

HODNOTENIE KVALITY PODZEMNEJ VODY PRI BREHOVEJ INFILTRÁCII

Katarína Földešová

Výskumný ústav vodného hospodárstva, Bratislava, Slovenská republika

ÚVOD

Z kvartérnych sedimentov sú náplavy riek nielen najlepšie zvodneným komplexom, ale aj najväčším rezervoárom podzemných vôd na Slovensku. Podľa prieskumných odhadov je tu akumulovaná zásoba viac ako 20 365 l/s podzemnej vody. Tieto vody majú významný národohospodársky význam, pretože slúžia ako zdroj pitnej vody pre 85 % obyvateľstva našich miest a obcí a sú hlavným zdrojom pre zásobovanie priemyslu a poľnohospodárstva. Podzemné vody v alúviách riek sú významným zdrojom z hľadiska výdatnosti. Čerpané studne v alúviách majú stálu výdatnosť a sú nepostrádateľným zdrojom pitnej vody. Pretože oblasti, kde sú situované tieto zdroje sú prevažne nížinné, sú husto osídlené, využívané najmä poľnohospodárstvom, nachádza sa tu priemysel, siete ciest a železníc. Tieto antropogénne vplyvy pôsobia negatívne na kvalitu podzemných vôd aluviálnych náplavov. Podzemné vody v alúvií riek, hlavne v ich nížinnej oblasti majú typický výskyt železa, mangánu, amónnych iónov, niekedy zvýšený obsah organických látok, zvýšený obsah oxidy uhličitého, bývajú viac mineralizované a môžu mať vysoký obsah síranov a chloridov. Väčšina týchto látok sa dá vhodnou úpravou odstrániť. Typické z tohto hľadiska sú vody Ponitria, Považia, dolnej časti Žitného ostrova, v povodí Hrona a Slanej. Takmer všetky zdroje Východoslovenskej nížiny majú takýto charakter. (*Generel ochrany a racionálneho využívania vôd, MŽP SR, MP SR, Bratislava, 1995.*)

PROCES TVORBY CHEMICKÉHO ZLOŽENIA PODZEMNEJ VODY

Fyzikálne, chemické a mikrobiologické zloženie podzemnej vody pri brehovej infiltrácii závisí od kvality vody v povrchovom toku, vlastností horninového prostredia, rýchlosti prúdenia podzemnej vody, času zdržania v zvodnenej vrstve a kvality podzemnej vody pochádzajúcej z okolitého územia. Využívanie podzemnej vody pochádzajúcej z aluviálnych náplavov si vyžaduje čo najlepšie poznať prírodné pomery v okolí vodného zdroja. Hydrogeologický prieskum by mal preukázať litologický charakter hornín, priestorové rozloženie zvodnenej vrstvy, jej hydraulické vlastnosti, podmienky dopĺňania a odvodňovania zvodnenej vrstvy, vlastnosti blízkej rieky, najmä veľkosť prietokov v čase, hydraulické vlastnosti dna, zakolmatovanie a pod. (*Némethy, P. a kol., 1990*)

Mikrobiologické aspekty ochrany podzemných vôd sú dôležité pre zabezpečenie kvalitnej pitnej vody, ktorá vyhovuje limitom normy pre pitnú vodu. Mikroorganizmy sú súčasťou hydrogeologického prostredia. Podľa normy STN 75 7111 nesmie pitná voda pre hromadné zásobovanie obsahovať nijaké patogénne ani podmienené patogénne mikroorganizmy. Teplota vody, predovšetkým nízka teplota vody a nedostatok nutričných látok pre baktérie podporujú ich likvidáciu. Najlepšiu čistiacu schopnosť majú horniny s pórovitou priepustnosťou. Šírenie mikrobiologického znečistenia prebieha len konvektívnym prenosom vodou, teda len v smere prúdenia podzemnej vody. Mikrobiologické znečistenie sa v prevzdušnenej zóne nad hladinou podzemných vôd dostane približne do vzdialenosti 3 m od zdroja znečistenia, v zóne nasýtenej vodou asi do 15 až 30 m a v puklinovom prostredí podľa otvorenosti puklín

veľmi ďaleko, i niekoľko km. Pri určovaní ochranných pásiem podľa prežitia patogénnych mikroorganizmov v zvodnenom prostredí bez filtračných vlastností je treba vypočítať čas zdržania vody v prostredí od miesta znečistenia až k záchytnému objektu (*Melioris a kol., 1988*). Odporúčaný čas zdržania je 50 dní.

