

Hidrokemijske in izotopske raziskave podzemne vode na Sorškem polju

Hydrochemical and isotope groundwater investigations in Sorško polje

Janko URBANC¹ & Brigita JAMNIK²

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, SI-1000 Ljubljana;
e-mail: janko.urbanc@geo-zs.si

²JP Vodovod-Kanalizacija d.o.o., Vodovodna cesta 90, SI-1000 Ljubljana;
e-mail: bjamnik@vo-ka.si

Ključne besede: vodonosnik, Sorško polje, podzemna voda, stabilni izotopi, kisik-18
Key words: aquifer, Sorško polje, groundwater, stable isotopes, oxygen-18

Izvleček

Sorško polje je udorina, napolnjena s konglomeratom ter peskom in prodrom, v kateri so akumulirane velike količine podzemne vode. Vodonosnik Sorškega polja je eno od bogatejših vodonosnih območij, ki predstavlja pomemben rezervni vodni vir osrednjega dela Slovenije.

Izvršene hidrokemijske in izotopske raziskave predstavljajo dopolnitev dosedanjih hidrogeoloških raziskav na Sorškem polju. Podajajo zanesljivejšo informacijo o izvoru podzemne vode in o intenzivnosti vpliva lokalnih padavin in reke Save na dinamiko obnavljanja podzemne vode. Opređeljene so značilnosti izotopske sestave kisika v podzemni vodi vodonosnika Sorškega polja ter volumski delež napajanja vodonosnika iz reke Save oziroma iz lokalnih padavin.

Abstract

From the hydrogeological point of view Sorško polje area is a sink, filled with conglomerate, sand and gravel, where large quantities of groundwater are accumulated. Sorško polje aquifer is one of the richest regions of groundwater and represents an important reserve water source for the central part of Slovenia.

The performed hydrochemical and isotope investigations present an independent completion of the previous hydrogeological investigation of Sorško polje. The results of research give more reliable information about the water origin, as well as about the influence of the local precipitation and Sava river water on the dynamics of the groundwater restoration in the aquifer. The research defines the characteristics of oxygen isotope composition of groundwater in the Sorško polje aquifer and determines the volume share of aquifer recharge from the Sava river and from local precipitation.

Uvod

Z vidika rabe prostora je Sorško polje pretežno ravninsko kmetijsko območje na severozahodu od Ljubljane in se razteza na površini okrog 70 km². Na vzhodni strani je polje omejeno z reko Savo, od severozahoda pa se na obrobju polja priključi reka Sora. Osrednji del polja je redko naseljen, večino naselij najdemo na obrobjih polja, tako na vzhodnem robu, kjer naselja potekajo skoraj strnjeno vzporedno s tokom reke Save, kot na zahodni strani ob vznožju Škofjeloškega hribovja.

Preko osrednjega dela polja poteka od severa proti jugu pomembna cestna povezava med Ljubljano in Kranjem, prav tako preko Sorškega polja poteka tudi železniška proga. Vpliv industrijske dejavnosti v prostoru je opazen tako na vstopu na obravnavano območje iz mesta Kranja v smeri proti jugu, kot na območju sotočja rek Save in Sore.

Medzrnski vodonosnik Sorškega polja prištevamo v telo podzemne vode Savska kotlina in Ljubljansko barje. Napaja se s površinsko infiltracijo padavin, potokov s Škofjeloškega hribovja na zahodni strani polja, ter iz reke Save, ki teče po njegovem vzhodnem obrobju. Geološke, hidrološke in hidrogeološke lastnosti vodonosnika so bile raziskane v 60. in 70. letih, tako da so bile spremembe v vodonosniku ob izgradnji akumulacije na reki Savi za potrebe energetskega objekta predvidene in nadzorovane (ŽLEBNIK, 1971, 1975). V kasnejšem obdobju je bilo raziskovalno delo na območju vodonosnika Sorškega polja manj obsežno, zaradi prisotnosti onesnaževal pa je upadel tudi interes izrabe prostora za potrebe oskrbe s pitno vodo v večjem obsegu.

