



Improved Management of Contaminated Aquifers by Integration of Source Tracking, Monitoring Tools and Decision Strategies



A.2.7. Hydrogeological investigations for improvement of conceptual model

Final report

Geological Survey of Slovenia

Janko Urbanc

Brigita Jamnik

Sonja Cerar

Nina Mali

Ljubljana, 2012



The action was performed by Geological survey of Slovenia within the project INCOME (LIFE07 ENV/SLO/000725). The main objective of the project is long-term effective management of aquifers and preservation of the quality of these water resources for future generations. The project is co-financed by European Commission, Municipality of Ljubljana and Ministry of the Environment and Spatial Planning of Republic of Slovenia.





Abstract

The main goal of the action A 2.7 was to acquire new hydrogeological data and knowledge about Ljubljansko polje and Ljubljansko Barje aquifers, which would serve as a base for improvement of hydrogeological conceptual models of both aquifers. In this scope we performed extensive hydrochemical and isotope analysis of the groundwater, including parameters, relevant for understanding mechanisms of aquifer recharge, groundwater retention time in the aquifer and finally discharge from the aquifer to the surface water body. We have analysed following parameters:

- Main groundwater cations and anions content,
- Main water pollutants (nitrates, pesticides, organic solvents, heavy metals)
- Indicative water pollutants (pharmaceuticals, kofein)
- Environmental isotopes (oxygen-18, deuterium, tritium)

We performed two sampling campaigns, which involved representative sampling points on the Ljubljansko polje and Ljubljansko Barje aquifers. Totally 164 groundwater observation points were included in the Income monitoring network (83 points on the Ljubljansko polje aquifer and 81 on the Ljubljansko barje aquifer).

In order to get new information regarding groundwater flow velocity and direction, several tracing experiments were performed at four locations of research area. Three locations (Zalog, Arharjeva 4 and Brod) are situated at the Ljubljansko polje aquifer, while location Vrbljene is situated on the Ljubljansko polje aquifer. Fluorescent dye Uranine and sodium chloride were used as a tracer.

We have got clear tracer signal, which enabled us to define groundwater velocity and direction only on the locations Brod and Vrbljene. This result indicating, that groundwater tracer flow paths are very narrow. On the basis of this results we can conclude, that also contaminant plumes from point sources of pollution are quite narrow.

On the basis of the chemical and isotope analyses and tracing experiments performed, we acquired very extensive view into the hydrogeological and hydrochemical processes occurring in the both aquifers of the research area. Many new data regarding aquifer's recharge areas, groundwater retention time, age and velocity, natural chemical composition and pollution state of groundwater were obtained. Synthesis of all the data enabled us to improve and validate the conceptual models of Ljubljansko polje and Ljubljansko Barje aquifers.





VODONOSNIK LJUBLJANSKEGA POLJA

Elektroprevodnost

Elektroprevodnost podzemne vode je pri neonesnaženih podzemnih vodah običajno v dobri korelaciji s koncentracijo raztopljenih karbonatov v vodi oziroma s karbonatno trdoto vode. Značilnosti elektroprevodnosti vode iz vodonosnika Ljubljanskega polja so razvidne iz priloženega grafa.

Najnižjo elektroprevodnost okoli $\mu\text{S}/\text{cm}$ ima reka Sava, ki s severozahodne strani napaja vodonosnik Ljubljanskega polja. Nizke elektroprevodnosti vode na opazovalnem mestu Roje LV-0377 ter na vodnjakih VD Kleče 4, VD Kleče 8, VD Kleče 14 ter VD Jarški prod-1 so zato posledica pomembnega deleža napajanja iz reke Save.

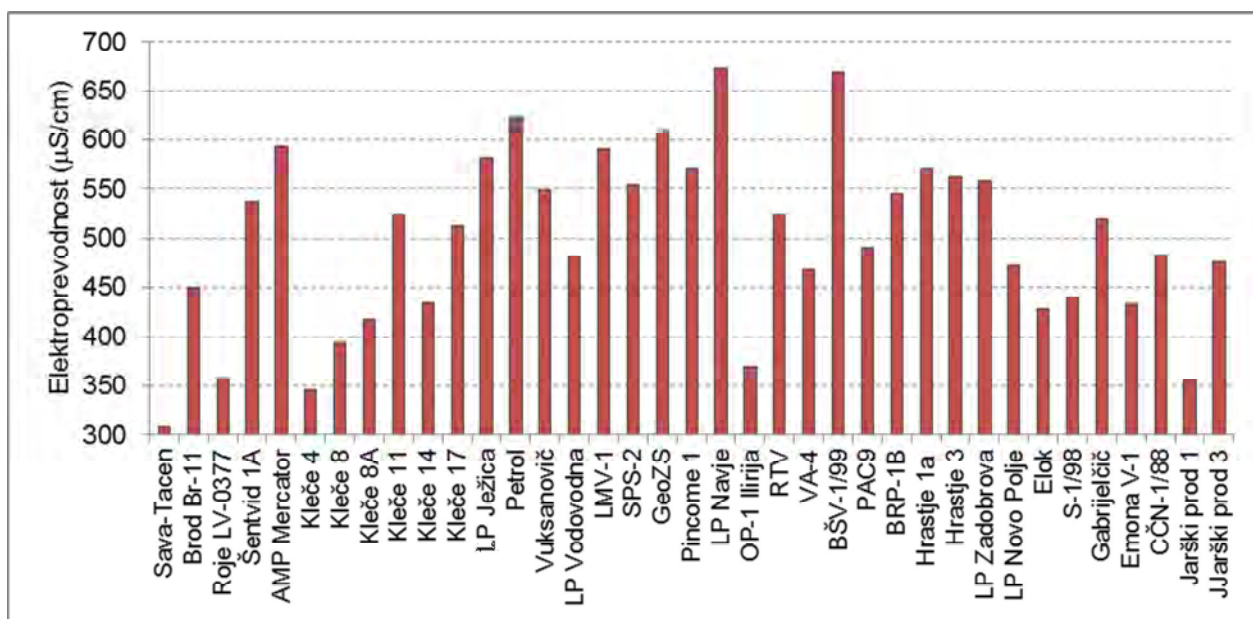
Na večini ostalih opazovalnih mest vodonosnika Ljubljanskega polja se giblje elektroprevodnost podzemne vode v razponu med 500 in 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Povišane vrednosti beležimo predvsem pri objektih, ki se nahajajo v izrazito urbaniziranih delih mesta (LP Navje, BŠV-1).

Nekoliko nižjo elektroprevodnost imajo vode iz opazovalnih mest na vzhodnem delu vodonosnika Ljubljanskega polja. Manjšo elektroprevodnost, ki je seveda posledica manjše mineralizacije podzemne vode pripisujemo dvema dejavnikoma:

- Vpliv napajanja z območja nekarbonatnih kamnin (karbonske in permske plasti) na južnem obrobju vodonosnika.
- Vpliv infiltracije reke Ljubljanice, katere struga poteka preko vodonosnika na tem območju.

V nadaljevanju sledi grafična predstavitev rezultatov meritev elektroprevodnosti podzemnih vod na obravnavanem območju. Prvi graf predstavlja povprečje meritev ob vzorčenjih jeseni 2010 in pomladi 2011, sledi pa prikaz prostorske razporeditve elektroprevodnosti s pomočjo tortnih diagramov.



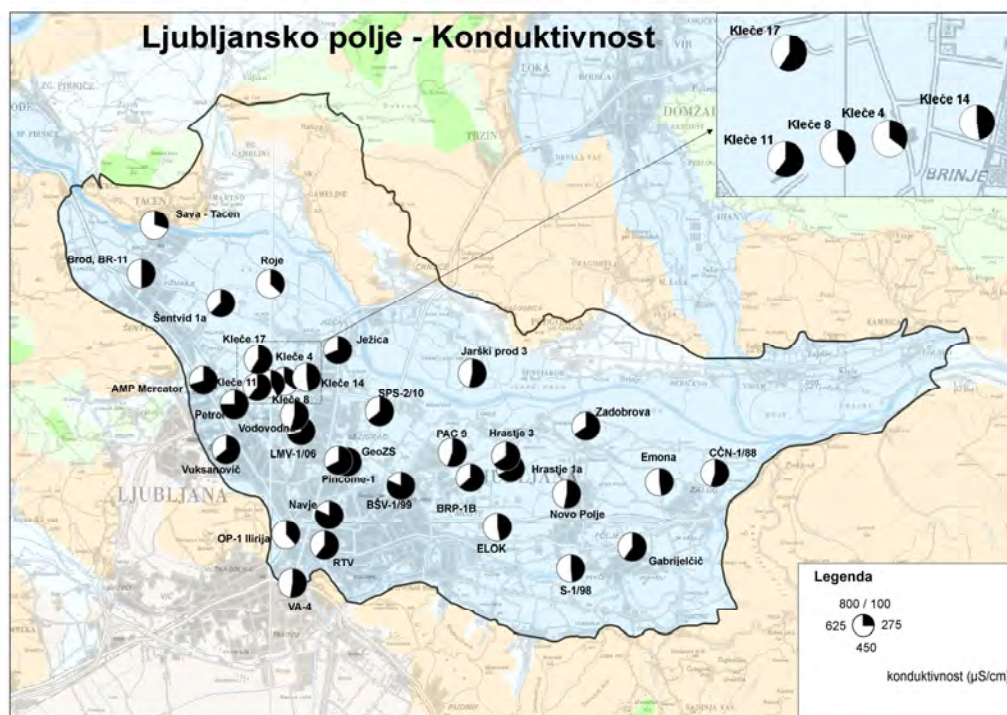


Rezultati meritev elektroprevodnosti podzemne vode na območju vodonosnika Ljubljanskega polja



Elektroprevodnost podzemne vode vodonosnika Ljubljanskega polja – vzorčenje jesen 2010





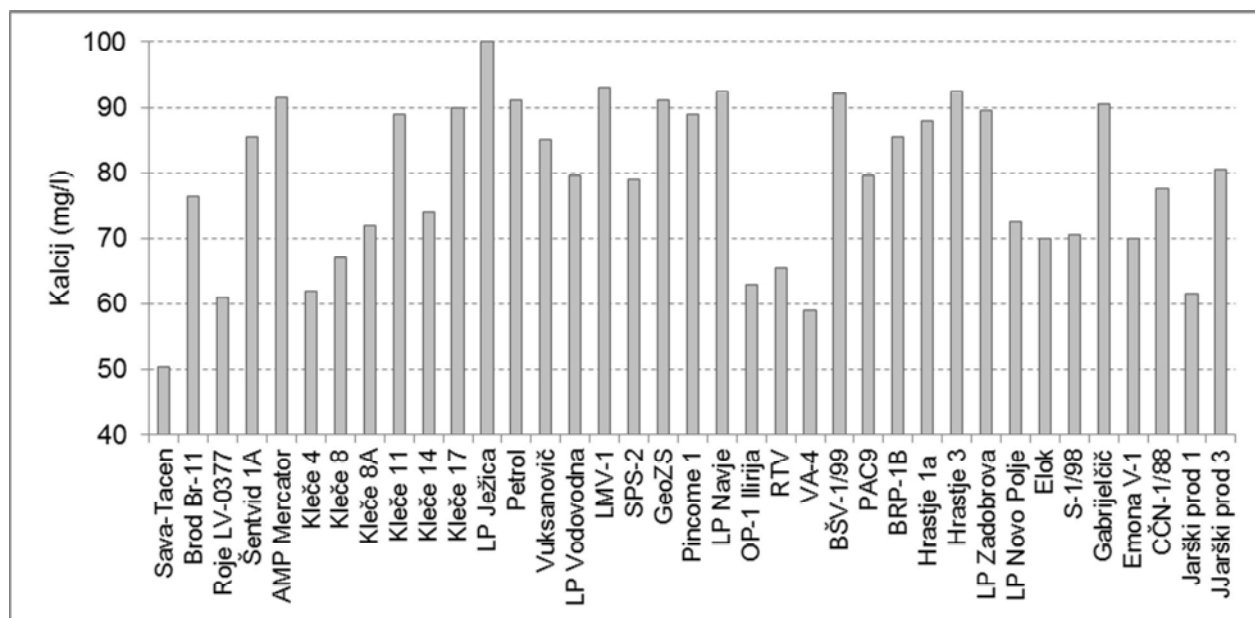
Elektroprevodnost podzemne vode vodonosnika Ljubljanskega polja – vzorčenje pomlad 2011





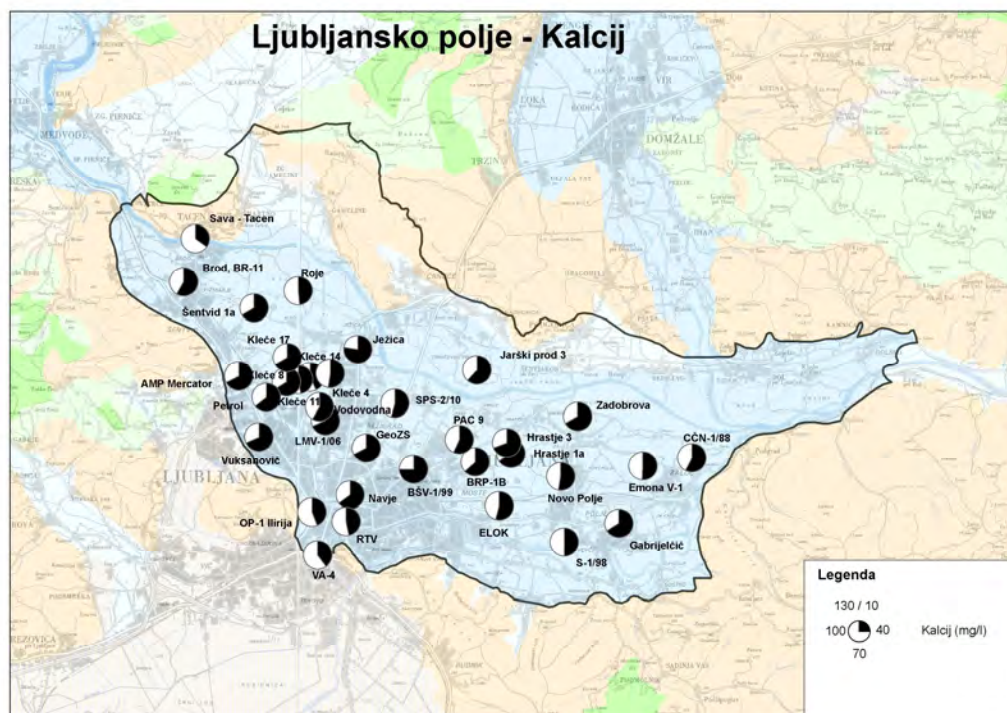
Kalcij

Na vodonosniku Ljubljanskega polja se koncentracije kalcija gibljejo v območju med 50 in 100 mg/l. Porazdelitev vrednosti je zelo podobna porazdelitvam elektroprevodnosti. Tako tudi na grafu koncentracij kalcija lahko jasno opazimo vpliv reke Save, ki ima koncentracijo kalcija približno 50 mg/l. Na grafu so lepo vidne tudi nižje koncentracije kalcija v podzemni vodi na vzhodnem delu vodonosnika Ljubljanskega polja.

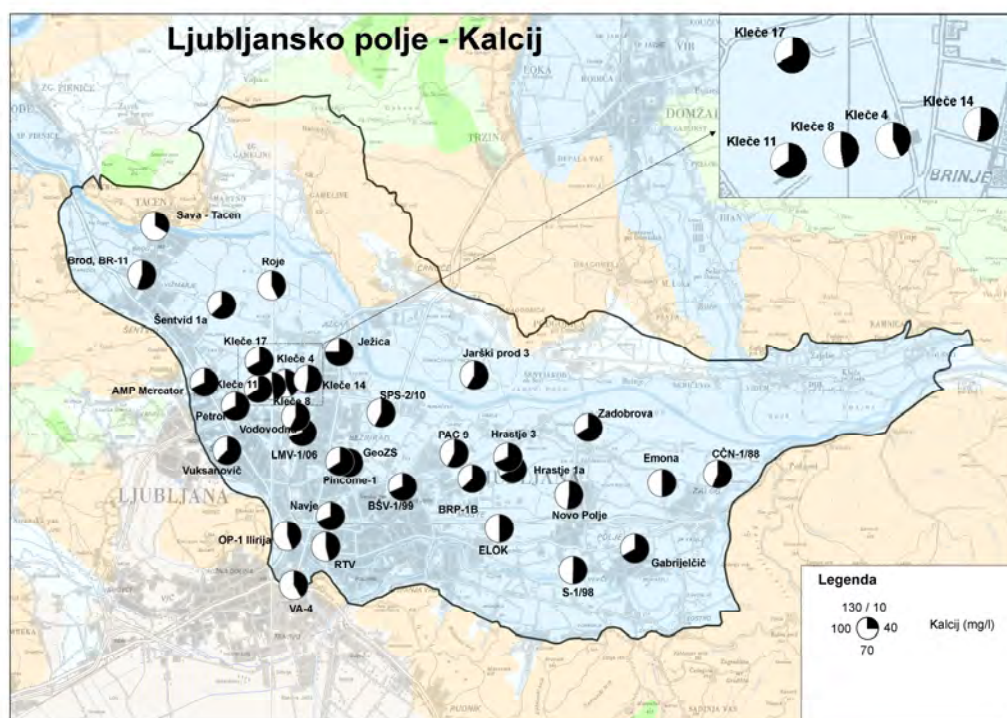


Rezultati analiz koncentracije kalcija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja





Vsebnost kalcija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja – vzorčenje jesen 2010



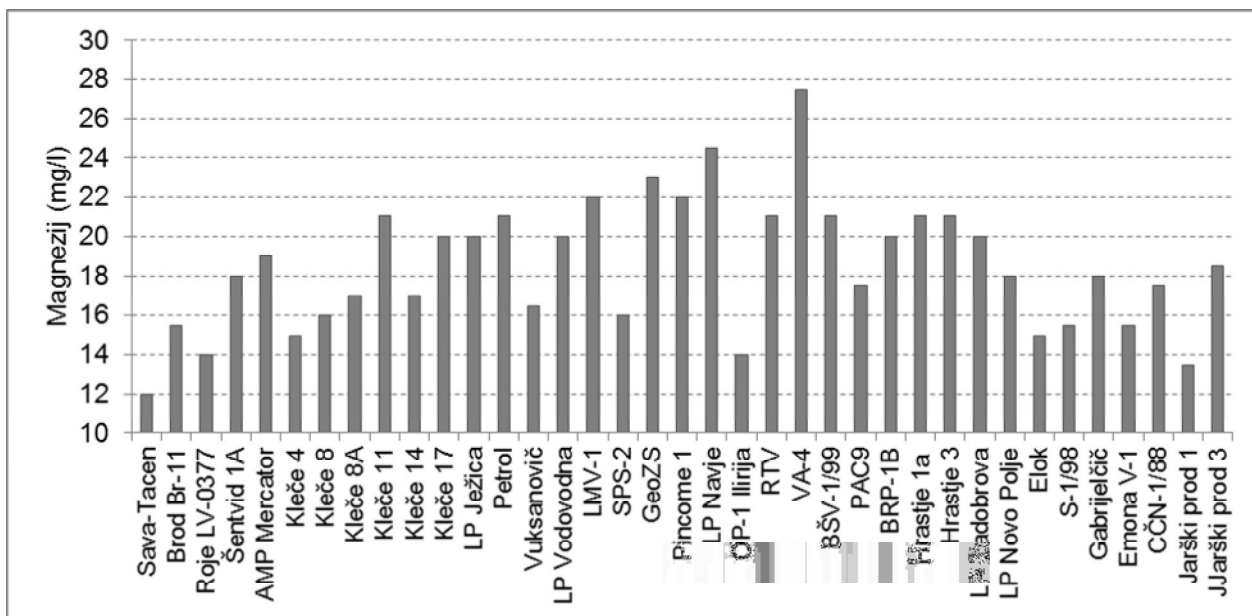
Vsebnost kalcija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja – vzorčenje pomlad 2011





