

MATERIAL IN GEOFOKUJE

RMZ
MATERIALS AND
GEOENVIRONMENT

LETNIK
VOLUME 17

Ljubljana, avgust 2000

Št.
No. 2

Izvor in kakovost podzemne vode Ljubljanskega polja

Origin and quality of groundwater from Ljubljansko polje

BRIGITA JAMNIK¹, JANKO URBANC²

¹ Javno podjetje Vodovod - Kanalizacija d.o.o., Krekov trg 10, 1000 Ljubljana, Slovenija

² Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Povzetek: V prispevku so prikazani rezultati preiskav podzemne vode Ljubljanskega polja, ki dokazujejo odvisnost med kakovostjo podzemne vode in njeno izotopsko sestavo kisika oziroma njenim izvorom. Vrednosti fizikalno-kemijskih parametrov podzemne vode se v času hidrološkega leta spreminja v odvisnosti od deleža lokalnih padavin in rečne komponente, ki napajata vodonosnik. V raziskavi so bili kot vzorčna mesta uporabljeni le vodnjaki, ki so vključeni v sistem javne vodooskrbe. Preiskave potrjujejo antropogeni vpliv na kakovost podzemne vode na tistih vzorčnih mestih, katerih prispevna območja segajo pod območje mesta.

Abstract: The article presents the results of research of groundwater from Ljubljansko polje. The dependence of groundwater quality on oxygen isotope composition and on groundwater origin, respectively, is shown. The values of physical and chemical parameters of groundwater show annual changes according to the variations of local precipitation and river component recharging the aquifer. The pumping wells included into the water supply system were used as sampling points. The research confirms the influence of human activities on groundwater quality in the wells with their recharging zone extending under the city area.

Ključne besede: podzemna voda, izotopska sestava, fizikalno - kemijske lastnosti

Key words: groundwater, isotope composition, physical and chemical properties

UVOD

Podzemna voda Ljubljanskega polja je za oskrbo mesta s pitno vodo izkoriščana že več kot stoletje. Že sredi osemdesetih let

prejšnjega stoletja je bilo pred odločitvijo o vzpostavitvi organizirane oskrbe s pitno vodo opravljenih nekaj raziskovalnih nalog, katerih zasnova je še z vidika današnjega razumevanja procesov v vodonosnikih na

zavidljivi ravnji^{1,2}. Raziskovalna dejavnost v vsem času organizirane vodooskrbe ni nikoli zamrla, saj se je oskrbnik sistema zavedal odgovornosti za nemoteno oskrbo s kakovostno pitno vodo, ki mora ustrezati predpisom. Opravljena je bila vrsta raziskav³⁻⁸, ki so se ukvarjale z ugotavljanjem hidrogeoloških lastnosti vodonosnika Ljubljanskega polja, ugotavljanjem smeri toka podzemne vode v odvisnosti od hidrološkega stanja, določevanjem še spremenljivih količin črpanja podzemne vode, ugotavljanjem njene kakovosti, iskanjem novih lokacij za njeno izkoriščanje s preverjanjem posledic črpanja in iskanjem novih možnosti vodooskrbe. Z raziskovalnim delom ugotovljene lastnosti podzemnih voda, to je njihovo gibanje in kakovost, so kljub današnjemu razvoju znanosti v marsičem še vedno le približki dejanskih razmer v vodonosniku. V pričujočem delu so predstavljeni rezultati raziskav, s katerimi želimo prispevati k razumevanju dogajanj v vodonosniku Ljubljanskega polja.

Na Ljubljanskem polju izkoriščamo podzemno vodo štirih vodarn, katerih deleži napajanja iz reke Save in vode padavin, ki infiltrirajo na območju Ljubljanskega polja, so bili že opisani⁹. Povprečna izotopska sestava kisika glavnih vhodnih komponent podzemne vode je bila določena na osnovi izotopske analize reke Save, lokalnih padavin in vodotokov v bližini Ljubljanskega polja. Z uporabo enačbe masne bilance je bil izračunan delež obeh komponent, to je lokalnih padavin in reke Save, v posameznih vodnjakih Ljubljanskega polja⁹. Rezultati analiz so pokazali, da ima od opazovanih vodnjakov največji delež savske vode vodnjak vodarne Jarški prod, ki leži blizu reke Save, namanjši delež savske vode pa zajema vodnjak z

oznako XI na zahodni strani vodarne Kleče.

V pričujočem prispevku so podane nekatere fizikalno-kemijske lastnosti podzemne vode Ljubljanskega polja v povezavi z izotopsko sestavo kisika v vodi, hidrološkim stanjem in količino lokalnih padavin.

VZORČNA MESTA IN METODE

Izotopska sestava kisika v vodi je bila izmerjena z metodo izotopskega uravnoteženja med vodo in CO₂ pri konstantni temperaturi. Meritve izotopske sestave kisika v vodi so bile opravljene z masnim spektrometrom Varian Mat 250 na Inštitutu Jožef Stefan v Ljubljani. Rezultati izotopskih analiz so izraženi v promilih glede na mednarodni standard SMOW. Fizikalno-kemijske preiskave je po standardnih postopkih izvajal laboratorij JP Vodovod-Kanalizacija v Ljubljani. Meritve nivoja podzemne vode so bile opravljene na limnografskih postajah, ki jih upravlja JP Vodovod-Kanalizacija, podatki o padavinah pa so bili pridobljeni s padavinske postaje Hidrometeorološkega zavoda RS.