Hidrogeološka karta Sorškega polja (ŽLEBNIK, 1975) kaže, da je padec gladine podzemne vode na severnem delu polja usmerjen od reke Save proti jugu. Na severnem delu polja je gladina

podzemne vode okoli 43 m pod površjem polja, vodonosna plast je debela okrog 77 m. Na osrednjem delu polja je strmina vodne gladine zelo majhna. Gladina podzemne vode v osrednjem delu Sorškega polja je pri nizkem vodnem stanju od 25 do 35 m globoko pod površjem, debelina vodonosne plasti znaša približno 57 m. V osrednjem delu se tok podzemne vode deli v več smeri. Del toka je usmerjen naravnost proti izvirom na jugu in jugozahodu, del pa se usmeri nazaj proti reki Savi. Zaradi vpliva jezusa HE Mavčiče lokalno prihaja do večjih gradientov in sprememb smeri toka iz jugozahodne v vzhodno smer.

Na skrajnem južnem robu Sorškega polja, kjer je gladina podzemne vode okoli 8 m pod površjem, se strmina toka podzemne vode zelo poveča. Na tem območju je vodonosna plast debela le približno 4 m.

V izvire odteka več kot dve tretjini vse podzemne vode iz Sorškega polja, ostanek pa se zaradi vpliva jezusa izliva v Savo v osrednjem delu, večinoma pod rečno gladino. Gladina podzemne vode najmočnejše niha v osrednjem delu polja, kjer je strmec gladine podzemne vode najmanjši, najmanj pa v bližini izvirov.

Na območju Sorškega polja poteka tudi spremljava značilnosti onesnaženja podzemne vode ter njenega količinskega stanja v okviru nacionalnega monitoringa (ARSO, 1992-2005).

Glavni namen raziskav podzemne vode na Sorškem polju je bil dopolnitev dosedanjega poznavanja hidrogeoloških razmer z novimi hidrokemijskimi ter izotopskimi podatki. Na osnovi pridobljenih podatkov je mogoče podrobneje opredeliti, kolikšen je na posameznih delih vodonosnika delež napajanja iz reke Save in kako se le-ta spreminja s tokom podzemne vode oz. z oddaljenostjo od rečne struge.

Vzorčevanje in analize podzemne vode

Redne meritve hidrokemijske in izotopske sestave podzemnih vod ter vode reke Save so potekale v obdobju od februarja 2005 do januarja 2007 na vzorčnih mestih, prikazanih v Tabeli 1.

Tabela 1. Vzorčna mesta

Table 1. Sampling points

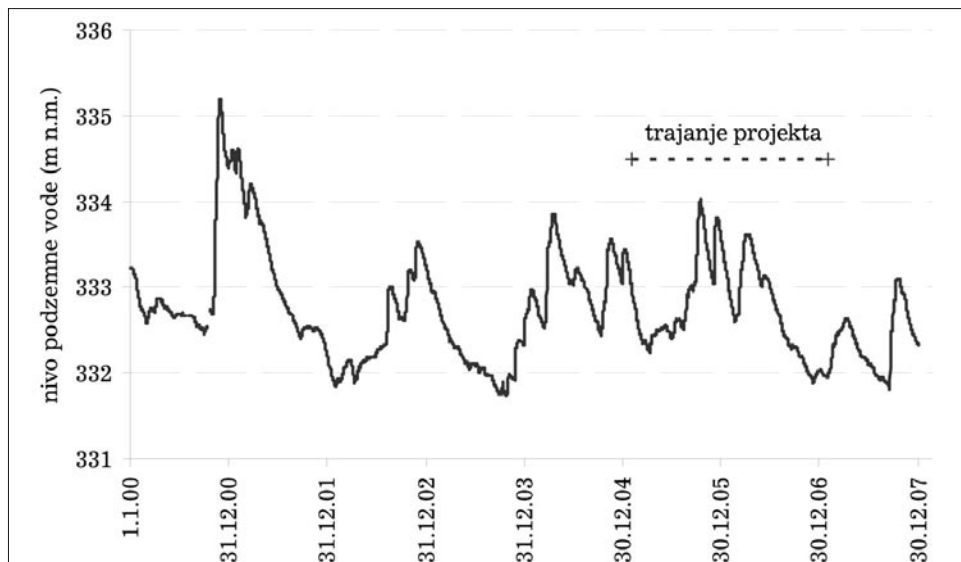
Vzorčno mesto Sampling point	Vrsta objekta Type of object
reka Sava v Kranju river Sava in Kranj	odvzem rečne vode river water sampling
Iskra	industrijski vodnjak industrial well
Žabnica	hišni vodnjak private well
Meja	hišni vodnjak private well
Sv. Duh	hišni vodnjak private well
Podreča	hišni vodnjak private well
Papirnica Goričane	industrijski vodnjak industrial well

