

Porazdelitev in izvor nitratov v podzemni vodi Ljubljanskega polja

Distribution and origin of nitrates in the groundwater of Ljubljansko polje

Janko URBANC¹ & Brigita JAMNIK²

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

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

Ključne besede: Ljubljansko polje, vodonosnik, izotopi, dušik-15

Key words: Ljubljansko polje, aquifer, isotopes, Nitrogen-15

Izvleček

Prisotnost nitratov, pomembnih onesnaževal virov pitne vode, v vodonosniku Ljubljanskega polja trenutno še ne predstavlja okoljskega bremena, ki bi nemudoma zahtevalo takojšnje ukrepe. Kljub temu njihova prisotnost opozarja na antropogeni vpliv, ki ni zanemarljiv. V prispevku je obravnavana razširjenost nitratov v vodonosniku Ljubljanskega polja. Podana je ocena vpliva dveh pomembnejših virov nitratov, to je vpliva kmetijstva in vpliva urbane rabe prostora. Obravnavana je porazdelitev nitratov v prostoru in spremembe koncentracije s časom, prav tako je opredeljen glavni vir nitratov v vodonosniku.

Abstract

The presence of nitrates, an important pollutant of drinking water sources, at present doesn't represent an environmental burden that would demand immediate remedial measures in the aquifer of Ljubljansko polje. Nevertheless their presence indicates an anthropogenic influence that can not be neglected. The article discusses the spread of nitrates in the aquifer of Ljubljansko polje and gives an estimation of the influence of two important nitrate sources, the agricultural and urban land use. The distribution of nitrates in the area is also discussed and the concentration changes with time are examined closely. The most important nitrate source in the groundwater is determined on the basis of nitrate-nitrogen isotope study. The results are correlated to the known land use of the urban area.

Sampling for the present study was performed from the autumn 2002 to the summer 2004. The sampling locations were active wells of the public water supply, industrial wells, sampling wells of the existing monitoring network and the Sava river. The results show an uneven distribution of nitrates in the Ljubljansko polje aquifer. Areas with a concentration of up to 40 mg/l can be found, whereas the values in the river bank are low and comparable to those in the river water. On the average the concentration ranges from 20 to 25 mg/l. The nitrate concentration depends largely on the location in the aquifer and does not show significant changes during the time of the research projects, with some exceptions which confirm a local input of nitrates from the surface in the vicinity of the sampling site.

The most positive groundwater nitrate $\delta^{15}\text{N}$ values were found in the area where the groundwater flows from the densely populated area. The least positive values are found in the groundwater, where the sampling site is surrounded by entirely agricultural land. The spatial variation of the nitrogen source is important. The $\delta^{15}\text{N}$ values seem to be more sensitive to nitrate input than the nitrate concentration itself and show changes with time. When the sampling site is far away from the source of contamination the amplitudes of NO_3 concentration and $\delta^{15}\text{N}$ are lower. The reason can be found in the homogenization of the groundwater flow.

Uvod

Nitrate poleg pesticidov prištevamo k glavnim onesnaževalom virov pitne vode. Nitrati nastajajo z oksidacijo organskih snovi, ki vsebujejo dušik. V vodo prihajajo največkrat z izpiranjem gnojil, ki jih uporabljamo v kmetijstvu, ali pa z izpiranjem fekalnih odplak iz netesnih kanalizacijskih sistemov ali greznic.

Ljubljansko polje v primerjavi z nekaterimi drugimi prodnimi vodonosniki na območju Slovenije z nitrati ni obremenjeno do take mere, da kakovost podzemne vode ne bi ustrezala kriterijem za pitno vodo ali merilom dobrega kakovostnega stanja podzemne vode. Čeprav s podatki o koncentracijah nitratov izpred obdobja hitre urbanizacije in intenzivnejše kmetijske pridelave ne razpolagamo, iz porazdelitve koncentracij v prodnih nanosih Save pod urbanimi in kmetijskimi površinami mesta lahko sklepamo, da je koncentracija nitratov na določenih območjih vodonosnika precej višja od naravnega ozadja.

Dosedanje raziskave kažejo, da so meritve izotopske sestave dušika v vodi učinkovito orodje za ugotavljanje izvora nitratov (Yamano et al, 2003). Namen raziskave je bil ugotoviti značilnosti izotopske sestave dušika v nitratih v podzemni vodi Ljubljanskega polja ter na tej osnovi opredeliti glavni vir onesnaženja podzemne vode z nitrati. V raziskavi smo določili tudi prostorsko in časovno variabilnost izotopske sestave dušika v nitratih v podzemni vodi.

Rezultati raziskave opozarjajo na območja vodonosnika, kjer se kažejo odstopanja od vrednosti, ki bi lahko bile pričakovane zgolj zaradi naravnih danosti. Njeni izsledki predstavljajo osnovo za načrtovanje rabe prostora, ki s pitno vodo oskrbuje pomemben delež prebivalcev osrednjega dela Slovenije. Usmeritve evropske okoljske politike ne dopuščajo poslabševanja kakovostnega stanja podzemne vode, zato je pravočasno zaznavanje kakovostnih sprememb v vodonosniku nujno za izvedbo pravočasnih in učinkovitih ukrepov.

Z raziskavo smo želeli doseči več ciljev:

- *Ugotoviti prostorske značilnosti izotopske sestave nitratov na Ljubljanskem polju*
Prostorske značilnosti izotopske sestave nitratov smo ugotavljali na osnovi mreže vzorčnih mest, ki so bila izbrana tako, da njihova zaledja predstavljajo

različne vrste rabe prostora (kmetijsko ali urbano zaledje).

