalo hodnocení jejich využitelnosti pro vodárenské využití.

Podzemní voda proudí z oblasti infiltrace do oblasti odvodnění. Zdrojem vody jsou srážky, které se infiltrují přes nasaturovanou zónu. Systémy podzemního odtoku z oblasti doplňování se liší velikostí a hloubkou, přičemž jeden systém může překrývat druhý. Režim podzemní vody z mělkých zvodní je velmi dynamický a mezi ní a povrchovými toky je největší výměna vody. V podloží mělkých zvodní se mohou vyskytovat další zvodně, v nichž probíhá oběh vody ve větších hloubkách a cirkulující podzemní voda se v nich zdrží podstatně déle než v mělkých zvodních. Podzemní voda z hlubších zvodní je rovněž drénována povrchovými toky. Povrchové toky proto mohou drénovat více zvodní. Tato drenáž probíhá v různých úsecích vodního toku. Tyto nemusí být shodné s úseky, v nichž se drénují mělké podzemní vody. V důsledku různé doby zdržení podzemní vody ve zvodněném kolektoru je chemismus podzemní vody drénované z různých zvodní velmi rozdílný.

Za určitých vodních stavů v povrchových tocích drénují povrchové toky podzemní vody a za jiných stavů je napájí. Vzájemně

ovlivnění obou je jak kvantitativní, tak i kvalitativní. Kvantitativní ovlivnění povrchových vod zpravidla nastává v důsledku nadměrného využívání zdrojů podzemní vody. Drenáž kontaminovaných podzemních vod se může podílet na zhoršení kvality povrchových vod a naopak napájení kontaminovaných povrchových vod může způsobit kontaminaci podzemních vod. Z výše uvedeného je zřejmý význam znalosti údajů o vzájemném vztahu povrchových a podzemních vod. V posledních letech v důsledku implementace Rámcové směrnice EU o vodách [21] do českého zákona o vodách [22] se hodnotí i stavy povrchových a podzemních vod. Dobrý stav povrchových a podzemních vod zahrnuje i kvalitativní a kvantitativní požadavky na využívání těchto vod i na potřeby biologických společenstev na vody vázaných, včetně terestrických ekosystémů. Mezi environmentální cíle náleží při využívání podzemních vod, které jsou v hydraulické spojitosti s podzemními vodami, i zachování minimálních průtoků v povrchových tocích a zachování suchozemských ekosystémů. Pro ochranu kvality povrchových vod v důsledku kontaminace podzemních vod stanovil ÚVU TGM, v.v.i., limitní hodnoty podzemní vody pro vytipované profily povrchových toků s velkým podílem podzemního odtoku do povrchového toku s cílem minimalizovat znečištění povrchového toku a dosažení jeho dobrého stavu [2].

V důsledku vzájemného ovlivňování podzemních a povrchových vod je pro dosažení jejich dobrého stavu nutný při jejich využívání integrovaný přístup, tzv. Integrovaný management vodních zdrojů (Integrated Water Resources Management) [3].

Řešení interakce podzemních a povrchových vod obsahuje následující okruhy problémů:

- prokázání hydraulické spojitosti,
- kolmatace koryta povrchového toku,
- styk podzemní a povrchové vody,
- průzkum a vyhodnocování interakce podzemní a povrchové vody.

Hydraulická spojitost

Dynamika podzemního odtoku ve zvodních, které jsou v hydraulické spojitosti s povrchovými vodami, její variabilita v různých obdobích roku, členění hydrogramu, drenážní účinky vodního toku a napájení podzemních vod z toků závisí na charakteru a stupni hydraulické spojitosti podzemních a povrchových vod. Ten je ovlivněn gradientem podzemní vody, rychlostí a velikostí odtoku podzemních vod. Stupeň hydraulické spojitosti ovlivňuje poloha koryta vzhledem ke zvodni a počevnímu izolátoru, propustnost zvodně, dna a svahů koryta povrchových toků nebo rybníků a jezer a kolmatace koryta. Podrobným rozdělením typů polohy koryta pro vyšetřování hydraulické spojitosti a jejich vlivu na režim podzemních a povrchových vod se zabývali zejména Dahl a Hinsby [4], Duba [5], DVWK [6], Ribeiro et al. [7], Rétháti [8], Sophocleous [9] a Winter [10].

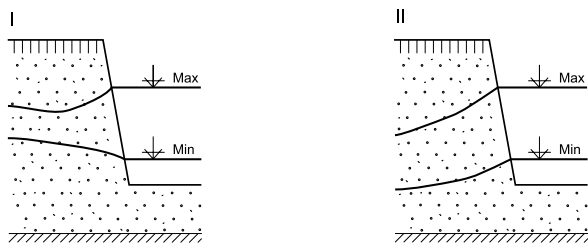
Poloha koryta vzhledem ke zvodni a počevnímu izolátoru se vyskytuje ve dvou základních typech (viz **obrázek 1**):

- koryto je umístěno v celém profilu do zvodně nad počevním izolátorem;
- koryto je umístěno do zvodně a počevního izolátoru.

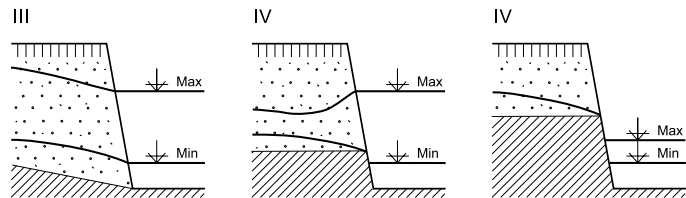
V korytech umístěných v celém profilu do zvodně nad počevním izolátorem je možno vyčlenit následující případy modifikací výše uvedených studií, zejména podle Duby [7]:

- I. Hladina podzemní vody má většinou gradient k povrchovému toku, který při těchto vodních stavech drénuje podzemní vody. Zvodeň je napájena infiltrací ze srážek. Při vyšších vodních stavech v povrchovém toku dojde v první fázi k zamezení odtoku podzemní vody k povrchovému toku, vzestupu hladiny podzemní vody a v následující fázi začne napájení zvodně z řeky, které je po poklesu vodních stavů vystřídáno opět drenáží podzemní vody povrchovým tokem. Významnou roli při napájení zvodně hraje velikost rozkvyvu vodních stavů. S rostoucím rozkvyvem

KORYTO ZAŘÍZNUTÉ V CELÉM PROFILU DO ZVODNĚ NAD IZOLÁTOREM



KORYTO ZAŘÍZNUTÉ DO ZVODNĚ A DO IZOLÁTORU



Obr. 1. Základní typy polohy koryta vzhledem ke zvodni a počevnímu izolátoru

- hladin dochází k významnějšímu ovlivnění režimu podzemních vod. Tento typ zaříznutí koryta se vyskytuje v širší pořiční zóně.
- II. Hladina podzemní vody má po celý rok gradient od povrchového toku, který proto napájí po celý rok zvoď. Kolísání vodních stavů bezprostředně ovlivňuje hladiny podzemní vody.