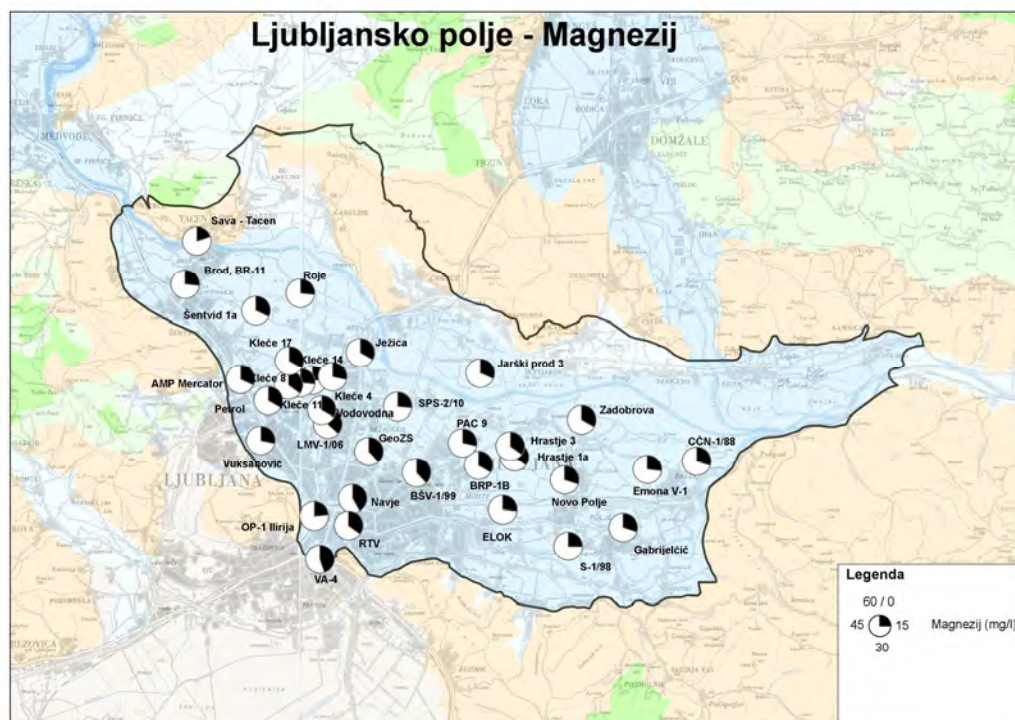
Magnezij

Glavni vir magnezija v podzemnih vodah je kemična korozija dolomitov z delovanjem ogljikove kisline. V večini primerov se koncentracije magnezija v opazovanih podzemnih vodah gibljejo okoli 20 mg/l, razen pri podzemnih vodah, ki so pod večjim vplivom reke Save ter pri podzemni vodi iz vzhodnega dela vodonosnika Ljubljanskega polja.

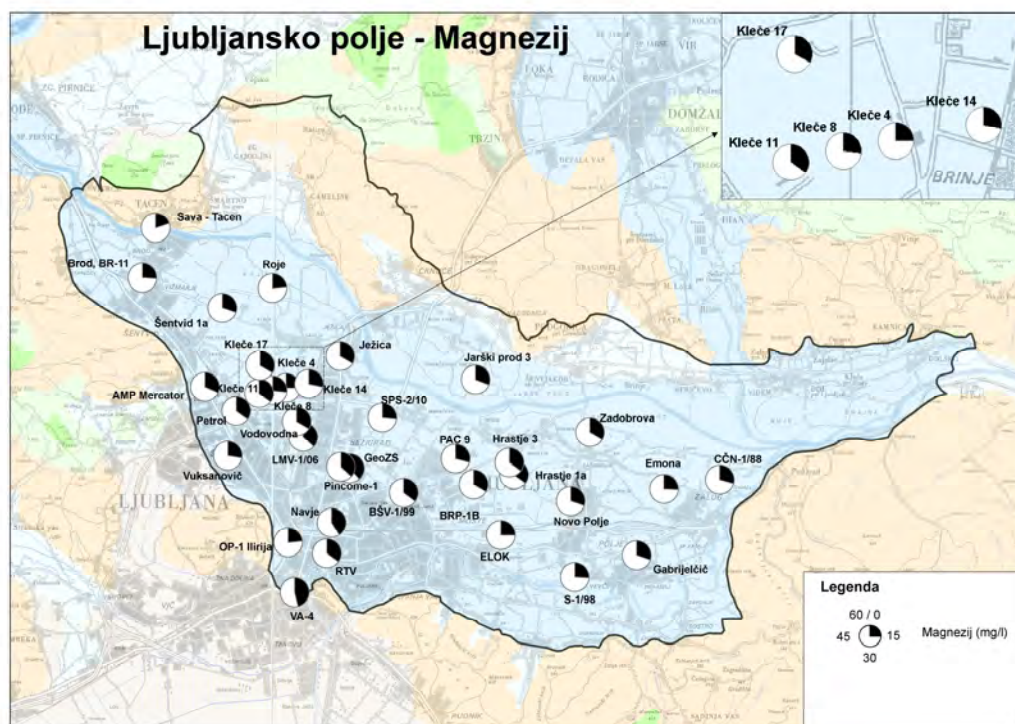


Rezultati analiz koncentracij magnezija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja





Vsebnost magnezija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja – vzorčenje jesen 2010



Vsebnost magnezija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja – vzorčenje pomlad 2011

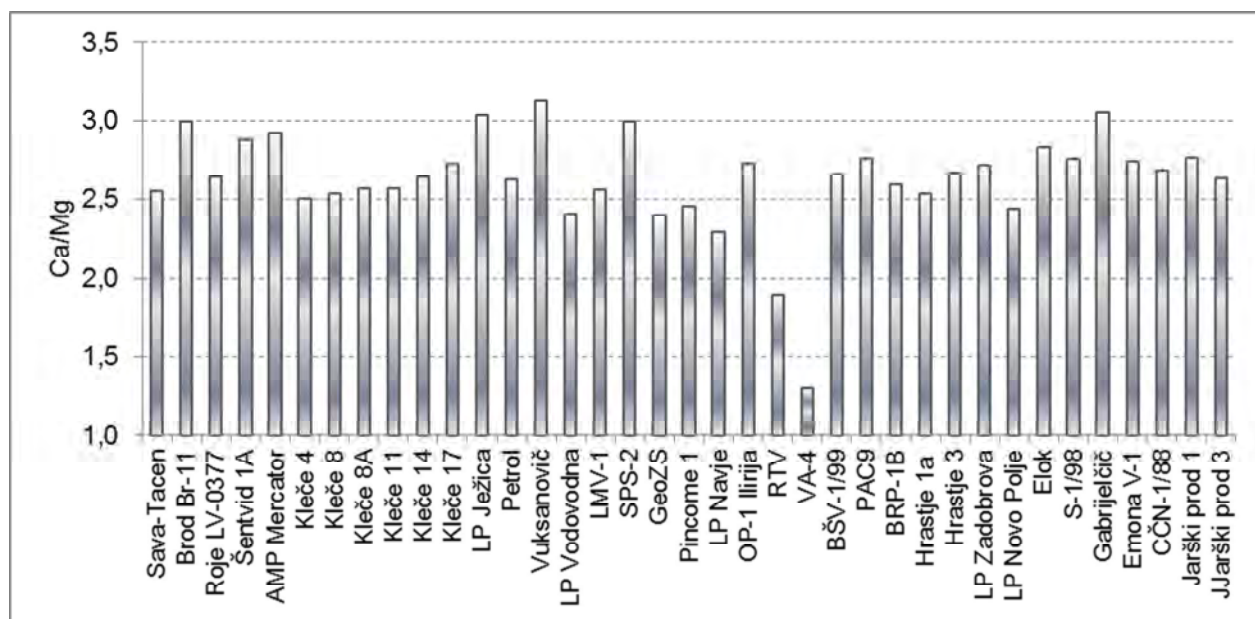




Molsko razmerje Ca/Mg

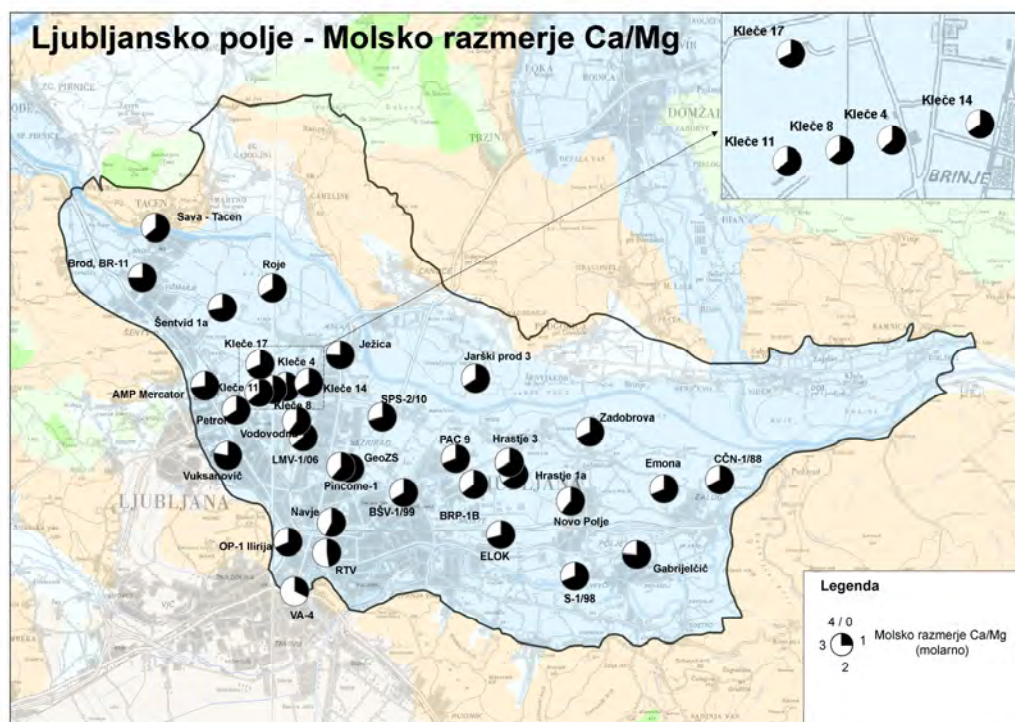
Običajno nam več kot same koncentracije kalcija oziroma magnezija v podzemni vodi pove molsko razmerje med obema kemijskima parametroma, ki odraža litološko sestavo zaledja. Če v padavinskem zaledju prevladuje dolomit, se giblje molsko razmerje Ca/Mg okoli 1, če pa v zaledju prevladujejo apnenci, doseže molsko razmerje višje vrednosti.

Iz priloženega grafa vidimo, da se večina vrednosti molskega razmerja Ca/Mg giblje med 2,5 in 3, kar pomeni, da v zaledju opazovanih vod apnenci prevladujejo nad dolomitom. V tem pogledu sta izjemi opazovalni mesti VA-4 in RTV, ki se obe nahajata v bližini »Ljubljanskih vrat« med Ljubljanskim gradom ter Rožnikom, ki predstavljata mejo med vodonosnikoma Ljubljanskega polja ter Ljubljanskega barja. Ker v vodonosniku Ljubljanskega barja prevladujejo vode z večjim deležem magnezija predvidevamo, da se v obeh opisanih mestih pojavlja podzemna voda iz Ljubljanskega barja. Takšno interpretacijo potrjujejo tudi indikatorji starosti vode, ki bodo opisani v nadaljevanju poročila.



Molsko razmerje med kalcijem in magnezijem v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja





Molsko razmerje Ca/Mg v vodonosniku Ljubljanskega polja – vzorčenje pomlad 2011





Nitrati

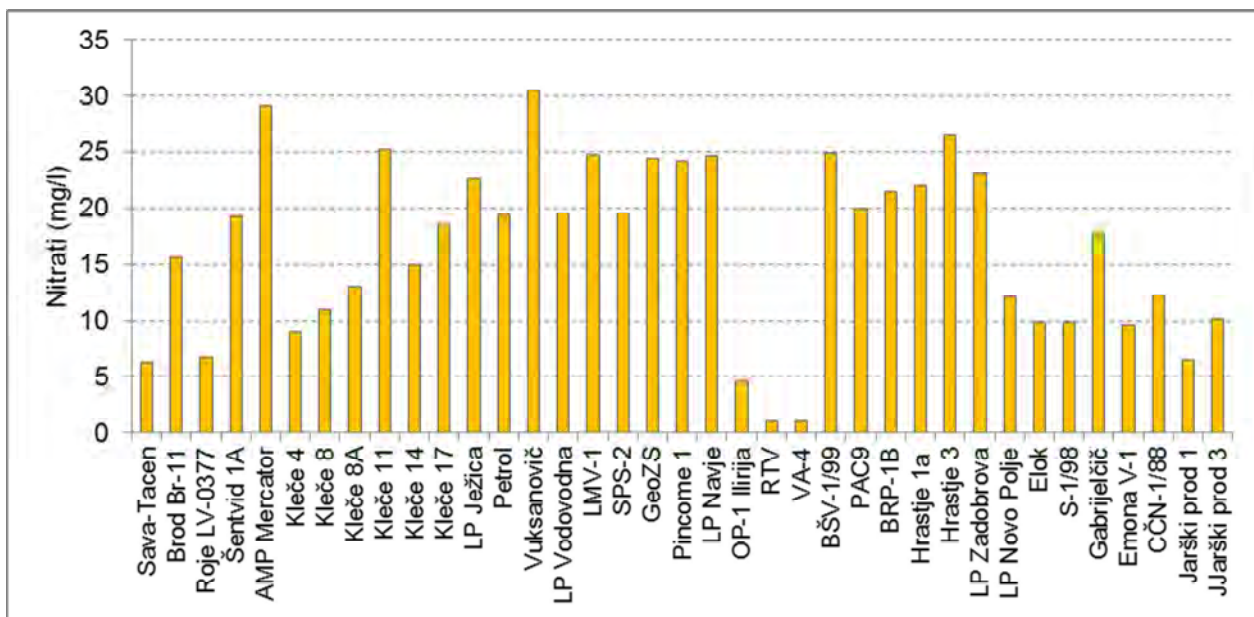
Nitrati v podzemni vodi imajo običajno izvor bodisi v gnojenju kmetijskih površin ali vplivu odpadnih vod na vodonosnik. Na priloženem grafu so prikazane povprečne koncentracije nitratov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja. Večina izmerjenih vrednosti nitratov v podzemnih vodah se giblje v območju med 20 in 25 mg/l.

Podobno kot pri parametrih mineralizacije vod tudi pri nitratih opazamo znižanje koncentracij nitratov na območjih, kjer je večji vpliv infiltracije reke Save v vodonosnik. Reka Sava ima zaradi svojega hribovitega zaledja nizko koncentracijo nitratov, kar se naprej pozitivno odraža tudi na kvaliteti podzemne vode v vodonosniku.

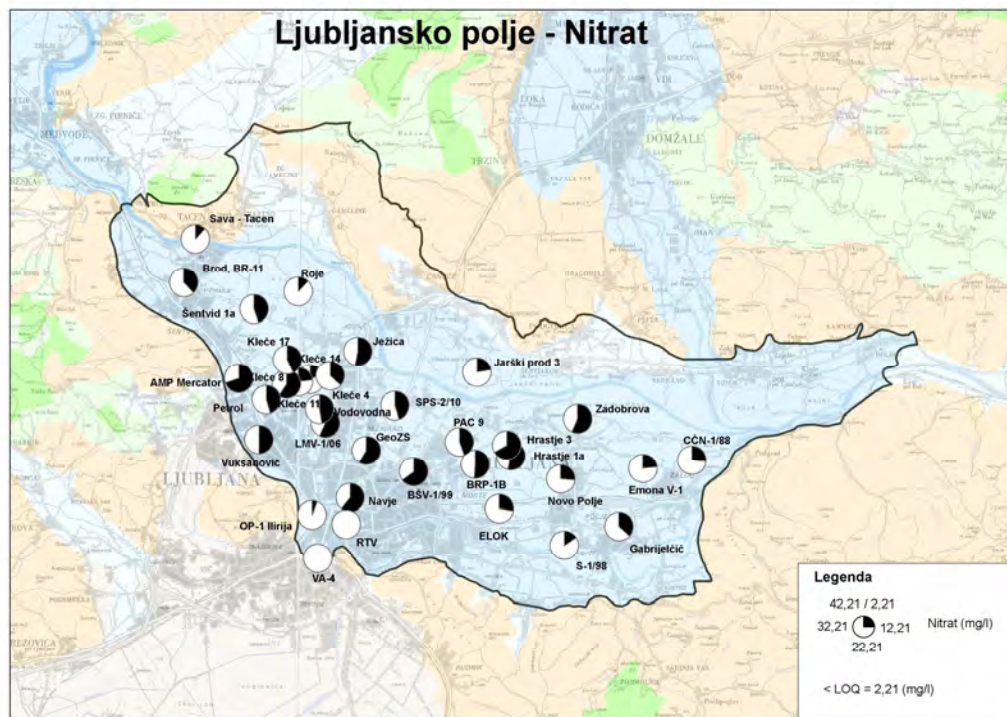
Izrazito nizke koncentracije nitratov smo zaznali tudi na opazovalnih mestih, ki se nahajajo v bližini Ljubljanskih vrat (RTV, VA-4, OP-1 Ilirija). Nizke koncentracije nitratov na teh opazovalnih mestih interpretiramo z lokalnimi hidrogeološkimi pogoji. Na tem območju imamo zaradi glinastih krovnih plasti vodonosnik zaprt, tako da v podzemni vodi zaradi redukcijskih pogojev prihaja do denitrifikacijskih procesov.

Nižje koncentracije nitratov smo zaznali tudi na vzhodnem delu vodonosnika Ljubljanskega polja, kjer se tipične koncentracije gibljejo okoli 10 mg/l. Kot je bilo navedeno že pri razlagi parametrov karbonatnega ravnotežja podzemne vode bi bilo lahko tudi v tem primeru vzrok nižjih koncentracij nitratov razredčevanje onesnaženja z vodami iz hribovitega zaledja na južnem obrobju vodonosnika ali zatekanja reke Ljubljanice v vodonosnik.