- *Ugotoviti časovno spremenljivost izotopske sestave nitratov*

Ugotavljali smo spreminjanje izotopske sestave dušika v podzemni vodi s časom. Obdobje opazovanj je trajalo od jeseni 2002 do poletja 2004. Na ta način smo se izognili specifičnim značilnostim, ki se pojavijo znotraj letnega ciklusa zaradi ekstremnih vremenskih razmer, kakor tudi eventualnim izjemnim antropogenim vplivom, kar bi lahko prispevalo k napačnemu razumevanju in interpretaciji rezultatov.

- *Opredeliti izvor nitratov – razmejitev med vplivom umetnih gnojil ter vplivom organskih gnojil oziroma drugih organskih onesnaževalcev*

V tem delu raziskave smo na osnovi izotopske sestave dušika skušali razmejiti vplive zaradi gnojenja z mineralnimi gnojili od vplivov dušika organskega izvora (fekalne odplake, gnojevka, gnoj).

Opis obravnavanega območja

Vodonosnik Ljubljanskega polja se razprostira na vzhodnem delu Ljubljanske kotline, ki jo je s pleistocenskimi in holocenskimi prodnimi nanosi zapolnila reka Sava (Žlebnik, 1971, Drobne et al., 1997). Pleistocenski nanosi so ponekod globlji od 100 m. Struga Save danes poteka po severnem delu ravnice. Neprepustna podlaga z rečnimi nanosi zasute kotanje je sestavljena iz skrilavcev in peščenjakov karbonske in permske starosti. Med dobro prepustnimi peščeno prodnimi nanosi se občasno nahajajo manj prepustne leče konglomerata, glina in melj, kar je vzrok za precejšnje lokalne spremembe hidravlične prevodnosti.

Globina do gladine podzemne vode, ki je nagnjena v smeri od severo-zahoda proti jugo-vzhodu, je večja v zahodnem delu Ljubljanskega polja in manjša vzdolž reke Save. Hidravlična prepustnost vodonosnih plasti Ljubljanskega polja je visoka, od $1,2 \times 10^{-2}$ m/s v osrednjem delu polja do $3,7 \times 10^{-3}$ m/s na robu polja in še nekoliko nižja ob vznožju hribovja med Mednim in Zalogom. Eksperimentalno določena hitrost toka podzemne vode znaša okrog 25 m/dan (Auersperger et al, 2005), ocenjuje pa se, da znašajo hitrosti podzemne vode na tem območju v razponu od nekaj metrov do nekaj deset metrov na dan.

Podzemna voda na Ljubljanskem polju se hitro obnavlja, kar pomeni, da se onesnaževala iz vodonosnika relativno hitro odplavijo s tokom vode, obstoji pa tudi stalna nevarnost hitrega vdora onesnaževal s površine ali reke Save v vodonosnik (Auersperger et al, 2005). Peščeno-prodni vodonosnik Ljubljanskega polja se namreč v glavnem napaja iz dveh komponent, reke Save, ki infiltrira v vodonosnik na stiku s prodnimi sedimenti ter iz padavin, ki se infiltrirajo do vodonosnih plasti na samem Ljubljanskem polju. Deleža omenjenih komponent v podzemni vodi sta lahko v različnih delih vodonosnika dokaj različna. Na delež reke Save v podzemni vodi vpliva glavni tok podzemne vode, ki je vzporeden z reko Savo, tako da v osrednjem delu vodarne Kleče, ki je od infiltracijskega območja na območju Roj oddaljena že 3 km, najdemo pretežno rečno vodo in manjši del padavinske komponente (Jamnik & Urbanc, 2000). Dolvodno lahko privzamemo, da se povečuje tudi delež lokalne padavinske vode v podzemni vodi. Obe napajalni komponenti sta izpostavljeni različnim virom onesnaženja, zato obstaja odvisnost med njunim razmerjem mešanja in kemijsko sestavo podzemne vode.

Reka Ljubljanica, ki je prepoznaven okoljski element Ljubljanske kotline, na območju do Fužin zaradi nepropustne struge ne vpliva na hidrokemijske razmere v vodonosniku Ljubljanskega polja, dolvodno pa del podzemne vode drenira v reko Ljubljanico. Glavnina dinamičnega dela podzemne vode na vzhodnem delu Ljubljanskega polja drenira v reko Savo, nekaj podzemne vode pa odteka v izvire, ki tudi v sušnem obdobju ne presahnejo.

Metode

Načrt vzorčevanja je bil zasnovan tako, da smo lahko spremljali značilnosti sprememb izotopske sestave dušika v nitratih vzdolž toka podzemne vode od severozahodnega dela Ljubljanskega polja, pod osrednjim delom mesta ter naprej proti vzhodu. Vzorčna mesta ležijo na desnem bregu reke Save v osrednjem delu polja, kjer je območje, ki se izkorišča za potrebe javne oskrbe s pitno vodo. Levi breg Save, kjer leži vodarna Jarški prod, je manj obremenjen z nitrati, zato ni bil vključen v raziskavo.

V načrt vzorčevanja je bilo zajetih 14 vzorčnih mest podzemne vode: vodnjaki iz črpalšč vodovodnega sistema (VD Kleče-8,

VD Kleče-11, VD Kleče-17, VD Šentvid-2a, VD Hrastje-1a, VD Hrastje-3), industrijski vodnjaki (VD Yulon, VD Dekorativna, VD Geo-ZS) in piezometri oz. vodnjaki (VD Vodovodna, BŠV-1/99, Hrastje AMP, VD Navje) ter reka Sava (slika 1). Nekatera vzorčna mesta so bila opazovana mesečno, druga pa v trimesečnih intervalih v obdobju od oktobra 2003 do poletja 2004 (Tabela 1).