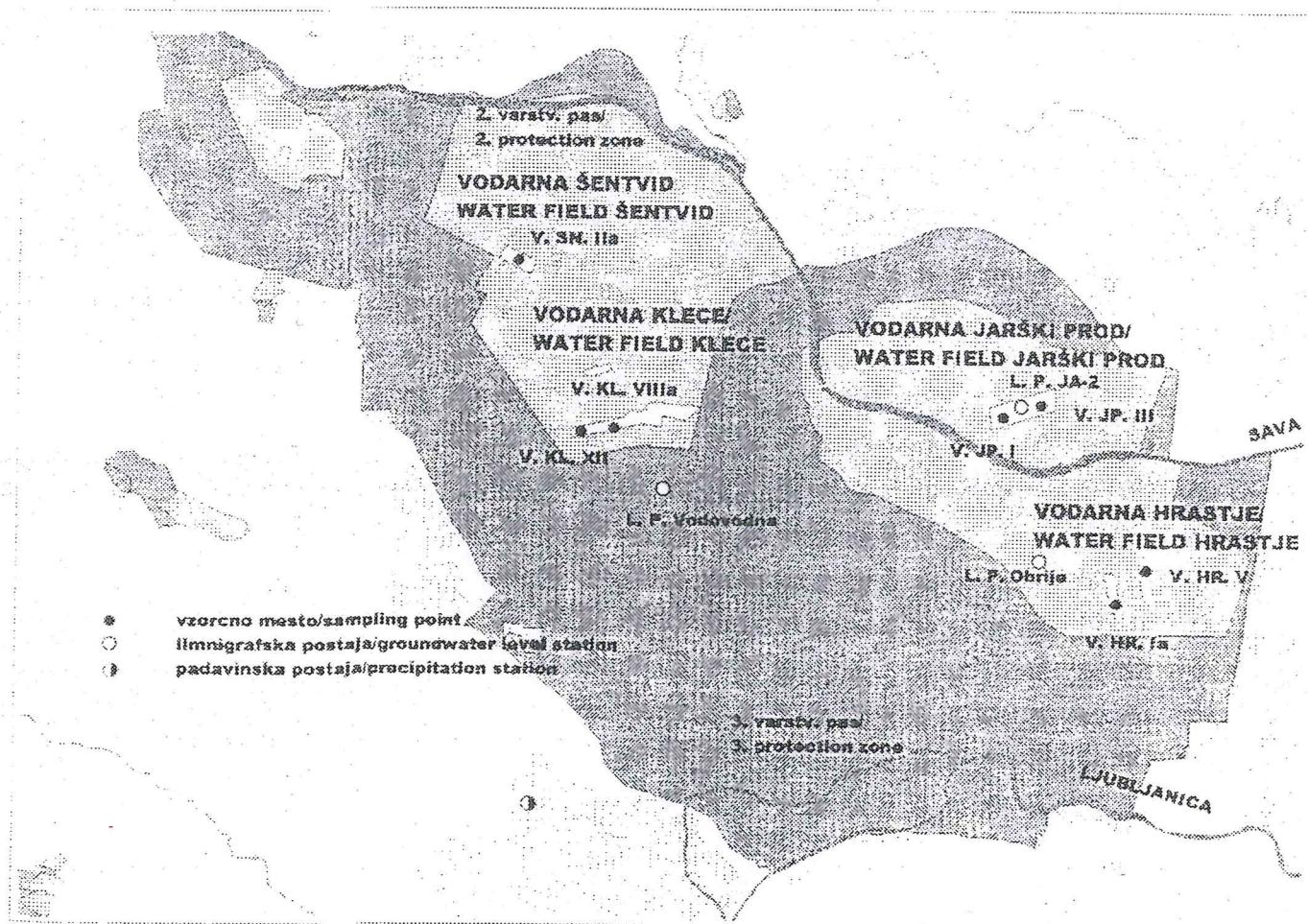
V nadaljevanju bodo opisane nekatere fizikalno-kemijske lastnosti sedmih vodnjakov vodarn Ljubljanskega polja, ki so bili vzorčeni mesečno. Kot vzorčna mesta so bili izbrani: vodnjaka z oznakama XII in VIIIa v največji vodarni Ljubljanskega polja, to je v vodarni Kleče, vodnjaka V in Ia v vodarni Hrastje, vodnjak IIa v vodarni Šentvid in vodnjaka I in III v vodarni Jarški prod. V raziskavo so bila vključena vzorčna mesta, ki spadajo v monitoring kakovosti podtalnice^{10,11} na Ljubljanskem polju, hkrati pa je bil izbor vzorčnih mest prilagojen že poznamim lastnostim podzemne

vode. Slika 1 prikazuje lego vzorčnih mest v vodarnah Ljubljanskega polja s pripadajočimi vodovarstvenimi pasovi ter nekatera mesta meritev nivoja podzemne vode in padavin.

REZULTATI IN DISKUSIJA

Kakovost podzemne vode na Ljubljanskem polju je močno odvisna od lege vzorčnega mesta. Severno od vodarne Kleče, kjer se reka Sava intenzivno preceja

v vodonosnik, vsebuje podzemna voda nižje vrednosti preiskovanih parametrov v primerjavi z vzorčnimi mesti na npr. južnem območju vodarne Hrastje, kamor priteka podzemna voda izpod mesta. Sorazmerno z dolžino poti skozi vodonosnik in posledično vse večjim deležem lokalnih padavin v podzemni vodi naraščajo koncentracije ionov, kot so npr. kalcij, magnezij, natrij in kalij. Njihov izvor je le deloma antropogen. Hkrati pa rastejo tudi koncentracije parametrov, ki so nedvomno antropogenega izvora, kot so npr. koncen-



Slika 1. Prikaz vzorčnih mest v vodarnah Ljubljanskega polja, padavinske merilne postaje ter merilnih mest nivoja podzemne vode. Vodovarstveni pasovi na Ljubljanskem polju.

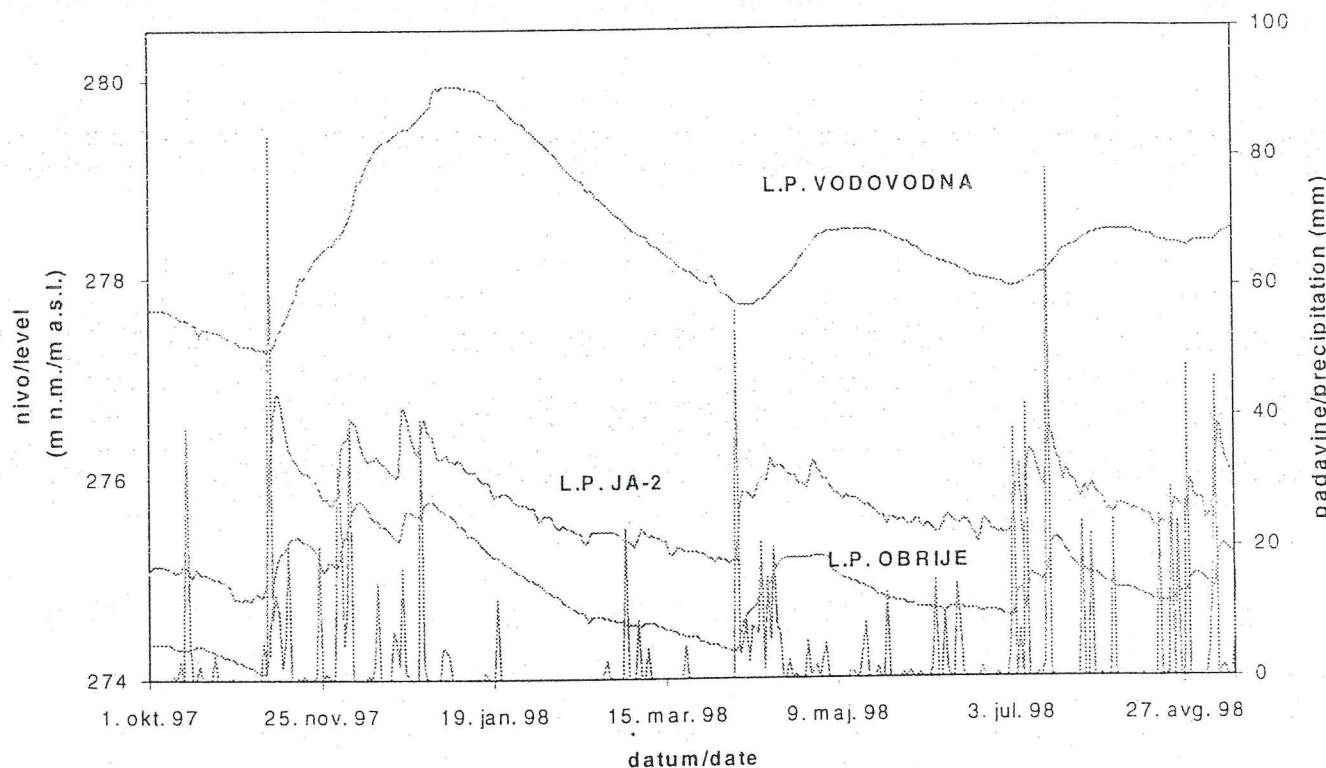
Figure 1. Locations of sampling points at Ljubljansko polje water fields, the precipitation station and groundwater level stations. The water protection zones are shown.

