

## AKTIVITA 1.1

# **METODIKA PRE VYHLÁDÁVANIE POTENCIÁLNYCH NÁHRADNÝCH ZDROJOV PODZEMNÝCH VÔD**

Náhle kvantitatívne a kvalitatívne zmeny stavu podzemnej vody môžu spôsobiť závažné problémy v zásobovaní obyvateľstva pitnou vodou. V súčasnosti je problematika analýzy rôznych scenárov týchto zmien sústredená najmä na hľadanie alternatívnych zdrojov podzemných pitných vôd, hydrogeologické a hydrogeochemické kritériá ich identifikácie vrátane štúdie environmentálnych izotopov, zhromažďovanie informácií a ich sprístupnenie v GIS, problematiku ekonomiky, manažmentu a iné aspekty. Záplavy, alebo suchá zapríčinené globálnymi klimatickými zmenami, geohazardy a epizódy náhlejšej kontaminácie vyvolané nukleárnymi, alebo industriálnymi nehodami môžu podľa de Melo et al. (2008) vážnym spôsobom znížiť dostupnosť pitnej vody pre zásobovanie obyvateľstva. Pre predchádzanie uvedených situácií je podľa Capelli et al. (2001) nevyhnutné identifikovať a charakterizovať „strategické zdroje podzemnej vody“ a zhromaždiť ich vo funkčnom GIS systéme ako základ pre manažment kvality podzemných vôd (Canter et al., 1994). Vzťahom náhradných zdrojov podzemných pitných vôd k potrebám zásobovania, zavlažovania, ekonomickými aspektmi a rozpormi v manažmentoch vodných plánov sa zaoberajú Sheriff et al. (1996), Scawthorn et al. (2000), Lowry et al. (2003), Verjus, P. (2003), Perfler et al. (2007), Schwecke et al. (2008), Carrera-Hernandez – Gaskin (2009) a iní.

Z uvedeného vyplýva v prvom kroku potreba vypracovania ako kvantitatívnych, tak aj kvalitatívnych kritérií pre vyhľadávanie potenciálnych náhradných zdrojov podzemných vôd. Vo všeobecnosti možno povedať, že náhradné zdroje podzemných vôd by mali byť situované v nízko zraniteľných kolektoroch, resp. podzemná voda by mala mať nízku zraniteľnosť, čo zohľadňuje kvantitatívne aj kvalitatívne kritériá.

Vypracovanie daných kritérií má určité všeobecné zákonitosti, ale je nutné povedať, že v prvom rade závisí na špecifických prírodných podmienkach a antropogénnych vplyvoch v konkrétnej oblasti, pre ktorú sa tieto spracovávajú. Z uvedeného dôvodu je nevyhnutné pre oblasť BSK vypracovať konkrétne kritériá, vyplývajúce z daných podmienok.

### **Kvantitatívne kritériá**

Podzemná voda je primárnym zdrojom pitnej vody na Slovensku. S jej narastajúcou spotrebou a neustále sa zvyšujúcou kontaminačnou záťažou sa otázky ochrany a vyhľadávania strategických zdrojov stávajú kľúčovými. Pre racionálny rozvoj územia je preto nevyhnutné usmerňovať aktivity človeka do oblastí, kde je možnosť kontaminácie podzemných vôd ako dôsledok ľudskej činnosti najmenšia.

V akčnom pláne pre životné prostredie a zdravie obyvateľov SR, schválenom vládou SR v roku 2000 sa v prioritnej oblasti zabezpečovania obyvateľstva pitnou vodou špecifikuje ako jeden z cieľov aj zabezpečenie ochrany vodného potenciálu v SR vzhľadom na trvalo udržateľný život.

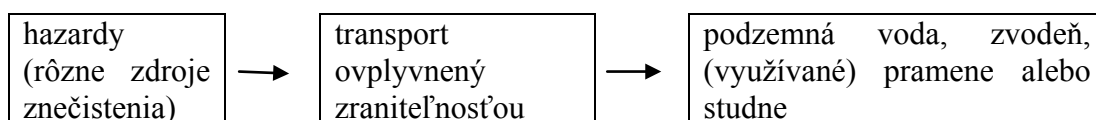
Mapy zraniteľnosti môžu byť použité pri územnom plánovaní v rôznych mierkach a najmä pri určovaní pásiem hygienickej ochrany a vyhľadávani strategických zdrojov podzemnej vody. Vymedzovanie ochranných pásiem na základe zraniteľnosti má za cieľ nájsť kompromis medzi ochranou zdroja alebo vodohospodárskej oblasti na jednej strane a požiadavkami na využitie územia na strane druhej: vo vysoko zraniteľných zónach má prioritu ochrana podzemnej vody

a ľudské aktivity musia byť obmedzené, zatiaľ čo istý druh hospodárskych činností môže byť povolený v menej zraniteľných oblastiach. Pri použití máp zraniteľnosti ako kritéria pre vyhľadávanie a využívanie strategických zdrojov podzemných vôd je hlavným cieľom nájsť kolektor s najnižšou zraniteľnosťou, ktorý je odolný voči náhlym kvantitatívnym a kvalitatívnym zmenám.

V európskej rámcovej smernici o vodách 2000/60/ES sa uvádza, že „voda nie je komerčný výrobok, ale skôr dedičstvo, ktoré treba chrániť, brániť a nakladať s ním ako takým“. Preto sa v smernici ustanovil strategický rámec pre spravovanie vodného prostredia a definoval sa spoločný prístup k ochrane všetkých podzemných a povrchových vôd v rámci celého Európskeho spoločenstva. Najvyššou prioritou je ochrana podzemných vôd využívaných na pitné účely. Zdrojom takýchto vôd môže byť studňa alebo zachytený prameň.