Osnovni kemijski parametri podzemnih vod so bili analizirani v laboratoriju JP Vodovod-Kanalizacija, meritve izotopske sestave dušika pa so potekale na Institutu J. Stefan v Ljubljani. Nitrati so bili izolirani iz vode na Biorad AG1-X8 izmenjevalni koloni (Silva et al., 2000). S kolone so bili izprani z 3N HCl raztopino in nevtralizirani s srebrovim oksidom (Merck) do pH 6. Raztopina je bila prefiltrirana in liofilizirana. Sušina je bila analizirana s pretočnim masnim spektrometrom za stabilne izotope Evropa 20-20, povezanim z elementnim analizatorjem.

Natančnost meritev je bila kontrolirana z referenčnimi materiali IAEA NO₃, USGS25 in USGS26. Analitska napaka je znašala +/- 0.2 promila, merilna negotovost celotnega postopka je bila manjša od +/- 0.4 promila.

Izotopska sestava dušika v podzemnih vodah

Dušik ima dva stabilna izotopa, ¹⁴N in ¹⁵N. Izotop ¹⁴N močno prevladuje, saj v atmosferskem dušiku najdemo 99,64 % izotopa ¹⁴N in samo 0,36 % izotopa ¹⁵N. Izotopsko sestavo dušika izražamo v promilih. Raziskave kažejo, da so izmerjene vrednosti dušika v razponu od približno - 50 ‰ do + 50 ‰, čeprav se večina izmerjenih vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ giblje v precej ožjem območju, med - 10 ‰ in + 20 ‰. Izotopska sestava atmosferskega dušika znaša 0 ‰ in se praktično ne spreminja, zato se uporablja kot standard pri meritvah izotopske sestave.

Prevelika uporaba gnojil izrazito poveča koncentracijo nitratov v podzemni vodi. Anorganska (umetna) gnojila so proizvedena iz atmosferskega dušika in vključujejo ureo ter amonijev in kalijev nitrat. Ta gnojila imajo izotopsko sestavo dušika vrednosti dokaj blizu zračnemu dušiku, zato se njihove $\delta^{15}\text{N}$ vrednosti gibljejo med - 4 ‰ in + 4 ‰ (Kendall, 1998).

Organska gnojila, kamor prištevamo hlevski gnoj, gnojevko in gnojnico ter tudi t.i. ze-

lena gnojila, so mnogo bolj obogatena s težjim dušikovim izotopom. V organskih gnojilih se večina vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ giblje med 10 in 20 ‰. Za ta gnojila je značilen tudi mnogo večji razpon $\delta^{15}\text{N}$ vrednosti, vrednosti znašajo tako od +2 do +30 ‰.

Med organskimi ter anorganskimi gnojili obstaja torej precejšnja razlika v izotopski sestavi dušika, ki jo je možno uporabiti za ugotavljanje izvora nitratov v podzemnih vodah.

Izotopska sestava dušika v podzemni vodi se lahko močno spremeni proti pozitivnim vrednostim $\delta^{15}\text{N}$ zaradi denitrifikacijskih procesov. Ker so ti procesi značilni predvsem za redukcijsko okolje (Kendall, 1998) ocenjujemo, da v vodonosniku Ljubljanskega polja niso zelo izraziti, saj gre v tem primeru za dobro prezračen vodonosnik z dovolj kisika.

Interpretacija rezultatov

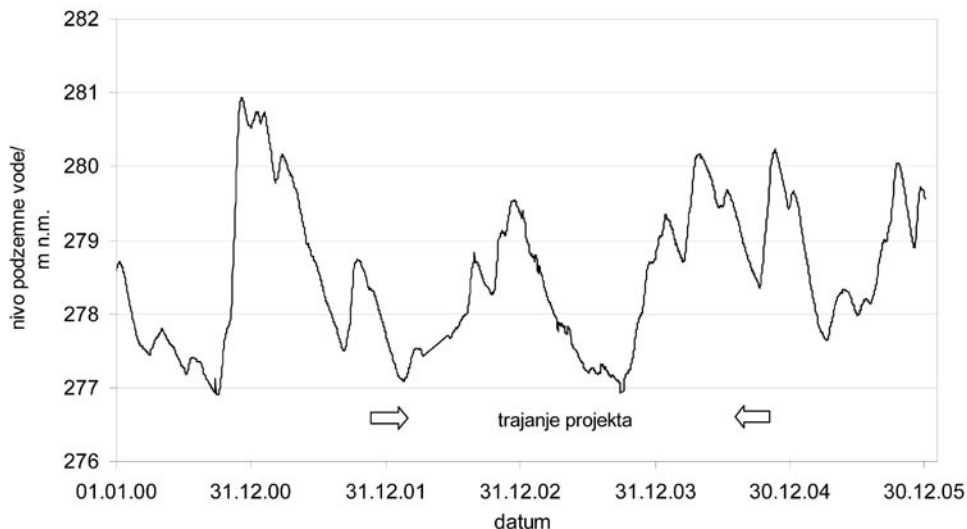
Podzemna voda Ljubljanskega polja po hidrokemijski klasifikaciji spada v kalcijevo-magnezijsko-hidrokarbonatni tip vod. Rezultati meritev koncentracij kalcija se večinoma gibljejo v intervalu od 70–90 mg/l, magnezija pa od 15–25 mg/l.

Slika 1 prikazuje spreminjanje nivoja podzemne vode v osrednjem delu Ljubljanskega polja na opazovalnem mestu VD Vodovodna v obdobju 2000–2005. Potek dia-

grama kaže, da je bil minimum nivoja podzemne vode v jesenskem obdobju sušnega leta 2003 zelo izrazit, temu pa je sledil intenziven dvig do lokalnega maksimuma spomladi 2004. Razlika med najvišjim in najnižjim nivojem podzemne vode je na opazovalnem mestu VD Vodovodna v času trajanja projekta znašala približno 4 m.