Vzorčna mesta so bila izbrana tako, da se prekrivajo z mrežo vzročnih mest nacionalnega monitoringa kakovosti podzemnih voda in so enakomerno razporejena v prostoru. Na ta način je možna primerjava dobljenih rezultatov z ugotovitvami nacionalnega monitoringa podzemnih vod, predvsem glede glavnih onesnaževal na tem območju - nitratov in pesticidov.

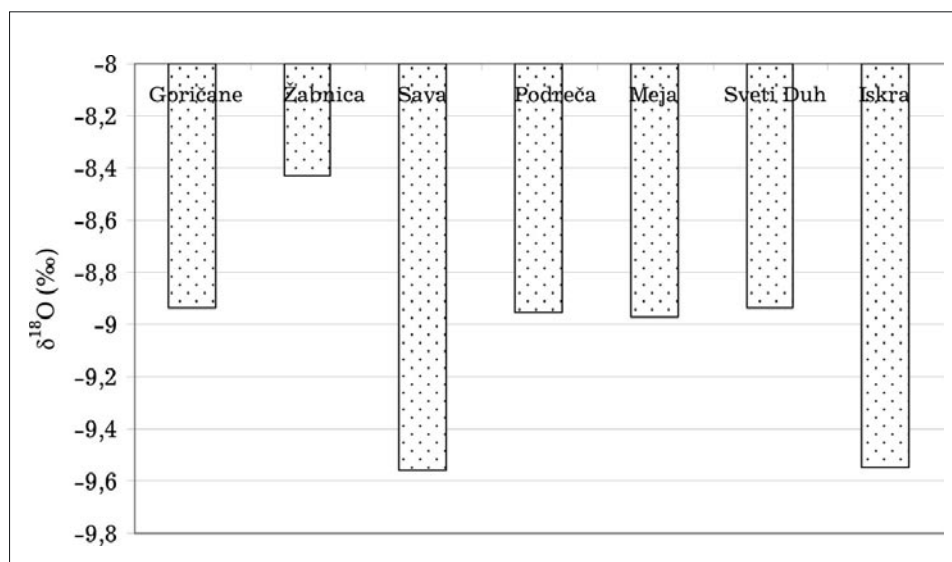
Industrijska vodnjaka sta locirana na območju infiltracije rečne vode v vodonosnik (Iskra) in na območju praznjenja vodonosnika nazaj v rečno strugo (Papirnica Goričane). Hišna vodnjaka Žabnica in Sv. Duh ležita na zahodnem obrobju in sta najbolj oddaljena od struge reke Save ter zato predstavljata območje, kjer je moč pričakovati nižji delež rečne komponente. Hišni vodnjak Meja leži v osrednjem delu polja. Najbližje reki Savi, istočasno pa tudi najbližje jezusu hidroelektrarne Mavčiče, se nahaja hišni vodnjak Podreča.

V vzorcih podzemnih vod so bili analizirani osnovni hidrokemijski parametri, ki odražajo izvor vode ter hidrokemijske procese v vodonosniku:

- pH,
- elektroprevodnost,
- kalcij,
- magnezij,
- kalij,
- natrij,



Slika 1. Nivo podzemne vode na opazovalnem mestu SOV-54
Figure 1. Groundwater level at the observation point SOV-54



Slika 2. Povprečna izotopska sestava kisika v podzemni vodi Sorškega polja

Figure 2. Average $\delta^{18}\text{O}$ isotopic composition of the Sorško polje groundwater

- nitrati,
- kloridi,
- sulfati.