tracija nitratov, sulfatov, organskih snovi ali mikroelementov¹².

Vrednost posameznih parametrov je povezana z vodnim stanjem in padavinami. Padavine spirajo površinska onesnaženja v globlje plasti, sprememba koncentracije posameznega parametra v podzemni vodi pa je odvisna tako od množine prisotnega onesnaženja na površini ali tukaj pod njem (pronicanje odpadne vode iz netesnega kanalizacijskega omrežja) in njegove razpršenosti, kakor tudi od intenzitete in

izrazito je naraščanje, pa je odvisno od množine onesnaženja, ki se že nahaja zunanj vodonosnih plasti.

Na primarni osi slike 2 je prikazano časovno spremenjanje nivoja podzemne vode na treh limnigrafiskih postajah (v nadaljevanju L.P.) na Ljubljanskem polju, na sekundarni osi pa je prikazana dnevna količina padavin. Primarni maksimum padavin, ki nastopi na prehodu iz jesenskega v zimsko obdobje, je povzročil, da je nivo podzemne vode v tem času



Slika 2. Časovni potek odvisnosti nivoja podzemne vode na limnigrafiskih postajah ob Vodovodni cesti, na Obrijah in v vodarni Jarški prod ter časovni prikaz količine padavin.

Figure 2. Time-related changes in groundwater level at the stations Vodovodna, Obrije and Jarški prod and the time variations of precipitation quantity.

trajanja padavin. V času suhega obdobja, ko sicer ni vertikalnega dotoka onesnaženj s površine, upadanje nivoja podzemne vode tudi povzroča naraščanje koncentracij snovi, prisotnih zunanj nasičene cone, kako

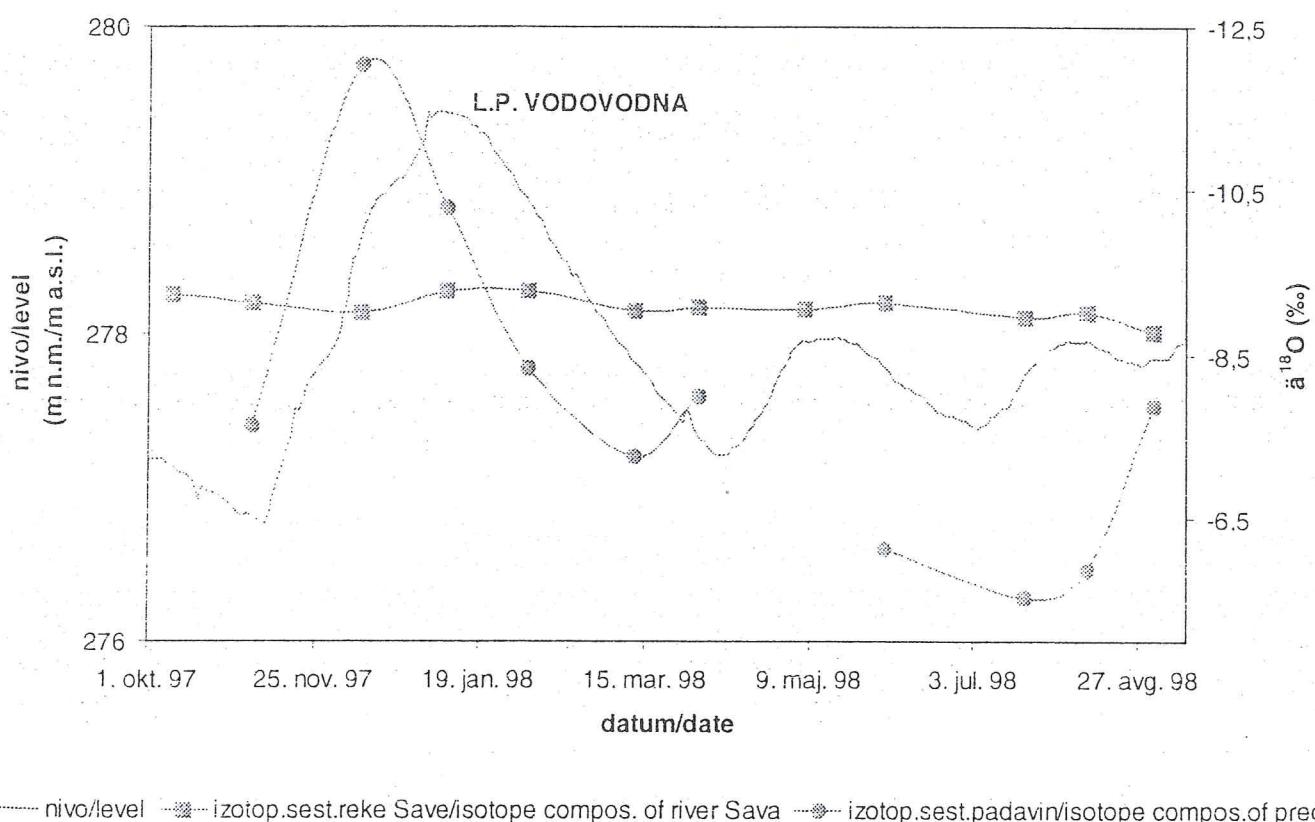
dosegel najvišjo vrednost. Slika 2 kaže, da so letne spremembe nivoja podzemne vode v osrednjem delu Ljubljanskega polja, kjer južno od vodarne Kleče leži L.P. Vodovodna, večje kot na območju vodarne

Hrastje, kjer leži L.P. Obrije. Ostre fluktacije nivoja na L.P. JA-2, ki leži na levem bregu reke Save v osrednjem delu vodarne Jarški prod, lahko razložimo z vplivom bližine aktivnega črpališča. Na L.P. Vodovodna lahko opazimo, da se nivo podzemne vode v primerjavi z ostalima dvema merskima mestoma na vpliv padavin odzove s časovnim zamikom, ki je posledica dotoka padavinske vode z obrobnih hribovitih predelov.