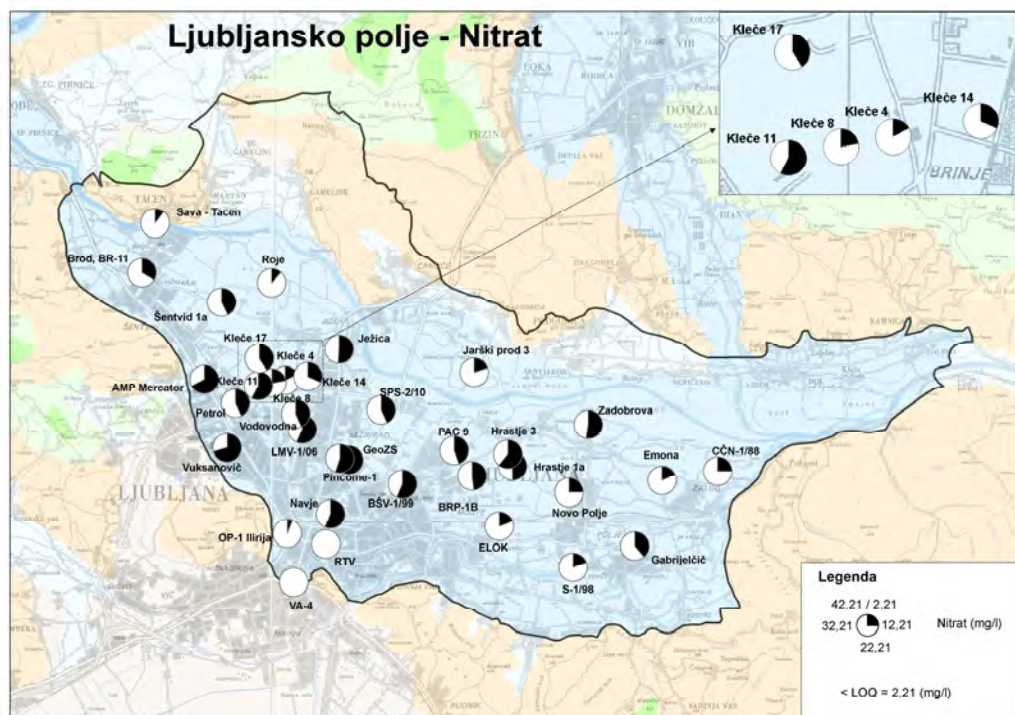


Koncentracije nitratov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja



Vsebnost nitratov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja – vzorčenje jesen 2010



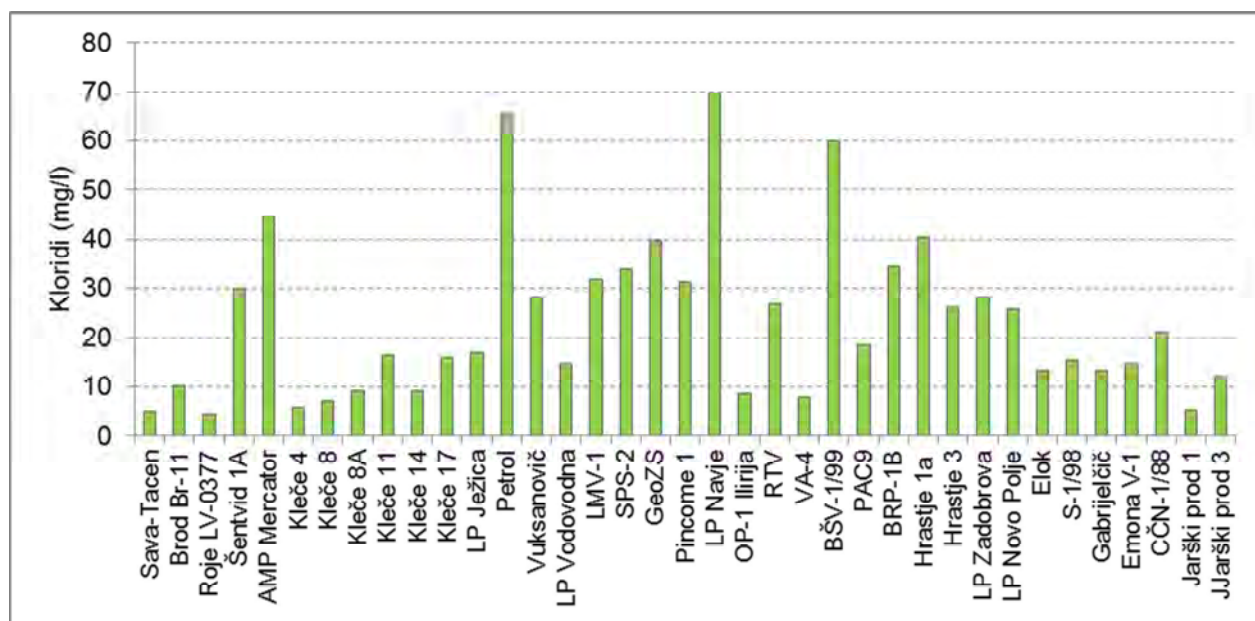




Kloridi

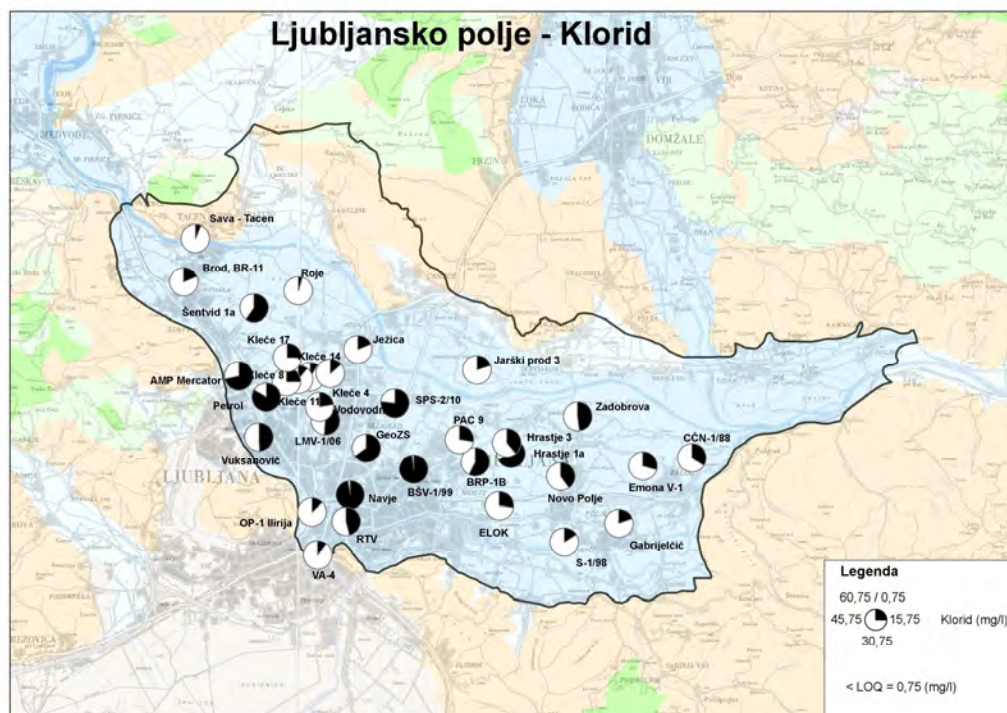
Kloridi v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja lahko izhajajo iz odpadnih vod ali iz zaščite cestne infrastrukture pred zmrzaljo. Graf koncentracij kloridov kaže, da koncentracije kloridov vzdolž toka podzemne vode počasi naraščajo do približno 40 mg/l. Na nekaterih mestih koncentracije kloridov narastejo tudi do 60 do 70 mg/l. Ocenjujemo, da gre v teh primerih za točkovna onesnaženja, bodisi zaradi soljenja cest ali izrazitih vplivov odpadnih oziroma fekalnih vod.

Na vzhodnem območju vodonosnika so koncentracije kloridov zopet nižje, tipične vrednosti se gibljejo okoli 15 mg/l.

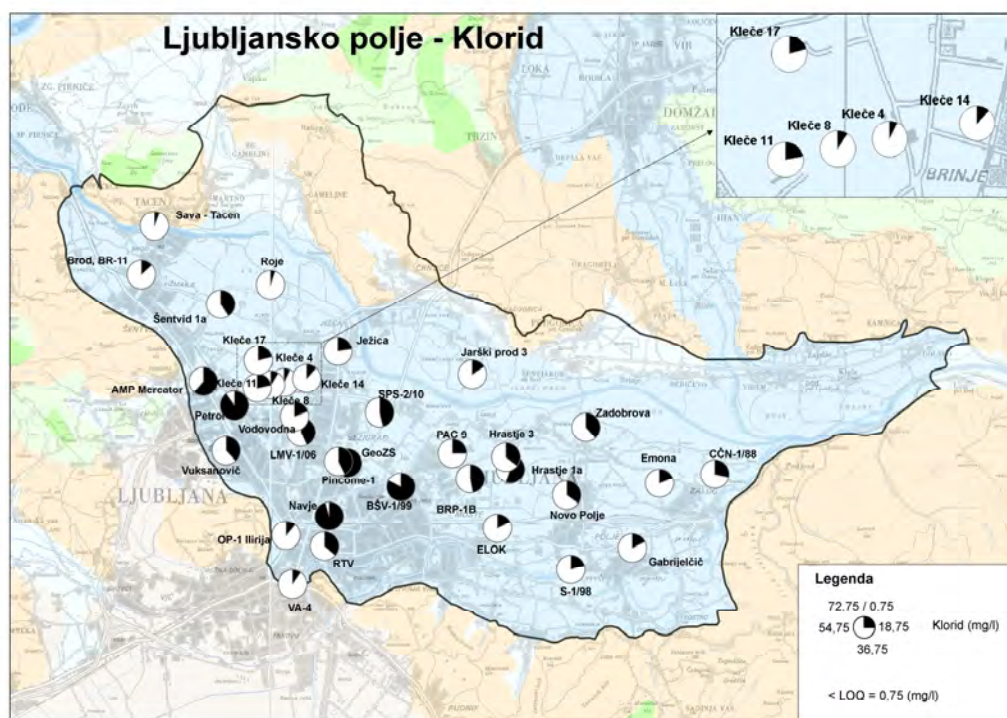


Koncentracije kloridov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja





Vsebnost kloridov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja – vzorčenje jesen 2010

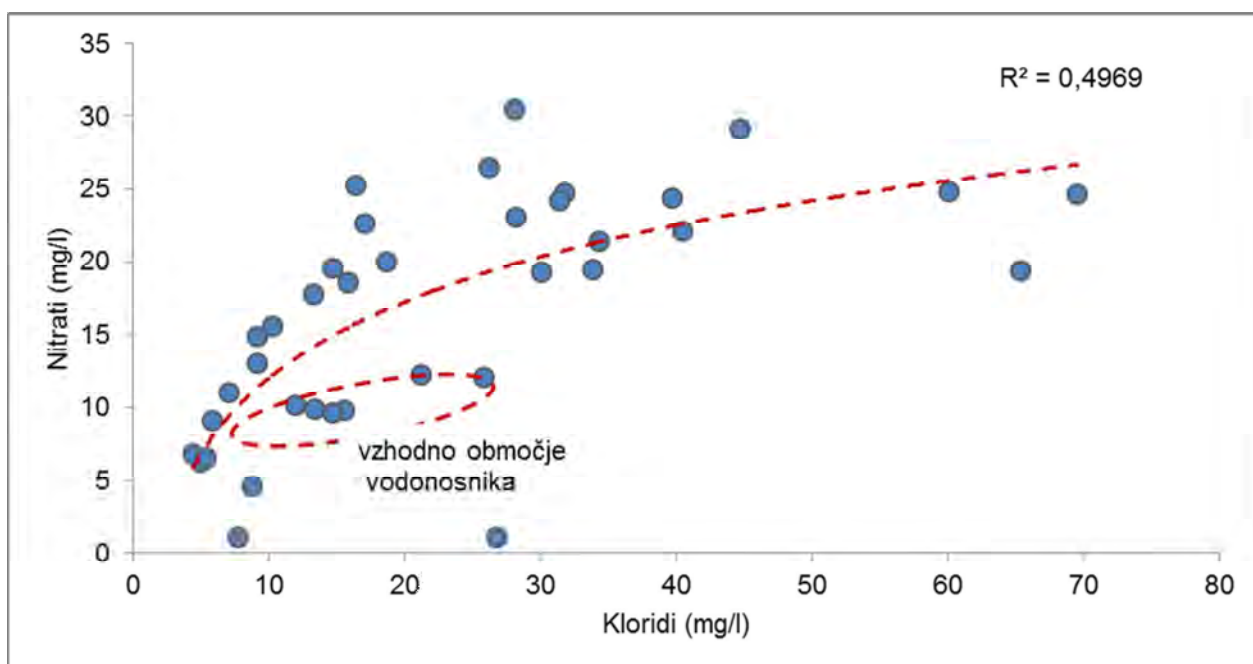


Vsebnost kloridov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja – vzorčenje pomlad 2011





Naslednji graf prikazuje odvisnost med koncentracijo nitratov in kloridov v podzemni vodi Ljubljanskega polja. Iz grafa je razvidno, da povezava med obema parametroma obstaja. Vzhodno območje vodonosnika je bistveno manj obremenjeno s kloridi, tako da opazovalna mesta na vzhodnem območju odstopajo od odvisnosti, ki velja za ostale dele vodonosnika.



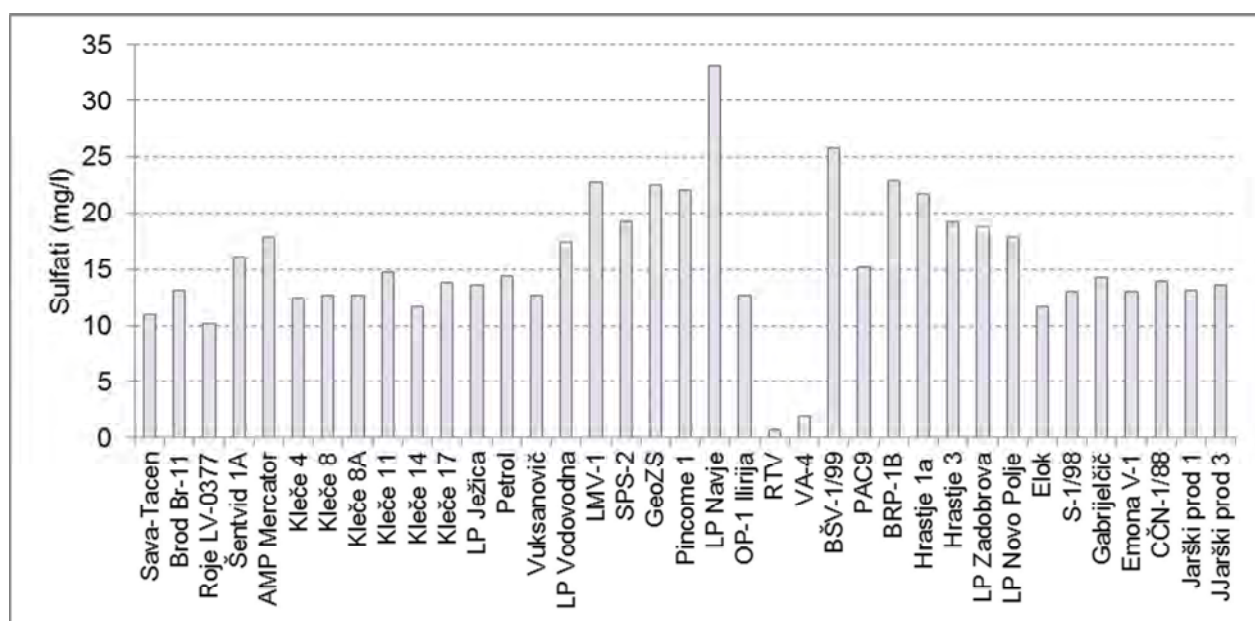
Odvisnost med koncentracijo nitratov in kloridov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja





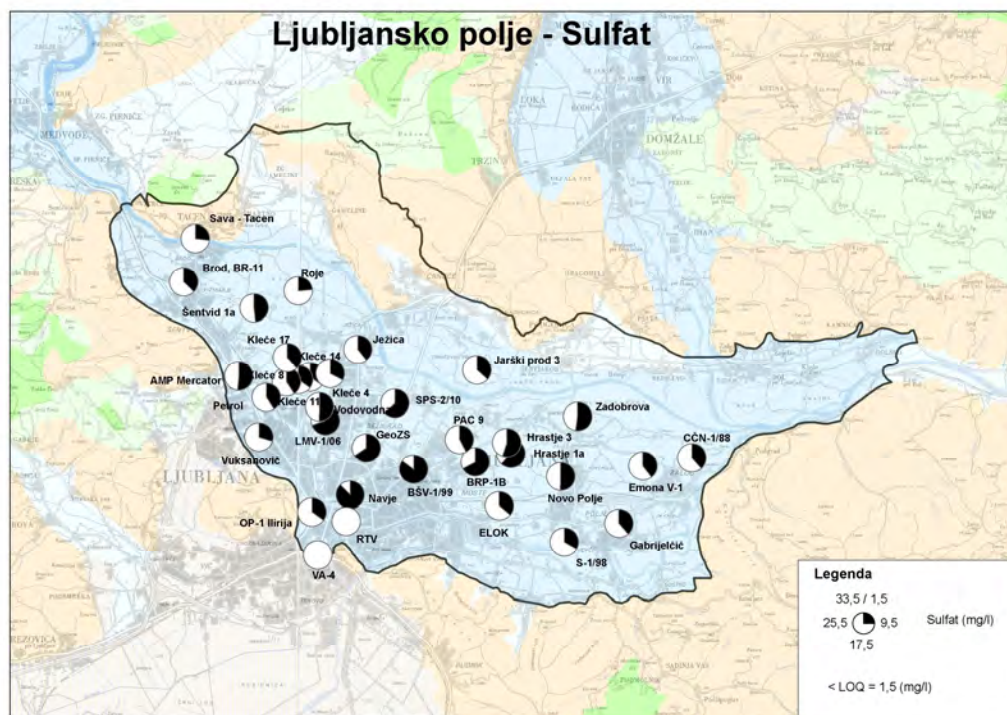
Sulfati

Poleg možnega geogenega izvora so sulfati v podzemni vodi v mnogih primerih lahko tudi indikator antropogenega onesnaženja podzemne vode. Tudi koncentracije sulfatov vzdolž toka podzemne vode postopoma naraščajo, tako da v osrednjem delu vodonosnika Ljubljanskega polja beležimo koncentracije med 20 in 25 mg/l.