Je vhodné odlišovať medzi ochranou zdroja a zvodne, hoci oba koncepty sú navzájom úzko prepojené – je nemožné ochraňovať zdroj bez ochrany celej zvodne. Cieľ ochrany (receptor kontaminácie) je však potrebné presne definovať: Pri ochrane zvodne je cieľom ochrany hladina podzemnej vody a cestou je prevažne vertikálny tok cez vrstvy nad hladinou (pásmo prevzdušnenia). Cieľom pri ochrane zdroja je voda v prameni či studni/vrte a cesta (trajektória) zahŕňa najmä horizontálny tok v zvodnenci.

Koncept, ktorý bude aplikovaný na hodnotenom území BSK, spočíva na modeli „pôvod – cesta (pôsobenie)– cieľ (receptor, ovplyvnená oblasť)“, používanom v environmentálnom manažmente. Potenciálni pôvodcovia kontaminácie sa v rámci environmentálneho manažmentu definujú ako hazardy. Tento koncept, upravený na podmienky ochrany podzemných vôd, chápe ovplyvnené oblasti ako samotnú podzemnú vodu – zvodň, alebo individuálne zdroje podzemnej vody, či už využívané alebo nevyužívané. V danej schéme v rámci hydrogeologických systémov a hydrogeologických procesov odpovedá pojmu „cesta“, resp. „pôsobenie“ vlastný transport znečisťujúcej látky od zdroja znečistenia k cieľu (ovplyvnenej oblasti). Relatívna „ľahkosť“ alebo „namáhavosť“, s akou sa tento transport v konkrétnom hydrogeologickom prostredí odohráva potom určuje zraniteľnosť podzemnej vody v danom prostredí. Pôsobenie hazardu (cesty šírenia sa kontaminantu) je teda v závislosti od zraniteľnosti, resp. je definované zraniteľnosťou podzemnej vody:



Prvotnou úlohou pri hodnotení zraniteľnosti podzemnej vody je určenie miesta, kde predpokladáme uvoľnenie kontaminantu a vzťahného bodu, cieľa, ktorého zraniteľnosť hodnotíme. Tieto určujú akými prostrediami znečistenie putuje na svojej hypotetickej ceste do podzemia. Z tohto dôvodu môžeme v tej istej hydrogeologickej štruktúre oddelene ponímať zraniteľnosť podzemnej vody na výstupe (zdroji podzemnej vody) a zraniteľnosť pripovrchovej časti zvodne (v oblasti hladiny podzemnej vody) – môžeme teda hovoriť o zraniteľnosti konkrétneho zdroja podzemnej vody a zraniteľnosti podzemnej vody v hydrogeologickej štruktúre.

V druhom prípade sa na danom mieste považuje podzemná voda za ovplyvnenú znečistením v momente, keď je jej pripovrchová časť ovplyvnená nadlimitným množstvom znečistenia, tj. ak koncentrácia znečisťujúcej látky prekročí medznú hodnotu. V prvom prípade – ak posudzujeme zraniteľnosť konkrétneho zdroja podzemnej vody – sa uvažuje s nadlimitným znečistením až v samotnom zdroji (výstupe) podzemnej vody.

## Kvalitatívne kritériá

Hlavné kvalitatívne kritériá pre vyhľadávanie a využívanie strategických zdrojov podzemnej vody pre účely ich vyhľadávania a využívania sú nasledovné:

- biologická a mikrobiologická nezávadnosť vody
- dobrý chemický stav
- obsah stabilných izotopov kyslíka, vodíka, dusíka a rádionuklidu trícia

Medzi dôležité kvalitatívne kritériá, vyplývajúce z využitia strategických zdrojov podzemnej vody na pitné účely patrí biologická a mikrobiologická nezávadnosť vody. Aj keď je možné surovú podzemnú vodu po pomerne jednoduchšej technologickej úprave – dezinfekcii využívať na pitné účely, už samotná skutočnosť bakteriologickej a biologickej závadnosti nasvedčuje o vysokej zraniteľnosti podzemnej vody. V tejto súvislosti býva následne v praxi zistený aj zlý chemický stav vody, súvisiaci najmä so znečistením podzemnej vody komunálnymi a inými vodami a vodami z poľnohospodárskych aktivít a priemyslu.

Rámcová smernica o vodách (RSV) 2000/60/ES (Anonym, 2000) predstavuje kľúčový dokument zjednocujúci platnú legislatívu vo vodnom hospodárstve v jednotlivých členských štátoch EÚ. V zmysle požiadaviek RSV (Článok 17.2a) majú byť stanovené kritériá pre hodnotenie dobrého chemického stavu podzemnej vody v súlade s prílohou II.2.2 a prílohou V 2.3.2 a 2.4.5, ktoré majú slúžiť zároveň na určenie počiatkových bodov zvrátenia trendov (Článok 17.2b), ktoré sa použijú v súlade s prílohou V 2.4.4. Podrobnejšie o uvedených kritériách hovorí Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2006/118/ES o ochrane podzemných vôd pred znečistením. So zreteľom na potrebu dosiahnuť jednotnú úroveň ochrany podzemnej vody je potrebné určiť normy kvality a prahové hodnoty a vyvinúť metodiky založené na spoločnom prístupe s cieľom poskytnúť kritériá pre hodnotenie chemického stavu útvarov podzemnej vody (ÚPV). Pre účely hodnotenia chemického stavu útvaru alebo skupiny útvarov podzemnej vody podľa oddielu 2.3 prílohy V RSV používajú členské štáty tieto kritériá:

- a) normy kvality podzemných vôd ako sú uvedené v prílohe I Smernice o ochrane podzemných vôd pred znečistením;
- b) prahové hodnoty, ktoré určia členské štáty v súlade s postupom uvedeným v časti A prílohy II pre znečisťujúce látky, skupinu znečisťujúcich látok a indikátory znečistenia, ktoré boli na území členského štátu stanovené ako faktor, ktorý prispieva k charakterizácii útvarov alebo skupín útvarov podzemnej vody ako rizikových, berúc do úvahy prinajmenej zoznamy uvedené v časti B prílohy II Smernice o ochrane podzemných vôd pred znečistením.