V korytech zaříznutých do zvodně a počevního izolátoru se vyskytují následující případy:

- III. Povrch počevního izolátoru má strmý sklon k povrchovému toku a hladina podzemní vody má obdobný průběh. Dno koryta je na povrchu počevního izolátoru. Hydrologicky je vztah povrchové a podzemní vody obdobný jako v případě I, avšak vzhledem k malé mocnosti zvodně a menší šířce pořiční zóny je hydraulická spojitost méně výrazná.
- IV. Koryto povrchového toku je zaříznuto do počevního izolátoru. Hydraulická spojitost s povrchovým tokem nastává pouze při vysokých vodních stavech, zatímco při nízkých vodních stavech je hydraulická spojitost přerušena.
- V. Koryto povrchového toku je hluboce zaříznuto do počevního izolátoru. Při všech vodních stavech nemůže povrchový tok ovlivnit hladiny podzemní vody.

Kolmatace koryta povrchového toku

Dalším faktorem ovlivňujícím stupeň hydraulické spojitosti podzemní a povrchové vody je kolmatace koryta, snižující propustnost koryta povrchového toku. Ta je výsledkem usazování splavenin a plavenin, vzniklých erozí v povodí povrchového toku nebo i v jeho korytě. Při menších průtocích se jemné částice ukládají v povrchové vrstvě koryta a mohou i pronikat do průlin v hlubších vrstvách. V korytě se rovněž ukládají odumřelé části rostlin a organického materiálu a řasy. V důsledku toho vzniká na omočeném obvodu koryta tzv. kolmatační membrána, jejíž hydraulické odpory se mění. Při malých průtocích může být přerušena hydraulická spojitost podzemní a povrchové vody a vzniká podle Hála tzv. „kolmatační kolaps“ [11]. Ten byl prokázán v monitorovacích vrtech v povodí Dyje v průběhu celého roku 1974 [12]. Vlivem proudící vody v korytě může dojít k destrukci membrány. Destrukce membrány se opakuje v různých periodách. Proces kolmatace má charakter postupného nárůstu krizových stavů, při nichž se vlastnosti membrány velmi rychle mění. Podle Hála doslova „skokem“. Pokud dochází k trvalejší infiltraci z toku do pořiční nivy, zasahují kolmatační procesy do větší hloubky a vzniká

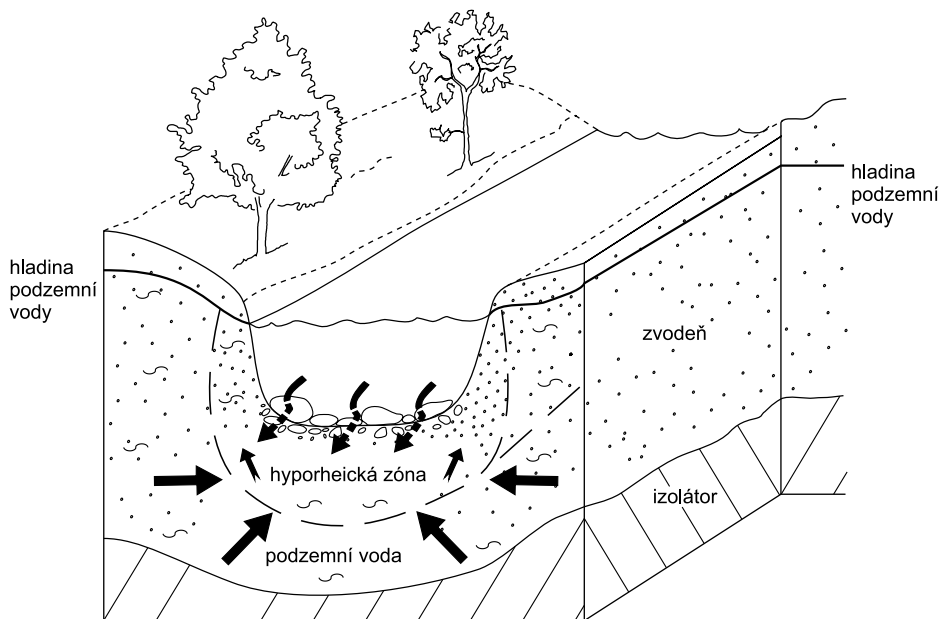
pásmová kolmatace trvalejšího charakteru. Splachování jemných částic do povrchového toku zvětšuje nevhodné využívání pozemků okolo toku (například nevhodná skladba pěstovaných plodin umožňující vodní erozi nebo odlesňování). Kromě vodní eroze se podílí na vzniku kolmatace i vypouštění odpadních vod do povrchových toků, způsobující sedimentaci organických látek v korytě. Může však být způsobena i fyzikálně-chemickými procesy při infiltraci znečištěné vody do zvodně. Dále mohou kolmataci ovlivnit nadměrné odběry podzemní vody, vyvolávající velký gradient hladiny podzemní vody směrem od povrchového toku, doprovázený vysokou infiltrací z povrchového toku, při níž vnikají jemné částice do sedimentů v omočeném obvodu koryta.

Při hydraulických výpočtech se nahrazují zvětšené odporové vlastnosti kolmatační membrány u povrchového toku, který je boční napájecí hranicí, zavedením tzv. náhradní délky, o níž se zvětšuje skutečná vzdálenost od povrchového toku [13, 14].

Styk útvaru podzemní a povrchové vody

Voda v povrchovém toku neproudí pouze v korytě, nýbrž proudí v průlinách koryta a říčních sedimentech, které společně vytváří přechodnou zónu na styku útvaru povrchové a podzemní vody. Zóna kolem koryta na styku se zvodně se nazývá hyporheická zóna [9, 15]. Mocnost sedimentů v hyporheické zóně, v nichž probíhá přímý kontakt s říční vodou, dosahuje podle měření Kabelkové-Jančarové několika centimetrů až desítek centimetrů [15]. Hyporheická zóna je schematicky znázorněna na obrázku 2.

Výškový rozměr přechodné zóny určuje kóta hladiny v povrchovém toku. Pevné částice jsou ve zvodněném kolektoru v přechodné zóně zastoupeny zeminami nebo navětralými horninami s mikrobiálními společenstvími, ve vlastní přechodné zóně pevnými částicemi zvodněného kolektoru s makroskopickými, mikroskopickými biotickými a abiotickými součástmi, které vznikly z povrchových suchozemských systémů. V povrchovém toku jsou na dně a svahu koryta říční sedimenty. V přechodné zóně dochází k výrazné degradaci kontaminantů v podzemní vodě. Vzniká v ní chemický gradient vyvolaný rozdíly mezi chemismem podzemní a povrchové vody a přítomností biotických společenství. Transport kontaminantů přechodnou zónou je ovlivněn rozmanitostí pevných částic zemin přechodné zóny (zemin zvodně a říční sedimenty), interakcemi mezi jejich biotickými součástmi a mikrobiálním odbouráváním organických látek. Na účinku mikrobiálního odbourávání se podílí jak povrchová voda, tak i pevné částice v přechodné zóně. V přechodné zóně vznikají významné oxidační procesy, které se podílí na přirozené degradaci znečištění podzemní vody při drenáži podzemní vody do povrchového toku a znečištění povrchové vody při napájení podzemní vody. Probíhá v ní např. nitrifikace [15] a reduktivní dehalogenace chlorovaných uhlovodíků [16]. V přechodné zóně proudí i část povrchové vody, která se účinkem výše zmíněných procesů a rovněž zdržení zbavuje některých kontaminantů (např. [9, 10, 15]).