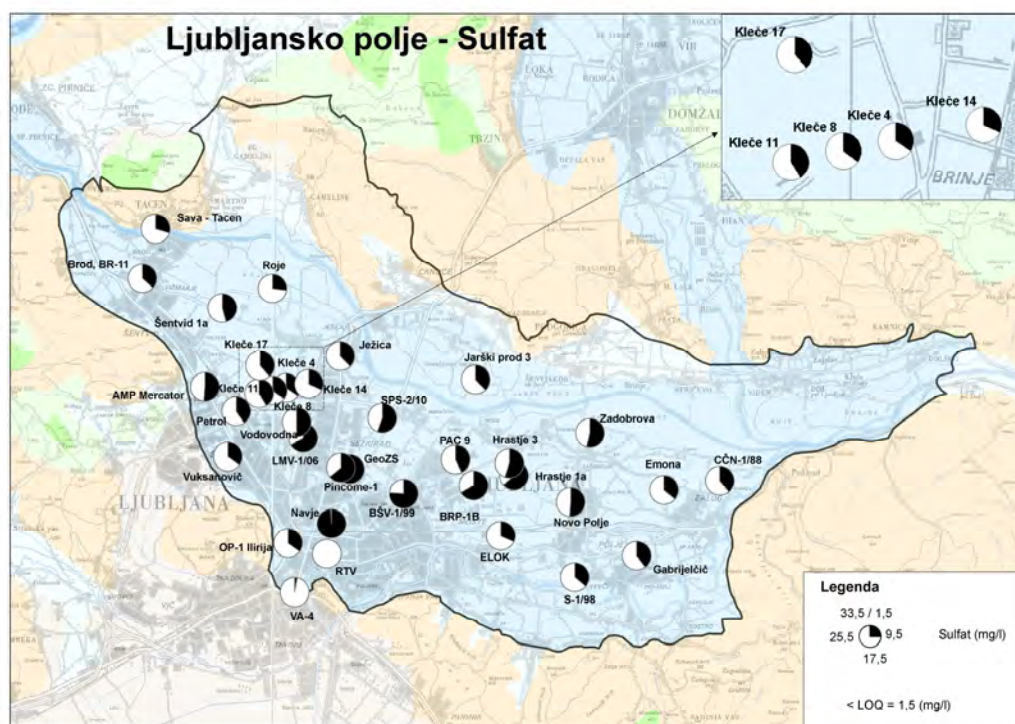


Koncentracije sulfatov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja





Vsebnost sulfatov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja – vzorčenje jesen 2010

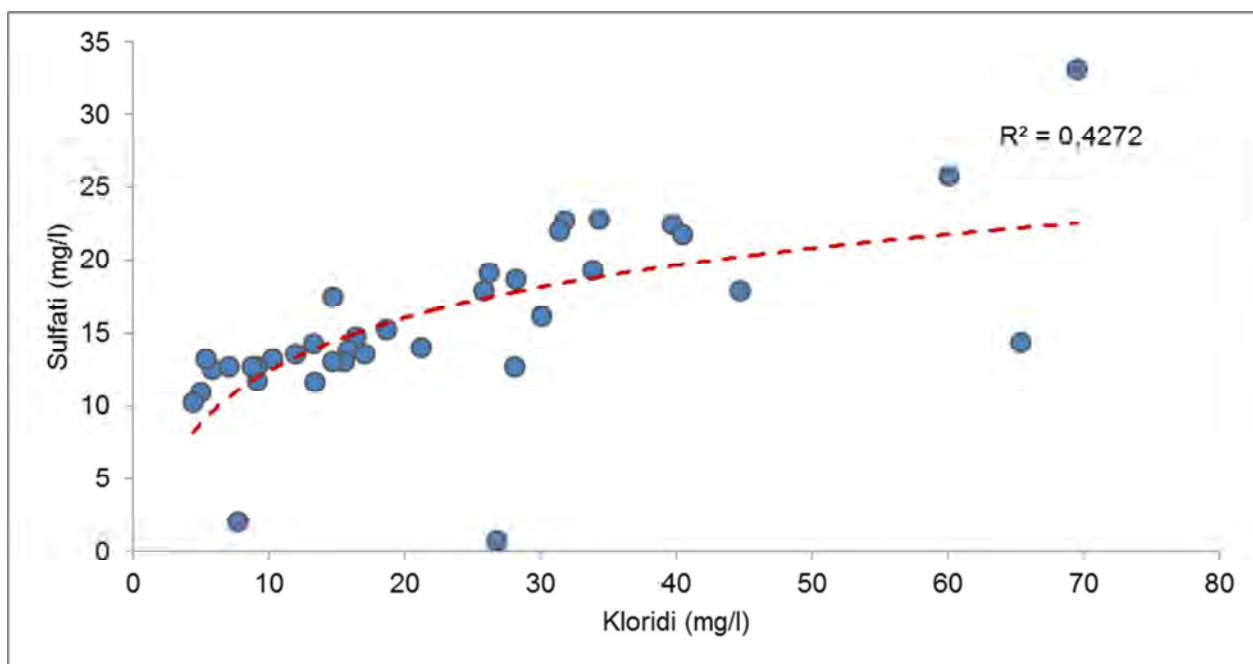


Vsebnost sulfatov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja – vzorčenje pomlad 2011





Koncentracije sulfatov so dokaj dobro korelirane s koncentracijami kloridov, kar bi lahko kazalo na skupni izvor obeh onesnaževal podzemne vode.



Odvisnost med koncentracijami sulfatov in kloridov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja



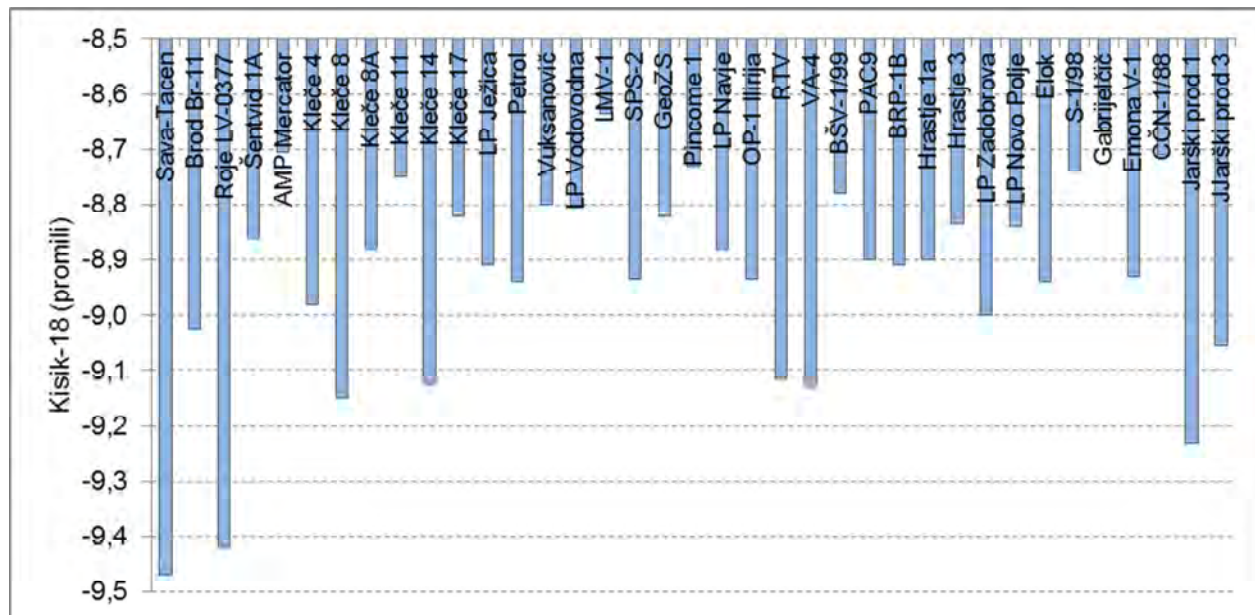


Stabilni izotop kisik-18

Izotopska sestava kisika-18 v vodi v glavnem odraža nadmorsko višino terena, nad katerim je potekala kondenzacija padavin (višinski izotopski efekt), ter oddaljenost od oceana, ki je poglavitni vir atmosferske vlage (celinski izotopski efekt). V manjših hidroloških bazenih je celinski izotopski efekt praktično zanemarljiv, tako da izotopsko sestavo kisika v vodi interpretiramo v prvi vrsti kot funkcijo nadmorske višine območja napajanja določene vodonosne strukture. Večinoma velja, da se za vsakih 100 m nadmorske višine zaradi višinskega izotopskega efekta padavin izotopska sestava spremeni za približno 0,3 promile.

Po infiltraciji padavin se izotopska sestava kisika v vodi v nizko-temperaturnih vodonosnikih ne spreminja, razen zaradi mešanja z vodami drugačne izotopske sestave kisika. Zaradi tega izotop kisik-18 lahko smatramo kot idealno sledilo.

Osnovne značilnosti izotopske sestave kisika-18 v podzemni vodi Ljubljanskega polja so prikazane na grafu.



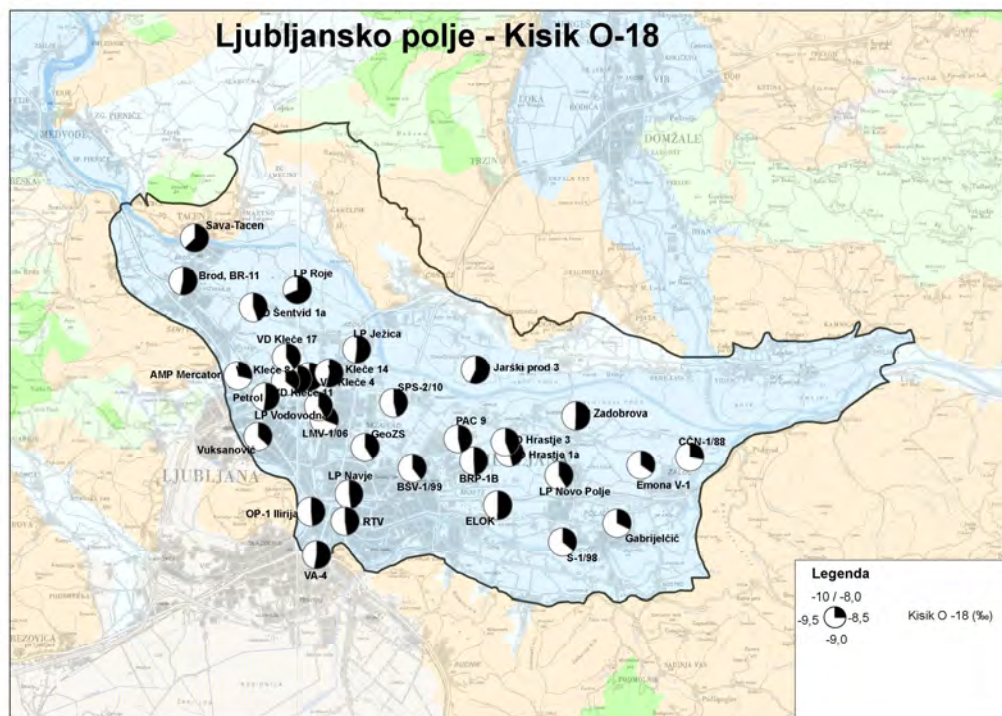
Izotopska sestava kisika-18 v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja

Večina izmerjenih vrednosti izotopske sestave kisika se giblje med $-8,6$ in $-9,5$ ‰. Reka Sava je zaradi svojega hribovitega oziroma gorskega padavinskega zaledja močno osiromašena z izotopom kisik-18. Izrazito osiromašenje s kisikom-18 smo zaznali še na opazovalnih mestih Roje



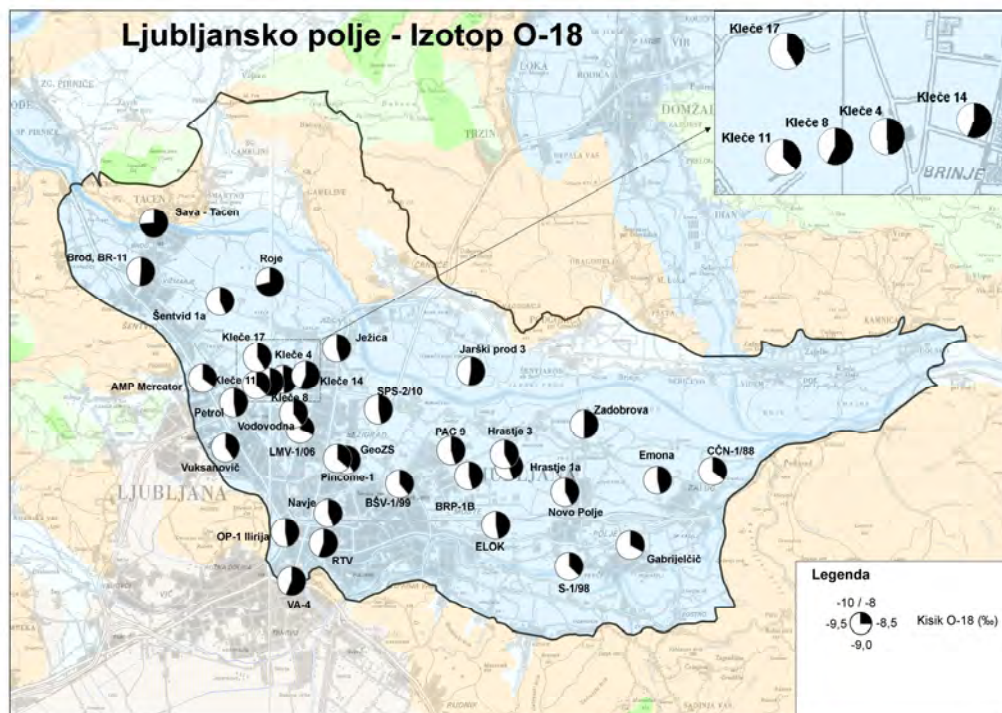


LV-0377 ter VD Jarški prod-1 kar kaže na prevladovanje komponente vode reke Save v podzemni vodi.



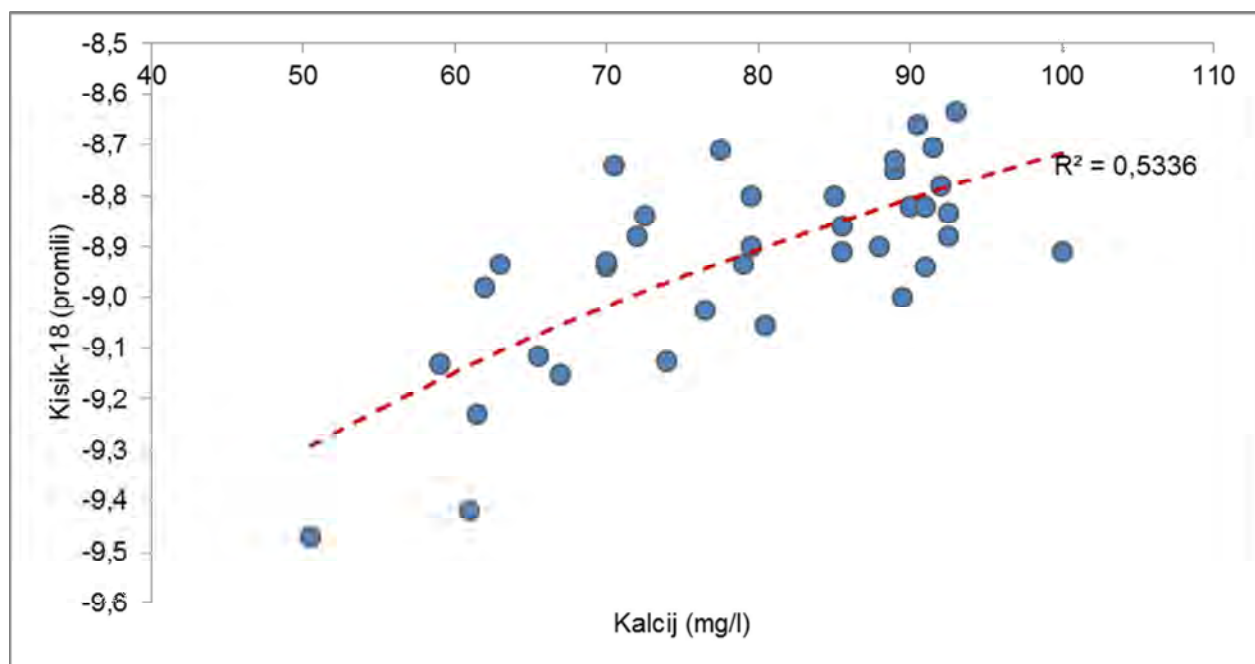
Izotopska sestava kisika-18 v vodonosniku Ljubljanskega polja – vzorčenje jesen 2010





Izotopska sestava kisika-18 v vodonosniku Ljubljanskega polja – vzorčenje pomlad 2011

Izotopska sestava kisika v podzemni vodi je v dokaj dobri korelaciji z vsebnostjo karbonatov v vodi. Na grafu je prikazan primer korelacije med izotopsko sestavo kisika ter koncentracijo kalcija.



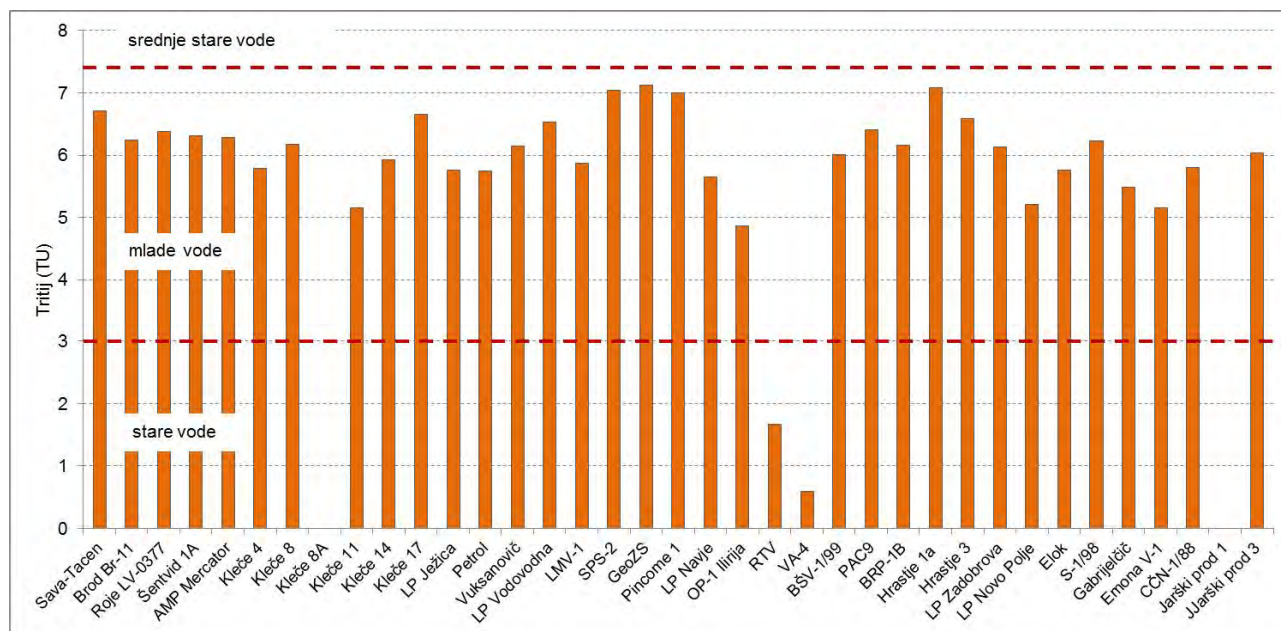


Radioaktivni izotop tritij

Tritij je radioaktivni izotop z razpolovno dobo 12 let. Aktivnost tritija v padavinah trenutno znaša okoli 8 tritijevih enot, tako da imajo mlade vode, ki niso starejše od 10 let, aktivnost tritija med 4 in 8 tritijevimi enotami.