Pre vyhľadávanie a využívanie strategických zdrojov podzemnej vody môžeme definovať kritériá dobrého stavu rovnaké, ako v zmysle Rámcovej smernice o vode, kde je definovaný útvar podzemnej vody v dobrom chemickom stave vtedy, ak:

- nevykazuje žiadne vplyvy prieniku slanej vody alebo iných prienikov
- nepresahuje normy kvality platné podľa iných právnych predpisov Spoločenstva v súlade s článkom 17 Rámcovej smernice o vode (smernica 2006/118/ES)
- nie sú také, aby viedli k nesplneniu environmentálnych cieľov stanovených v článku 4 Rámcovej smernice o vode pre súvisiace povrchové vody, ani k významnému zhoršeniu ekologickej alebo chemickej kvality takýchto útvarov, ani k žiadnemu významnému poškodeniu suchozemských ekosystémov, priamo závislých na útvere podzemnej vody.

Normy kvality pre hodnotenie chemického stavu útvaru podzemných vôd sú stanovené v smernici 2006/118/ES o ochrane podzemných vôd pred znečistením a zhoršením kvality. V súlade s ustanoveniami tejto smernice pre hodnotenie chemického stavu podzemných vôd je potrebné použiť nasledovné kritériá:

- normy kvality podzemnej vody stanovené v prílohe I smernice pre dusičnany a pesticídy
- prahové hodnoty, ktoré musia stanoviť členské štáty na národnej úrovni, úrovni povodia, alebo útvaru podzemných vôd v súlade s postupom uvedeným v prílohe II A.

Prahové hodnoty musia byť stanovené pre všetky znečisťujúce látky (polutanty), skupiny znečisťujúcich látok, alebo indikátorov znečistenia, ktoré boli identifikované v rámci rizikovej analýzy ako znečisťujúce látky prispievajúce k charakterizácii útvarov podzemných vôd ako rizikových.

V prílohe II. B smernice 2006/118/ES je minimálny zoznam parametrov, ktorý musí byť braný do úvahy pri každom útvaru podzemných vôd. Ide o nasledovné parametre:

- látky, ktoré sa môžu objavovať ako prirodzene sa vyskytujúce a/alebo ako výsledok antropogénnych činností – As, Cd, Pb, Hg, NH<sub>4</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>
- syntetické látky – trichloreten, tetrachloreten
- parametre indikujúce prieniky slanej vody, alebo iné prieniky – vodivosť alebo Cl a SO<sub>4</sub>

Prahové hodnoty pre tento minimálny zoznam parametrov sa musia stanoviť vtedy, ak tieto látky prispievajú k charakterizácii útvarov ako rizikových. Z toho vyplýva, že určenie prahových hodnôt pre všetky parametre uvedené v minimálnom zozname nie je povinnosťou. Na druhej strane je povinnosťou stanoviť prahové hodnoty pre všetky znečisťujúce látky, ktoré nie sú uvedené v minimálnom zozname, ak boli zistené v útvaru podzemných vôd vo významnejšom množstve spôsobujúcom plošne rozsiahlejšiu kontamináciu podzemných vôd.

Ako kvalitatívne kritéria pre vyhľadávanie a využívanie strategických zdrojov vody budú slúžiť prahové hodnoty. Tieto zároveň splňajú funkciu ochrany zdroja, ako aj zabezpečenie kvality vody pre využívanie na zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou.

Pre stanovenie prahových hodnôt boli východiskom referenčné hodnoty, použité koncentrácie zo zákona 354/2006 (tab. 1), z nich pomocou požadovej hodnoty bola vypočítaná prahová hodnota podľa vzorca:

$$\text{Prahová hodnota} = (\text{Referenčná hodnota} + \text{Požadová hodnota}) / 2$$

V prípade, že požadová hodnota je vyššia ako referenčná hodnota bolo prijaté pravidlo, že prahová hodnota pre tieto zložky sa rovná požadovej hodnote.

Tento prípad nastane vtedy, ak je daná zložka prírodného pôvodu. V tomto zmysle sú v zákone 354/2006 pre chloridy (tab. 1) uvedené dve koncentrácie 100 mg/l pri antropogénnom pôvode a 250 mg/l pri ich pôvode z geologického prostredia.

Hodnotenie chemického stavu bolo urobené v roku 2009 pre všetky vyčlenené kvartérne aj predkvartérne ÚPV na Slovensku. Základom, z ktorého sa vychádzalo boli výsledky monitoringu kvality podzemných vôd z roku 2007, združených z priemerných bodových do plošnej informácie a hodnotenie rizikovosti ÚPV z roku 2004. Stanovené prahové hodnoty sa dajú použiť ako optimálne kritérium kvality pre všetky ÚPV v BSK ako hodnotiace kritérium kvality podzemnej vody.