V vzorci podzemne vode je bila analizirana tudi izotopska sestava kisika-18 v vodi.

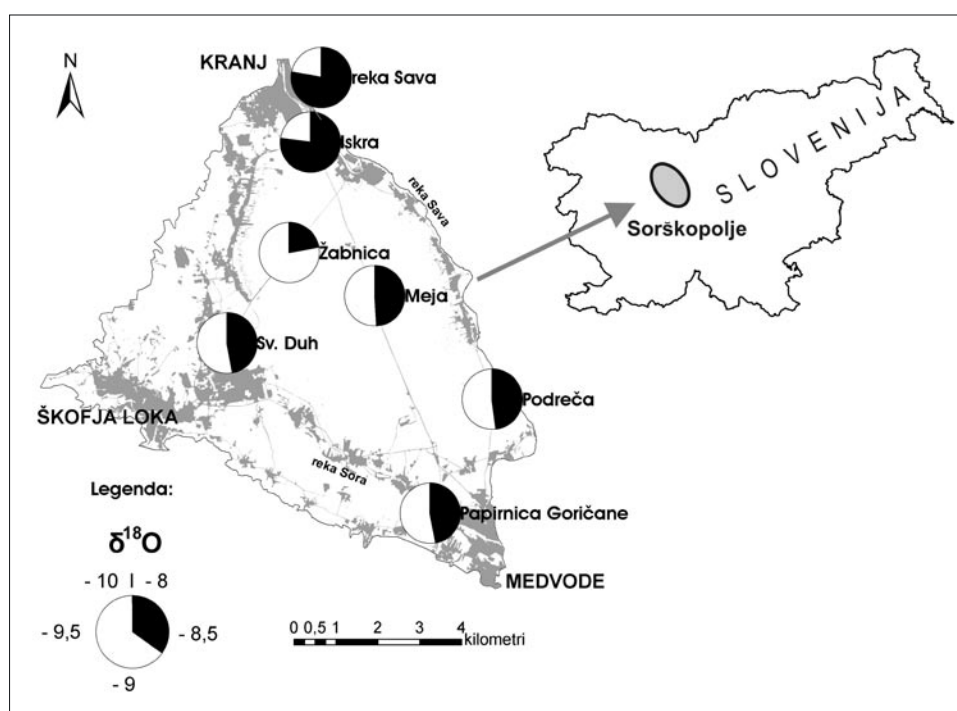
Vzorci so bili odvzeti približno v mesečnih intervalih. Hidrokemijske analize so bile opravljene v laboratoriju JP Vodovod-Kanalizacija Ljubljana, izotopske analize kisika v vodi pa na Inštitutu Jožef Stefan v Ljubljani.

Rezultati in diskusija

Slika 1 prikazuje dolgoročne značilnosti sprememb gladine podzemne vode v osrednjem delu Sorškega polja na opazovalnem mestu SOV-54, ki leži med vzorčnima mestoma Meja in Podreča. Iz slike je razvidno, da je bilo v začetnem in