Graf 3 poudarja velika nihanja izotopske sestave kisika v lokalnih padavinah na Ljubljanskem polju v primerjavi z nihanjem izotopske sestave kisika reke Save. V hladnem obdobju primarnega maksimuma padavin se $\delta^{18}\text{O}$ padavin močno pomakne v

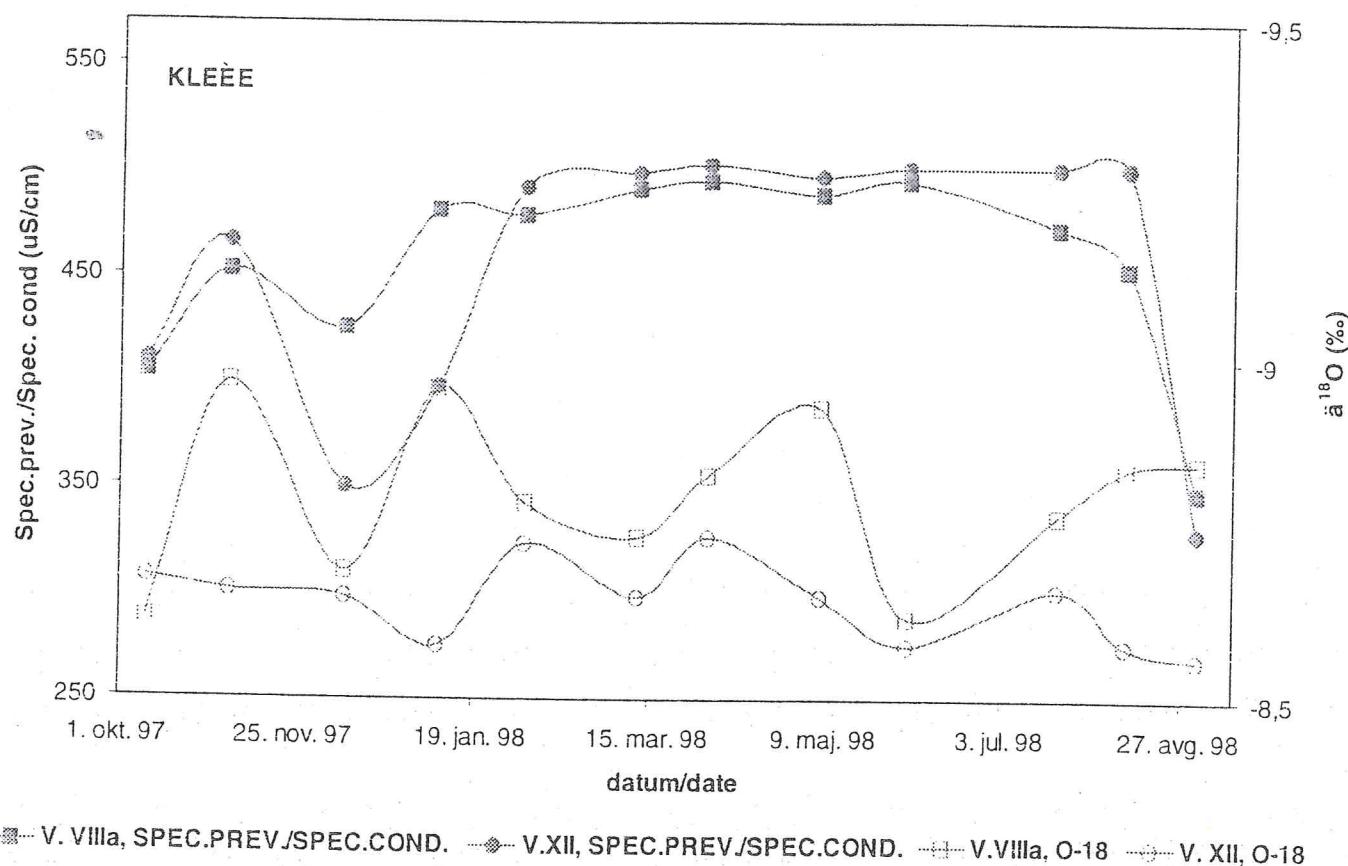
smer negativnih vrednosti. Pri obrazložitvi izvora napajanja podzemne vode opazovanih vodnjakov je upoštevanje omenjenega poteka pomembno, saj bi zaradi premika $\delta^{18}\text{O}$ podzemne vode k bolj negativnim vrednostim lahko napačno sklepali, da v opazovani vodnjak doteka večji delež rečne vode, ki ima v povprečju zaradi višjega zaledja napajanja bolj negativne vrednosti $\delta^{18}\text{O}$.

Kljud letnim spremembam izotopske sestave kisika podzemne vode opazovanih vodnjakov je mogoče iz primerjave vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ in fizikalno-kemijskih lastnosti najti tudi določeno korelacijo med omenjenimi lastnostmi. Na sliki 4 in 5 sta prikazani časovni odvisnosti spremenjanja



Slika 3. Časovni potek odvisnosti nivoja podzemne vode na limnigrafski postaji Vodovodna ter $\delta^{18}\text{O}$ reke Save in padavin.

Figure 3. Time variations of groundwater level at the Vodovodna station and $\delta^{18}\text{O}$ composition of the Sava river and precipitation.