Obsah stabilných izotopov kyslíka, vodíka, dusíka a rádionuklidu trícia má pri vyhľadávaní strategických zdrojov podzemných vôd najvýznamnejšiu úlohu. Stabilné nuklidy deutérium a kyslík sú prírodnými zložkami prírodnej vody. Tvoria súčasť jej molekulového zloženia, pričom ich množstvo je pomerne malé. Izotopovými analýzami z rôznych lokalít sveta sa zistilo, že hranice, v ktorých kolíšu koncentrácie deutéria, preyšujú o rád prípadne viac hranice, v ktorých sa pohybujú koncentrácie ťažkého kyslíka. Uvedená skutočnosť sa vysvetľuje tým, že deutérium



a vodík sa delia prírodnými procesmi efektívnejšie ako ľubovoľný iný pár stabilných nuklidov v dôsledku veľkého rozdielu v atómových hmotnostiach. Deutérium sa preto považuje za jeden z najzaujímavejších nuklidov z hľadiska procesov, ktorými vody prechádza v hydrologickom cykle a najmä podzemná voda v geologickom prostredí.

Arzén	As	mg/l	0,01
Antimón	Sb	mg/l	0,005
Dusičnany	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	50
Amónne ióny	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	0,5
Fluoridy	F <sup>-</sup>	mg/l	1,5
Chróm celkový	Cr	mg/l	0,05
Kadmium	Cd	mg/l	0,003
Meď	Cu	mg/l	1
Nikel	Ni	mg/l	0,02
Olovo	Pb	mg/l	0,01
Ortuť	Hg	mg/l	0,001
Selén	Se	mg/l	0,01
Chloridy	Cl <sup>-</sup>	mg/l	100 250
Mangán	Mn	mg/l	0,05
Sírany	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	250
Sodík	Na	mg/l	200
Zinok	Zn	mg/l	3
Železo	Fe	mg/l	0,2

Tab. 1 Vybrané referenčné hodnoty v zmysle zákona č. 354/2006

Uvedené skutočnosti sa dajú významne uplatniť ako kritériá genézy podzemnej vody, pre charakteristiku kolektorov a pri monitoringu týchto stabilných izotopov na zistenie retardácie podzemnej vody za iniciálnou vodou, ktorou sú spravidla zrážky, alebo voda povrchového toku.

Interpretácia obsahov stabilného izotopu dusíka v prírodných vodách je významná z hľadiska zistenia jeho pôvodu (zdroja), pretože znečistenie dusičnanmi je na Slovensku možno povedať najrozšírenejším v nížinných oblastiach. Geochemický osud dusíka v prírodných systémoch je veľmi komplikovaný s významnými sezónnymi zmenami, ktoré je možné pomocou izotopovej analýzy dešifrovať. Z tohto pohľadu je dôležitou súčasťou vyhľadávania a hodnotenia strategických zdrojov podzemnej vody.

Rádionuklid trícia sa používa na určenie veku vody, pričom sa využíva jeho dynamická rovnovážna koncentrácia v zrážkach. Odhliadnuc od sezónnych variácií, celoročné priemerné tríciové aktivity zrážok do roku 1952 ostávali na úrovni približne 5 TU. Zrážková voda, izolovaná od mladších a starších vôd, stráca svoju tríciovú aktivitu v súlade so zákonitostami rádioaktívnej premeny. Polčas rozpadu trícia  $T_{1/2}=12,262\pm0,004$  rokov. Tríciová aktivita po roku 1952 mnohonásobne prevýšila pôvodnú prirodzenú hodnotu vplyvom umelého zavedenia trícia do kolobehu vody v prírode. V prípadoch, kedy je možné vylúčiť kontamináciu, dá sa určovať vek vôd do 50 až 60 rokov.

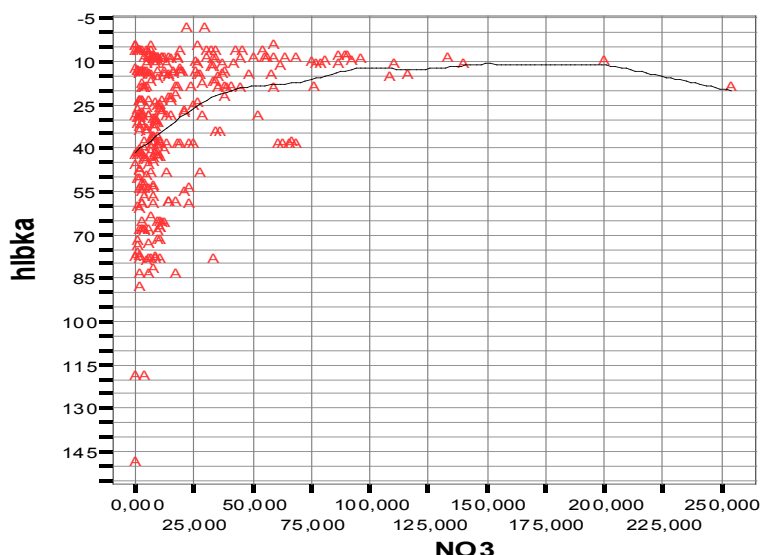
Tieto vlastnosti môžu byť použité ako kritérium vplyvu mladších vôd s potenciálnou kontamináciou, ktorá je nepriaznivým faktorom pre strategický zdroj podzemnej vody.

Uvedené kvalitatívne kritériá pre vyhľadávanie a využívanie strategických zdrojov podzemnej vody budú použité v konkrétnych vytypovaných oblastiach v BSK. Ich aplikácia, resp. vhodnosť použitia bude závisieť od špecifických prírodných a antropogénnych pomeroch daných oblastí.