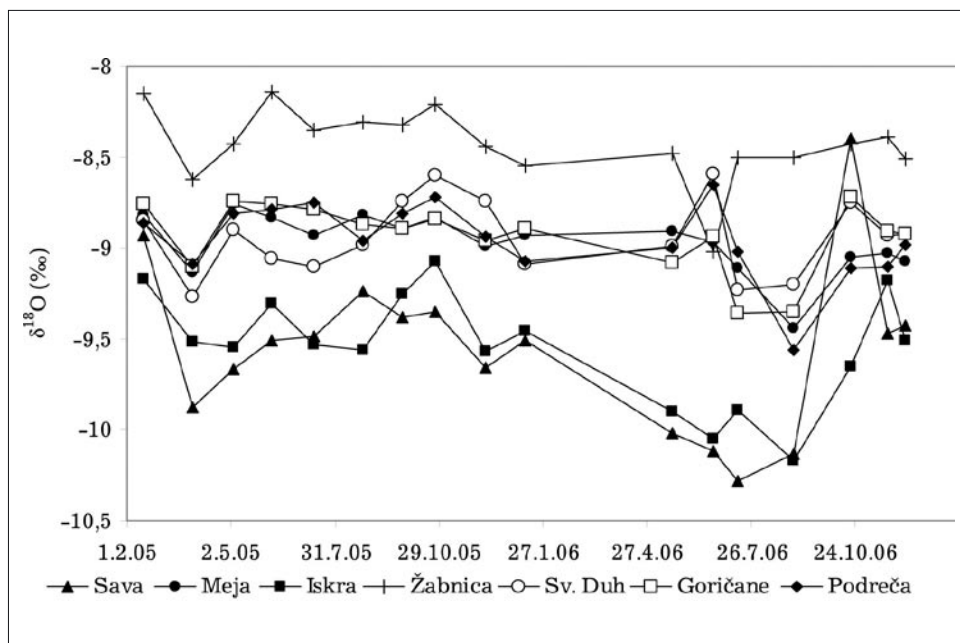
končnem obdobju trajanja projekta stanje izrazito nizkih nivojev podzemne vode, ki je minimum doseglo aprila 2005 in decembra 2006. Pomladni minimum leta 2006 je bil manj izrazit. Najvišji nivoji podzemne vode so bili izmerjeni od jeseni 2005 do pomladi 2006. V času trajanja projekta je razlika med najvišjim in najnižjim nivojem podzemne vode na opazovanem mestu znašala 2,14 m, medtem ko znašajo največje razlike nivojev na tem mestu tudi preko 3 m.

V podzemni vodi Sorškega polja se pojavljata dve glavni komponenti, katerih izotopska sestava kisika je dokaj različna. Prvo komponento predstavljajo lokalne padavine, ki so zaradi nizke nadmorske višine zaledja relativno bolj obogatene s težjim kisikovim izotopom ^{18}O . Druga vhodna komponenta podzemne vode je reka Sava, ki s severovzhodne strani napaja vodonosnik Sorškega polja. Reka Sava je zaradi prevla-



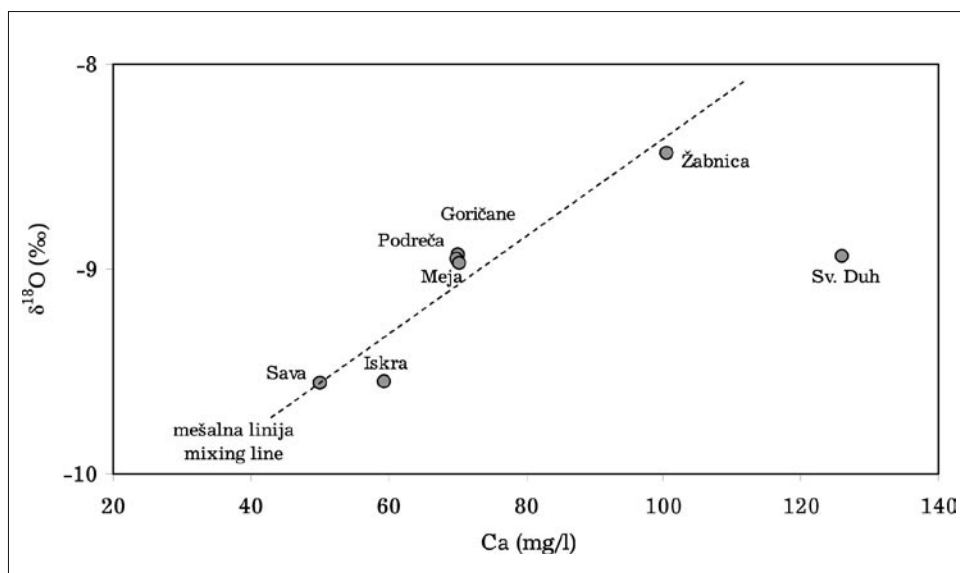
Slika 3. Porazdelitev izotopske sestave kisika v podzemni vodi Sorškega polja