Obr. 2. Schéma hyporheické zóny (převzato od Sophocleouse M. [9])

Velmi účinné samočisticí biologické procesy vznikají v několikacentimetrové vrstvě sedimentů bezprostředně pod korytem toku. Tyto významně ovlivňují chemismus podzemní vody drénované povrchovým tokem, respektive povrchové vody napájející podzemní vodu [9]. Kvalitu vody proudící mezi oběma vodními útvary ovlivňují ve svrchní části hyporheické zóny rovněž rostliny, s nimi spojené mikroorganismy a některé vodní organismy (bentická společenství). Mokřadní rostliny váží dusík, fosfor a těžké kovy. V důsledku menšího objemu drénované vody než objemu vody v povrchovém toku dochází k významnému ředění drénované podzemní vody. V důsledku zmíněných samočisticích procesů v přechodné zóně může být koncentrace kontaminantů v podzemní vodě drénované povrchovým tokem podstatně nižší, než vychází z výpočtů koncentrací v kontaminančním mraku v bezprostřední blízkosti břehové linie povrchového toku. V říčních sedimentech mohou být přítomny i kontaminanty v koncentracích, které překračují normy environmentální kvality.

Průzkum a vyhodnocování interakce podzemní a povrchové vody

Základním předpokladem pro vyšetřování hydraulické spojitosti je zjištění, zda poloha koryta posuzovaného vodního toku vzhledem ke zvodni a počevnímu izolátoru vytváří podmínky pro hydraulickou spojitost mezi podzemní a povrchovou vodou. Přehled základních typů polohy koryta vzhledem ke zvodni a počevnímu izolátoru je uveden na **obrázku 1**. Polohu koryta je nutno doložit hydrogeologickým řezem. Dalším předpokladem je stupeň kolmatace koryta. Podkladem pro prokázání stupně kolmatace jsou současná měření hladin podzemní vody v monitorovacích vrtech a hladin v posuzovaném vodním toku, nejlépe denní měření, případně použitím registračních hladinoměřů. Pokud není možnost zajistit systematická měření, je možno ve výjimečných případech zvolit současná nahodilá měření hladin (alespoň 10 měření). Pro zpracování výsledků jsou vhodné korelace [8, 12]. Z výsledku měření je nutno vymezit úseky se stejným režimem pohybu hladiny, tj. vzestupný nebo sestupný pohyb hladiny. Dále je třeba brát v úvahu rovněž proměnlivost stupně kolmatace. Hydrometrováním povrchového toku je možno rovněž prokázat hydraulickou spojitost za předpokladu, že průtok v povrchovém toku výrazněji nepřevyšuje velikost přítoku nebo ztráty podzemní vody. Kromě toho je třeba počítat s dosažitelnou přesností jednoho měření 5–15 %.

Do průzkumu interakce náleží i terénní šetření. Při něm se zjišťují kvalitativní indikátory míst drenáže podzemní vody, jako například: zamokření svahů koryt povrchových toků nebo výskyt pramenů, výskyt vodní páry v místech infiltrace v chladném počasí, zmenšení tloušťky ledové pokrývky v klidných tocích až po absenci ledové pokrývky, výskyt sytější zelených rostlin na dně, sraženin oxidu železa a manganu, barva a pach drénovaných kontaminovaných podzemních vod a přítomnost některých mokřadních rostlin jako blatouchů a aksamitníků.

Chemismus podzemní vody, která je v hydraulické spojitosti s povrchovým tokem, je rozdílný. Těto skutečnosti musí být podřízena i technologie odběrů vzorků vody. Pro odběr vzorků podzemní vody se budují monitorovací vrty situované jak na břehu vodního toku, tak i ve vodním toku. Monitorovací vrty jsou vystrojeny pro zonální odběry vzorků vody nebo se budují hnízda monitorovacích vrtů vyhloubených do požadované hloubky a vystrojených perforovanou zárubnicí v požadované hloubce odběru [16]. V monitorovacích vrtech situovaných ve vodním toku se odebírají při hloubení vzorky sedimentů ze dna koryta a zemin z různých hloubek pode dnem koryta, z nichž se provádí chemické rozborů. Zonálně vystrojené monitorovací vrty se využívají vedle odběrů vzorků vody i pro měření výšky hladiny, z nichž je možno stanovit i gradienty hladiny podzemní vody k povrchovému toku. V některých případech se rází sondy (minipiezometry, u nás dříve používané sondy „nortonky“) v korytě toku [16, 17].

Vyhodnocení interakce podzemní a povrchové vody a legislativní požadavky

Zjištěné údaje o hydraulické spojitosti podzemní a povrchové vody jsou podkladem pro hodnocení dopadů zásahů do zvodně, jakými jsou například odběry podzemní vody, snižování hladiny ve výkopech stavebních jam, sanační čerpání při odstraňování ekologických zátěží. Dobrý kvantitativní stav podzemních vod definuje příloha 4 vyhl. 5/2011 Sb. [23]. Tento stav zahrnuje vyvážené odběry podzemní vody, dosažení cílů ochrany souvisejících útvarů povrchových vod a ekosystémů. Pro velikosti odběrů podzemní vody při zachování dobrého kvantitativního stavu podzemních vod je možno doporučit

metodikou, používanou v Anglii a Walesu. Je založena na posouzení průměrného dlouhodobého ročního množství celkové doplňovací zásob podzemní vody sníženého o dlouhodobé průměrné roční množství odtoku podzemní vody do povrchového toku, nutného pro zachování minimálního zůstatkového průtoku v povrchových tocích, které jsou v hydraulické spojitosti s příslušnou zvodní, a pro zachování suchozemských ekosystémů [18]. § 36 zákona o vodách 22 definuje minimální zůstatkový průtok povrchových vod, který ještě umožňuje nakládání s povrchovými vodami a ekologické funkce vodního toku. Dosud je v platnosti Metodický pokyn MŽP pro stanovení minimálního zůstatkového průtoku [19]. V současné době je schvalováno nařízení vlády s novou metodikou. Návrh předložil VÚV TGM, v.v.i. [20]. U nás je známo několik negativních příkladů z minulosti o dopadech nadměrného využívání podzemní vody, které jsou v hydraulické spojitosti s povrchovými toky, na průtoky v povrchových tocích. Jde například o pokles průtoků ve Pšovce, Svratce nebo v Šatavě. Šatava je pravobřežním přítokem Svratky nad soutokem Svratky s Jihlavou. V místě deprese vyvolané odběry podzemní vody je koryto vyschlé. V korytě Šatavy se voda vyskytuje nad a pod depresí.