### Pilotné oblasti pre overenie metodiky v BSK

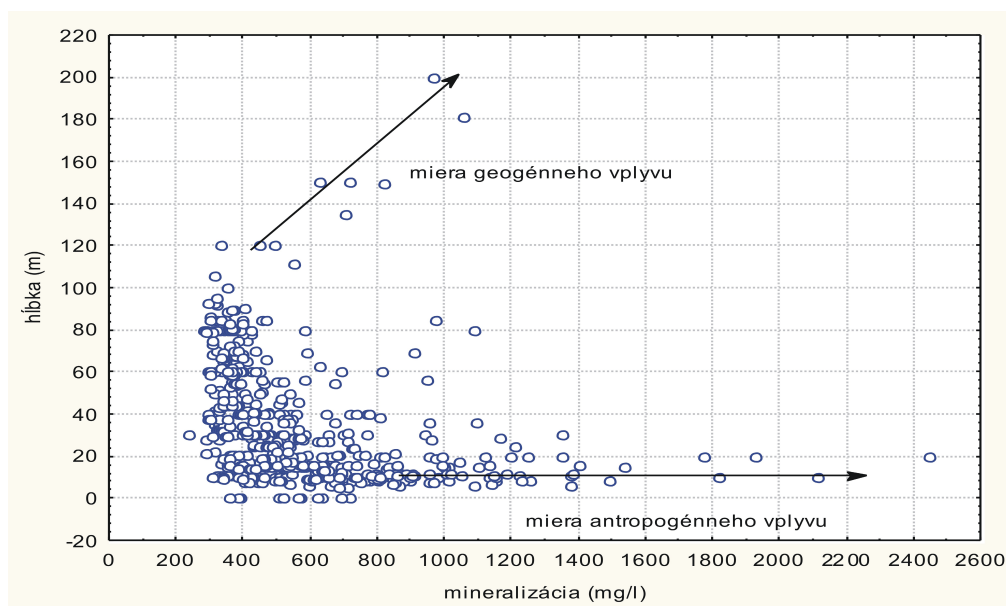
Prvou oblasťou je časť Žitného ostrova a pravobrežia Dunaja. V týchto podmienkach sú pre identifikáciu alternatívnych zdrojov najvýznamnejšie zmeny vlastností podzemných vôd s hĺbkou v profile kvartérnych a neogénnych sedimentov.

Z kvalitatívneho hľadiska to dokumentuje obr. 1, kde s hĺbkou sa koncentrácia dusičnanov, ktoré sú indikátorom antropogénneho vplyvu difúzných, ale aj bodových zdrojov znečistenia významne znižuje a prakticky od hĺbky 25 m hodnoty nepresahujú prípustnú koncentráciu.



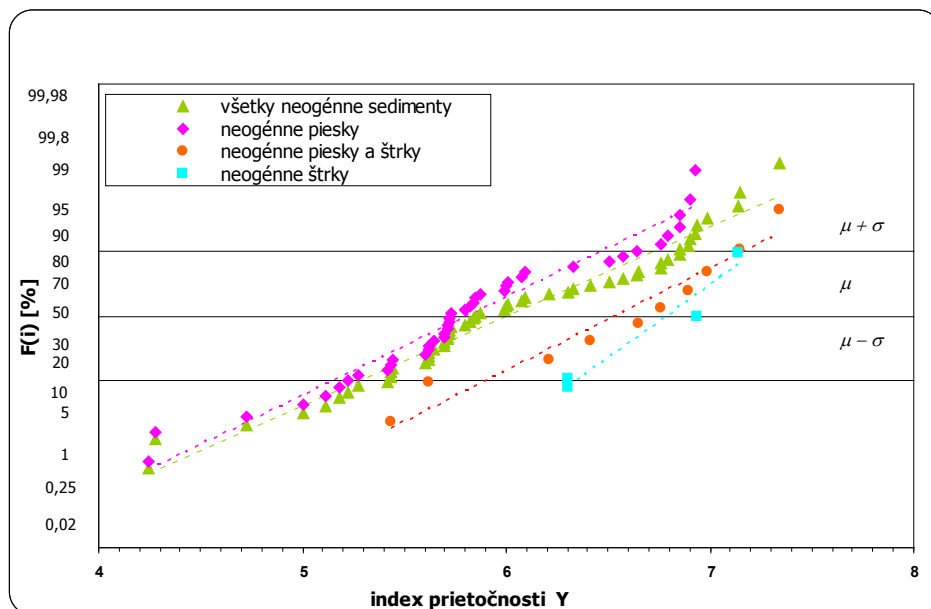
Obr. 1 Závislosť obsahu dusičnanov od hĺbky

Ak sledujeme zmeny celkovej mineralizácie podzemných vôd s hĺbkou (obr. 2), sú zrejmé dve závislosti. Prvou sú vysoké hodnoty mineralizácie zapríčinené antropogénnymi vplyvmi do hĺbky približne 25 m a druhou je zvyšovanie mineralizácie, čo je charakteristické pre neogénne kolektory. V tomto prípade je zvyšovanie mineralizácie podmienené ionovýmennými procesmi, vo vode sa zvyšuje hlavne obsah sodíka a hydrogénuhličitanov, čo sa prejavuje aj typove, vody sú Na-HCO<sub>3</sub> chemického typu.