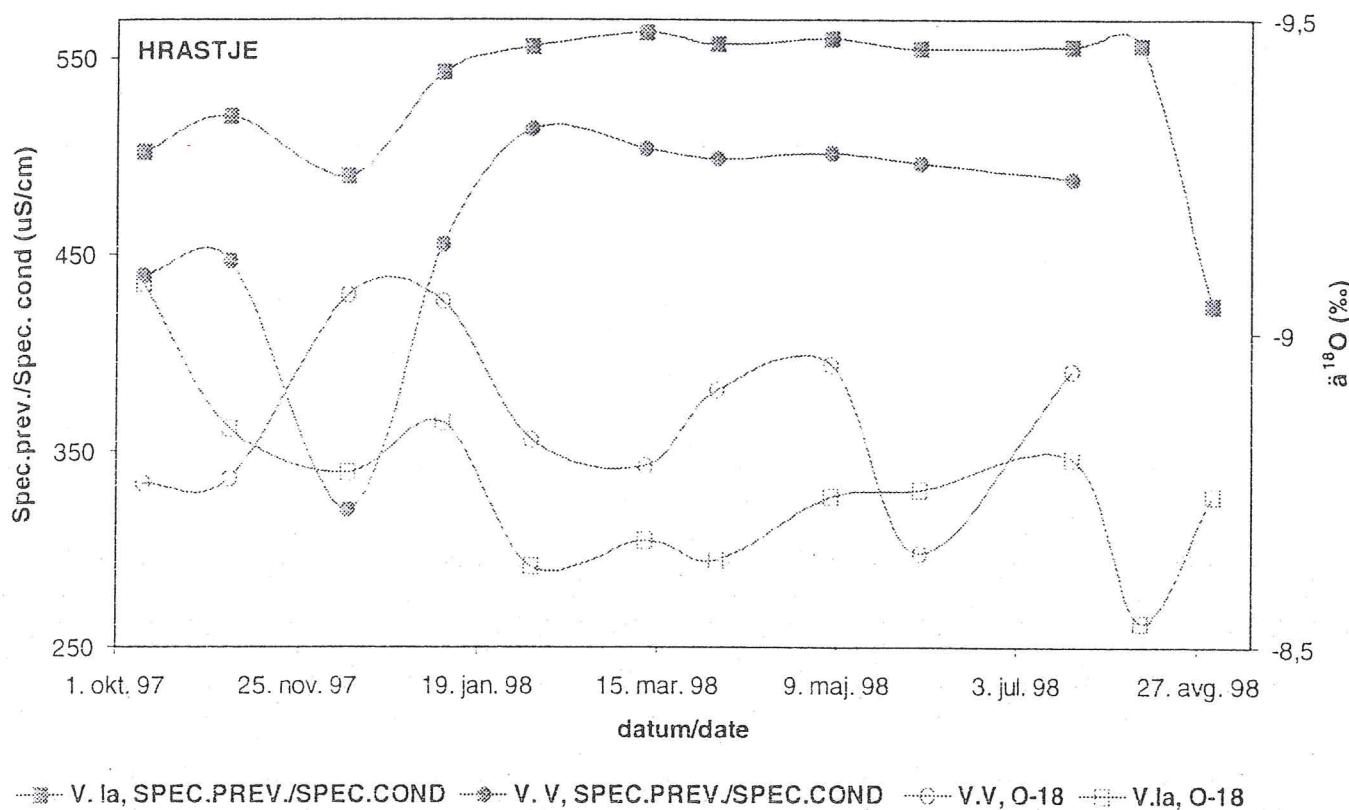


Slika 4. Prikaz časovnega spremenjanja spec. prevodnosti in $\delta^{18}\text{O}$ v vodnjakih XII in VIIIa vodarne Kleče.

Figure 4. Specific conductivity and $\delta^{18}\text{O}$ in relation to time in the wells XII and VIIIa of the Kleče water field.

specifične prevodnosti in izotopske sestave kisika v podzemni vodi opazovanih vodnjakov vodarni Kleče in Hrastje. Elektroprevodnost podzemne vode vodnjaka XII, ki leži na skrajnem zahodnem delu vodarne Kleče in v primerjavi z vzorčnim mestom VIIIa zajema podzemno vodo globljih vodonosnih plasti, se močneje odzove na padavinski maksimum, saj se v tem obdobju spec. prevodnost zniža za $100 \mu\text{S}/\text{cm}$. V nadaljnjem, manj mokrem obdobju, je spec. prevodnost podzemne vode vodnjaka XII nekoliko višja od spec. prevodnosti podzemne vode v vodnjaku VIIIa. Omenjena odvisnost se ujema s krivuljo izotopske sestave kisika (vrednosti na sekundarni y osi tečejo od višjih k nižjim), ki kaže, da je

v podzemni vodi vodnjaka XII v vsem opazovanem časovnem obdobju v primerjavi z vodnjakom VIIIa večji delež neposredne padavinske vode. V podzemni vodi vodnjaka VIIIa, kjer je večji delež rečne komponente, izotopska sestava kisika razen v izrazito deževnem obdobju sledi nihanju nivoja. V obdobju močnih padavin se kot njihova posledica pojavi globalni maksimum nivoja podzemne vode, hkrati pa se močno spremenijo tudi fizikalno-kemijske lastnosti. Kot je prikazano na sliki 3, je minimum v izotopski sestavi kisika podzemne vode vodnjaka VIIIa v tem obdobju posledica prehoda od najbolj negativne vrednosti izotopske sestave kisika v padavinah v opazovanem hidrološkem letu



Slika 5. Prikaz časovnega spremenjanja spec. prevodnosti in $\delta^{18}\text{O}$ v vodnjakih Ia in V vodarne Hrastje.

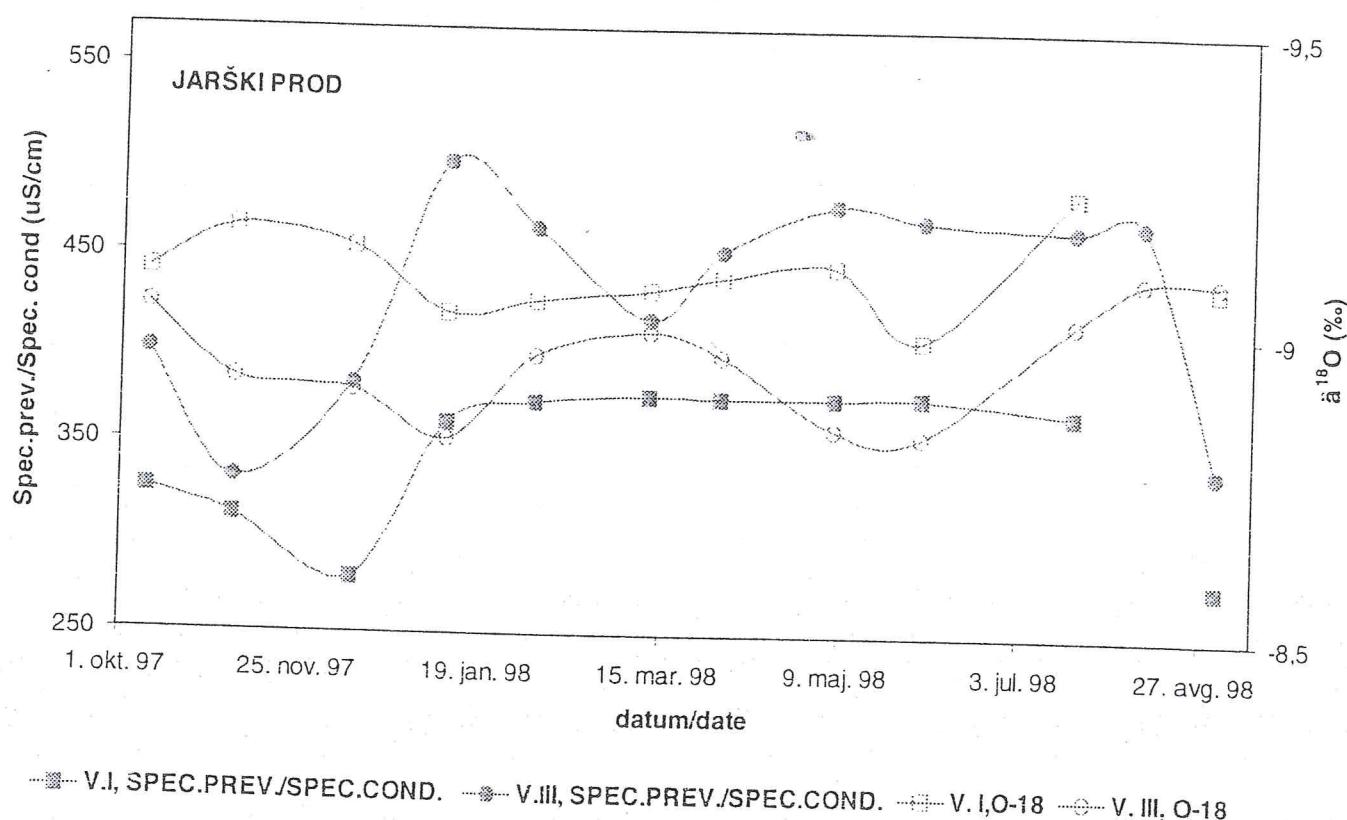
Figure 5. Specific conductivity and $\delta^{18}\text{O}$ in relation to time in the wells Ia and V of the Hrastje water field.