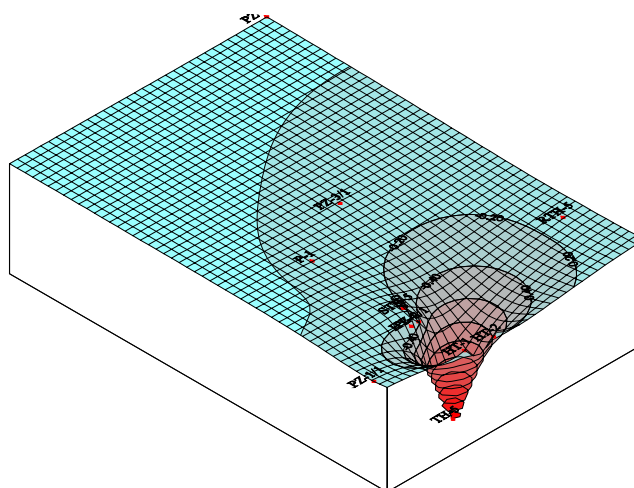
Železo a mangán sa nachádza v horninovom prostredí prakticky všade, čiastočne v oxidovanej pevnej forme a čiastočne v rozpustenej forme. Forma stavu, v ktorom sa mangán a železo nachádzajú v zvodnenej vrstve závisí od oxidačnej rovnováhy prostredia. Toto je spojené s množstvom environmentálnych faktorov, zahrňujúc geologickú štruktúru a charakteristiku zvodne, sezónny cyklus, druh horninového prostredia, druhy železitých a mangánatých baktérií a prúdenie podzemnej vody v zvodnenej vrstve. Ostatnými faktormi ovplyvňujúcimi obsah železa a mangánu v podzemnej vode sú oxidačno-redukčné podmienky a pH. (*Hatva, T., 1989*). Podľa meraní získaných z čerpacích skúšok, sa železo a mangán štatisticky nenachádzajú v podzemnej vode, ak koncentrácia kyslíka prekročí 4 mg/l. Ak kyslík spadne pod túto hodnotu, pravdepodobnosť objavenia sa mangánu a železa rapídne stúpa. (*Mälkki, 1986 in Hatva, 1989*).

HODNOTENÉ ZDROJE PITNEJ VODY

Na hodnotenie kvality vody v zdrojoch s brehovou infiltráciou sme vybrali lokality vodných zdrojov Topoľany a Rusovce. Proces tvorby kvality podzemnej vody v týchto zdrojoch bol hodnotený na základe sledovania zmien chemizmu podzemnej vody počas procesu infiltrácie z rieky – v prípade Topoľan z Laborca, v prípade Rusoviec z Dunaja. Tieto zmeny boli hodnotené pomocou geochemických profilov vytvorených na základe priestorovej interpolácie z nameraných, resp. priemerných hodnôt. Takto analyzované údaje nám poskytli vizuálne zobrazenie zmien kvality vody v hĺbkovom i pozdĺžnom profile zvodneného horizontu.

VODNÝ ZDROJ TOPOĽANY sa nachádza v príbrežnej aluviálnej nive Laborca a predstavuje významný zdroj vody pre zásobovanie obyvateľstva Michaloviec pitnou vodou. Vodný zdroj pozostáva zo 6 studní s dokumentovaným sumárnym množstvom 100 l/s. Pre účely vyhodnotenia chemizmu podzemnej vody v okolí čerpanej studne TH-5, ktorá sa nachádza v užšej pririečnej zóne, boli odoberané vzorky vody v 3 hĺbkových úrovniach z vrtov v smere prúdenia od studne ku rieke. Čerpaním vzniká v okolí studne depresný kužeľ a pokles hladín (obr. 1). V prípade, keď sa depresia šíri až ku rieke, vzniká indukovaná brehová infiltrácia.