Kvalitativní ovlivnění vodních toků účinky zásahů do podzemních vod se provádí podle legislativních norem environmentální kvality vody v povrchovém toku, podle požadavků na užívání vody pro vodárenské účely, koupání osob a vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb (lososové a kaprové vody). Normy environmentální kvality jsou uvedeny v nař. vlády 23/2011 Sb. [24] a vedou k plnění environmentálních cílů, mezi něž patří dosažení dobrého stavu vod. Do norem environmentální kvality chemického stavu povrchových vod patří i pevná matrice (říční sedimenty a biota). Tyto normy jsou uvedeny v tabulce 2 přílohy 3 zmíněného nařízení [24]. V souvislosti s negativním ovlivněním povrchových vod kontaminovanými podzemními vodami je vhodné připomenout, že v současné době výtípkává VÚV TGM, v.v.i. profily s výrazným podílem podzemních vod na celkovém odtoku, kde interakce povrchových vod s kontaminovanými podzemními vodami může ovlivnit stav povrchových vod, a stanovuje prahové hodnoty kvality podzemní vody [4]. Cílem je dosažení dobrého stavu povrchových vod. Povrchové vody, které jsou využívány nebo se předpokládá jejich využití jako zdroje pro pitné vody, musí vyhovět hodnotám přípustného znečištění ukazatelů uvedeným ve vyhl. 428/2001 Sb. [25] a rovněž v nař. vl. 23/2011 Sb. [24]. Seznam profilů povrchových vod využívaných pro koupání, zpracovaný a odsouhlasený Ministerstvem zdravotnictví, MZP a Ministerstvem zemědělství, je aktualizován pro každý rok k 31. březnu a je uváděn na webových stránkách Ministerstva zemědělství ([www.mze.cz/voda/povrchove vody vymezené pro koupání](http://www.mze.cz/voda/povrchove_vody_vymezen_e_pro_koupani)). Hygienické požadavky pro povrchové vody využívané pro koupání jsou uvedeny ve vyhl. 238/2011 Sb. [26] a rovněž v nař. vl. 23/2011 Sb. [24]. Seznam povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb s rozdělením na vody lososové a kaprové s ukazateli jakosti je předmětem nař. vlády 71/2003 Sb. [27] a rovněž nař. vl. 23/2011 Sb. [24]. Nař. vlády 169/2006 Sb. [28] mění nař. vlády 71/2003 Sb. [27]. Změna obsahuje program na snížení znečištění povrchových vod s ohledem na lososové a kaprové vody.

Nejčastější nedostatky při vyšetřování hydraulické spojitosti podzemní a povrchové vody

Ve většině případů se hydraulická spojitost pouze předpokládá nebo zamítá bez jakéhokoliv šetření. Nehodnotí se základní podmínky pro hydraulickou spojitost: poloha koryta vzhledem ke zvodněnému kolektoru a počevnímu izolátoru, stupeň kolmatace, ani se neposuzuje samočisticí účinek přechodné zóny. Další chyby vznikají při konstrukci hydroizohyps. Pro konstrukci hydroizohyps ve zvodních v hydraulické spojitosti s povrchovými toky se zahrnují mezi vstupní data pouze kóty hladin podzemní vody z monitorovacích vrtů. Kóty hladin v povrchových tocích se ignorují. Takto konstruované hydroizohypsy nemívají reálný průběh. Při konstrukci hydroizohyps u jezu rovněž nebývají měřeny kóty hladin nad a pod jezem. Odběr vzorků povrchové vody se omezuje pouze na jeden nebo (méně často) více vzorků odebraných nad a pod posuzovaným místem, přičemž většinou není brán zřetel na reprezentativnost vodního stavu v řece a s tím související drenáží nebo napájením zvodněného kolektoru. Méně často jsou odebírány vzorky sedimentů ze svrchní vrstvy pro výluhy. Tato, jak jsme si ukázali výše, bývá při vyšších hladinách odplavena, a proto takto odebraný vzorek nemusí být reprezentativní. Meze stanovitelnosti laboratorního stanovení kontaminantů ve vodách jsou často vyšší,

než jsou normy environmentální kvality [24]. Odhad změny koncentrace kontaminantů v povrchovém toku bývá rovněž zatížen celou řadou nepřesností. Zjednodušené výpočty velikosti odtoku podzemní vody do povrchového toku, vycházející z rovnice Darcyho, většinou chybně předpokládají, že koryto vodního toku je zaříznuto přes celou mocnost zvodně. Z obr. 1 je zřejmé, že koryto bývá většinou zaříznuto pouze do části mocnosti zvodně. V takových případech je velikost odtoku podzemní vody do toku vysoce přehodnocena.

Problematické kvalitatívni interakce podzemní a povrchové vody se věnuje malá pozornost nejen u nás, ale i v jiných evropských státech. V posledních letech je tato otázka předmětem zájmů různých výzkumů, zejména kvalitatívni interakce a metod průzkumů [7, 9, 10, 15].

Obsah kapitoly hodnocení interakce podzemní a povrchové vody ve zprávách o posuzování vlivů zásahů do režimu podzemních vod

Text kapitoly o vztahu podzemní a povrchové vody a přílohy by měly obsahovat:

- Typ zaříznutí koryta do zvodněného kolektoru včetně geometrických údajů o zaříznutí koryta (doložit hydrogeologickým řezem);
- Hodnocení výsledků terénních šetření vizuálních indikátorů;
- Směry podzemní vody z hydroizohyps konstruovaných z kót hladin podzemní a povrchové vody;
- Hodnocení stupně hydraulické spojitosti (korelační analýza výsledků souběžných měření hladin podzemní vody a povrchového toku, hydrometrování, posouzení kolmatace atd.);
- Hodnocení výsledků chemických rozborů sedimentů v korytě toku a zemin v jeho podloží a v přechodné zóně a podzemní a povrchové vody;
- Výpočet velikosti odtoku podzemní vody do povrchového toku a kvalifikovaný odhad jeho variability a změny kvality vody v povrchovém toku;
- Kvalifikovaný odhad samočisticí schopnosti přechodné zóny;
- Prognózy změn kvality v povrchovém toku v důsledku vcezu kontaminované podzemní vody (hodnocení ekologických rizik).

Závěr

Podzemní a povrchové vody nejsou oddělené komponenty oběhu vody. Ve zvodněných, které jsou v hydraulické spojitosti s povrchovými vodami, je nutno hodnotit podmínky vzniku hydraulické spojitosti: poloha koryta povrchového toku vzhledem ke zvodni a počevnímu izolátoru, stupeň kolmatace a jeho proměnlivost a samočisticí schopnost hyporheické zóny. Byly doporučeny metody průzkumu a vyhodnocování interakce podzemní a povrchové vody a současně bylo upozorněno na nejčastější nedostatky při vyšetřování hydraulické spojitosti podzemní a povrchové vody. Při využívání podzemní a povrchové vody je třeba usilovat o dosažení dobrého stavu, který zahrnuje kvalitatívni i kvantitatívni požadavky na jejich využívání a potřeby biologických společenstev na vodu vázaných. Vzhledem k vzájemnému ovlivňování podzemní a povrchové vody je nezbytný integrovaný přístup při řešení jejich využívání.

Literatura/References

- [1] Kněžek, M.: Jednota hydrologie. In: Krátké úvahy o vodě. Vydal ČHMÚ, Praha, 2013, str.32-39.
- [2] Prchalová, H.: Stanovení limitních hodnot pro podzemní vody, které mohou významně ovlivnit stav povrchových vod. In: Sborník ze semináře „Podzemní voda ve vodoprávním řízení VIII“, Praha 11/2011. Vyd. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, s. 15–22, ISBN 978-80-02-02349-4.
- [3] UNESCO: Managing water under uncertainty and risk. United Nations World Water Development Report 4, 2012.
- [4] Dahl, M.; Hinsby, K.: Typology of groundwater-surface water interaction – with new developments and case study supporting implementation the EU Water Framework and Groundwater Directives. In: Groundwater and ecosystems edited by Ribeiro L., Series IAH Selection Papers in Hydrology, V. 18, CRS Press/Balkema 2013, p. 95–112.
- [5] Duba, D.: Hydrologia podzemních vod. Vyd.VSAV Bratislava 1968, 358 s.
- [6] DVWK: Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots. Deutscher Verband für Wasssewirtschaft und Kulturbau e.v., H. 58,1. Teil, Hamburg, Verlag Berlin, Parey, 1982, 327 S.
- [7] Ribeiro, L. et al.: Groundwater and ecosystems, Series IAH Selection Papers in Hydrology, V. 18, CRS Press/Balkema 2013, 358 p.
- [8] Rétháti, L.: Groundwater in civil engineering. Akadémiai Kiadó, Budapest 1983, 413 p.
- [9] Sophocleous, M.: Interactions between ground and surface water: the state of the science. Hydrogeol J, Official Journal of the International Association of Hydro-

geologists, Production Springer Heidelberg 2002, Vol. 10, Number 1, p. 52–67, ISSN 1431-2174.