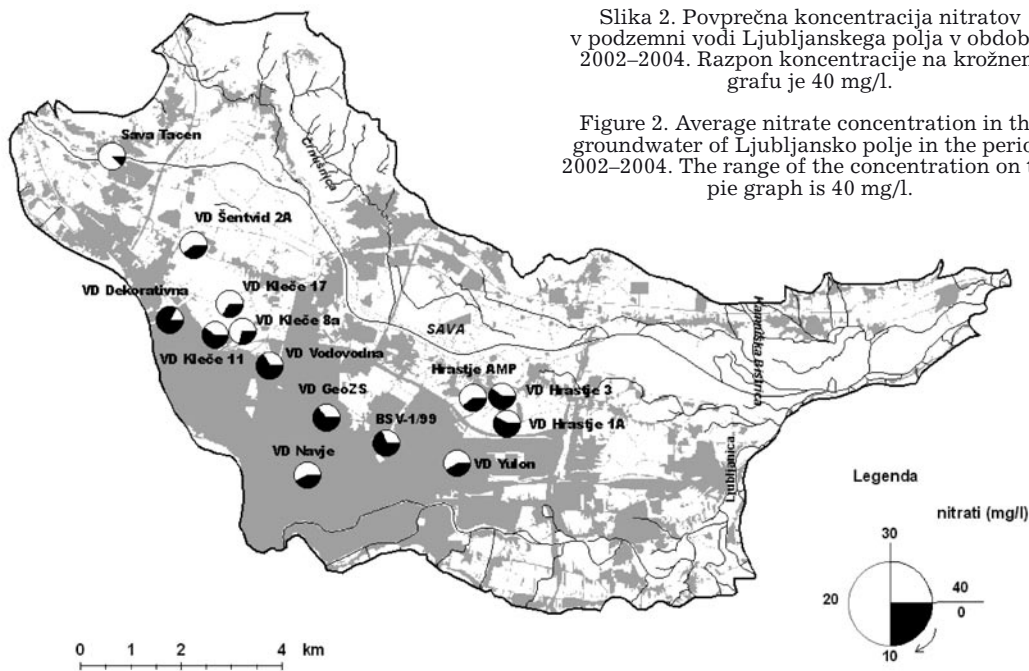
Slika 2 kaže lokacije vzorčnih mest, istčasno pa tudi značilnosti pojavljanja nitratov v podzemni vodi Ljubljanskega polja. Razpon koncentracij na krožnem grafu je 40 mg/l. Najpogostejša koncentracija se giblje od 20–25 mg/l, najdemo pa tudi območja, kjer se koncentracija že približuje 40 mg/l, kakor tudi območja, ki so z nitrati malo obremenjena. Manj obremenjena so predvsem območja ob reki Savi, saj se v reki Savi kot izvoru podzemne vode in v obrežnem pasu koncentracija nitratov v povprečju giblje okrog 5 mg/l. Prisotnost nitratov v podzemni vodi je v povezavi tudi z drugimi indikatorji onesnaženosti podzemnih voda (Jamnik & Urbanc, 2000).

Koncentracija nitratov v vodnjakih na obrobju vodarne Kleče je izrazito večja kot v vodnjakih v osrednjem delu vodarne. Vzrok relativno nizke koncentracije nitratov v osrednjem delu vodarne Kleče je moč pripisati hitremu toku podzemne vode, v katerem prevladuje komponenta reke Save in v kateri je koncentracija nitratov dokaj nizka. Najvišjo koncentracijo nitratov opazimo na zahodnem obrobju vodonosnika Ljub-



Slika 1. Nihanje nivoja podzemne vode na opazovalnem mestu VD Vodovodna.

Figure 1. The groundwater level changes on VD Vodovodna sampling site.



Slika 2. Povprečna koncentracija nitratov v podzemni vodi Ljubljanskega polja v obdobju 2002–2004. Razpon koncentracije na krožnem grafu je 40 mg/l.

Figure 2. Average nitrate concentration in the groundwater of Ljubljansko polje in the period 2002–2004. The range of the concentration on the pie graph is 40 mg/l.

ljanskega polja. V osrednjem delu polja koncentracija nitratov s tokom podzemne vode rahlo narašča, južno od vodarne Hrastje dosega koncentracije nitrata ponovno nekoliko nižje vrednosti.

Značilnost vode reke Save je, da poleg nizke koncentracije nitrata iona izkazuje dokaj negativno povprečno izotopsko sestavo dušika (Tabela 1). Vrednosti $\delta^{15}\text{N}$ so se gibale v območju od 2,6–4,6 ‰.

Na severozahodnem območju Ljubljanskega polja, kjer je bil v sklop odvzemnih mest vključen aktivni vodnjak vodarne Šentvid, je pričakovan večji delež vode reke Save (Urbanč & Jamnik, 1998), posledično lahko opazimo nekoliko nižjo koncentracijo nitratov od povprečja, ki velja za Ljubljansko polje. Časovni niz sprememb koncentracije nitratov in izotopske sestave dušika v podzemni vodi v vodnjaku VD Šentvid-2a vzporedno z vodnjakoma VD Kleče-11 in VD Hrastje-1a je prikazan na slikah 3 in 4. Vodnjak VD Kleče-11 je bil izbran kot eno najbolj obremenjenih mest v vodarni Kleče, zato je koncentracija nitratov na tem mestu tudi do dvakrat višja kot v osrednjem delu vodarne. Pomembnejših nihanj v koncentraciji nitratov na posameznih odvzemnih mestih aktivnih vodnjakov vodarn ne opazimo. Koncentracija nitratov znotraj vodarne Kleče je v večji meri odvisna od lokacije od-

Tabela 1. Povprečne koncentracije nitratov, kloridov, sulfatov in izotopske sestave dušika v nitratih ($\delta^{15}\text{N}$) v podzemni vodi Ljubljanskega polja.