Figure 3. Spatial distribution of the oxygen isotope composition in the Sorško polje groundwater



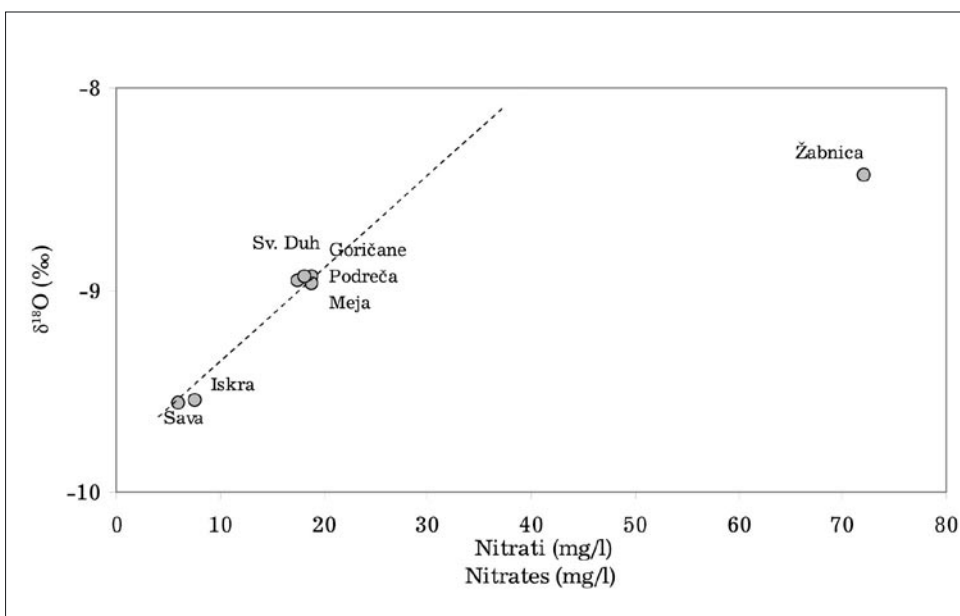
Slika 4. Sezonske spremembe izotopske sestave kisika v podzemni vodi Sorškega polja

Figure 4. Seasonal changes of the oxygen isotope composition in the Sorško groundwater



Slika 5. Razmerje med izotopsko sestavo kisika ter koncentracijo kalcija v podzemni vodi Sorškega polja

Figure 5. Relation between the $\delta^{18}\text{O}$ and calcium concentration in the Sorško groundwater



Slika 6. Odvisnost med izotopsko sestavo kisika in koncentracijo nitratov v podzemni vodi Sorškega polja

Figure 6. Relation between $\delta^{18}\text{O}$ and nitrate concentration in the Sorško groundwater

dujočega gorskega zaledja bolj osiromašena z izotopom ^{18}O , kar se odraža v bolj negativnih vrednostih $\delta^{18}\text{O}$. V vodonosniku prihaja do mešanja obeh komponent, kar je razvidno tudi iz podatkov o izotopski sestavi kisika v podzemni vodi.

Povprečne koncentracije izotopske sestave kisika $\delta^{18}\text{O}$ ter povprečne koncentracije kalcija in nitrata v času projekta so prikazane v Tabeli 2.