- [10] Winter, T. C.: Relation of streams, lakes and wetlands to groundwater flow systems. Hydrogeol J, Official Journal of the International Association of Hydrogeologists, Production Springer Heidelberg 1999, Vol. 7, Number 1, p. 28–45, ISSN 1431-2174.
- [11] Hálek, V.: Kolmatační kolaps a liniový odběr vody. In: Sborník z konference „Zmnožování zásob podzemní vody“ konané v Gottwaldově, Brno, DT ČVTS, s. 82–108.
- [12] Muzikář, R.; Soukalová, E.: Prognózy režimu podzemních vod pomocí stochastických modelů. Praha 1988, Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu, svazek 36, 112 str.
- [13] Šestakov, V. M. et al.:Praktikum po dynamice podzemních vod. Izd. Moskovskogo universitěta 1975, 270 s.
- [14] Mucha, I.; Šestakov, V. M.: Hydraulika podzemních vod, Vyd. ALFA Bratislava, SNTL Praha, 1987, 344 s.
- [15] Kabelková–Jančárková, I.: Význam hyporheická zóny pro samočistění mělkých řek na příkladu nitrifikace: I. Experimenty a měření. Vodní hospodářství č. 9, 2000, str. 199–201.
- [16] Ford R. (2005): The impact of ground-water/surface-water interactions on contaminant transport with application to an arsenic contaminated site. U.S. EPA. Environmental Research Brief. 600-S-05-02, 22 p.
- [17] Tylčer, J. (2004): Využití minipiezometrů při monitoringu podzemní vody. In: Sborník přednášek ze semináře „Vzorkování a sanace“, Medlov 14.–15. 4. 2004. Vydaly Vodní zdroje Ekonitor spol. s r.o. Chrudim, s. 70–75.
- [18] UTAG: Proposals for a groundwater classification system and its application and regulation. UK Technical Advisory group on the Water Framework Directive. June 2007.
- [19] MŽP (1998): Metodický pokyn odboru ochrany vod č. 9 ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích. Věstník MŽP, částka 5.
- [20] Mrkvičková, M.; Balvín, P.: Návrh postupu stanovení minimálního zůstatkového průtoku. VTEI 2/2013, Vodní hospodářství č. 6, 2013, str. 12–16.

Související právní předpisy:

- [21] Směrnice Evropského parlamentu a Rady z 23. 10. 2000 upravující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. MŽP, odbor ochrany vod, 2001.
- [22] Zákon 254/2001 S. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) v platném znění.
- [23] Vyhl. 5/2011 Sb. o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod.
- [24] Nař. vlády 23/2011 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a citlivých oblastech, ve znění nař. vlády č. 229/2007 Sb.
- [25] Vyhl. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech kanalizacích pro veřejnou potřebu.
- [26] Vyhl. 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písků v pískovištích venkovních hracích ploch.
- [27] Nař. vlády 71/2003 Sb. o stanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod.
- [28] Nař. vlády 169/2006 Sb., kterou se mění nař. vlády 71/2003 Sb. o stanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod.

Ing. Radomír Muzikář, CSc.

Slámova 60

618 00 Brno 18

e-mail: radomir.muzikar@karneval.cz

Interaction of ground water and surface water (Muzikář R.)

Abstract

Ground water and surface water are in interaction and their circulation is variable and commonly conditioned. Low discharges in the surface waters are constituted by the baseflow, what is very important issue in the solution of the ground and surface water interaction. EU Water Framework Directive and Czech water law stipulate surface and groundwater status derived from quantitative, chemical and ecological status. It means that all impacts of human activities on groundwater and surface water, which are interacted, have to be solved commonly. The necessary basic assumption for the ground and surface water interaction assessment are the posi-

tion of streambed in aquifer and grade of clogging. The basic types of the streambed positions in aquifer in our country, information on clogging, its variability and investigation were introduced. The transition zone on the contact groundwater – surface water affects intensive biotic-abiotic chemical processes in water from inflow of groundwater or outflow from the stream to groundwater. It is discussed the function of transition zone and recommendations for the investigation. Furthermore, the assessment of ground and surface water interaction and legislative requirements were introduced. The most frequent imperfections in the assessment of ground and surface interaction were pointed out in conclusion.

Key words

clogging – good groundwater status – good surface water status – hydraulic connection ground and surface water – hyporheic zone – position of the streambed in aquifer

Tento článek byl recenzován a je otevřen k diskusi do 31. října 2014. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků. Příspěvky pošlete na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.

Diverzita mikroorganismů jako indikátor procesů v podzemních vodách

Lukáš Falteisek

Abstrakt

Díky metodám velkokapacitní bezkultivační diagnostiky mikroorganismů dnes nebýváme expandují naše znalosti o složení přirozených společenstev bakterií a archeí v podzemních vodách a horninovém prostředí. Díky tomu se otevírá možnost využít mikrobiální společenstva jako indikátory chemických procesů, které v podzemí probíhají. Základem je fylogenetické zařazení nalezených mikroorganismů podle sekvence 16S rDNA, které umožňuje ve většině případů odvodit jejich alespoň přibližné ekologické role a nároky. Z těchto informací pak můžeme rekonstruovat, jaké děje probíhaly v prostředí, kde dané organismy žily. Ještě progresivnější metoda je založena na srovnání fylogenetické vzdálenosti celých mikrobiálních komunit z mnoha odběrových míst, na jehož základě lze odhalit i malé environmentální gradienty a rekonstruovat hydrogeochemickou situaci na lokalitě.

Klíčová slova

bakterie – podzemní vody – 16S rDNA barcoding – beta diverzita – bioindikace

Úvod

Environmentální mikrobiologie prožívá v současné době prudký rozvoj, který bude s určitým časovým odstupem pravděpodobně označen za revoluci. Za tento průlom vděčíme především masivní aplikaci molekulárně biologických metod. Hromadící se poznatky zcela změnily náš pohled na prokaryotické mikroorganismy a donutily badatele opustit řadu zaběhaných myšlenkových schémat. Prvním poznatkem bylo, že většina mikroorganismů je mimo dosah metod klasické mikrobiologie založené na kultivaci zkoumaných organismů. Na základě molekulárních studií rozlišujeme asi 75 skupin na nejvyšší taxonomické úrovni („kmen“, phylum) v doméně *Bacteria* a 10 v doméně *Archaea*, přičemž jen asi 30 z těchto skupin má nějaké kultivovatelné zástupce. Pokud odebereme vzorek bakterií z přirozeného prostředí, například vody či půdy, tak se nám pravděpodobně podaří kultivovat (po 130 letech vývoje kultivačních technik!) jen 0,2–5 % přítomných mikroorganismů [7].