Table 1. Average concentrations of nitrates, chlorides, sulphates and isotopic composition of nitrogen in nitrates ($\delta^{15}\text{N}$) in the groundwater of Ljubljansko polje.

Vzorčno mesto	nitrat mg/l	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
VD Šentvid-2a	15,7	7,4
VD Kleče-11	24,2	5,8
VD Geo-ZS	26,1	6,5
BŠV-1/99	28	6,7
VD Yulon	16,4	7,6
VD Hrastje-1a	23,1	7,0
reka Sava*	4,9	4,2
VD Kleče-8a*	12,1	7,6
VD Kleče-17*	14	6,9
VD Vodovodna*	28,3	5,5
VD Dekorativna*	33,2	8,8
VD Navje*	28,3	9,4
Hrastje AMP*	16,5	6,6
VD Hrastje-3*	24,0	6,1

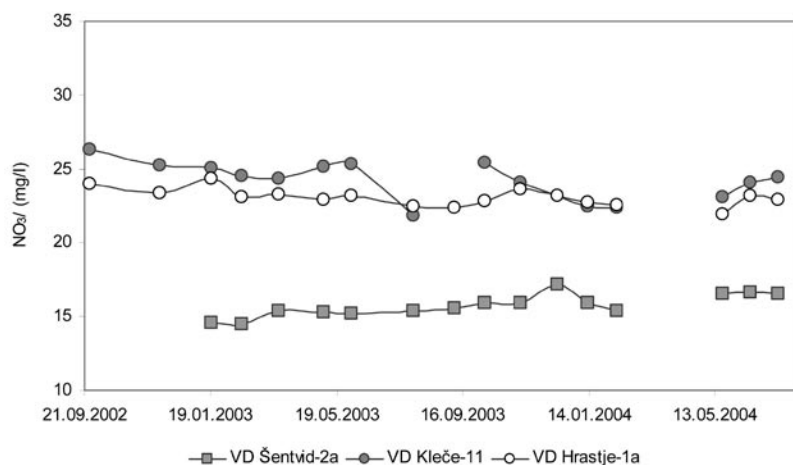
* vzorčenje v trimesečnih intervalih v obdobju od oktobra 2003 – julija 2004.

vzema, kot od sprememb v času hidrološkega leta.

V opazovanem časovnem obdobju je prišlo do maksimuma v izotopski sestavi dušika konec leta 2003 in v pozno pomladnem obdobju 2004 (slika 4). Prvi maksimum povezujemo z vnosom nitratov organskega izvora s prihodom jesenskih padavin 2003, ki so sledile zelo dolgotrajnemu sušnemu obdobju, drugi maksimum pa je opazen zgolj na območjih s kmetijskim zaledjem (vodarni Kleče in Šentvid) in ga pripisujemo vnosu dušika v obliki organskih gnojil v pomladnem obdobju 2004. Na območjih z izrazitim nekmetskim zaledjem (BSV-1/99, VD Geo-ZS, VD Yulon) pomladni maksimum v letu 2004 tudi ni tako izrazit (slika 5 in slika 6). Dvig izotopske sestave dušika v jesenskem obdobju 2003 pripisujemo obojema izvoroma organskega dušika. Prvi, nižji maksimum na krivulji, ki pripada VD Šent-

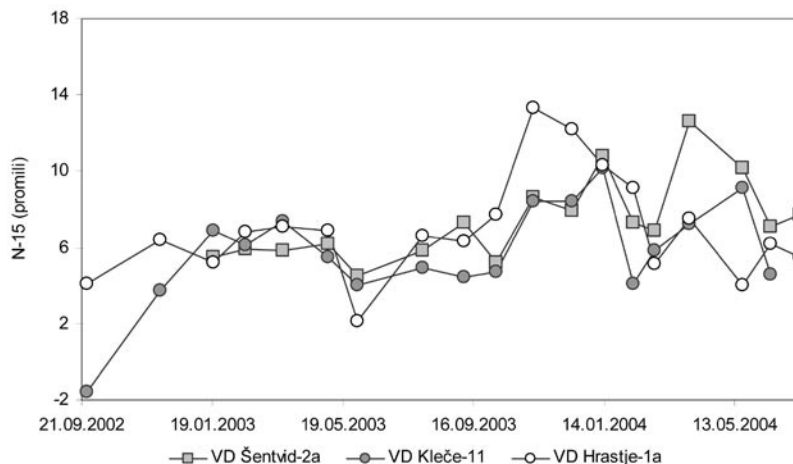
vid-2a v primerjavi z drugim maksimumom potrjuje tezo o obeh izvorihih in kaže na prevladujoč vpliv organskega dušika s kmetijskih površin v pomladnem obdobju.