Tabela 2. Povprečne izmerjene vrednosti izotopske sestave kisika $\delta^{18}\text{O}$ in povprečna koncentracija kalcija ter nitrata v podzemni vodi Sorškega polja

Table 2. Average $\delta^{18}\text{O}$ isotopic composition and average calcium and nitrate concentration in the Sorško polje groundwater

Vzorčno mesto Sampling point	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Ca (mg/l)	NO_3 (mg/l)
Sava v Kranju	-9,56	50,1	6,0
Iskra	-9,55	59,5	7,6
Žabnica	-8,43	100,6	72,1
Meja	-8,97	70,3	18,8
Sv. Duh	-8,94	126,0	18,2
Podreča	-8,95	70,1	17,5
Papirnica Goričane	-8,93	70,3	18,8

Glede na izotopsko sestavo kisika vzorce podzemnih vod Sorškega polja lahko v splošnem razdelimo v tri skupine (sliki 2 in 3). Prvo skupino vod predstavljata reka Sava in voda iz vzorčnega mesta Iskra, njuna povprečna izotopska sestava kisika znaša približno -9,5 ‰. Glede na izotopsko sestavo vzorca Iskra domnevamo, da v tem vzorcu izrazito prevladuje komponenta vode iz reke Save.

Vzorec Žabnica je v primerjavi z ostalimi vodami najbolj obogaten s težjim kisikovim izotopom, njegova povprečna izotopska sestava znaša -8,4 ‰. Glede na izotopske značilnosti ocenjujemo, da gre za lokalno infiltrirano vodo praktično brez vpliva reke Save, ki odraža nižinske padavine, obogatene z izotopom ^{18}O .

Največjo skupino podzemnih vod s podobno izotopsko sestavo predstavljajo vzorci Meja, Podreča in Goričane. Povprečne vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ v teh vodah se gibljejo med -8,9 in -9,0 ‰. Takšno izotopsko sestavo podzemnih vod lahko interpretiramo kot mešanico lokalno infiltriranih padavin in vode iz reke Save v približno enakih deležih.

Na sliki 4 so prikazane sezonske spremembe izotopske sestave kisika v podzemni vodi Sorškega polja. Izotopska sestava vode iz reke Save kaže dokaj pravilno sinusoidno spremembo izotopske sestave; največjo obogatitev s težjim kisikovim izotopom beležimo v poznem poletju, največje osiromašenje ob koncu zime oziroma ob pričetku pomladi.

Voda iz vodnjaka Iskra po svoji izotopski sestavi kisika izrazito sledi izotopski sestavi vode iz reke Save, kar potrjuje predpostavko o prevladujočem deležu reke Save na tem vzorčnem mestu. Kljub

temu opazamo določeno zakasnitev viškov izotopskega signala, ki je povezana z dolžino pretoka savske vode od rečnega korita do vzorčnega mesta.

Vzorci iz vzorčnih mest Meja, Podreča ter Goričane kažejo zelo podobne značilnosti sprememb izotopske sestave, kar kaže, da je tok podzemne vode v osrednjem delu Sorškega polja dokaj uniformen oziroma homogeniziran. Črpališče v papirnici Goričane leži ob slabo prepustnih kameninah, ki podzemno vodo zajezi. Na osnovi izmerjenih parametrov sklepamo na prevladujoč vpliv podzemne vode iz osrednjega dela polja.

Kljub podobni povprečni izotopski sestavi kisika kaže podzemna voda vzorčnega mesta Sv. Duh precej drugačne izotopske značilnosti. Amplituda izotopskega signala kisika-18 v vodi je večja, kar bi lahko kazalo na večji vpliv površinskih vod. Ker leži vzorčno mesto Sv. Duh na zahodnem delu Sorškega polja, bi bilo takšne izotopske značilnosti možno pripisati vplivu potokov, ki dotekajo z zahodnega obrobja polja.

Ob analizi rezultatov ugotavljamo določeno povezavo med izotopsko sestavo vode ter vsebnostjo raztopljenih karbonatov v vodi. Slika 5 kaže, da se skladno z naraščanjem koncentracije kalcija v vodi povečuje tudi delež težjega kisikovega izotopa ^{18}O v podzemni vodi. Odvisnost med obema parametroma si lahko razložimo s tem, da je v primerjavi z vodo reke Save na območju Sorškega polja intenzivnejše raztapljanje karbonatov v nenasičeni coni vodonosnika zaradi višjega parcialnega tlaka CO_2 v tleh, obenem pa je zaradi nižje nadmorske višine prenikajoča padavinska voda obogatena z ^{18}O . Korelacijsko premico med parametroma torej lahko smatramo kot mešalno linijo obeh vhodnih komponent: vode iz reke Save ter lokalno infiltriranih padavin.