Ještě důležitější pro praxi je pochopení, že prokaryota interagují s prostředím i navzájem mezi sebou minimálně stejně komplexně jako jiné organismy. Mezi prokaryoty (dále pro zjednodušení „bakterie“, i když totéž platí pro archea) existuje kompletní škála vztahů typu kooperace, konkurence, parazitismus a predace. Za habitat určité bakterie tedy nemůžeme považovat jen roztok či horninu, ale i (doslova) okolní organismy. Důsledkem je, že bakterie v přírodě obývají poměrně úzce a přesně vymezené ekologické niky. Tato vlastnost v kombinaci s tím, že mikroorganismy během své evoluce zapojily prakticky veškeré chemické procesy v podzemních vodách do svého energetického metabolismu [3], umožňuje využít bakterie jako bioindikátory geochemických dějů a vlastností prostředí v podzemí obecně. Výhoda takto chápané bioindikace je v tom, že podává informaci komplementární k chemickým rozborům. Zatímco

chemický rozbor udává složení vody, z biologického lze odvodit, jak toto složení získala.

Tato myšlenka samozřejmě není nová, ale plné využití indikačního potenciálu mikroorganismů je možné teprve od doby, kdy se prosadil přístup analyzovat celé mikrobiální komunity a nikoliv jen hledat předem zvolené druhy či skupiny [2]. To je také nejzásadnější rozdíl mezi bakteriemi a jinými organismy využívanými pro bioindikaci. Určité prostředí může hostit zcela odlišná mikrobiální společenstva v závislosti na drobných změnách podmínek a, co je závažnější, také vlivem historie daného stanoviště a náhody. Přesto lze biologický signál obsažený ve složení bakteriální komunity interpretovat poměrně exaktním způsobem.

Bezokultivační diagnostika bakterií

Ideální diagnostická metoda si musí poradit se vzorky obsahujícími stovky až tisíce mikrobiálních druhů, často v malém počtu buněk, a měla by co nejméně upřednostňovat některé skupiny bakterií oproti jiným. Tyto podmínky optimálně splňuje metoda DNA barcodingu, neboli určování organismů podle sekvence vybraného genu. Pro prokaryota i další jednobuněčné organismy se využívá převážně gen pro funkční RNA malé podjednotky ribosomu neboli 16S rDNA. Jde o gen nezbytný pro život, takže ho najdeme u všech organismů a je tak evolučně konzervovaný, že ho dokážeme detekovat stejnou metodou i u zcela nepříbuzných linií bakterií.

Prvním krokem procedury je sterilní odběr vzorku. V případě pevných fází (půda, kal, sediment, okry, biofilm) stačí desetiny gramu materiálu, vody je vhodné odebrat stovky mililitrů a zakonzentrovat bakterie centrifugací nebo filtrací přes 0,2 μm filtr. Zásadnější je volba počtu a rozložení odběrových míst. Je nutné získat navzájem srovnatelné vzorky reprezentující zkoumaný environmentální proces v čase či prostoru. Po odběru následuje izolace genomové DNA, která obsahuje kompletní genomy všech přítomných organismů (někdy i genom toho, kdo odebíral vzorky) a amplifikace (namnožení) bakteriálního genu 16S rDNA pomocí polymerázové řetězové reakce (PCR). Produktem PCR je směs fragmentů 16S rDNA ze všech přítomných bakterií. Dalším krokem tedy musí být jejich oddělení, aby je bylo možné sekvenovat. Zde se nabízejí dvě hlavní strategie.

První je klasické klonování PCR produktu v plazmidu. Tak lze získat desítky až stovky kvalitních sekvencí při nákladech zhruba 150 Kč za jednu sekvenci. Získané sekvence potom lze přiřadit ke známým organismům nebo k environmentálním vzorkům uloženým v mezinárodní databázi NCBI (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucleotide/>), schraňující všechny dosud publikované sekvence. Tato databáze obsahuje i mnoho sekvencí patřících nepopsaným druhům, často tentýž organismus z více různých lokalit a prostředí. Díky tomu můžeme u mnoha nepopsaných bakterií alespoň zhruba odvodit ekologické nároky. Desítky analyzovaných sekvencí stačí na přibližnou klasifikaci mikrobiální komunity a určení hlavních procesů, kterých se tyto organismy účastní (např. redukce dusičnanů, oxidace železa, degradace biomasy). Při počtu sekvencí nižším než 100 na jeden vzorek však výsledky nebudou příliš dobře statisticky podloženy (např. permutační Monte Carlo analýzou) a pravděpodobně nepoznáme málo strmé environmentální gradienty.

Novější a účinnější alternativou je masivní paralelní sekvenování (např. Illumina, 454 pyrosekvence), které dokáže zpracovat směsný PCR produkt bez klonování. Výsledkem je několik desítek až stovek tisíc sekvencí v ceně méně než korunu za kus. Omezení je, že počet čtení nelze snížit, vždy je třeba využít celý sekvenční běh, při němž ale můžeme zpracovat několik desítek vzorků zároveň. Tímto způsobem lze získat dostatek sekvencí z každého vzorku pro statisticky podloženou klasifikaci mikrobiálních komunit a detekci jemných environmentálních gradientů (Kuzczinski et al. 2010).

Fylogenetická beta diverzita – jak mikroorganismy čtou prostředí

Při zpracování velkých souborů environmentálních sekvencí se plně projeví specifika bioindikace pomocí bakterií. Identita organismů (tedy to, co je pro většinu vlohů středobodem jejich zájmu) ztrácí na důležitosti, při analýze vycházíme z faktu, že bakterie mají obecně unimodální odpověď na různé faktory prostředí (tj. mají jedno optimum růstu) a že adaptace na prostředí a ekologická role (konzument, producent, symbiont...) je evolučně konzervovaná. Z toho plyne, že pokud budeme plynule měnit hodnotu určitého environmentálního faktoru, budou se postupně obměňovat přítomné bakterie, a že bakterie mající optima blíže u sebe si budou v průměru příbuznější. Pokud bychom tedy odebrali sadu vzorků z různých prostředí, osekvenovali 16S rDNA a sestavili fylogenetický strom, který říká, jak jsou si tyto sekvence navzájem příbuzné, bude platit, že bakterie z podobnějších prostředí si na tomto stromě budou v průměru blíže než bakterie z méně podobných. Tuto rozdílnost celých mikrobiálních komunit označujeme jako fylogenetickou beta diverzitu. Bude tedy platit, že průměrná vzdálenost bakterií ze dvou vzorků A a B ve fylogenetickém stromě, resp. délka větví vedoucích ke skupinám přítomným v prostředí A, ale chybějícím v B (a naopak) bude úměrná odlišnosti prostředí, z nichž jsme vzorky A a B odebrali [2]. Díky tomu můžeme vypočítat míru evoluční odlišnosti bakterií z každé dvojice vzorků, která bude odpovídat odlišnosti prostředí. Pokud na tyto vzdálenosti použijeme mnohorozměrnou analýzu (PCoA), vzorky se nám seřadí do shluků a řad podle podobnosti prostředí, sdílených geochemických procesů a environmentálních gradientů.

Při fylogenetickém přístupu k beta diverzitě odpadá problém, které sekvence ještě hodnotit jako jediný druh bakterie a které už ne. Stačí sloučit dostatečně podobné sekvence (obvykle shodné z více než 97 %) do tzv. operačních taxonomických jednotek (OTU). Ty mohou, ale nemusí odpovídat biologickým druhům. Fylogenetický přístup lze použít i v případě, že zkoumané komunity nemají společnou žádnou OTU, což není vzácné ani u blízkých lokalit s podobnými podmínkami. Důvodem může být kompetitivní vyloučení organismů s podobnými nároky, ale významnou roli hrají i neutrální procesy. Tímto termínem označujeme diverzifikaci mikrobiálních komunit způsobenou v podstatě náhodnými ději, například výkyvem početnosti některé bakterie, který způsobí změnu četnosti dalších a po mnohonásobném zpětno-vazebném zesílení může změnit složení celé komunity. Metody studia beta diverzity založené na počtu společných druhů jsou na takovýto šum dost citlivé, fylogenetické metody prakticky vůbec.