Visok prvi maksimum v izotopski sestavi dušika v VD Hrastju-1a kaže na dotok podzemne vode izpod mestnih površin in organskega dušika, ki izvira iz kanalizacijskega omrežja. Na severu vodarne Hrastje, kjer je bil v raziskavo vključen VD Hrastje-3, je povprečna izotopska sestava dušika nižja, torej je prisoten večji delež mineralnega dušika, kot na jugu Hrastja. Medtem ko je koncentracija nitratov na severu vodarne Hrastje v izrazitem naraščanju (Jamnik et al, 2003), koncentracija nitratov na južnem delu vodarne ne kaže bistvenih sprememb. Če ugotovitev o porazdelitvi koncentracij nitratov povežemo s povprečno izotopsko sestavo dušika, le-ta odraža uporabo mineralnih gnojil na kmetijskih po-



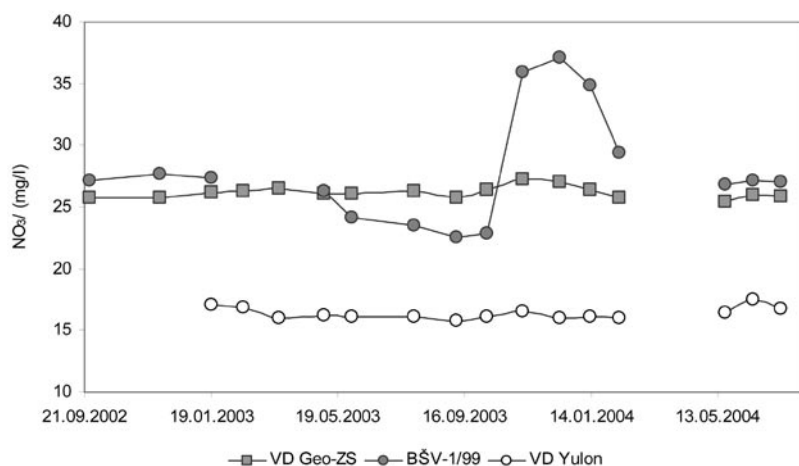
Slika 3. Spreminjanje koncentracije nitratov v vodnjakih vodarn na Ljubljanskem polju (VD Šentvid-2a, VD Kleče-11 in VD Hrastje-1a).

Figure 3: Temporal variations of the nitrate concentration in the abstraction wells of public water supply at Ljubljansko polje.



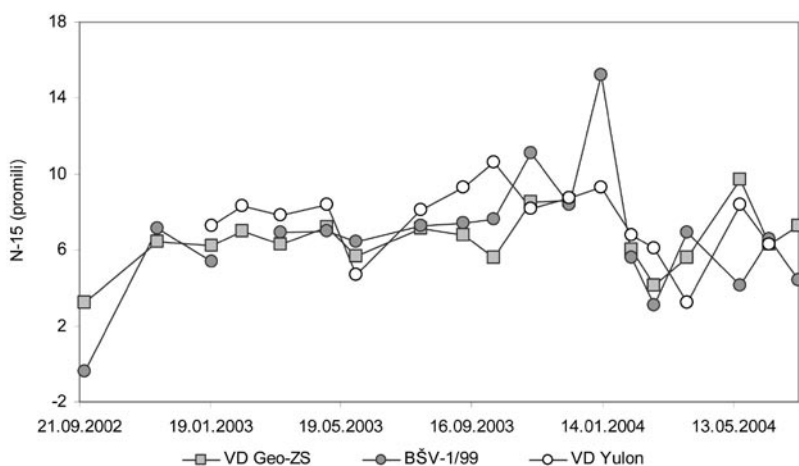
Slika 4. Spreminjanje izotopske sestave dušika v nitratih v vodnjakih vodarn na Ljubljanskem polju (VD Šentvid-2a, VD Kleče-11 in VD Hrastje-1a).

Figure 4: Temporal variations of nitrogen isotope composition in the nitrates from the abstraction wells of public water supply at Ljubljansko polje.



Slika 5. Spreminjanje koncentracije nitratov v vodnjakih na Ljubljanskem polju z nekmetijskim zaledjem (VD Geo-ZS, BŠV-1/99 in VD Yulon).

Figure 5: Temporal variations of nitrate concentrations in the industrial wells with non-agricultural catchment area.



Slika 6. Spreminjanje izotopske sestave dušika v vodnjakih na Ljubljanskem polju z nekmetijskim zaledjem (VD Geo-ZS, BŠV-1/99 in VD Yulon).

Figure 6: Temporal variations of the nitrate isotope composition in the industrial wells with non-agricultural catchment area.

vršinah na območju vodarne Hrastje, kjer se odvija intenzivna vrtnarska pridelava za trg.

V časovni odvisnosti koncentracije nitratov v jesenskem obdobju 2003 opazimo visok maksimum na mestu BŠV-1/99 (slika 5), na mestu VD Hrastje-1a pa ne. Zaključujemo, da je poglavitni vzrok izrazito lokalno izpiranje onesnaževala iz netesnega kanalizacijskega omrežja. Na tem mestu prihaja do največjih nihanj v koncentraciji nitratov, kar ne pripisujemo vplivu razlik v dinamiki toka podzemne vode, ampak predvsem lokalnim in časovno odvisnim vplivom onesnaževanja.

Iz povprečne izotopske sestave $\delta^{15}\text{N}$ v nitratih (slika 7) je razvidno, da največjo obogatitev s težjim dušikovim izotopom najdemo v urbanih predelih mesta: VD Navje, VD Dekorativna, VD Yulon. Na prispevnem območju vodarne Hrastje je izotopska sestava