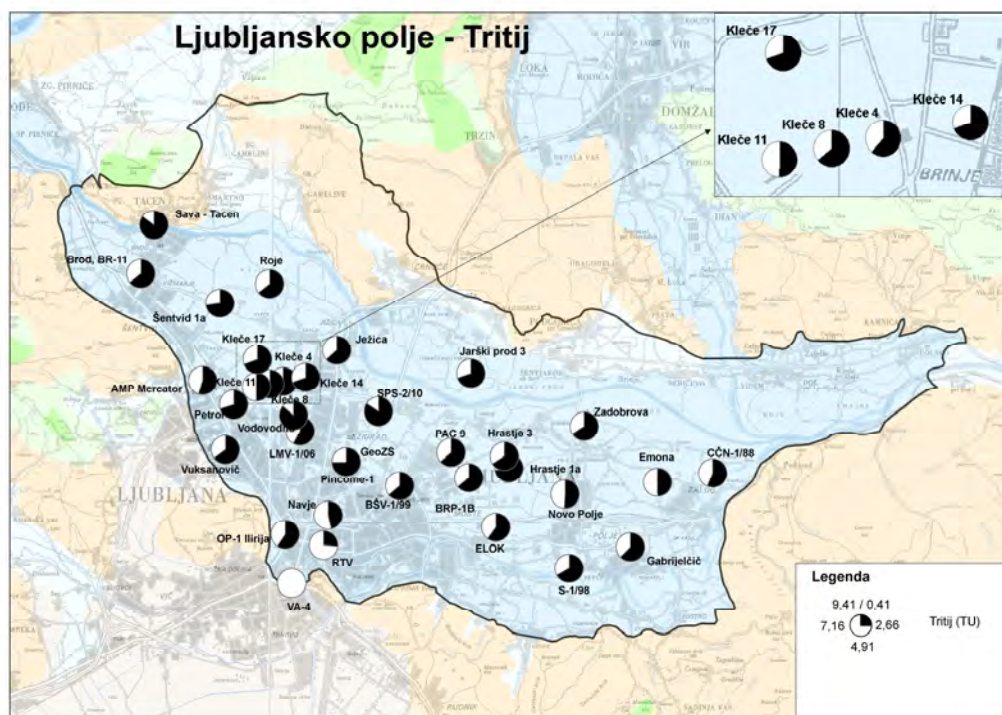
V načelu velja, da čim starejša je voda, tem nižja je v njej aktivnost tritija zaradi radioaktivnega razpada, ki zmanjšuje število atomov tritija v vodi. V praksi opredeljujemo vode, v katerih je tritija manj kot 3 TU, kot »stare« vode, njihovo starost ocenjujemo na več kot 50 let. V 60. letih prejšnjega stoletja se je nivo tritija v padavinah zaradi površinskih jedrskih poizkusov drastično povečal. Zaradi tega imajo vode, ki so stare med 10 in 50 let povišano aktivnost »bombnega« tritija, ki lahko doseže 12 tritijevih enot.

Graf prikazuje rezultate meritev aktivnosti tritija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja. Večina aktivnosti tritija se giblje v razponu med 5 in 7 tritijevih enot (TU) kar pomeni, da jih lahko uvrstimo v kategorijo mladih vod, katerih starost znaša do 10 let. V kategorijo starih vod, katerih zadrževalni čas je preko 50 let, uvrščamo podzemno vodo na opazovalnih mestih VA-4 in RTV. V teh vodah je zaradi počasnega toka v zaprti vodonosni strukturi prišlo do izrazitega znižanja aktivnosti tritija zaradi radioaktivnega razpada. Takšni rezultati kažejo, da v tem delu vodonosnik ne komunicira s površjem, saj bi bile v tem primeru aktivnosti tritija v podzemni vodi višje.



Aktivnost tritija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja





Tritij v vodonosniku Ljubljanskega polja – vzorčenje pomlad 2011



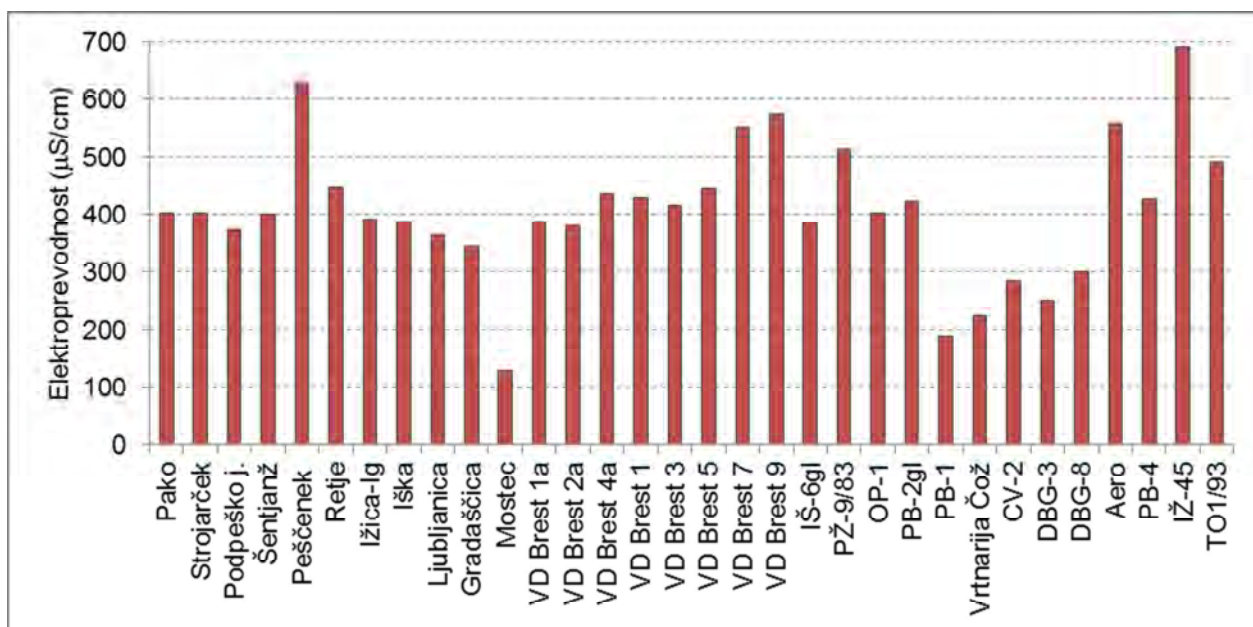


VODONOSNIK LJUBLJANSKEGA BARJA

Elektroprevodnost

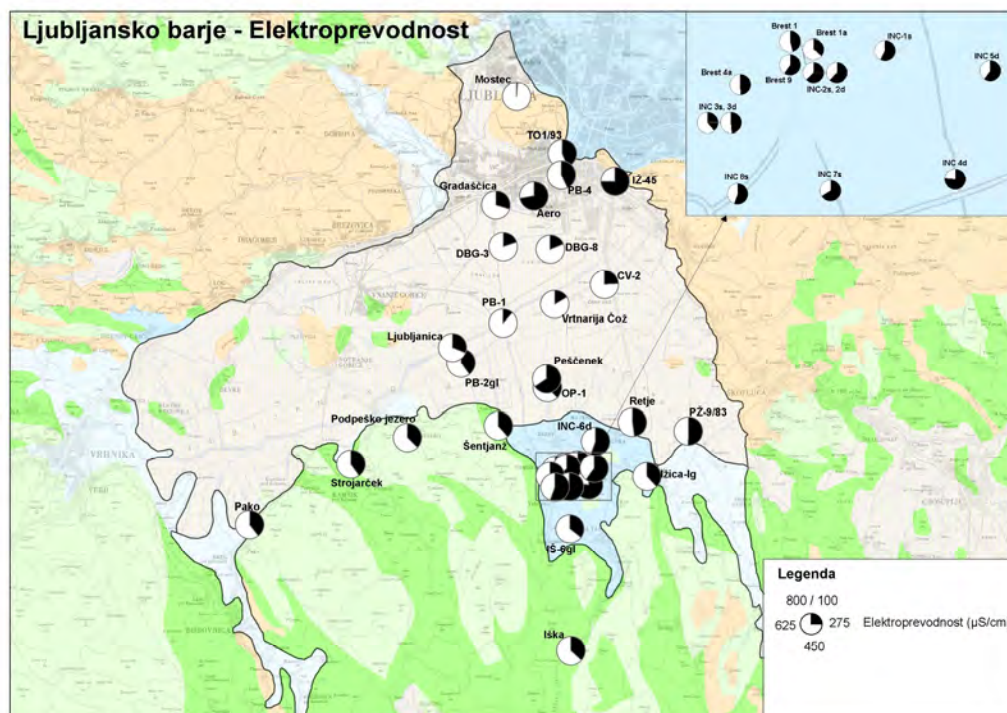
Iz grafa, na katerem so prikazane srednje vrednosti elektroprevodnosti podzemnih vod je razvidno, da je tipična vrednost okoli 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Višja elektroprevodnost okoli 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kar praviloma pomeni tudi več raztopljenih karbonatov, je značilna za podzemno vodo Iškega vršaja, v katerem elektroprevodnost vode narašča v smeri toka podzemne vode proti severovzhodu (Peščenek, VD Brest-7, VD Brest-9, PŽ-9). Povišane vrednosti elektroprevodnosti smo zaznali tudi v severnem delu vodonosnika Ljubljanskega barja (Aero, IŽ-45).

Znižane vrednosti elektroprevodnosti pa smo zaznali predvsem v osrednjem delu vodonosnika Ljubljanskega barja, kjer je vodonosnik zaprt pod plastjo glin polžarice. V vrtnah PB-1, Vrtnarija Čož, ČV-2, DBG-3 in DBG-8 se vrednosti elektroprevodnosti tako gibljejo v območju med 200 in 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Izrazito nižjo elektroprevodnost ima tudi potok v Mostecu, kjer pa gre za površinsko vodo, katere zaledje je v nekarbonatnih kamninah iz karbona in perma.

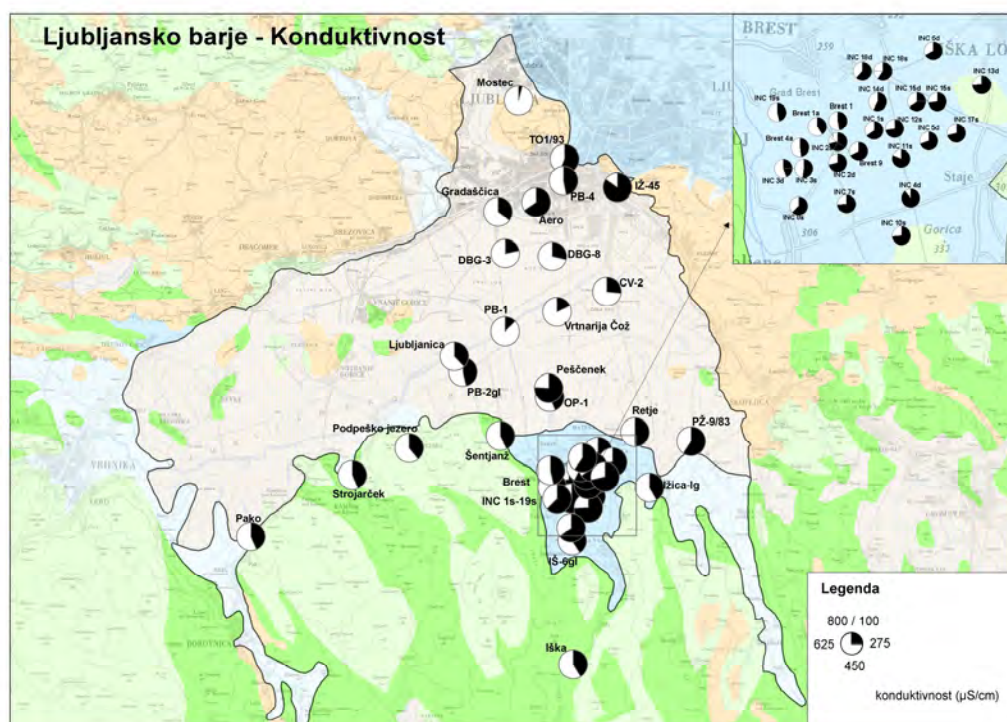


Elektroprevodnost podzemnih vod vodonosnika Ljubljanskega barja





Elektroprevodnost podzemne vode vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje jesen 2010



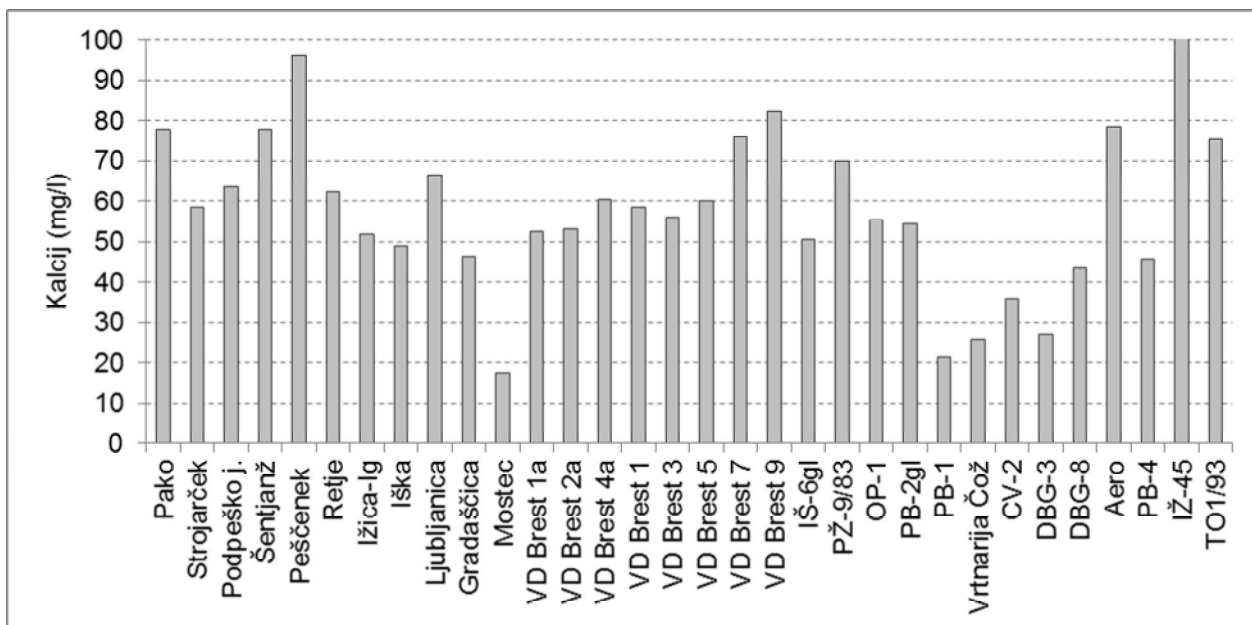
Elektroprevodnost podzemne vode vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011





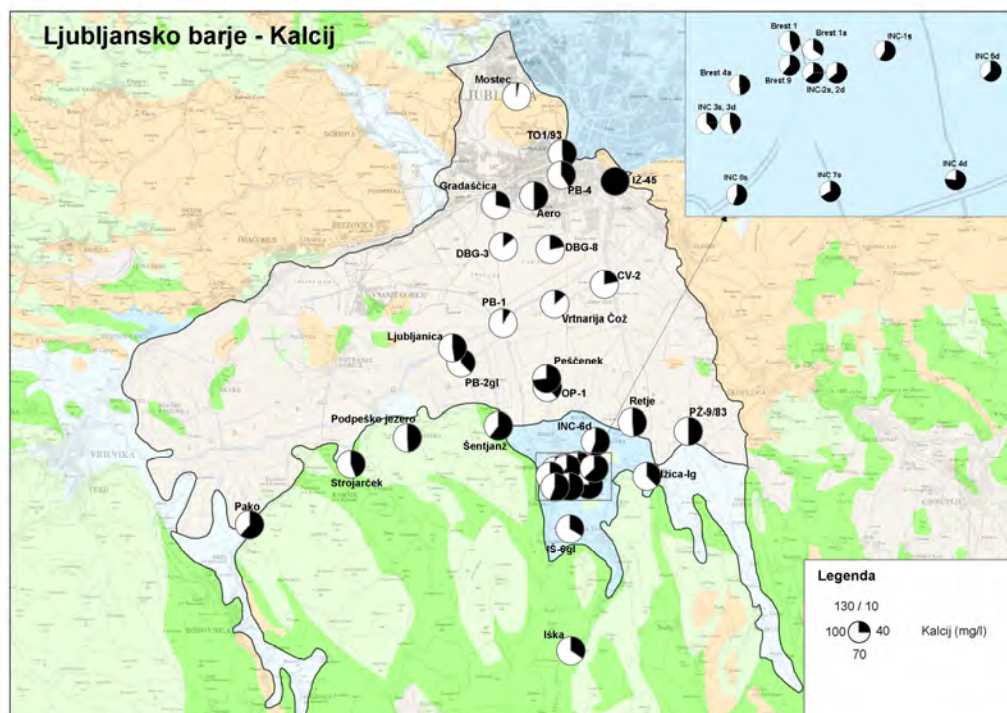
Kalcij

Porazdelitev koncentracij kalcija v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega barja je zelo podobna porazdelitvi elektroprevodnosti. Tudi v tem primeru so povišane koncentracije kalcija v SV delu vodonosnika Iškega vršaja ter na severnem območju vodonosnika, nižje koncentracije kalcija pa so značilne za osrednji del vodonosnika pod plastmi gline.