Obr. 1 Zníženie v okolí studne TH-5



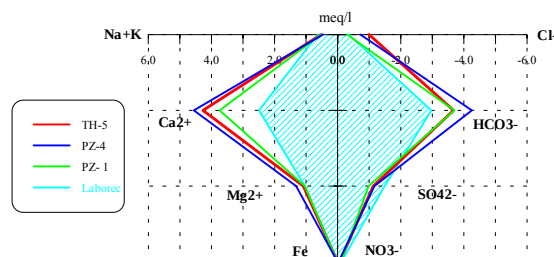
VODNÝ ZDROJ RUSOVCE – sa nachádza na pravom brehu Dunaja vo vzdialenosti približne 1.5 km od Dunaja (pri rkm 1856 - 1854). Vodný zdroj tvoria dva studňové rady: Ostrovné lúčky pozostávajúci z 13 širokopieterových vŕtaných studní a Mokrad' z pozostávajúci z desiatich studní. Súčasný využiteľný odber po nadlepšení výdatnosti prevádzkou zdrže Hrušov predstavuje 2650 l/s. Vodný zdroj využíva zásoby podzemných vôd vytvorené na princípe brehovej infiltrácie. Kvalita podzemnej vody vo vodnom zdroji je veľmi vysoká, avšak pre prítomnosť vyšších koncentrácií mangánu a železa spôsobovala problémy pri zásobovaní pitnou vodou. Z tohto dôvodu je voda upravovaná použitím technológie VYREDOX, ktoré zabezpečuje oxidáciu podzemnej vody priamo v horninovom prostredí. Tento systém je v súčasnosti nahrádzaný priamou inekciou kyslíka do horninového prostredia. Podzemná voda v Rusovciach bola hodnotená na základe archívnych údajov VaK a vlastných meraní uskutočnených v roku 1998 – 1999. Vzorky boli odobraté z pozorovacích objektov D-6, D-4 a D-1 situovaných v smere prúdenia podzemnej vody vo vzdialenosti 80 až 850 m od brehovej čiary Dunaja smerom k vodnému zdroju Rusovce.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Z oboch bližšie skúmaných zdrojov v Topoľanoch a Rusovciach možno konštatovať rozdielny režim a spôsob hydraulického dopĺňania zásob podzemnej vody v týchto lokalitách. Zatiaľ čo Rusovce sú po vybudovaní Hrušovskej zdrže takmer výhradne dotované z infiltráciou Dunaja, vodný zdroj Topoľany využíva zásoby podzemnej vody z vyššie ležiaceho územia a infiltrovaná voda z Laborca sa podieľa dotovaní zdroja len čiastočne. V Rusovciach existuje počas celého roka výhradne infiltrácia z rieky, ktorá je daná prirodzeným vysokým hydraulickým gradientom v tejto oblasti. V Topoľanoch je režim prúdenia podzemných vôd počas roka rôzny. V niektorých obdobiach boli dokonca dokumentované stavy hladín podzemnej vody vyššie ako v Laborci. Všeobecne možno predpokladať, že prevláda smer prúdenia podzemných vôd súbežný s tokom rieky, a len úzka príbrežná zóna je ovplyvnená riekou. Napriek tomu možno usudzovať, že podzemné vody sú v dobrom hydraulickom kontakte s riekou a čerpanie vo využívaných studniach indukuje infiltráciu z Laborca.

Niektoré z teoretických predpokladov získaných z literatúry boli potvrdené aj v prípade skúmaných lokalít. Podzemná voda získava už v prvých metroch infiltrácie výrazne odlišné vlastnosti od povrchovej vody. Na obr. 2 sú zobrazené hlavné odlišnosti v priemernom obsahu makro-ukazovateľov povrchovej vody v Laborci a podzemnej vody v oblasti okolia studne TH-5. Najvýraznejšie sa prejavuje obohatenie podzemnej vody o Ca-HCO₃ zložku.

Obr. 2 Stiffov graf



Geochemický profil (obr. 3) v Rusovciach preukázal lepšie predpokladaný priebeh procesov nastávajúcich pri infiltrácii ako profil v Topoľanoch, pretože hydraulický režim v tejto oblasti je stálejší. Okrem prirodzených vplyvov – zrážková činnosť, rôzne prietoky v Laborci, atď. – je režim v Topoľanoch ovplyvnený aj rôznym spôsobom prevádzkovania jednotlivých studní vo vodnom zdroji.

V Rusovciach sme zaznamenali pokles obsahu kyslíka, ktorý propagoval výraznejšie smerom k hlbším horizontom a zároveň v smere do vnútrozemia. Pokles kyslíka bol sprevádzaný poklesom dusičnanov, čo sa prejavilo poklesom oxidačno-redukčný potenciálu. V oblasti najnižšej hodnoty redox potenciálu vzniká zóna s vysokým obsahom rozpusteného železa. V tejto zóne nie je prítomný mangán. Najvyššie hodnoty mangánu boli zistené v hornom horizonte vrtu vzdialeného 650 m od brehovej čiary. Vo vzdialenosti cca 800 m od brehovej čiary boli tieto pozorované zmeny ovplyvnené šírením sa oxidačne zóny, ktorá vzniká prevádzkovaním oxidačnej clony pomocou infiltrácie aerovanej vody v okolí čerpaných studní. Priaznivý vplyv in-situ oxidácie sa prejavil zlepšením kvality podzemnej vody, keďže dvojmocné formy Fe a Mn boli vylúčené v nerozpustnej forme a imobilizované v horninovom prostredí. Pozdĺž celého profilu bol zaznamenaný pokles hodnôt $CHSK_{Mn}$ a TOC, ktorý sa ešte zvýraznil v oblasti dosahu aerovanej zóny v okolí vodného zdroja. Na základe týchto skupinových ukazovateľov môžeme konštatovať, že počas infiltrácie nastáva úspešná oxidácia organických látok, ktorá predstavuje významnú zložku „samočistiacich“ procesov.