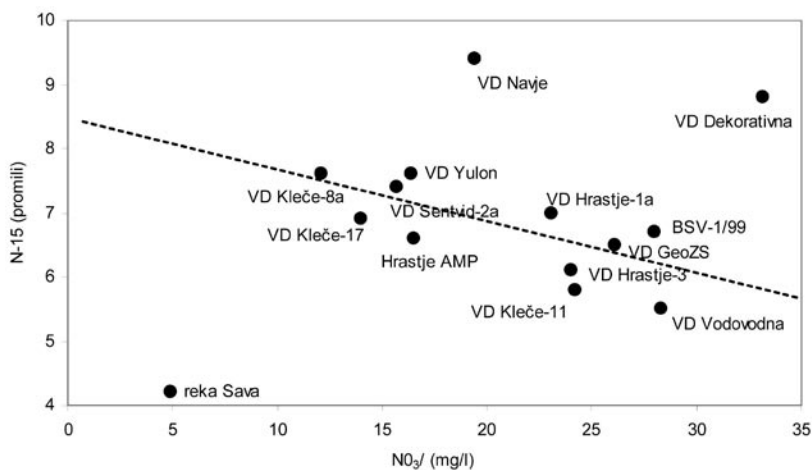
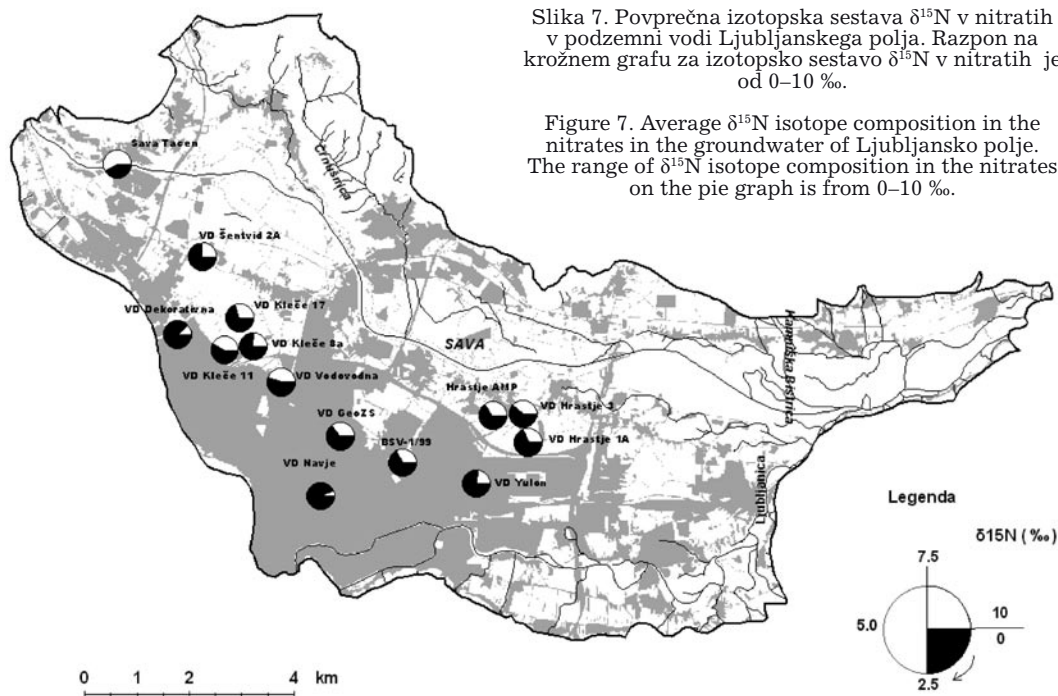
za $\delta^{15}\text{N}$ v nitratih nekoliko nižja kot na prispevnem območju vodarne Kleče, kar pomeni, da je delež mineralnega dušika v nitratih v osrednjem delu vodonosnika večji kot v njegovem severo-zahodnem delu.

Slika 8 prikazuje odvisnost povprečne vrednosti izotopske sestave $\delta^{15}\text{N}$ v nitratih kot funkcijo koncentracije nitratov. Opazovalni mesti VD Navje in VD Dekorativna izkazujeta najbolj pozitivne vrednosti izotopske sestave dušika, med njima pa je občutna razlika v koncentraciji nitratov.

Večina ostalih vzorčnih mest na grafu 8 je razporejenih ob padajoči liniji obratne odvisnosti med koncentracijo in izotopsko sestavo nitratov. Ob poviševanju koncentracije nitratov torej beležimo vse bolj negativne vrednosti $\delta^{15}\text{N}$, kar lahko pomeni povečevanje deleža dušika iz anorganskih gnojil. V takšnem primeru bi torej lahko ocenili, da ima z nitraty najbolj obremenjena podzemna

Slika 7. Povprečna izotopska sestava $\delta^{15}\text{N}$ v nitratih v podzemni vodi Ljubljanskega polja. Razpon na krožnem grafu za izotopsko sestavo $\delta^{15}\text{N}$ v nitratih je od 0–10 ‰.

Figure 7. Average $\delta^{15}\text{N}$ isotope composition in the nitrates in the groundwater of Ljubljansko polje. The range of $\delta^{15}\text{N}$ isotope composition in the nitrates on the pie graph is from 0–10 ‰.



Slika 8. Povprečna izotopska sestava $\delta^{15}\text{N}$ v nitratih v podzemnih vodi Ljubljanskega polja v odvisnosti od povprečne koncentracije nitrata.

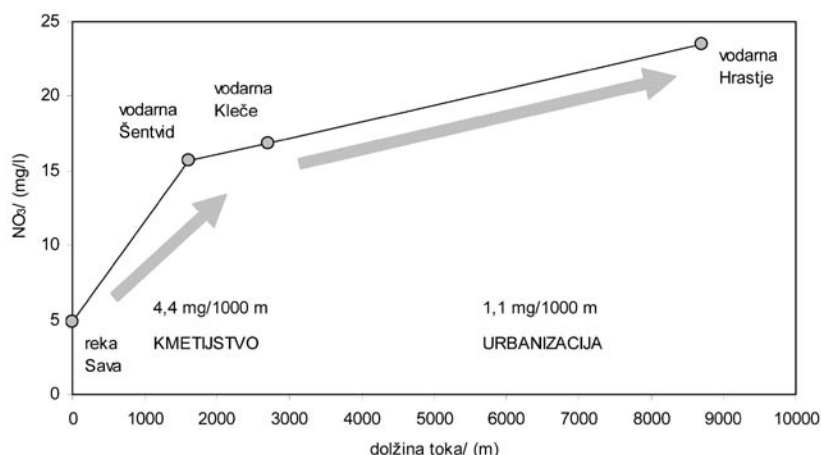
Figure 8. Average $\delta^{15}\text{N}$ isotope composition in the nitrates in the groundwater of Ljubljansko polje versus nitrate concentration.

voda prevladujoč delež dušika iz kmetijskih površin.