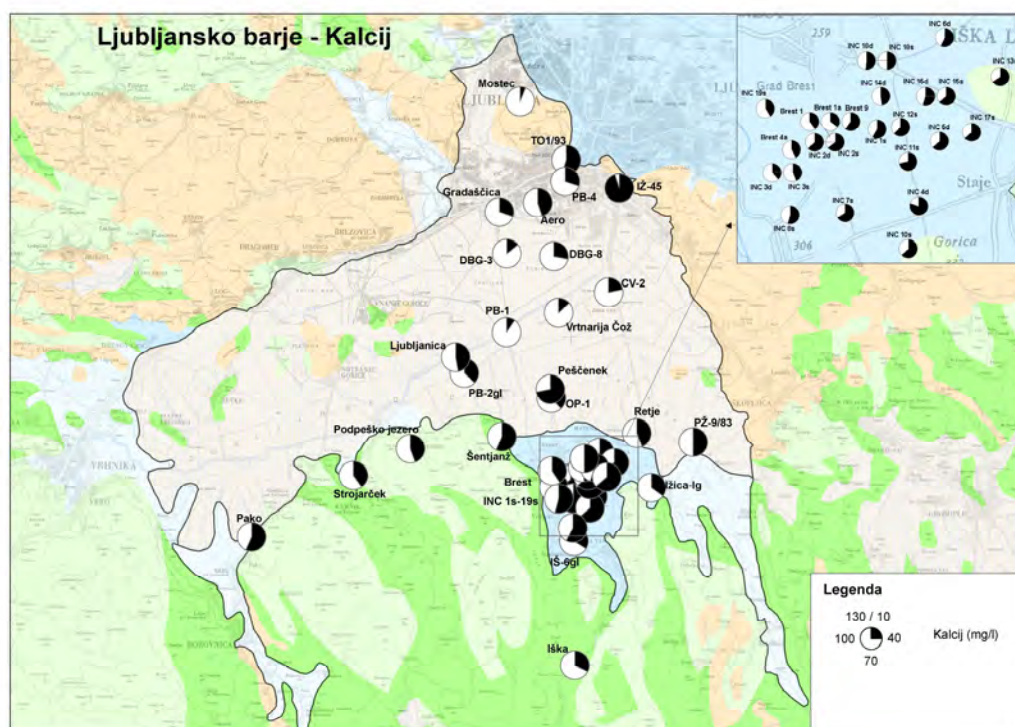


Vsebnost kalcija v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega polja





Vsebnost kalcija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje jesen 2010



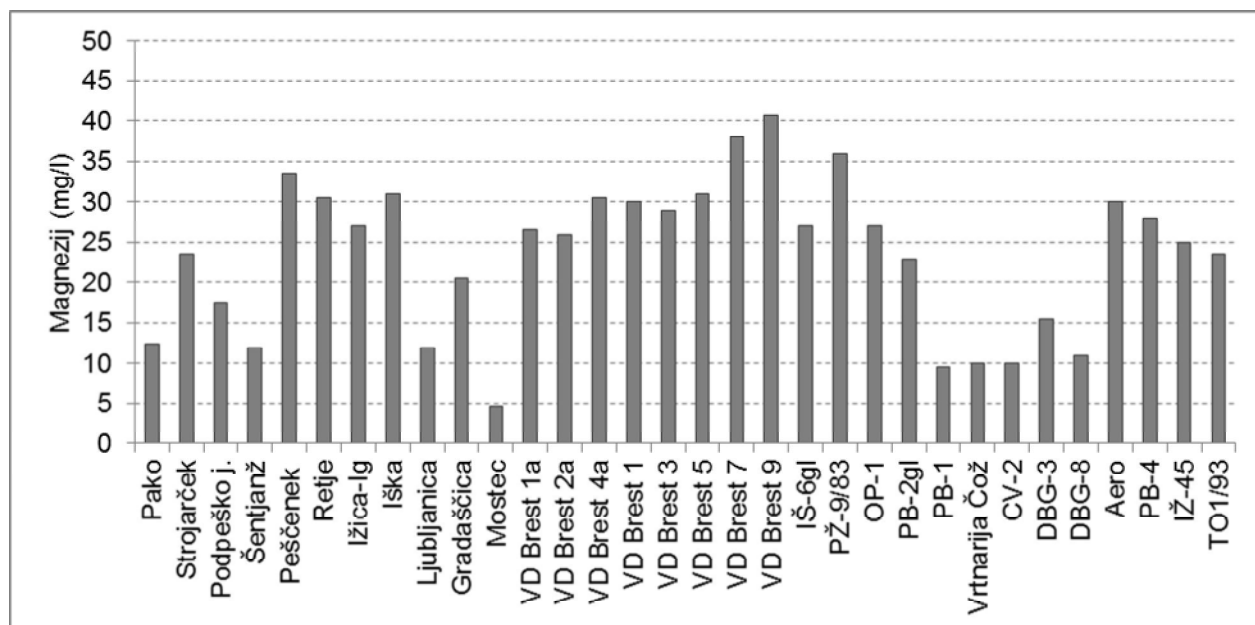
Vsebnost kalcija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011





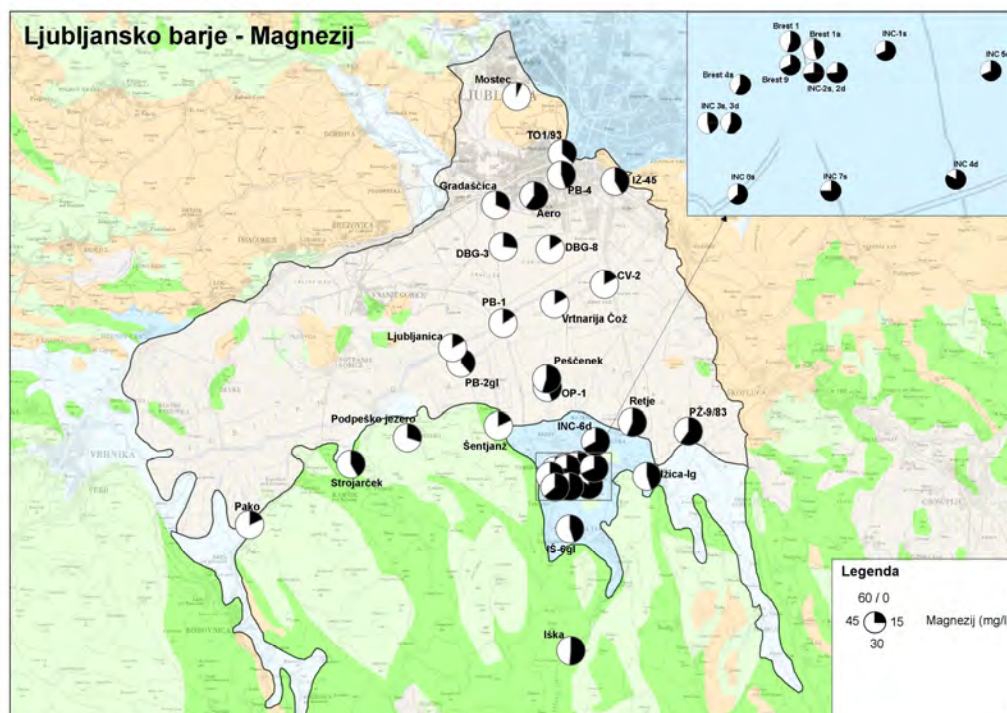
Magnezij

Tudi koncentracije magnezija približno sledijo vzorcu, ki smo ga zaznali ob meritvah elektroprevodnosti ter koncentracij kalcija v podzemni vodi. Tipična koncentracija magnezija se giblje okoli 30 mg/l kar kaže, da imamo na tem območju vode s precejšnjim deležem dolomitnih kamin v zaledju. Nekoliko znižane koncentracije magnezija smo izmerili le v kraških izvirih na južnem obrobju vodonosnika (Pako, Podpeško jezero, Šentjanž).

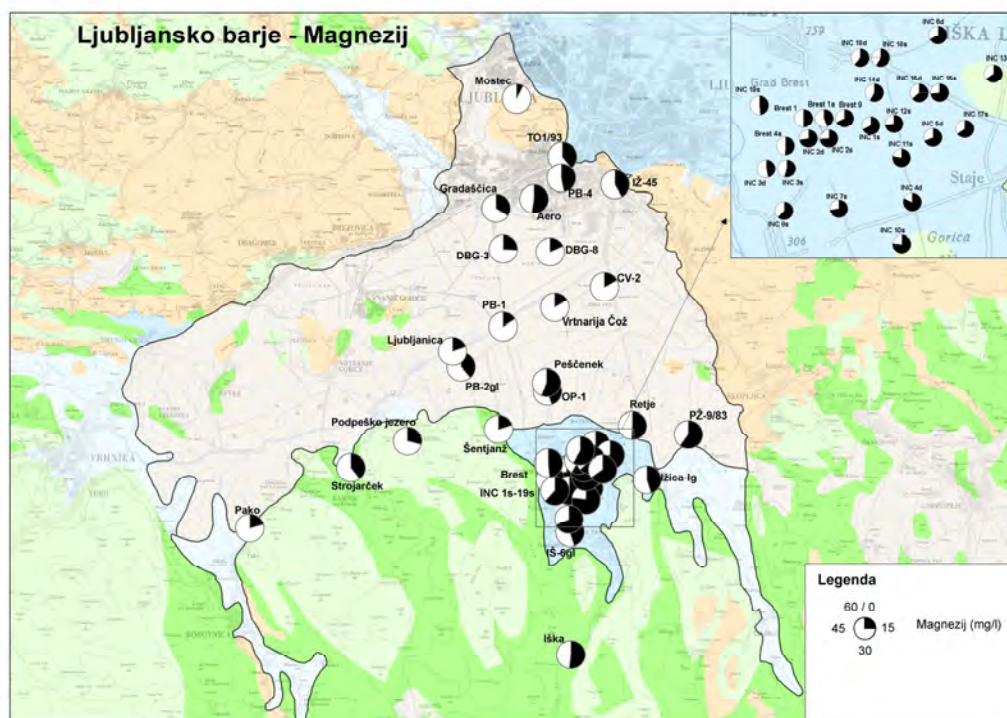


Vsebnost magnezija v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega barja





Vsebnost magnezija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje jesen 2010



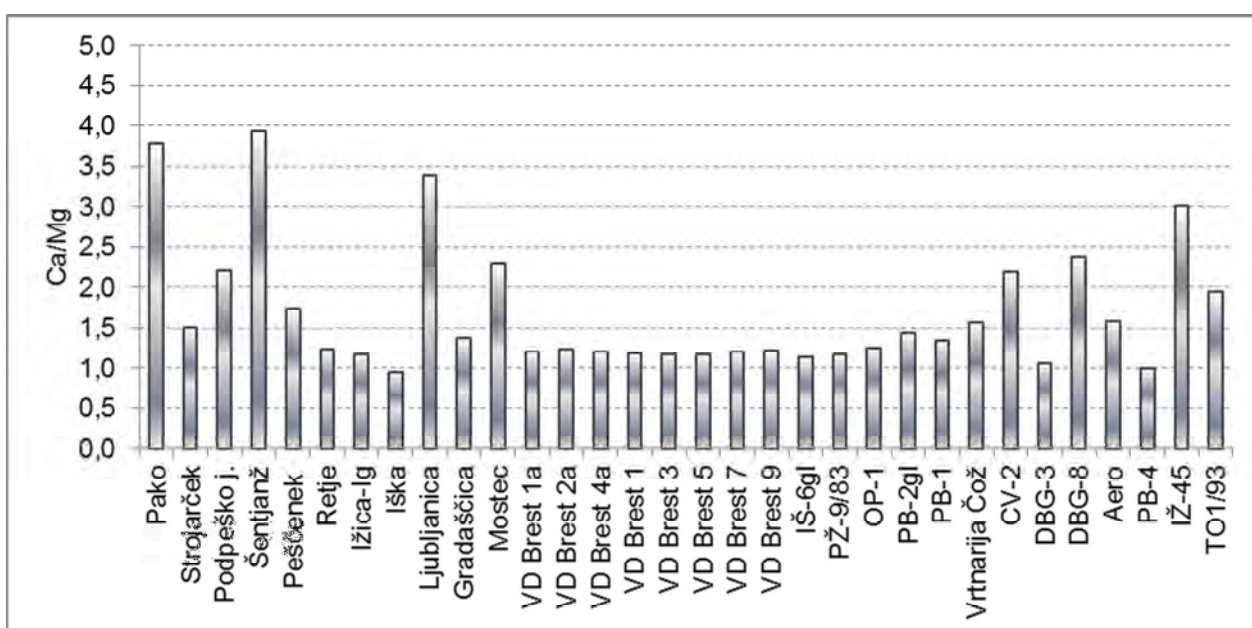
Vsebnost magnezija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011





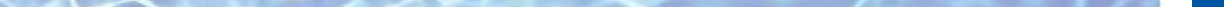
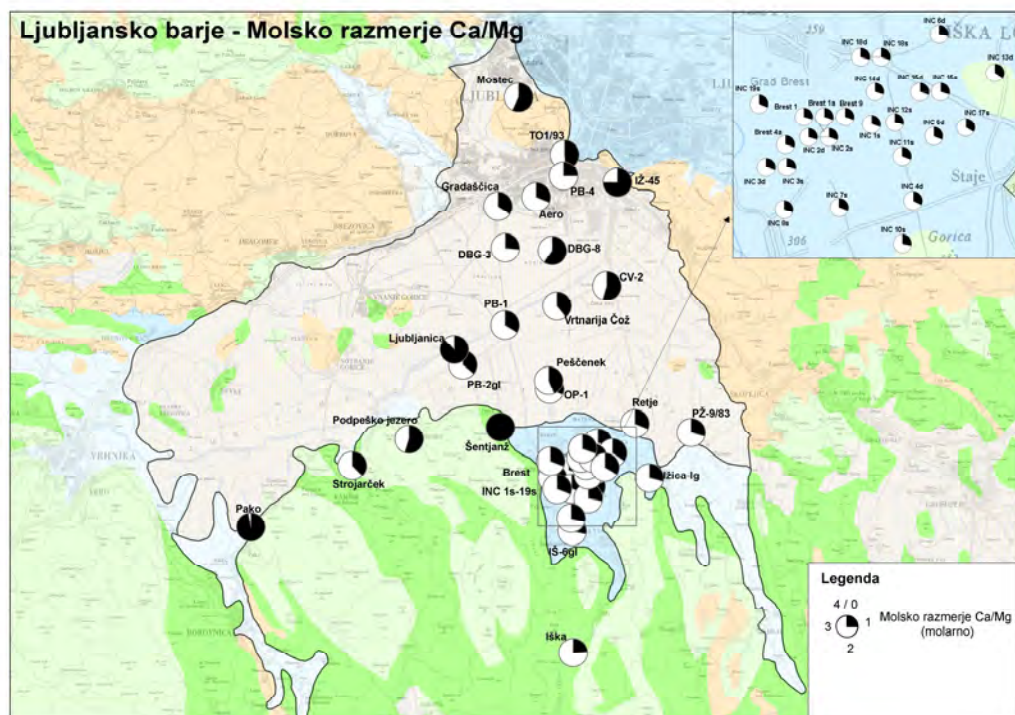
Molsko razmerje Ca/Mg

Graf molskega razmerja med kalcijem in magnezijem lepo kaže, da imamo v vodonosniku Ljubljanskega barja večinoma opraviti s podzemnimi vodami, katerih zaledje tvorijo večinoma dolomiti, saj se večina razmerij Ca/Mg nahaja v območju med 1 in 1,5. Višje molsko razmerje Ca/Mg je v vodah kraških izvirov na južnem obrobju Ljubljanskega barja ter na severnem delu vodonosnika, kjer očitno prihaja do vpliva lokalne infiltracije padavin na podzemno vodo.



Molsko razmerje Ca/Mg v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega barja



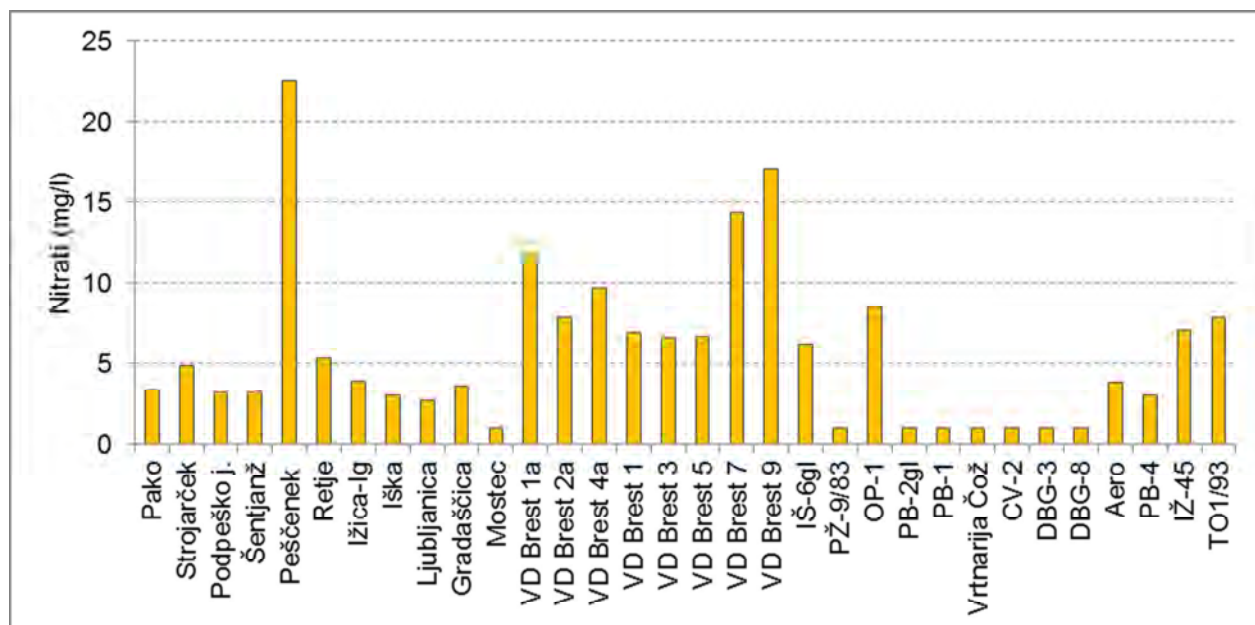




Nitrati

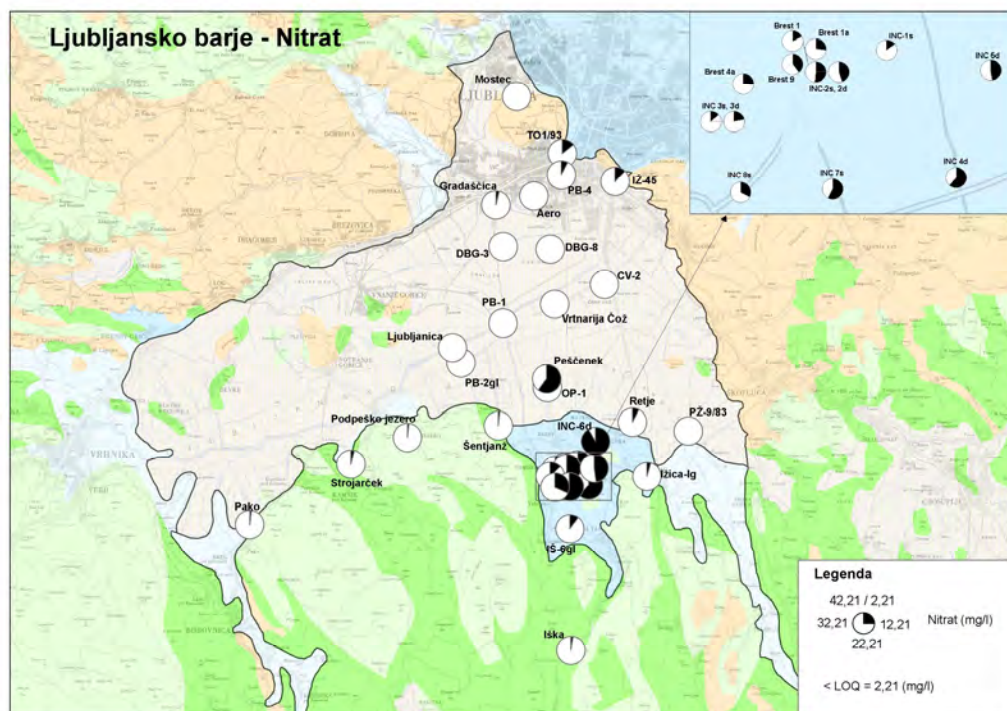
Podatki analiz kažejo, da je vsebnost nitratov v vodonosniku Ljubljanskega barja večinoma dokaj nizka. Večina koncentracij nitratov v vzorcih podzemnih vod je pod 5 mg/l. Nekoliko povišane vrednosti nitratov beležimo le na tistih območjih, kjer prihaja do neposrednih vplivov onesnaževal s površja, bodisi zaradi kmetijske dejavnosti ali urbanih vplivov. Takšni območji sta Iški vršaj na južnem delu vodonosnika ter območje Viča na severnem območju vodonosnika.

Še posebej nizke so koncentracije nitratov v osrednjem delu Ljubljanskega barja, kjer vodonosnik prekriva neprepustna glinasta plast. Zaradi redukcijskega okolja tu prihaja do denitrifikacije, ki izrazito zmanjša vsebnost nitratov v podzemni vodi.