k bolj pozitivnim vrednostim.

V podzemni vodi vodnjaka V, ki leži na severu vodarne Hrastje bliže reki Savi kot vodnjak Ia, se v odvisnosti spec. prevodnosti tudi pojavi globok minimum kot posledica infiltracije padavin. Izotopska sestava kisika v podzemni vodi vodnjaka V v primerjavi z vodnjakom Ia v vsem opazovanem obdobju kaže bolj negativne vrednosti, kar pomeni večji delež neposredne Savske vode. Krivulja izotopske sestave podzemne vode vodnjaka V približno sledi krivulji vodnega stanja. Slika 5 kaže, da neposredni vpliv lokalnih padavin na $\delta^{18}\text{O}$ podzemne vode vodnjaka Ia ni izrazit.

Na sliki 6 je prikazana časovna odvisnost spec. prevodnosti in izotopske sestave

kisika v podzemni vodi vodnjakov I in III v vodarni Jarški prod, ki za razliko od drugih vodarn leži na levem bregu reke Save. Vodnjak I leži bliže reki Savi, zato izračun povprečnega letnega deleža vode reke Save kaže⁹, da prispevka lokalne infiltracije padavin skorajda ni. Spec. prevodnost podzemne vode vodnjaka III zaradi večjega dela infiltracije lokalnih padavin dosega višje vrednosti kot podzemna voda vodnjaka I, $\delta^{18}\text{O}$ podzemne vode vodnjaka III pa zato kaže bolj pozitivne vrednosti. V vodnjaku III opazimo najvišje vrednosti elektroprevodnosti v času upadanja vodnega stanja po maksimumu padavin, ko se hkrati $\delta^{18}\text{O}$ podzemne vode vodnjaka pomakne v smer pozitivnih vrednosti zaradi vzporedne



Slika 6. Časovno spremenjanje spec. prevodnosti in $\delta^{18}\text{O}$ v vodnjakih I in III vodarne Jarški prod.

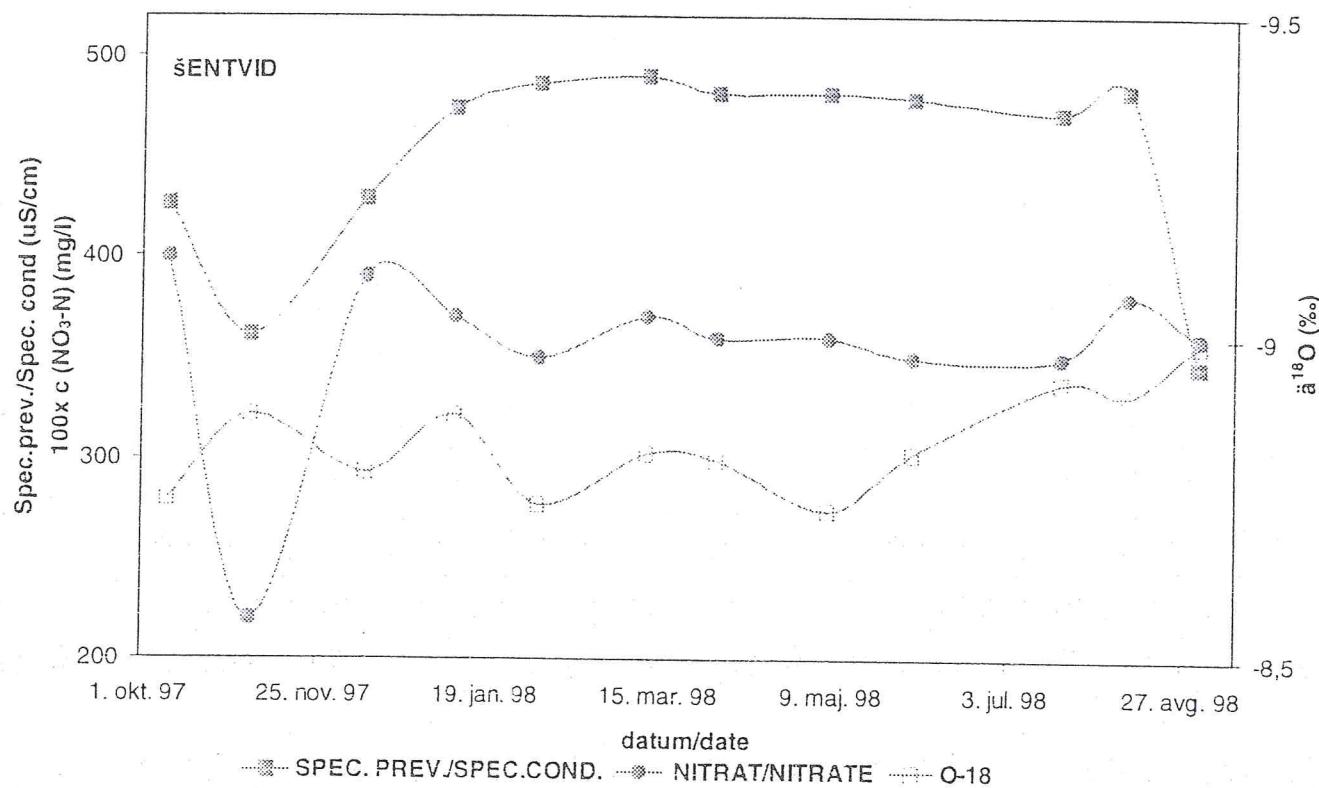
Figure 6. Time variation of specific conductivity and $\delta^{18}\text{O}$ in the wells I and III of the Jarški prod water field.

spremembe $\delta^{18}\text{O}$ lokalnih padavin. Elektroprevodnost podzemne vode vodnjaka III sledi upadanju nivoja. V zgodnjem poletnem obdobju se v odvisnosti elektroprevodnosti kot posledica ponovnih padavin in naraščanju nivoja ponovijo višje vrednosti zaradi spiranja substanc s površine, ustrezno pa se odzove tudi izotopska sestava kisika, saj nakazuje višji delež neposredne padavinske komponente.