Obr. 2 Závislosť celkovej mineralizácie podzemných vôd od hĺbky

Celý hydrogeologický celok neogénu sumárne charakterizuje v priemere vysoká prietočnosť (obr. 3) - medián koeficientu prietočnosti  $T$  je  $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  (2. trieda prietočnosti). Hodnota mediánu indexu prietočnosti  $Y$  je 5,85 a koeficienta filtrácie  $k$  je  $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (Benková et al., 2007). Merná výdatnosť vrtov  $q$  kolíše v intervale  $0,02\text{--}21,98 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  (priemerná hodnota  $q$  je  $3,00 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ). Variabilita prietočnosti - plošná nehomogenita zvodneného horninového prostredia, ktorá je charakterizovaná hodnotou smerodajnej odchýlky indexu prietočnosti  $Y_{SY}$  (0,72) priraduje tento celok k značne nehomogénemu hydrogeologickému prostrediu s veľkou variabilitou (trieda variability c).



Obr.3 Kvantilový diagram rozdelenia indexu prietočnosti  $Y$  jednotlivých litologických typov hydrogeologického celku neogénu

Za iniciálny zdroj podzemnej vody v predmetnej oblasti je považovaná voda Dunaja. Túto skutočnosť dokazujú i údaje o jej izotopovom zložení ( $\delta^{18}\text{O}$ ) monitorované v rokoch 1983-1998 v Bratislave, poznatky o izotopovom zložení podzemnej i povrchovej vody v širšom okolí Bratislavy (Kantor et al. 1989) a údaje o izotopovom zložení ( $\delta^{18}\text{O}$ ) podzemnej vody v oblasti Žitného ostrova získané v rámci monitoringu (1991-1996) cca 30 piezometrov počas napúšťania VDG (Michalko et al. 1987, Michalko 1998). Na základe týchto údajov je možné predpokladať, že súčasná dunajská voda infiltruje najmä v preferovaných oblastiach v plytších horizontoch. Rodák et al. (1995) v oblasti Kalinkova predpokladajú prienik vody Dunaja v plytšej zóne až 4-6 km za dvatri roky. Podobne je možné doložiť (obr. 4) pomerne rýchly prienik vody Dunaja (červená) v zóne 8-10 m (svetlomodrá), pomalšiu a len čiastočnú vodovýmenu v hĺbke 35-37 m (modrá), pričom vplyv izotopového zloženia na podzemnú vodu v hĺbke 67 m je (tmavomodrá) minimálny. Dá sa predpokladať, že súčasná voda Dunaja má minimálny vplyv na podzemnú vodu viazanú na hlbšie časti štruktúry. Dá sa u nej predpokladať vyššia doba zdržania a príslušná dobrá kvalita.



Obr.4 Izotopové zloženie kyslíka vo vode Dunaja a podzemnej vode piezometra 6030 Čunovo

Zo stručnej hydrogeologickej a hydrogeochemickej charakteristiky kolektorov kvartéru a neogénu Žitného ostrova je možné v tejto fáze štúdia identifikovať dva náhradné zdroje (záložné, alternatívne zvodnenie) pitnej podzemnej vody – hlbšie časti kvartérnych sedimentov (všeobecne od hĺbky cca 80 m, priestorovo v závislosti od konkrétnych podmienok sa môže meniť) a neogénne sedimenty.

Druhou oblasťou je masív Devínskej Kobyly, ktorý bol vybraný na základe zistenia, že podzemná voda v oblasti vodného zdroja Sedláčkov ostrov je pravdepodobne ovplyvňovaná podzemnou vodou z masívu. Z uvedených zákonitostí je možné naznačiť procesy tvorby podzemných vôd Sedláčkovho ostrova. Môžeme predpokladať, že v hlavnej miere za zdrojové možno označiť vody povrchového toku Dunaja, ovplyvneného vodami Moravy (zvýšené obsahy Na, K, Cl,  $\text{NO}_3$ ). Tieto vody svojim chemickým zložením a jeho režimom predstavujú hlavný typ podzemných vôd ostrova. SZ a S časti ostrova sú pomerne silno ovplyvnené vodami z náprotivných svahov hlavne v miestach s polohami studenského súvrstvia s karbonátogénnymi vodami (vyšší obsah hlavne Ca a  $\text{HCO}_3$  v uvedených častiach zóny obtokového ramena) a ďalšom vodami kvartérnych sedimentov, antropogénne ovplyvnenými časťou obce Devín (odpadové a splaškové vody), ktoré sa dostávajú



do kvartérnych sedimentov ostrova prirodzenými i podmienenými cestami čerpaním podzemných vôd zo studní. Z hľadiska genézy podzemných vôd Sedláčkovho ostrova možno predpokladať, že sa jedná o polygénne fluviogénne vody.

Chemické zloženie podzemných vôd v oblasti Devín, ktoré prestupujú pod obtokovým ramenom možno charakterizovať vrtom CHD-12, situovaným pred obtokovým ramenom. Chemické zloženie vôd je v dvoch expedíciách podobné s pomerne vysokou hodnotou mineralizácie, vysokým obsahom K, NO<sub>3</sub> nad 20 mg/l a zvýšenou koncentráciou chloridov.

Tretou oblasťou je širšie okolie bývalého vodného zdroja Jalšovec (Devínska Nová Ves). Charakteristika prameňa Jalšovec – základný nevýrazný Ca-SO<sub>4</sub> typ až prechodný Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> typ (výrazný vplyv kvartéru a sekundárne vplyvy prostredia, zvýšený obsah síranov, dusičnanov, fekálnych baktérií, na tvorbe chemizmu sa podieľajú procesy rozpúšťania karbonátov a hydrolytického rozkladu silikátov. Podobný typ chemizmu má aj voda z vrtu HP-1 (Ca-(Mg)-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> typ, ktorý slúžil ako vodárenský objekt, vzhľadom na zvýšený obsah dusičnanov a síranov nie je už prevádzkovaný ako vodný zdroj. Vrty HP-1 a DNV-1 sú situované na riečnej terase, ktoré boli poľnohospodársky využívané.