Jak nám analýza mikrobiální beta diverzity pomůže zjistit, co se děje v kolektoru s podzemní vodou? Možností je více. Nejjednodušší je srovnání jediného vzorku s jinými mikrobiálními komunitami, o nichž víme, z jakých podmínek pocházely a jaký děj pomáhalo katalyzovat (např. [1]). Abychom netápali, je vhodné mít určitou předběžnou informaci, jaké děje patrně máme očekávat. Podle nich pak vytvoříme sadu referenčních komunit a zjišťujeme, jak s nimi zkoumané společenstvo klastruje. Pro úspěch analýzy samozřejmě není nutná úplná shoda, referenční komunity spíše vymezí ekologický prostor, v němž se zkoumaná komunita usadí na své preferované místo.

Více informací poskytuje srovnání několika mikrobiálních komunit z jedné lokality. Při větší hloubce prosekvenování jde díky principu postupné náhrady organismů detekovat i biologický signál z malých gradientů, které odpovídají například narůstající anoxii vody při jejím transportu, šíření živiny z místa jejího zdroje nebo mísení vod o různém složení. Mikrobiologická analýza nám vlastně umožní jistým způsobem vidět za roh. Mikroorganismy ve vodě například v hydrogeologickém vrtu nesou informaci o tom, co se děje v jeho blízkém okolí. Pokud navíc srovnáme organismy například ze skupiny vrtů rozmístěných v rámci určitého kolektoru, můžeme si dovolit i obecnější interpretaci hydrogeologických procesů.

Interpretace získaných dat

Následující příklady ukazují, jak můžeme pomocí mikrobiologických pozorování doplnit informace o procesech v podzemí a dospět k testovatelnému vysvětlení různých jevů. Záměrně volíme případy jednodušších analýz s malým počtem vzorků i sekvencí a s poměrně přímočarým výkladem.

Kolmatace jímacího vrtu v Drhlelech

Mikrobiologický rozbor z jímacího vrtu v turonských pískovcích české křídové pánve nedaleko obce Drhлены byl prováděn s cílem zjistit příčiny jeho klesající vydatnosti. Kamerová prohlídka odhalila přítomnost bílé gelovité hmoty na stěnách vrtu a čerpadle, která

ve větších hloubkách téměř vyplňovala vrtný stvol. Ze vzorku této hmoty jsme osekvenovali 39 klonů 16S rDNA a rozpoznali 18 OTU bakterií. Při takovémto počtu sekvencí je nutná individuální charakterizace každé OTU. Asi 70 procent sekvencí patřilo zástupcům skupiny *Methylococcaceae* (*Gammaproteobacteria*), kteří se živí methanem a dalšími jednovláčnými sloučeninami. Typicky žijí v oblasti kontaktu vod obsahujících kyslík a anoxického prostředí, ve kterém probíhá methanogeneze. Další nalezené organismy patřily do skupin autotrofně oxidujících Fe^{2+} a sloučeniny dusíku a také mezi běžné podzemní heterotrofy. Celková diverzita tohoto nárůstu byla odhadnuta do rozpětí 24 až 100 OTU, což není nijak mnoho.

Kombinace nalezených ekotypů dovoluje poměrně jednoznačnou interpretaci. Ve vrtu dochází k setkávání víceméně anoxických vod bohatých na dvojmocné železo a možná i jiné redukované sloučeniny a vod bohatých na kyslík. V místech, kde se tyto vody mísí, mohou velmi dobře růst aerobní bakterie oxidující železo i další látky. Tyto bakterie jsou často schopné fixovat uhlík a slouží tu jako primární producenti. Jejich biomasa se postupně kumuluje a odumírá. Pokud se to děje ve vrtném stvolu, padá odumělá hmota do kalníku vrtu, v okolní hornině zůstává na místě a může přispívat k její kolmataci. V kalníku pak tato hmota anaerobně vyhnívá za vzniku methanu, který slouží jako potrava bakteriálnímu společenstvu v horních, nejlépe aerovaných a zřejmě dosti oligotrofních partiích vrtu.

Alternativně by mohl být methan přinášěn přitékající podzemní vodou. To by se ale nejspíš projevilo větším podílem i diverzitou různých anaerobních heterotrofů ve vodě. Ve skutečnosti bylo nalezeno heterotrofů malé množství a navíc jsou spíše oligotrofní. V každém případě lze mohutnou tvorbu organické hmoty a biogenní kolmataci vrtu vysvětlit tím, že vrt vytvořil kontakt anoxického methanogenního a oxidovaného prostředí. Při pozdější likvidaci vrtu se podařilo získat vzorek pískovce ze zaplášťového prostoru, v němž bylo potvrzeno vyplnění pórů mikrobiálními nárůsty a oxidy železa, což podporuje původní hypotézu (obr. 1).

Pokusná lokalita Mokrsko

Ve vrtech patřících k experimentálnímu zahřívání horniny v Podzemním výzkumném centru Josef v Mokrsku se začaly v roce 2013 objevovat gelovité nárůsty zjevně bakteriálního původu. Proto byl proveden mikrobiologický rozbor s cílem zjistit, zda je růst bakterií důsledkem zvýšené teploty a zda mohou některé bakterie interferovat s prováděnými pokusy. Rutinní chemické rozborů vody neodhalily sloučeniny, které by mohly podporovat růst bakterií. Byly analyzovány dva vzorky, jeden z aerobního prostředí výtoku z horizontálního vrtu, druhý z anoxické oblasti pod hladinou vody ve vertikálním vrtu.

V 60 sekvencích jsme rozlišili 21 OTU, žádná nebyla v obou vzorcích. Obě komunity obsahovaly zástupce autotrofů oxidujících



Obr. 1. Kolmatovaný pískovec ze zaplášťového prostoru vrtu, Drhлены. Biomasa a mezibuněčná hmota bakterií je obarvena toluidinovou modří (fialově)

cích sloučeniny síry a víceméně běžné heterotrofy, anoxický vzorek navíc ukázal extrémně anaerobní hypereutrofní heterotrofy příbuzné bakteriím z ropných břidlic a dalších poměrně extrémních prostředí. Příčinou růstu bakterií tedy v obou případech zřejmě byl kontakt anoxické podzemní vody obsahující sirovodík s ovzduším ve štole. V dalším kroku jsme srovnali fylogenetickou strukturu těchto dvou komunit s mikrobiálními nárůsty ze sulfidických výtoků neovlivněných čerstvým antropogenním zásahem. Byl vybrán mírně sulfidický vývěr ze šachty Jindřiška u Krásné Hory nad Vltavou a vysoce anoxický sulfidický výtok z dolu v Ustaleči. Tyto vzorky reprezentovaly dva hlavní známé typy autotrofních sulfidických společenstev [6]. Analýza programem Fast UniFrac ([4], obr. 2) ukázala signifikantní shodu aerobní komunity s vývěrem Jindřiška (jen 1 společná OTU!) a žádnou podobnost anaerobní komunity s ostatními (přítom též 1 společná OTU s Ustalečí). Závěr tedy je, že nárůst v horizontálním vrtu je tvořen neškodnými bakteriemi, které na podobných stanovištích běžně rostou, jednu OTU opatrně hodnotíme jako termofilní. Vzorek z vertikálního vrtu reprezentuje složitější situaci, kdy ve vrtu současně žijí autotrofní mikroaerobní oxidátoři síry a anaerobní rozkladači organické hmoty. Může tu jít o stratifikaci, kdy se při hladině tvoří biomasa, která se pak u dna rozkládá. V obou případech je hlavní příčinou růstu bakterií pouhý kontakt vody a vzduchu ve vrtu, pokusné ohřívání asi lehce ovlivnilo přesné složení komunity, ale nezavinilo její vznik.