Slika 7 prikazuje časovno odvisnost spec. prevodnosti, koncentracije nitrata in izotopske sestave kisika v vodnjaku IIa vodarne Šentvid. Krivulja $\delta^{18}\text{O}$ podzemne vode vodnjaka IIa močno spominja na odvisnost $\delta^{18}\text{O}$ vodnjaka VIIa vodarne Kleče, le da so nihanja bolj dušena.

Izotopska sestava kisika v podzemni vodi vodnjaka IIa kaže, da je prispevek rečne vode v njej večji kot v vodnjaku VIIa vodarne Kleče. Poteka spec. prevodnosti in koncentracije nitrata kažeta podobno odvisnost.

Primerjavo povprečne letne izotopske sestave kisika in povprečne koncentracije klorida ter sulfata v podzemni vodi opazovanih vodnjakov prikazujeta sliki 8 in 9. Premici na grafu služita le bolj jasnemu prikazu odvisnosti med izotopsko sestavo kisika in koncentracijo omenjenih parametrov. Sliki kažeta, da z naraščanjem deleža neposredne padavinske komponente narašča tudi koncentracija opazovanih parametrov. Kakovost podzemne vode vodn-



Slika 7. Prikaz časovnega spremenjanja spec. prevodnosti, koncentracije nitrata in $\delta^{18}\text{O}$ v vodnjaku Ia vodarne Šentvid.

Figure 7. Specific conductivity, conc. of nitrate and $\delta^{18}\text{O}$ in relation to time in the well Ia of the Šentvid water field.

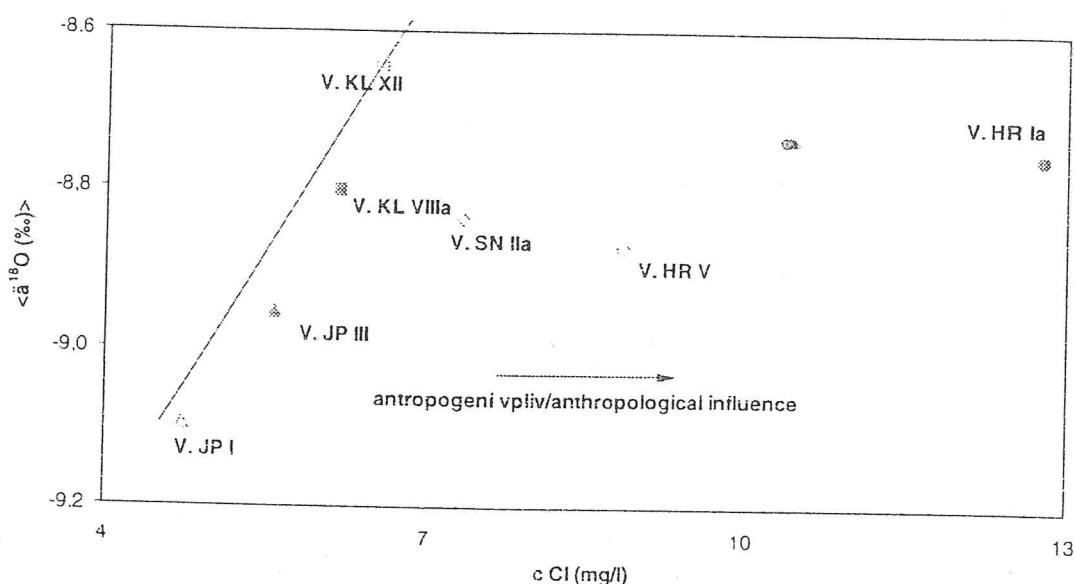
jakov Hrastje ne sledi prikazani odvisnosti. V podzemni vodi, ki se pretaka pod mestnim jedrom na poti do prispevnega območja vodarne, se zaradi vpliva urbanizacije pojavljajo tudi nekajkrat višje koncentracije opazovanih parametrov. Od linearne odvisnosti nekoliko odstopa tudi koncentracija klorida v vodarni Šentvid. K višji povprečni koncentraciji prispeva predvsem zimsko obdobje, saj se v tem času koncentracija klorida na tem območju celo podvoji.

ZAKLJUČEK

Glavni komponenti napajanja podzemne vode Ljubljanskega polja, to so lokalne

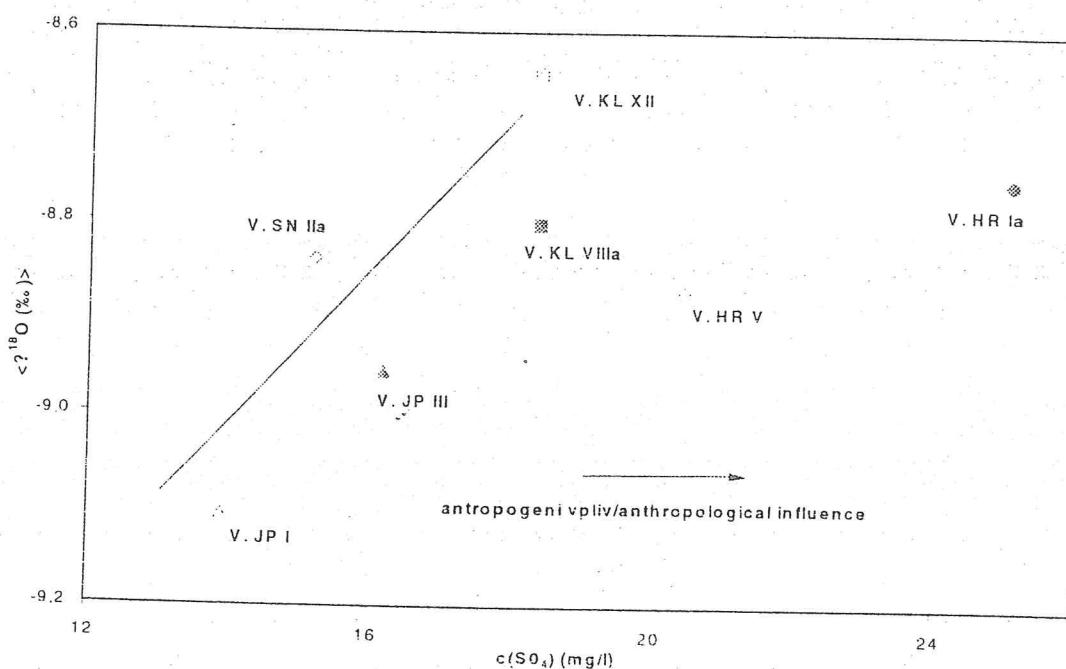
padavine in reka Sava, sta izpostavljeni različnim virom onesnaženja in izhajata iz različnih hidrogeoloških sistemov. Zato ni presenetljivo, da obstaja odvisnost med izotopsko sestavo kisika oz. izvorom podzemne vode in koncentracijo opazovanih parametrov. Podzemna voda, ki vsebuje večji delež lokalnih padavin, vsebuje kot posledico spiranja s površine tudi višje koncentracije npr. nitratov, kloridov in sulfatov. Nihanja kakovosti podzemne vode v času hidrološkega leta je mogoče razložiti s sprememanjem mešalnega razmerja obeh komponent.