Režimné sledovanie prameňa Jalšovec a výsledky z vrtu DNV-1, ktorým boli v podloží sedimentov neogénu navrátené karbonáty mezozoika umožňuje predpokladať, že časť vôd je dotovaná aj prítokmi po zlomoch z podložia, z karbonátov mezozoika.

Na základe uvedeného je možné predpokladať, že karbonáty mezozoika predstavujú zaujímavý strategický zdroj podzemných vôd, čo je však potrebné pomocou vybraných kvantitatívnych a kvalitatívnych kritérií preskúmať.

## Využívanie hmotnostného spektrometra

V súčasnosti je projekt „Ekotechnológia vyhľadania a hodnotenia náhradných zdrojov pitných podzemných vôd, pilotné územie BSK“ nastavený tak, že hmotnostný spektrometer bude na projekte využívaný na 57 %. Rešeršnými prácami a najmä vypracovaním metodiky pre vyhľadanie potenciálnych náhradných zdrojov podzemných vôd sa dospelo k tomu, že je potrebné odobrať väčší počet vzoriek na analýzu, pre riešenie kľúčových stabilných izotopov deutéria a kyslíka a analyzovať ich na hmotnostnom spektrometri. Kľúčovými faktormi úspešného riešenia úlohy sú uvedené izotopy preto, lebo jediné charakterizujú molekulu vody a tým aj iniciálne vody (zrážková voda, povrchová voda) a cestu vody od iniciálnej po konečnú vo vytýpovanom strategickom zdroji podzemnej vody. Dodatočne zvýšený počet izotopových analýz oproti projektovanému počtu odôvodňujeme nasledovnými závažnými skutočnosťami:

- Pri riešení úlohy, po rešeršnom zhodnotení existujúcich údajov o vytýpovaných oblastiach potenciálnych strategických zdrojov podzemnej vody v BSK bol zistený nedostatok informácií o izotopovom zložení podzemnej vody vo všetkých oblastiach. Doterajšie hodnotenia sú v prevažnej väčšine zamerané na chemické zloženie podzemných vôd, čo vyplývalo z finančnej náročnosti úloh, náročnosti interpretácie izotopového zloženia a tiež obmedzených možnostiach analýzy (hmotnostný spektrometer na Slovensku, vyhradený na účely analýzy geologických materiálov bol prakticky iba jeden). Pretože izotopové zloženie podzemnej vody sa v čase mení, je potrebné ho charakterizovať viacerými opakovanými odbermi. Uvedený dôvod sa týka oblasti časti Žitného ostrova a pravobrežia Dunaja.
- Metodickým predpokladom pre vyhodnotenie genetického významu analýz zastúpenia stabilných izotopov kyslíka a vodíka vo vytýpovaných strategických zdrojoch podzemnej

vody časti Žitného ostrova a pravobrežia Dunaja a masívu Devínskej Kobyly vo vzťahu ku vodám Sedláčkovho ostrova je nevyhnutné poznať priebeh ročných zmien tohto faktora v povrchovej vode Dunaja. Pretože Dunaj patrí medzi rieky sytené snehom, je zvlášť dôležité zaznamenať prechod tzv. alpskej vody, teda vody z topiacich sa snehov a ľadov v Alpách, ktoré sú izotopicky výrazne ľahšie ako vody v priebehu roka. Vyskytujú sa pravidelne v máji – júni a predstavujú výrazný marker, ktorého priebeh možno v podzemných vodách príbrežnej zóny Dunaja sledovať aj dva roky do vzdialenosti cca 2-4 km. Izotopové zloženie vody Dunaja sa pravidelne sleduje vo Viedni, v Bratislave bolo monitorované v rokoch 1982 – 1998. Keďže v Bratislave sa už tento faktor nepozoruje, je potrebné aktuálne sledovanie izotopového zloženia vôd Dunaja s mesačným krokom monitorovania a nie jednorazovým odberom, ako bolo pôvodne uvedené v projekte.

- Vzhľadom ku vytypovaniu väčšieho počtu potenciálnych oblastí so strategickými zdrojmi podzemnej vody, týka sa mezozoických kolektorov v podloží neogénu v oblasti bývalého vodného zdroja Jalšovec, o ktorom nemáme znalosti o izotopovom zložení podzemnej vody sa zvýši počet izotopových analýz, čo túto oblasť umožní ohodnotiť ako strategický zdroj. Na základe uvedeného je nutné pôvodne plánovaný celkový počet izotopových analýz zvýšiť.

Uvedenými skutočnosťami, zistenými počas riešenia úlohy bude podiel využívania hmotnostného spektrometra na získanie nevyhnutných odôvodnených exaktných údajov zvýšený z 57% na 64%.