Účinnosť brehovej filtrácie na mikrobiologické oživenie je vysoká, čo je zrejmé z porovnania priemerných hodnôt baktérií v povrchovej vode a ich obsahu v podzemnej vode (tab. 1).

TAB.1

Baktérie	Koliformé [KTJ/100ml]	Mezofilné [KTJ/ml]	Psychrofilné [KTJ/ml]	fekálne streptokoky [KTJ/100ml]
Dunaj	129	6477	10150	6
Podz. voda	8	15	45	0.8

Výsledky získané v Topoľanoch sa ukázali z hľadiska sledovania zmien kvality vody počas infiltrácie menej vhodné, ako výsledky z Rusoviec. Pokladáme za pravdepodobné, že získanie údajov z rôznych časových úsekov infiltrácie povrchovej vody k zdroju nebolo zabezpečené. Hoci pôvodný profil pozorovacích objektov bol vybudovaný v smere predpokladanej infiltrácie ku zdroju, zmeny prúdenia spôsobené rôznym prevádzkovaním studní v zdroji Topoľany ovplyvnili hydraulické pomery lokality. Geochemické profily nám však napriek tomu poskytujú veľmi cennú informáciu o skutočnom obsahu jednotlivých prvkov v blízkej zóne v okolí čerpanej studne TH-5. Práve v pozorovacom objekte, ktorý je najbližšie k čerpanej studni sme zaznamenali úbytok obsahu kyslíka a dusičnanov. Táto zóna sa prekrýva so zónou najvyššieho výskytu mangánu. Zóna, v ktorej boli zaznamenané najvyššie obsahy železa má takisto ako bolo zaznamenané v Rusovciach, iný rozsah a neprekrýva sa so zónou výskytu mangánu. V hodnotách $CHSK_{Mn}$ a TOC boli v rámci sledovaného profilu zaznamenané len malé odchýlky, namerané hodnoty však boli v priemere nižšie ako hodnoty v Laborci. Obsah priemerných hodnôt TOC predstavoval pokles z 2.74 na 1.96 mg/l, obsah $CHSK_{Mn}$ pokles z 3,65 na 1.06 mg/l. Predpoklad spoločného výskytu jednotlivých zložiek podzemnej vody dokrešľujú výsledky korelačnej analýzy. Z ukazovateľov citlivých na zmeny oxidačno – redukčných podmienok bola preukázaná závislosť spoločného výskytu železa a dusitanov a nepriama závislosť výskytu amoniakálnych iónov a dusičnanov. Obsah kyslíka vo vode nepreukázal žiaden zjavný vzťah voči ostatným prvkom.

MOŽNOSTI UPLATNENIA MATEMATICKÉHO MODELOVANIA

Metódy matematického modelovania predstavujú pri dostatočnej znalosti skúmaného územia účinný nástroj pre zaistenie ochrany zdrojov podzemných vôd. Výhodou modelovania je možnosť zhodnotiť výsledok rôznych hydraulických parametrov zvodneného územia, režimových zmien, zmien okrajových podmienok alebo účinnosť ochranných prvkov. Keďže mnohé z činiteľov ovplyvňujúcich hydraulické a kvalitatívne vlastnosti podzemnej vody v zdroji nie je možné analyticky zmerať, rôzne modelové scenáre umožňujú posúdiť ich váhu a efekt, ktorý nastane pri ich zmene.