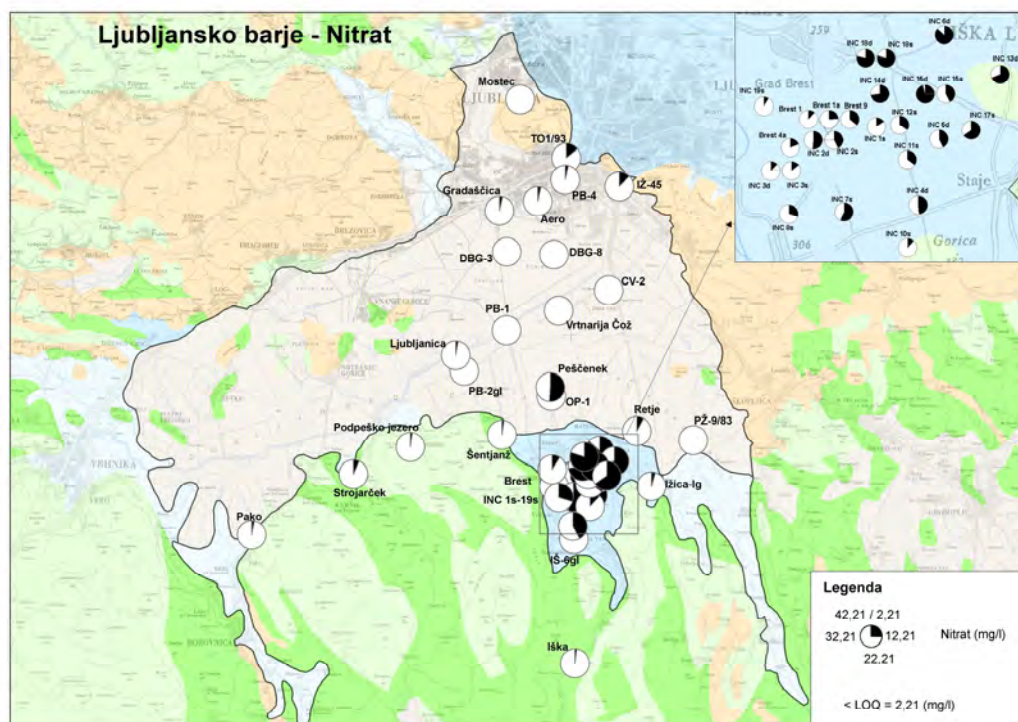


Vsebnost nitratov v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega barja





Vsebnost nitratov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011



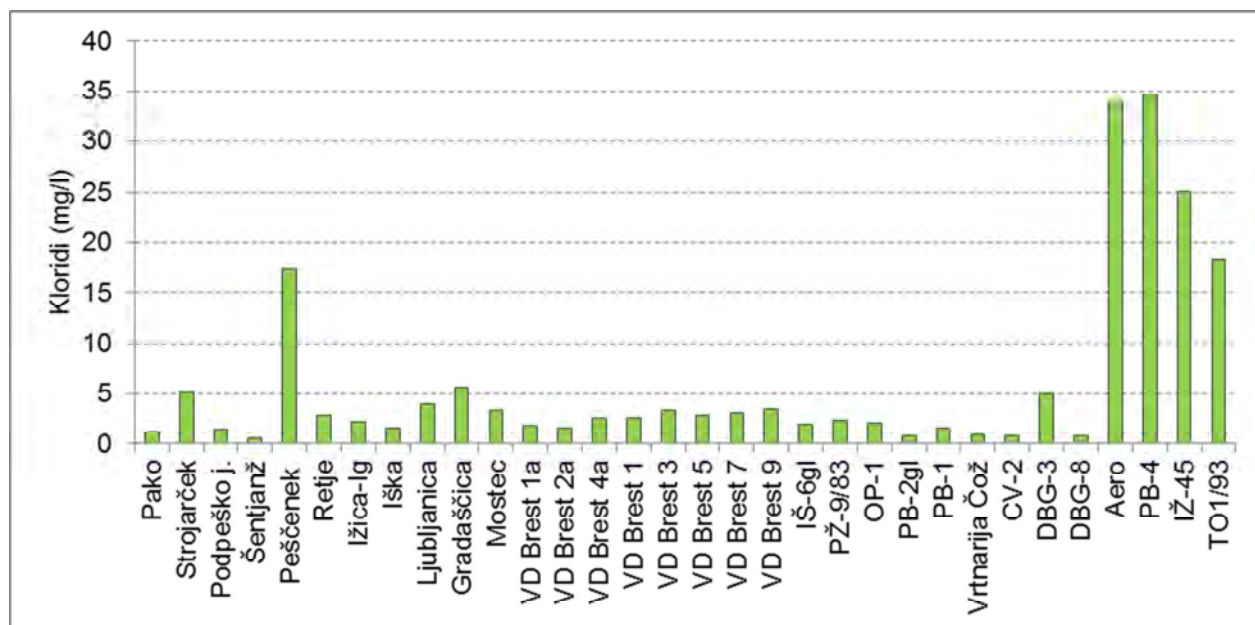
Vsebnost nitratov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011





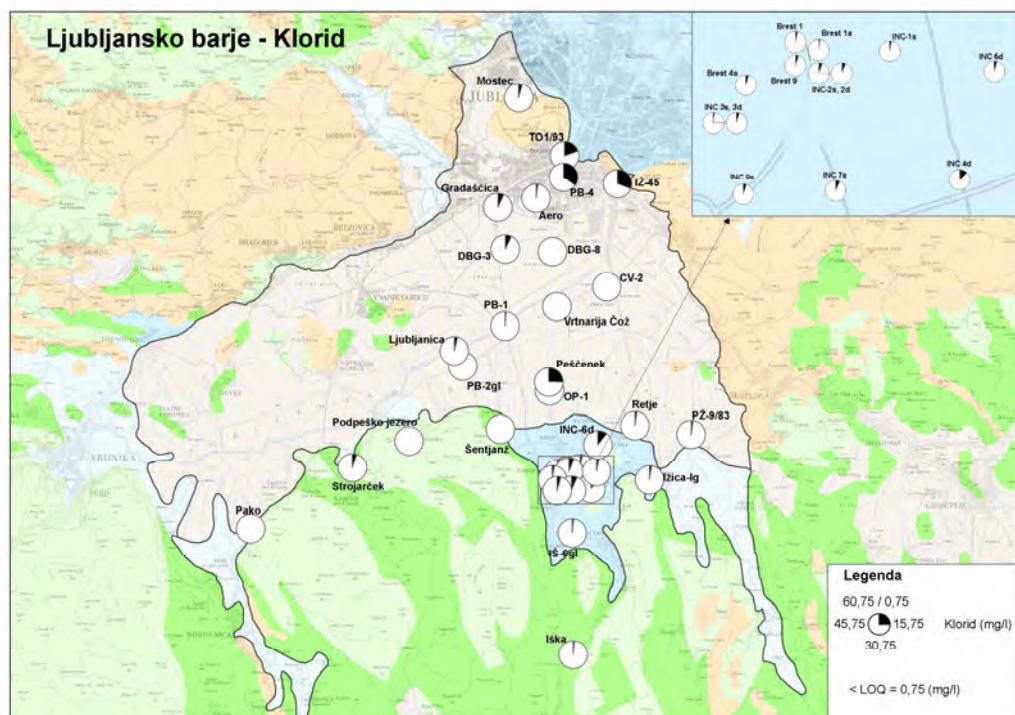
Kloridi

Tudi koncentracije kloridov so na območju vodonosnika Ljubljanskega barja v večini primerov zelo nizke in ne dosežajo niti 5 mg/l. V tem pogledu predstavljajo izjemo izvir Peščenek, preko katerega se prazni vodonosnik Iškega vršaja ter opazovalna mesta na severnem območju vodonosnika, kjer se soočamo z večjimi urbanimi vplivi na kakovost podzemne vode. Na severnem območju vodonosnika koncentracije kloridov tako dosežejo tudi 35 mg/l.

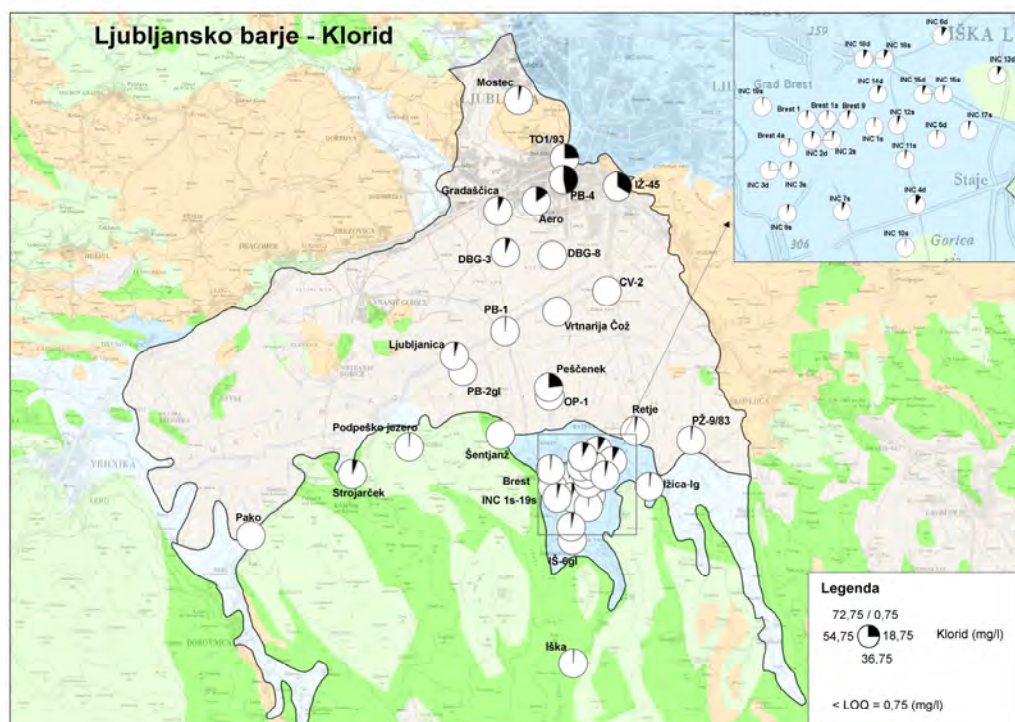


Vsebnost kloridov v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega barja





Vsebnost kloridov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje jesen 2010



Vsebnost kloridov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011

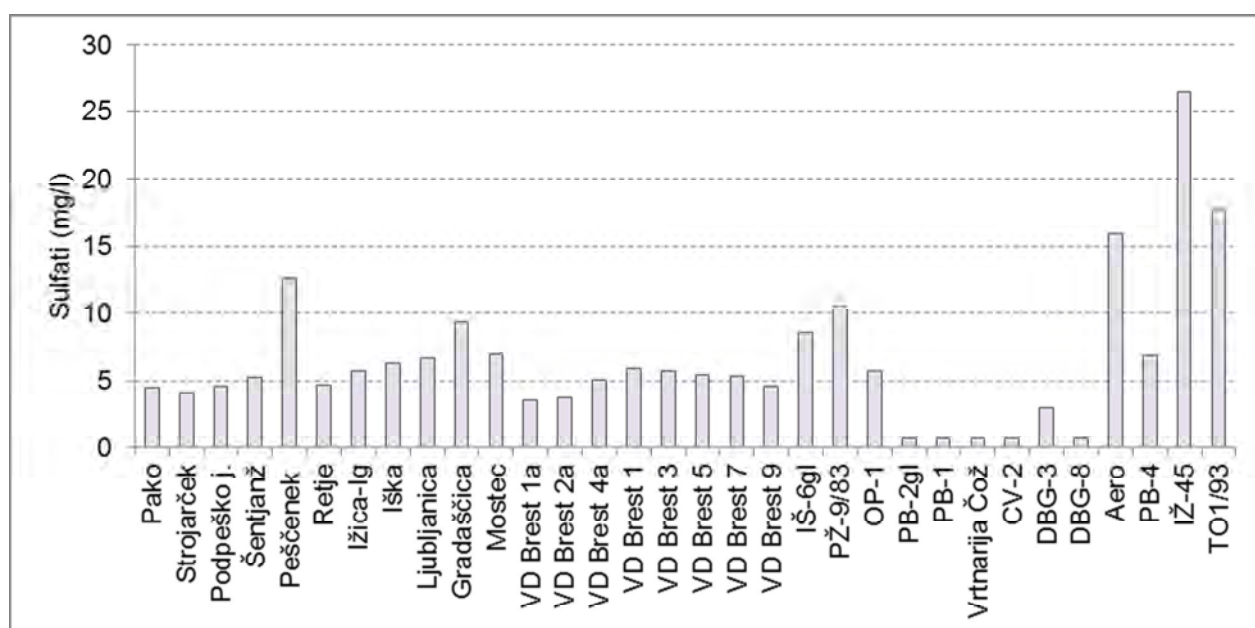




Sulfati

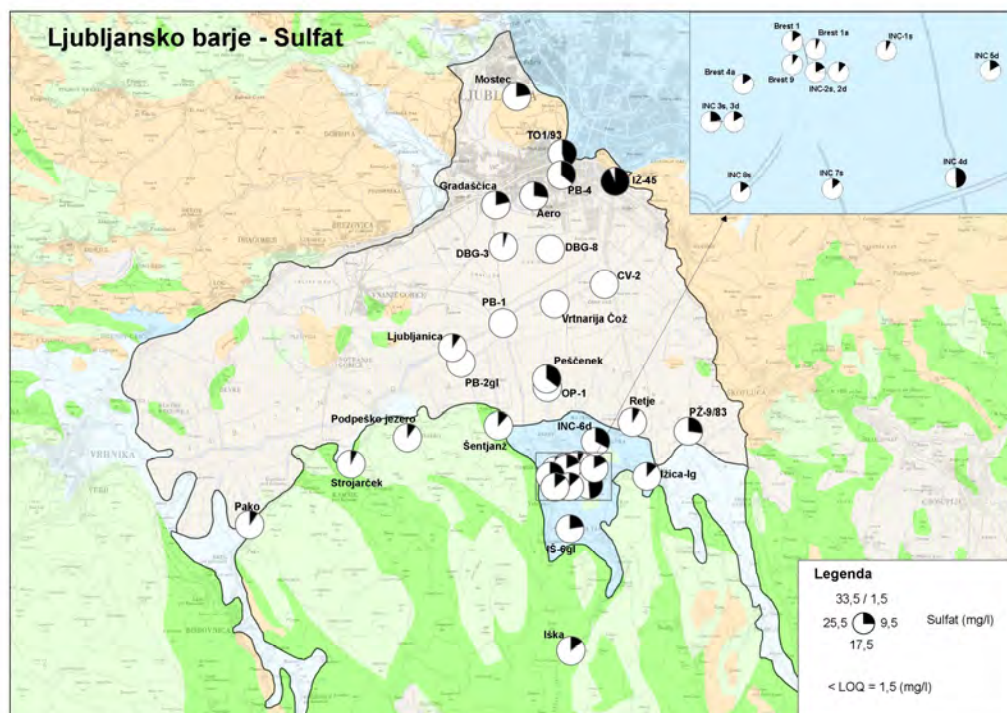
Tipična raven vsebnosti sulfatov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja se giblje okoli 5 mg/l. Povišane vrednosti podobno kot pri nitratih in kloridih zaznavamo na območjih neposrednega vpliva kmetijstva ter urbanizacije na podzemno vodo.

Zelo znižane koncentracij sulfatov nastopajo na osrednjem delu vodonosnika. V tem delu vodonosnika zaradi pomanjkanja kisika torej očitno prihaja do redukcije sulfatov v podzemni vodi.

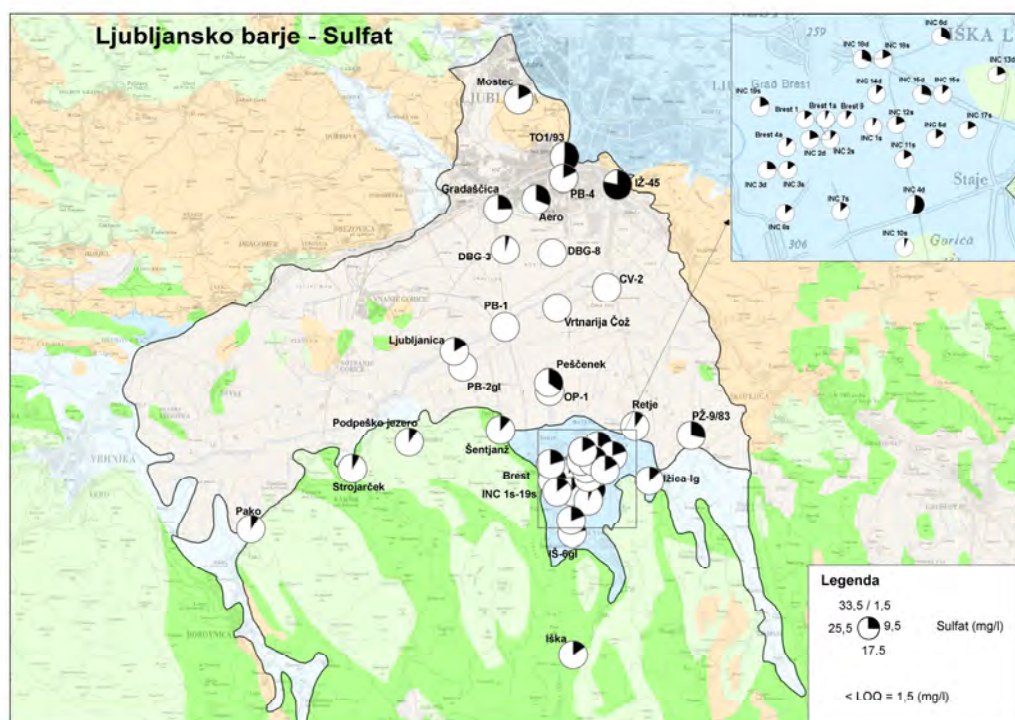


Vsebnost sulfatov v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega barja





Vsebnost sulfatov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje jesen 2010



Vsebnost sulfatov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011





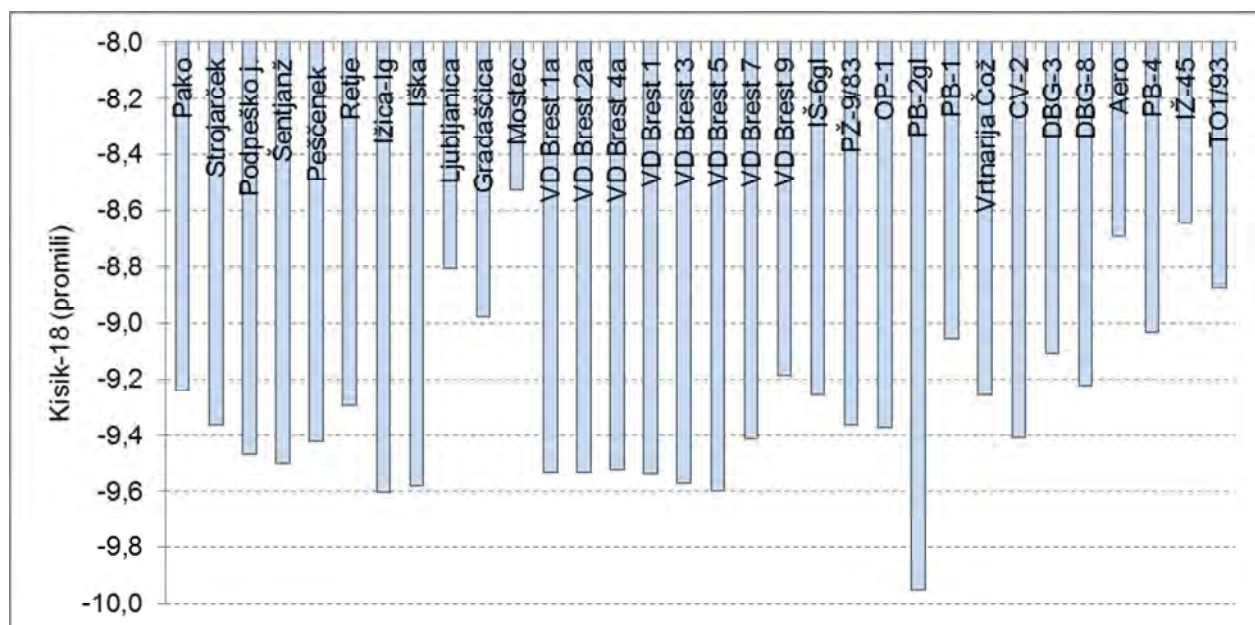
Izotop kisik-18

Glavno padavinsko zaledje vodonosnika Ljubljanskega barja je Krimsko pogorje, zato so zaradi višinskega izotopskega efekta podzemne vode večinoma osiromašene s kisikom-18. Večina vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ se giblje v intervalu med -9,2 in -9,6 ‰.