Od mešalne linije zopet odstopa vzorčno mesto Sv. Duh, ki ima ob podobni izotopski sestavi kisika praktično podvojeno koncentracijo kalcija v vodi. Tudi ta podatek kaže, da gre za drugačno vodo, ki se ne podreja zakonitostim mešanja obeh vhodnih komponent, kakršne opazujemo pri ostalih opazovanih vodah Sorškega polja.

Med glavna onesnaževala podzemne vode Sorškega polja lahko prištevamo nitrato (ARSO 1992 - 2005), katerih koncentracija lokalno presega 70 mg/l (Žabnica). Slika 6 prikazuje odvisnost med izotopsko sestavo kisika in koncentracijo nitratov. Iz grafa je razvidno, da imajo vzorci z večjim deležem izotopa ^{18}O tudi višjo koncentracijo nitratov. Takšne rezultate interpretiramo s tem, da je na območjih, kjer je delež lokalnih padavin v podzemni vodi večji, večja tudi stopnja izpiranja dušika v podzemno vodo. Večji delež vode iz reke Save, ki se odraža v osiromašenju vode z izotopom ^{18}O , praviloma pomeni tudi nižjo koncentracijo nitratov. V vodonosniku Sorškega polja torej poteka proces mešanja podzemne vode s savsko vodo, katerega rezultat je zmanjšanje onesnaženosti podzemne vode.

Zaključek

Sorško polje je eden največjih, a malo izkoriščenih podzemnih rezervoarjev pitne vode v Sloveniji. Odločitev za njegovo intenzivnejše varovanje bi pomenila ohranitev možnosti za izkoriščanje podzemne vode tega območja za oskrbo s pitno vodo za prihodnje generacije. Varovanje vodnih virov zahteva velika finančna sredstva, kljub temu pa glede na določbe evropske vodne direktive (DIRECTIVE 2000/60/EC) lahko pričakujemo, da bo ohranitev oziroma izboljšanje kakovosti podzemne vode na Sorškem polju ena od prednostnih nalog varstva okolja v Republiki Sloveniji.

Na osnovi izotopskih in hidrokemijskih raziskav vodonosnika Sorškega polja so bili pridobljeni novi podatki o dinamiki in mešanju podzemnih vod znotraj vodonosnika. Ugotovljeno je bilo, da se v osrednjem delu polja podzemna voda meša z vodo iz reke Save, kar prispeva k razredčenju oziroma manjšemu onesnaženju z različnimi onesnaževali, med katerimi še posebej izstopajo nitrati, katerih koncentracije dosegajo najvišje koncentracije na zahodnem obrobju osrednjega dela polja.

Pridobljeni kvantitativni podatki predstavljajo osnovo za nadaljnje načrtovanje izkoriščanja

podzemne vode Sorškega polja ter ukrepov za njeno zaščito. Na osnovi pridobljenih podatkov bo vzpostavljen hidravlični model, ki bo služil za testiranje različnih scenarijev črpanja podzemne vode ter napovedovanje značilnosti transporta onesnaževal v vodonosniku.

Zahvala

Avtorja se zahvaljujeta Agenciji za raziskovalno dejavnost RS, ki je raziskovalni projekt financirala v okviru raziskovalnega programa P1-0020/215 in raziskovalnega projekta L1-6670-0215-04.

Literatura

Agencija RS za okolje 1992-2005: Nacionalni monitoring kakovosti podzemne vode, 1992 - 2005, Letna poročila o kakovosti podzemnih vod, Ljubljana.

DIRECTIVE 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, Official Journal of the European Communities 22.12.2000.

ŽLEBNIK, L. 1971: Pleistocen Kranjskega, Sorškega in Ljubljanskega polja, Geologija (Ljubljana) 14: 5-51.

ŽLEBNIK, L. 1975: Hidrogeološke razmere na Sorškem polju. Geologija (Ljubljana) 18: 259-288.