Ako príklad môžeme uviesť zhodnotenie priepustnosti riečnych sedimentov na indukovanú infiltráciu. Pri zdrojoch podzemnej vody v aluválnych náplavoch v blízkosti rieky sa predpokadá, že voda z rieky infiltruje a dopĺňa zásoby podzemnej vody. Infiltrované množstvo je závislé od hydraulických podmienok v danej oblasti a charakteru dna a brehov rieky. Množstvo, ktoré z rieky infiltruje môže byť znížené vplyvom zakolmatovania riečneho dna tenkou vrstvou nepriepustných sedimentov. Modelové riešenie obr. 4 predstavuje 2 alternatívy, ktoré zobrazujú izolínie a prúdnicu podzemnej vody v okolí čerpaného zdroja. V alternatíve A je koeficient filtrácie riečneho dna o dva rády vyšší, ako v alternatíve B. V tomto prípade je množstvo vody, ktorá infiltruje do zdroja vyššie a priebeh izolínií dokumentuje, že dochádza k nadlepšeniu zásob podzemnej vody infiltráciou z rieky.

Obr. 4 Vplyv kolmatácie riečneho dna – zobrazenie prúdnic podzemnej vody

A

$$K_{f \text{ riečneho dna}} = 10^{-04} \text{ m/s}, K_f = 5 \cdot 10^{-04} \text{ m/s}$$

čerpané množstvo $\Sigma = 45 \text{ l/s}$. Bilancia v rieke $[\text{m}^3/\text{s}]$:

IN	OUT	TOTAL
0.0024	-0.000308	0.021

B

$$K_{f \text{ riečneho dna}} = 10^{-06} \text{ m/s}, K_f = 5 \cdot 10^{-04} \text{ m/s}$$

čerpané množstvo $\Sigma = 45 \text{ l/s}$. Bilancia v rieke $[\text{m}^3/\text{s}]$:

IN	OUT	TOTAL
0.00039	-0.8.34e-07	0.0003943

Iným príkladom použitia modelovania je skúmanie dosahu zníženia v okolí čerpaných studní a ohraničenie ochrannej zóny so stanovenou dĺžkou zdržania v horninovom prostredí, ktoré je kladené ako kritérium PZO 2. stupňa. Vplyv hydraulických vlastností horninového prostredia kvartérnych náplavov na využívané vodné zdroje dokumentujú modelované alternatívy A, B. Obrázky predstavujú ohraničenie depresie so znížením 10 cm vzniknutej čerpaním. Pri vyššom koeficiente filtrácie zvodnenej vrstvy je veľkosť depresného kužela vďaka vyššej hydraulickej vodivosti menšia, zatiaľ čo v alternatíve B depresia výrazne presahuje hranicu rieky. Prúdnicie podzemnej vody sú vynesené v časovom intervale 50 dní, ktorý je doporučovaný z hľadiska účinnosti filtrácie bakteriologického znečistenia. V druhom prípade toto časové ohraničenie dosahuje hranicu rieky. V prostredí s vyššou hydraulickou vodivosťou je šírenie sa takéhoto znečistenia rýchlejšie z hľadiska dosahu, avšak má zreteľne usmernený charakter v smere prúdenia. Takto ohraničená záchytná zóna studne so stanovenou dobou zdržania môže byť dobrým podkladom pre vytýčenie ochranného pásma v okolí zdroja. Vynesenie celej záchytnej zóny studne umožňuje usmerniť využívanie daného územia tak, aby kvalita vody zostala zachovaná.

Obr. 5 Vplyv koeficientu filtrácie horninového prostredia – zobrazenie dosahu depresného kužela a prúdnic podzemnej vody s dobou zdržania 50 dní

A
 $K_{f \text{ riečneho dna}} = 10^{-06} \text{ m/s}$, $K_{f \text{ zvodne}} = 3 \cdot 10^{-03} \text{ m/s}$
 čerpané množstvo $\Sigma = 45 \text{ l/s}$

B
 $K_{f \text{ riečneho dna}} = 10^{-06} \text{ m/s}$, $K_{f \text{ zvodne}} = 5 \cdot 10^{-04} \text{ m/s}$
 čerpané množstvo $\Sigma = 45 \text{ l/s}$.

3.LITERATÚRA

- [1] Generel ochrany a racionálneho využívania vôd, MŽP SR, MP SR, Bratislava, 1995.
- [2] Némethy, P. a kol. Riadené využívanie retenčných možností zvodneného prostredia. PrF UK Bratislava, 1990.
- [3] Melioris, L., Mucha, I., Pospíšil, P.: Podzemná voda - Metódy výskumu a prieskumu.. Alfa, 1988
- [4] Hatva, T.: Iron and manganese in groundwater in Finland: Occurance in glaciofluvial aquifers and removal by biofiltration. National Board of Waters and the Environment, Finland, Helsinki, 1989
- [5] Hatva, T. et al.: Removal of Iron and Manganese from Groundwater by Re-infiltration and Slow Sand Filtration. Aqua Fennica, 1984