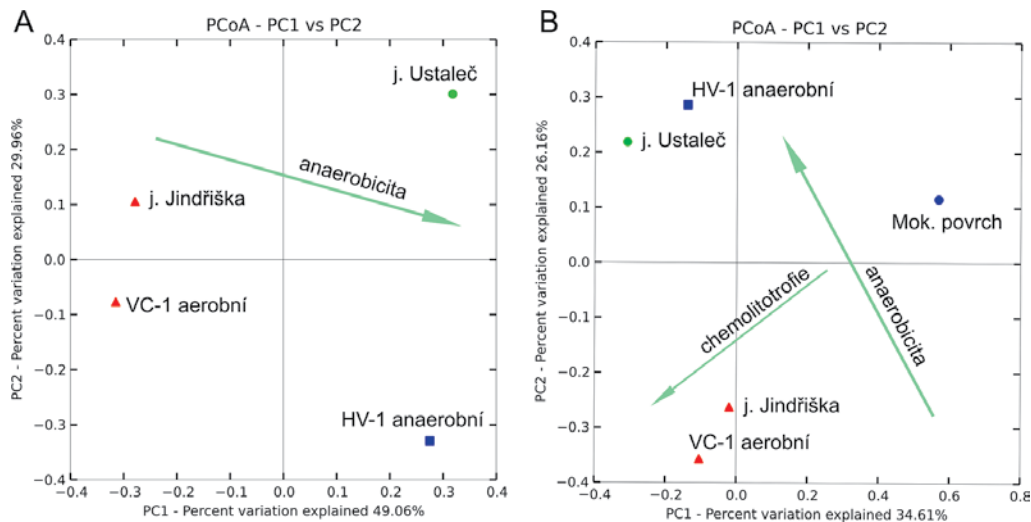
Závěr

Bezokultivační analýza složení a beta diverzity bakteriálních společenstev v podzemních vodách je účinný nástroj umožňující identifikovat geochemické děje, které ve vodě probíhají, a lépe popsat podmínky, jež tam panují. V porovnání s metodami založenými na detekci či kultivaci konkrétních druhů mikroorganismů mnohem lépe vystihuje přirozené chování bakteriálních společenstev. Výsledky ale vždy musíme posuzovat s vědomím, že celý postup od odběru vzorku až po statistickou analýzu vybírá jen nepatrnou výseč reality a konečná interpretace je vždy jen příběh nejlépe odpovídající získaným datům. Proto také mikrobiologie zatím nemůže vyhovět časté prosbě některých geologů, abychom určili bakterie z jejich vzorku a rozhodli, zda tam žije nějaká, která- by mohla rozpouštět určitý konkrétní minerál apod. Další omezení je nemožnost přesné kvantifikace bakterií a jejich aktivity tímto způsobem. Zejména v případě rutinního sledování různých mikrobiálních procesů, např. vyhnívání kalů, je proto vhodné kombinovat popsanou bezokultivační diagnostiku s kvantitativními metodami jako je qPCR nebo tRFLP (viz např. Vodní hospodářství 1/2013, str. 1–4).

Poděkování: Výsledky z Mokrska vznikly v rámci projektu realizovaného za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu.

Literatura/References

- [1] Drahotka, P.; Falteisek, L.; Redlich, A.; Rohovec, J.; Matoušek, T.; Čepička, I. 2013. Microbial effects on the release and attenuation of arsenic in the shallow subsurface of a natural geochemical anomaly. *Environmental Pollution* 180, 84–91.
- [2] Faith, D. P.; Lozupone, C. A.; Nipperess, D.; Knight, R. (2010). The cladistic basis for the phylogenetic diversity (PD) measure links evolutionary features to environmental gradients and supports broad applications of microbial ecology's "phylogenetic beta diversity" framework. *ISME J.* 10, 4723–41.
- [3] Griebler, C.; Leuders, T. (2009). Microbial biodiversity in groundwater ecosystems. *Freshwater Biology*, 54: 649–677.
- [4] Hamady, M.; Lozupone, C.; Knight, R. (2010). Fast UniFrac: facilitating high-throughput phylogenetic analyses of microbial communities including analysis of pyrosequencing and PhyloChip data. *ISME Journal*, 4, 17–27.



Obr. 2. Mnohorozměrná analýza ukazující vzájemnou blízkost mikrobiálních komunit. Aerobní vzorek (VC-1) klastruje s vývěrem Jindřiška, anaerobní (HV-1) s ničím (A). Po přidání mikrobiální komunity z povrchového regulitu nad št. Josef jako outgroup vizuálně klastrují vzorky HV-1 a Ustaleč (B), statistickou podporu má ale jen klastr VC-1 – Jindřiška. Míra anaerobicity a chemolitotrofie tu byla odhadnuta z druhového složení komunit, naznačené gradienty jsou tedy v tomto případě jen ilustrativní

- [5] Kuczynski, J.; Liu, Z.; Lozupone, C.; McDonald, D.; Fierer, N.; Knight, R. (2010). Microbial community resemblance methods differ in their ability to detect biologically relevant patterns. *Nature methods*, 7: 813–819.
- [6] Macalady, J. L.; Dattagupta, S.; Schaperdorth, I.; Jones, D. S.; Druschel, G. K.; Eastman, D. (2008). Niche differentiation among sulfur-oxidizing bacterial populations in cave waters. *ISME J.* 2, 590–601.
- [7] Rappe, M. S.; Giovannoni, S. J. (2003). The uncultured microbial majority. *Annual Review of Microbiology*, 57: 369–394.

Mgr. Lukáš Falteisek
Přírodovědecká fakulta UK v Praze
Katedra zoologie
Viničná 7
128 00 Praha 2
+420 777 643 780
nealkoholik@email.cz

Diversity of microorganisms as indicator of processes in underground waters (Falteisek, L.)

Abstract

With the methods of large-scale cultivation-free diagnostics of microorganisms, our knowledge of the composition of natural communities of bacteria and archaea in groundwater and rock environments unusually expand today. This approach enables us to use microbial communities as indicators of chemical processes that take place in the underground. The phylogenetic classification of identified microorganisms based on 16S rDNA allows at least an approximate determination of their ecological role and demands. From these information we can derive character of key processes in environment where the organisms lived. Even more progressive method is based on the comparison of phylogenetic distances of entire microbial communities from multiple sites within the locality. Using this method we can detect even small environmental gradients and reconstruct hydrogeochemical situation at the site.

Key words

bacteria – groundwater – 16S rDNA barcoding – beta diversity – bio-indications

Tento článek byl recenzován a je otevřen k diskusi do 31. října 2014. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků. Příspěvky posílejte na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.