Na sliki 9 je shematsko prikazan dvig koncentracije nitrata vzdolž toka podzemne vode od reke Save preko vodarne Kleče do juga vodarne Hrastje. Koncentracija nitrata med obema vodarnama narašča z manjšo intenzivnostjo kot na območju med Savo in vodarno Kleče. Med vodarnama Kleče in Hrastje je kmetijskih površin bistveno manj,

zato v tem delu pripisujemo naraščanje koncentracije nitrata v vodi predvsem vplivom iz urbanih območij.

Kljub hitri dinamiki podzemne vode in kratkemu zadrževalnemu času na poti od reke Save do vodarne Kleče je torej vpliv kmetijske rabe prostora na koncentracijsko raven nitrata v podzemni vodi Ljubljanskega polja na tem območju zelo intenziven.



Slika 9. Koncentracije nitratov vzdolž toka podzemne vode preko vodarne Kleče do vodarne Hrastje.

Figure 9. Nitrate concentration along groundwater flow through Kleče towards Hrastje waterworks.

Zaključki

V podzemni vodi Ljubljanskega polja koncentracije nitratov večinoma ne presegajo 30 mg/l, na ožjih območjih, kjer se podzemna voda koristi za potrebe javne oskrbe, so koncentracije pretežno še nižje. Vzrok, da koncentracije nitratov v podzemni vodi ne presegajo mejnih vrednosti, lahko iščemo v hitrem toku podzemne vode pod kmetijskimi in urbanimi površinami ter vplivu vode iz reke Save, v kateri je koncentracija nitratov občutno nižja.

Študija je pokazala na večji delež obremenjevanja podzemne vode iz kmetijske dejavnosti v primerjavi z nitrati iz urbanih območij. Zaradi tega bo v prihodnje izjemnega pomena usmerjanje kmetovanja s ciljem ohranitve kakovostnega stanja podzemne vode v vodonosniku Ljubljanskega polja. Ugotovljeno je bilo, da je delež dušika anorganskega izvora na prispevnem območju vodarne Kleče nižji kot na severnem območju vodarne Hrastje. To bi lahko pomenilo, da dosedanje usmerjanje rabe kmetijskega prostora na območju vodarne Kleče bolj sledi zahtevam po trajnostnem gospodarjenjem s kmetijskim prostorom kot v osrednjem delu vodonosnika. Na nobenem od obravnavanih območij ne bi smeli dopustiti takšne kmetijske prakse, ki bi negativno vplivala na kakovost vode v vodonosniku.

Zahvala

Avtorja se zahvaljujeta JP Vodovod-Kanalizacija d.o.o. in upravi Mestne občine Ljubljana – Zavodu za varstvo okolja in Oddelku za gospodarske dejavnosti in tu-

rizem, ki so raziskovalni projekt finančno podprli.

Literatura

- Auersperger, P., Čenčur Curk, B., Jamnik, B., Janža, M., Kus, J., Prestor, J. & Urbanc, J. 2005: Dinamika podzemne vode. V: Rejec Brancelj, I. (ur.), Smrekar, A. (ur.), Kladnik, D. (ur.), Perko, D. (ur.), Andjelov, M. Podtalnica Ljubljanskega polja, (Geografija Slovenije, 10). Ljubljana: Založba ZRC, str. 39–61.
- Drobne, F., Mencej, Z. & Brilly, M., 1997: Preveritve in dopolnitve strokovnih osnov za določitev varstvenih pasov sedanjih in perspektivnih vodnih virov za območje mesta Ljubljane in okolice. Delovno poročilo Inštituta za geologijo, geotehniko in geofiziko, arh.št. K-II-30d/c 1/784, Ljubljana.
- Jamnik, B. & Urbanc, J. 2000: Izvor in kakovost podzemne vode Ljubljanskega polja = Origin and quality of groundwater from Ljubljansko polje. – RMZ-mater. geoenviron., 47/2., 167–178.
- Jamnik, B., Železnik Bračič, B. & Urbanc, J. 2003: Diffuse pollution of water protection zones in Ljubljana, Slovenia. Proceedings of the 7th International Specialised Conference on Diffuse Pollution and Basin Management, 2, 7/1–7/5, Dublin.
- Kendall, C. 1998: Tracing nitrogen sources and cycling catchments. – Isotope Tracers in Catchment Hydrology, 519–576, Elsevier, Amsterdam.
- Silva, S. R., Kendall, C., Wilkinson, D. H., Ziegler, A. C., Chang, C. C. Y. & Avanzino, R.J., 2000: A new method for collection of nitrate from fresh water and analysis of nitrogen and oxygen isotope ratios. – J. Hydrol., 228, 22–36.
- Urbanc, J. & Jamnik, B. 1998: Izotopske raziskave podzemne vode Ljubljanskega polja. – Geologija, 41, 355–364, Ljubljana.
- Yamano, K., Hiroyuki, I., Hirata, T. & Ishizuka, M., 2003: A new method to estimate a ratio of nitrogen derived from chemical fertilizer to organic origin nitrogen in groundwater. – RMZ Materials and Geoenvironment, 50, 427–430, Ljubljana.