## Použitá literatúra

- Benková, K., Bodiš, D., Nagy, A., Maglay, J., Švasta, J., Černák, R., Marcin, D. and Kováčová, E., 2005: Základná hydrogeologická a hydrogeochemická mapa Podunajskej roviny - Žitný ostrov a pravobrežie Dunaja v mierke 1 : 50 000. Manuscript, ŠGÚDŠ Bratislava, 245 s.
- de Melo, M. T. C., Fernandes, J., Midoes, C., Amaral, H., Almeida, C. C. da Silva, M. A. M and Mendonca, J. J., 2008: Identification and management of strategic groundwater bodies for emergency situations in Portugal (IMAGES). 33rd International Geological Congress, abstracts = Congres Geologique International Resumes, 33 p.
- Capelli, G., Salvati, M. and Petitta, M., 2001: Strategic groundwater resources in Northern Latium volcanic complexes (Italy): Identification criteria and purposeful management. IAHS Press (272), United Kingdom, , pp.411-416.
- Canter, L. W., Chowdhury, A. K. M. M. and Vieux, B. E., 1994: Geographic information systems: a tool for strategic ground water quality management. Journal of Environmental Planning & Management, 37 (3), pp. 251-266.
- Carrera-Hernandez, J. J. and Gaskin, S. J., 2009: Water management in the Basin of Mexico: Current state and alternative scenarios. Hydrogeology Journal, 17 (6), Springer New York LLC, United States, pp. 1483-1494.
- Császár, G., Pistotnik, J., Pristaš, J., Elečko, M., Konečný, V., Vass, D. and Vozár, J., 2000: Surface geological Map. in Császár, G. (Ed.): Danube Region Environmental Geology Programme DANREG Explanatory Notes. Jb. Geol. B. – A. (Wien), 4, 421 – 455
- Halouzka, R., Minaříková, D., 1977: Stratigraphic correlation of Pleistocene deposits of the river Danube in the Vienna and Komárno Basin. Sbor. geol. věd. Antropozoikum (Praha), 11, 7 – 55.
- Janáček, J., 1967: Výskum tektoniky J časti Podunajskej nížiny s ohľadom na výstavbu VD Dunaj. Záverečná správa. GÚDŠ Bratislava.
- Janáček, J., 1969: Nové stratigrafické poznatky o pliocénnej výplni centrálnej časti Podunajskej nížiny. Geol. Práce. Spr. (Bratislava), 50, 113 – 131.
- Kantor, J., Ďurkovičová, J., Michalko, J. 1989: Izotopový výskum hydrogenetických procesov II. časť, Manuskript, Geofond Bratislava, s. 46
- Lowry, T. S., Bright, J. C., Close, M. E., Robb, C. A., White, P. A. and Cameron, S., 2003: Management gaps analysis; a case study of groundwater resource management in New Zealand. International Journal of Water Resources Development, 19, 4, Butterworth Scientific Guildford, United Kingdom, pp. 579-592.
- Michalko, J. 1998: Izotopová charakteristika podzemných vôd Slovenska. Kandidátska dizertačná práca, SAV, Bratislava, p. 94



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku /  
Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ



**Agentúra**  
Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR  
pre štrukturálne fondy EÚ

- Michalko, J., Ferencíková, E., Rúčka, I., Kovářová, A. 1997: Správa o výsledkoch meraní izotopového zloženia kyslíku povrchových a podzemných vôd v oblasti vodného diela Gabčíkovo a Žitného ostrova v roku 1996. Geofond Bratislava.
- Perfler, R., Unterwainig, M., Mayr, E., Neunteufel, R., 2007: The security and quality of drinking water supply in Austria - Factors, present requirements and initiatives. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft. Springer-Verlag Wien, 59 (9-10), pp 125-130.
- Pristaš, J., Halouzka, R., Horníš, J., Elečko, M., Konečný, V., Lexa, J., Nagy, A., Vass, D. and Vozár, J. 1996: Povrchová geologická mapa (Podunajsko - Danreg) 1: 100 000, M-33-143. In: Kováčik, M., Tkáčová, H., Caudt, J., Elečko, M., Halouzka, R., Hušták, J., Kubeš, P., Malík, P., Nagy, A., Petro, M., Pristaš, J., Rapant, S., Remšík, T., Šefara, J. & Vozár, J. Podunajsko - Danreg. Záver. správa. Manuskript, Geofond Bratislava.
- Rodák, D., Ďurkovičová, J., Michalko, J. 1995: The use of stable oxygen isotopes as a conservative tracer in the infiltrated Danube river water. Gabčíkovo part of the hydroelectric power project - environmental impact review, Faculty of Natural sciences, Comenius University, Bratislava, Slovakia
- Scawthorn, C., Ballantyne, D.B., Blackburn, F., 2000: Emergency water supply needs lessons from recent disasters. Water Supply. IWA Publishing, London, United Kingdom, 18 (3) pp. 69-77.
- Scharek, P., Herrmann, P., Kaiser, M. and Pristaš, J., 2000: Map of Genetic types and Thickness of Quaternary sediments. in Császár, G. (Ed.): Danube Region Environmental Geology Programme DANREG Explanatory Notes. Jb. Geol. B. – A. (Wien), 4, 447 - 455
- Sheriff, J.D., Lawson, J.D., Askew, T.E.A., 1996: Strategic resource development options in England and Wales. Chartered Institution of Water and Environmental Management. 10 (3) pp.160-169.
- Schwecke, M., Simons, B., Maheshwari, B. and Ramsay, G., 2008: Integrating alternative water sources in urbanised environments. 2nd International Conference on Sustainable Irrigation Management, Technologies and Policies, Sustainable Irrigation. WIT Transactions on Ecology and the Environment 112, WITPres, United Kingdom, pp. 351-359.
- Verjus, P., 2003: Albien-Neocomien underground water resources. How to safeguard and manage an emergency strategic resource for drinking water. Societe Hydrotechnique de France, Paris, France, pp. 51-56.