Kakovost podzemne vode Ljubljanskega polja kljub stalno prisotni možnosti onesnaženja ustreza vsem predpisom o



Slika 8. Prikaz odvisnosti med povprečnimi letnimi vrednostmi $\delta^{18}\text{O}$ in povprečno koncentracijo klorida v podzemni vodi Ljubljanskega polja.

Figure 8. The correlation of average annual values of $\delta^{18}\text{O}$ in relation to the average conc. of chloride in Ljubljansko polje groundwater.



Slika 9. Prikaz odvisnosti med povprečno letno vrednostjo $\delta^{18}\text{O}$ in koncentracijo sultata.

Figure 9. The correlation of average annual values of $\delta^{18}\text{O}$ in relation to the average conc. of sulphate in Ljubljansko polje groundwater.

zdravstveno ustrezeni oskrbi prebivalcev mesta s pitno vodo. Z raziskavami želi upravljačec vodnega vira pridobiti čim več informacij o lastnostih podzemne vode, ki jo izkorišča. Ukrepi, ki bodo v prihodnje sprejeti v zvezi z upravljanjem vodnega vira, bodo zato lahko še bolj strokovno utemeljeni, kot so bili v preteklosti.

Zahvala

Raziskavo je financiralo Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija d.o.o., Ljubljana. Avtorja se zahvaljujeta glavnemu direktorju Antonu Kranjcu ter vodji Službe za nadzor kakovosti pitne in odpadne vode, Juriju Kusu in Martini Predanič, ki so podprtli projekt.

SUMMARY

Two recharging components of Ljubljansko polje groundwater, i.e. the local precipitation and infiltrated Sava river, are exposed to different sources of contamination because they originate from different parts of the hydrological circle. Therefore it is not surprising that the research showed a correlation between the isotope composition and chemical parameters of groundwater.

The groundwater quality largely depends on the location of the sampling point. North of the Kleče water field, the Sava river percolates into the aquifer intensively. The observed physico-chemical parameters of groundwater like calcium, magnesium, sodium or potassium concentration in that area are lower in comparison to those found in groundwater samples from the southern part of the Hrastje water field. The concentrations of chemical

parameters indicate their dependence on groundwater level and precipitation intensity. Precipitation washes the pollutant out. The groundwater quality changes, however, depend on the amount and distribution of the pollutant on or close to the surface, on the precipitation quantity and also on the duration of the precipitation events. During the dry period of the year, groundwater level lowering is also connected to concentration increases.

The time changes in isotope composition of precipitation were found to vary considerably. It is possible to conclude that a higher value of conductivity is observed in the groundwater of the wells with a higher proportion of local precipitation. Ions with an anthropogenic character, like nitrate, chloride or sulphate, which also contribute to the conductivity parameter, show similar time variations as conductivity. Their average annual concentrations largely depend on the proportion of local precipitation. Higher local precipitation proportions mean a higher annual concentration average. Groundwater quality parameters of the Hrastje water field wells do not show the same behaviour as those of the other wells of Ljubljansko polje. The deviation represents an additional proof that human activities in the urban area have been influencing the groundwater flowing by or even below the city.

VIRI

[1] STUR, D. Wasserversorgungsfrage der Landeshauptstadt Laibach, Zgodovinski arhiv Ljubljana, (1886)

[2] B. KNAPITSCH. Porocilo o kemijskih preiskavah nekaterih pitnih voda, Zgodovinski arhiv Ljubljana, (1886)

- [3] ŽLEBNIK, L. Pleistocen Kranjskega, Sorškega in Ljubljanskega polja. Geologija, 14, 5-51, (1971)
- [4] BREZNIK, M. Gospodarjenje s podtalnico Ljubljanskega polja. Arhiv JP VO-KA, (1980)
- [5] BRILLY, M. Model podtalnice Ljubljanskega polja, Acta Hydrotechnica 4,7; 2-13, (1990)
- [6] BREZNIK, M. Bodočnost Ljubljanskega vodovoda, Arhiv JP VO-KA, (1993)
- [7] MENCEJ, Z. Analiza obstoječih in možnih vodnih virov za ljubljanski vodovod, Arhiv JP VO-KA, (1995)
- [8] DROBNE, F., MENCEJ, Z., BRILLY, M. Preveritve in dopolnitve strokovnih osnov za določitev varstvenih pasov sedanjih in perspektivnih vodnih virov za območje mesta Ljubljana in okolice, Arhiv Geološkega zavoda, (1997)
- [9] URBANC, J., JAMNIK, B. Izotopske raziskave podzemne vode Ljubljanskega polja, Geologija, 41, (1999, v tisku).
- [10] Republiški monitoring kakovosti podtalnic za leto 1993-1998, program G - Ljubljansko polje in Ljubljansko Barje, Arhiv Hidrometeorološkega zavoda RS, (1993-1998)
- [11] Strokovne podlage za zavarovanje pomembnih vodnih virov in vodnih zalog kot osnova za sprejem odloka za zaščito vodnih virov na osnovi meritev kakovosti podtalnice Ljubljanskega polja za leto 1987-1998, Arhiv JP VO-KA, (1987-1998)
- [12] JAMNIK, B., PREDANIČ, M. Kakovost podtalnice Ljubljanskega polja, Zbornik predavanj Kakovost pitne vode in varstvo vodnih virov, ZTI, (1998)