Glede na izotopsko sestavo kisika izstopajo Ljublanica ter Gradaščica, katerih zaledje je izven obravnavanega območja in sta obogatena s kisikom-18 zaradi nižje srednje nadmorske višine zaledja. Tudi potok v Mostecu je zaradi svojega nižjega zaledja izrazito obogaten s kisikom-18.

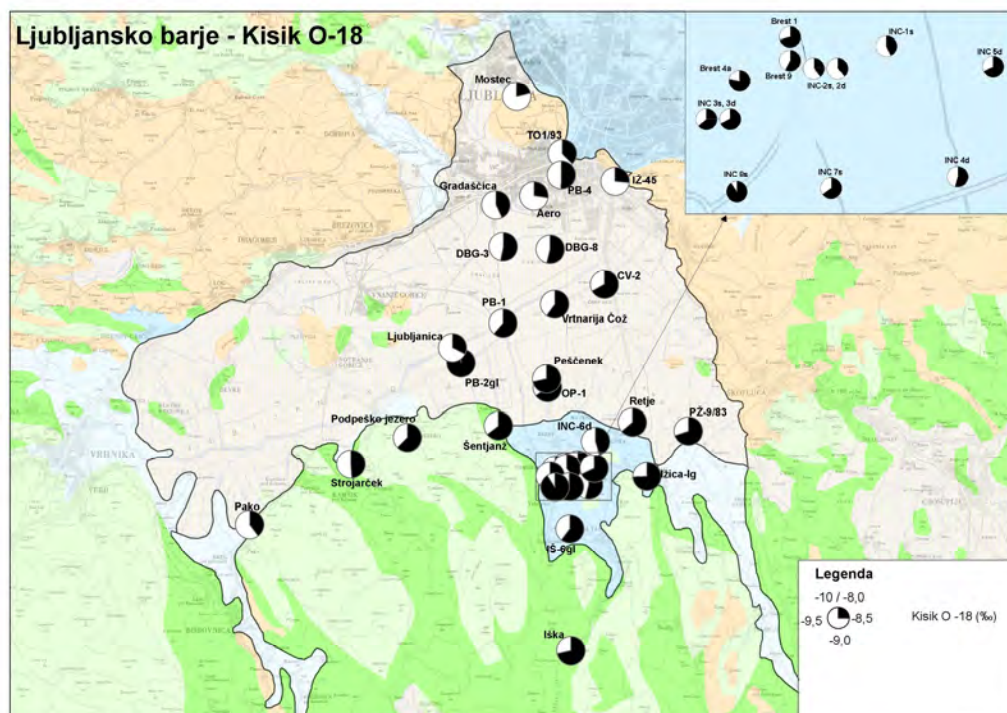
Na vodonosniku Iškega vršaja so vodnjaki, ki so bolj oddaljeni od Iške proti severovzhodu (VD Brest-7, VD Brest-9) vse bolj obogateni s kisikom-18. V tem primeru gre za vse večji vpliv lokalne padavinske infiltracije; na tem območju so namreč zaradi značilnosti reliefa padavine bolj obogatene s kisikom-18 kot padavine, ki padejo na Krimskem pogorju. Kot je bilo predstavljeno že v predhodnih poglavjih, se lokalni vplivi padavinske infiltracije odražajo tudi v kemijski sestavi podzemne vode Iškega vršaja.

Proti severu se je podzemna voda vse bolj obogatena z izotopom kisik-18. Tudi v tem primeru gre za vpliv lokalne padavinske infiltracije na vodonosnik, ki je v tem delu dokaj odprt.



Izotopska sestava kisika-18 v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega barja





Ljubljansko barje - Izotop O-18

The map displays the Ljubljansko barje area with various locations marked by pie charts representing the distribution of O-18 isotopes. The legend indicates the range of O-18 values from -10 to -8 ‰, with a specific scale for Ljubljana (Lj.) from -9.5 to -9.0 ‰.

Legend:

- 10 / -8
- 9.5 / -9.0
- 8.5
- Kisik O-18 (‰)



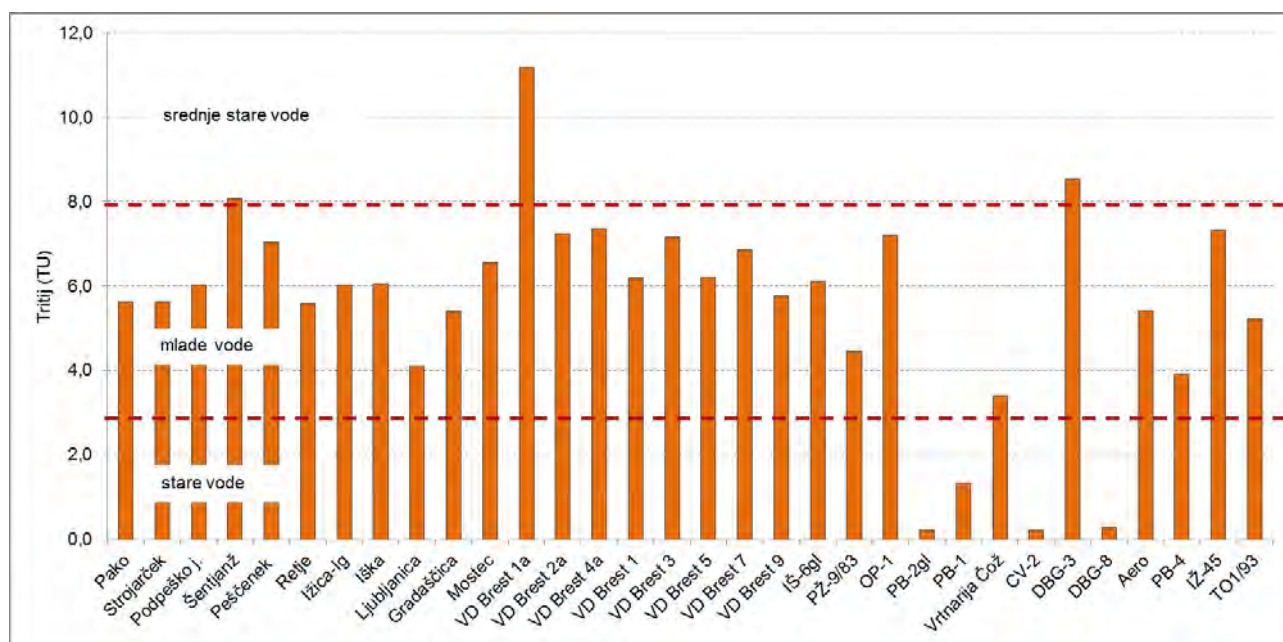


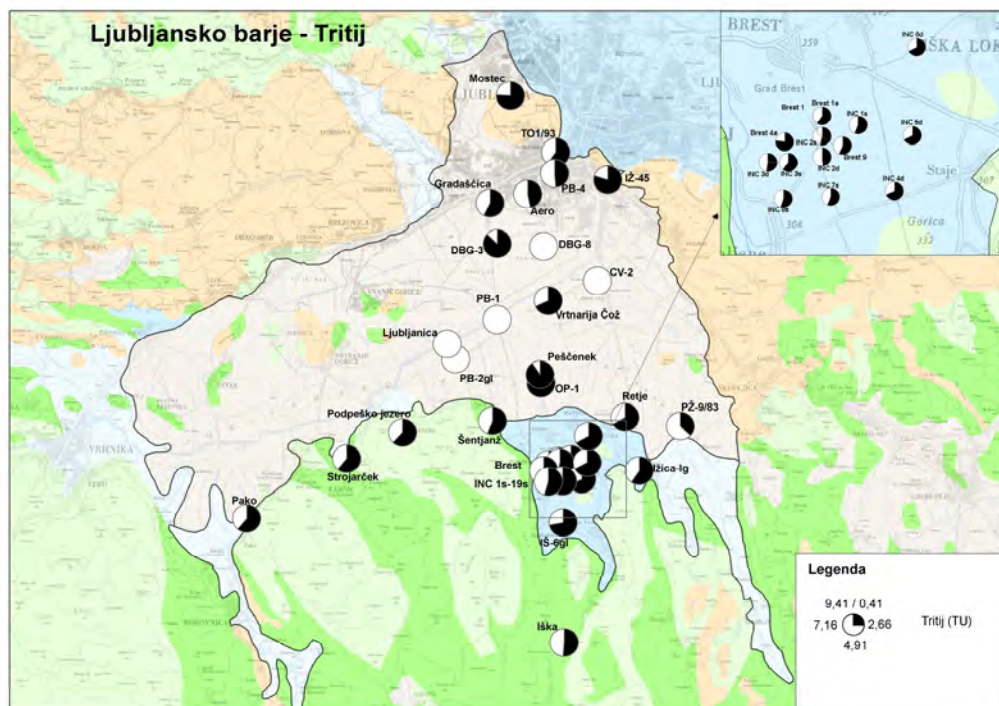
Tritij

V večini podzemnih vod iz vodonosnika Ljubljanskega barja so bile izmerjene aktivnosti tritija med 4 in 8 TU, kar pomeni, da gre za mlade vode, katerih aktivnost tritija je podobna kot v sedanjih padavinah.

Pri podzemnih vodah iz osrednjega dela vodonosnika Ljubljanskega barja (PB-1, Vrtnarija Čož, ČV-2 in DBG-8) so aktivnosti tritija zelo nizke in večinoma ne presegajo 2 TU. V skladu rezultati modela popolnega mešanja pomenijo aktivnosti tritija pod 3 TU zadrževalni čas vode večji od 50 let.

Na dveh opazovalnih mestih pa so aktivnosti tritija v vodi izrazito povišane: v vodnjaku VD Brest 1a okoli 11 TU ter v vrtini DBG-3 okoli 9 TU. Takšne vrednosti tritija so celo višje od sedanjih povprečnih padavin, zato jih v skladu z izotopskim modelom starosti podzemnih vod uvrščamo med srednje stare vode, katerih zadrževalni čas znaša od 10 do 50 let. V teh vodah se odražajo izrazito povišane aktivnosti zaradi t.i. »bombnega« tritija, ki izhaja iz jedrskih poizkusov v 60. letih prejšnjega stoletja.





Izotop tritij v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011





SLEDILNI POIZKUS VRBLJENE

S sledilnim poizkusom smo želeli opredeliti hitrost podzemne vode na območju med Vrbljenami in vodarno Brest. Kot sledilo je bila uporabljena kuhinjska sol (200 kg). Prisotnost sledila smo ugotavljali s terenskimi merilniki elektroprevodnosti WTW 340i.



Voda za pripravo sledila



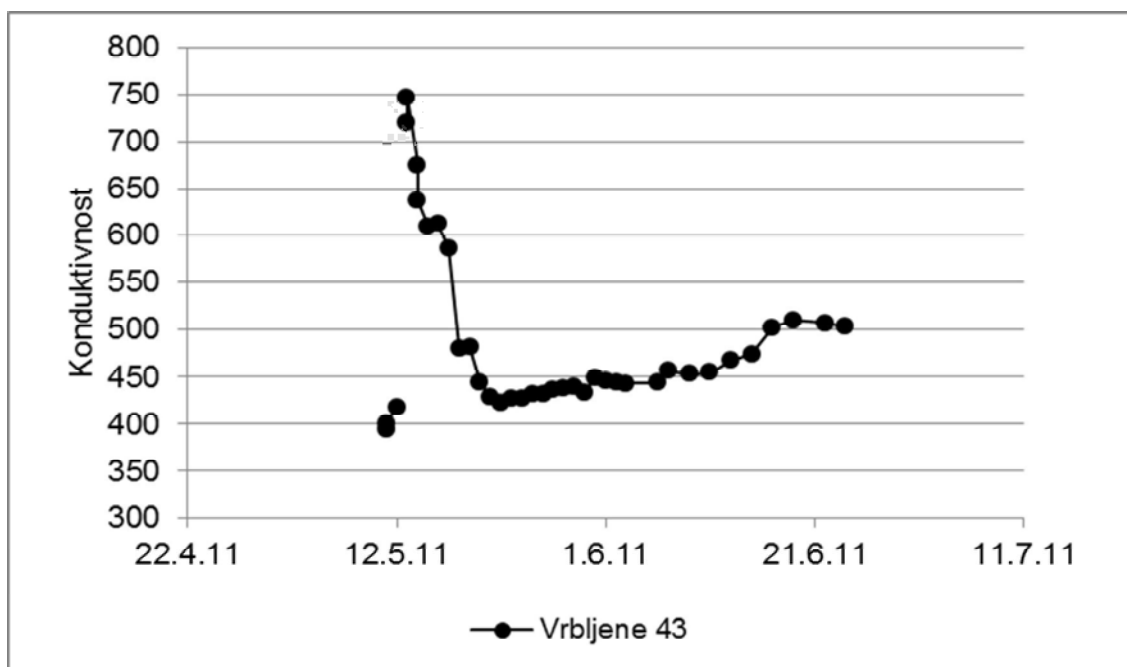
Priprava sledila





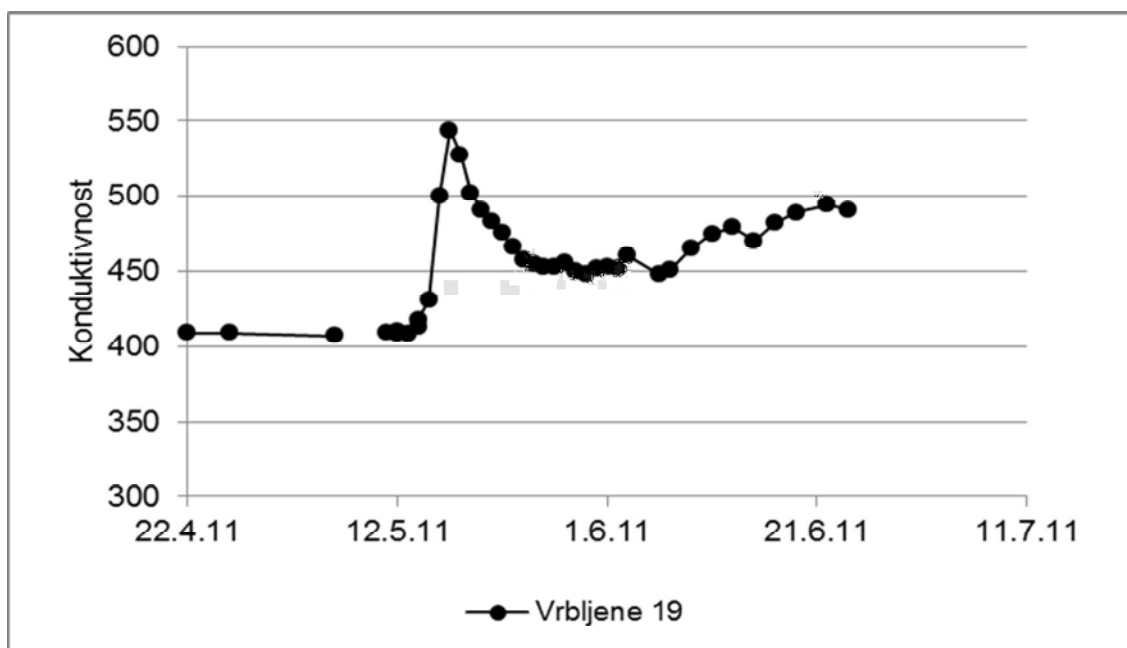
Injiciranje sledila v hišni vodnjak

Sledilo se je jasno pojavilo na dveh opazovalnih mestih: Vrbljene 43 in Vrbljene 19.



Pojav sledila v vodnjaku Vrbljene 43





Pojav sledila v vodnjaku Vrbljene 19

V tabeli so prikazani osnovni podatki o sledilnem poizkusu ter izračun hitrosti sledila, ki odraža hitrost podzemne vode na tem območju.

Lokacija injicirnega mesta	Vrbljene 48
Datum injiciranja	11.5.2011
Vrsta sledila	NaCl
Količina sledila	200 kg
Količina vode	760 l
Začetek injiciranja	11.26
Zaključek injiciranja	18.05

Opazovalno mesto	Vrbljene 43
Prvi pojav sledila	12.5. ob 11.35
Čas prvega pojava	20,66 ur
Maksimalni pojav	12.5. ob 17.15
Čas maksimalnega pojava	26, 33 ur
Največja hitrost V_{max}	2,66 m/h = 63,8 m/dan
Srednja hitrost	2,09 m/h = 50,13 m/dan





Opazovalno mesto	Vrbljene 19
Prvi pojav sledila	14.5. ob 17.20
Čas prvega pojava	74,42 ur
Maksimalni pojav	17.5. ob 13.10
Čas maksimalnega pojava	142,25 ur
Največja hitrost $V_{\max}$	3,39 m/h = 81,29 m/dan
Srednja hitrost	1,77 m/h = 42,51 m/dan





REFERENCE

Jamnik, B., Urbanc, J., 2000: Izvor in kakovost podzemne vode Ljubljanskega polja. RMZ - Materials and geoenvironment 47, 167-178, Ljubljana.

Mencej, Z., 1988: Prodni zasipi pod sedimenti Ljubljanskega barja. Geologija 31, 517-553, Ljubljana.

Prestor, J., Trček, B., Strojan, M., Mencej, Z., 1993: Meritve in interpretacija vpliva črpanja podzemne vode iz globokega vodonosnika vodarne Brest na širše območje Ljubljanskega barja. Delovno poročilo, Arhiv GeoZS, št. K-II-30d/c-1/772, Ljubljana.

Prestor, J., Urbanc, J., Janža, M., Rikanovič, R., Bizjak, M., Medić, M., Strojan, M. 2002: Preverba in dopolnitev strokovnih podlag za dopolnitev strokovnih podlag za določitev varstvenih pasov vodnih virov centralnega sistema oskrbe s pitno vodo MOL – Ljubljansko polje. Geološki zavod Slovenije, arh. št. K-II-30d/c-2/874-a, Ljubljana.

Urbanc, J., Jamnik, B., 1998: Izotopske raziskave podzemne vode Ljubljanskega polja. Geologija 41, 355-364, Ljubljana.

Urbanc, J., Jamnik, B., 2004: Nitrate isotope composition as a decision support in drinking water management, Ljubljana, Slovenia. V: Isotopes in the hydrological cycle and environment, UNESCO, Paris, France, str. 247-248.

Založba ZRC (več avtorjev), 2005: Podtalnica Ljubljanskega polja. Geografija Slovenije, 10. Ljubljana.

Žlebnik, L., 1971: Pleistocen Kranjskega, Sorškega in Ljubljanskega polja. Geologija 14, Ljubljana.



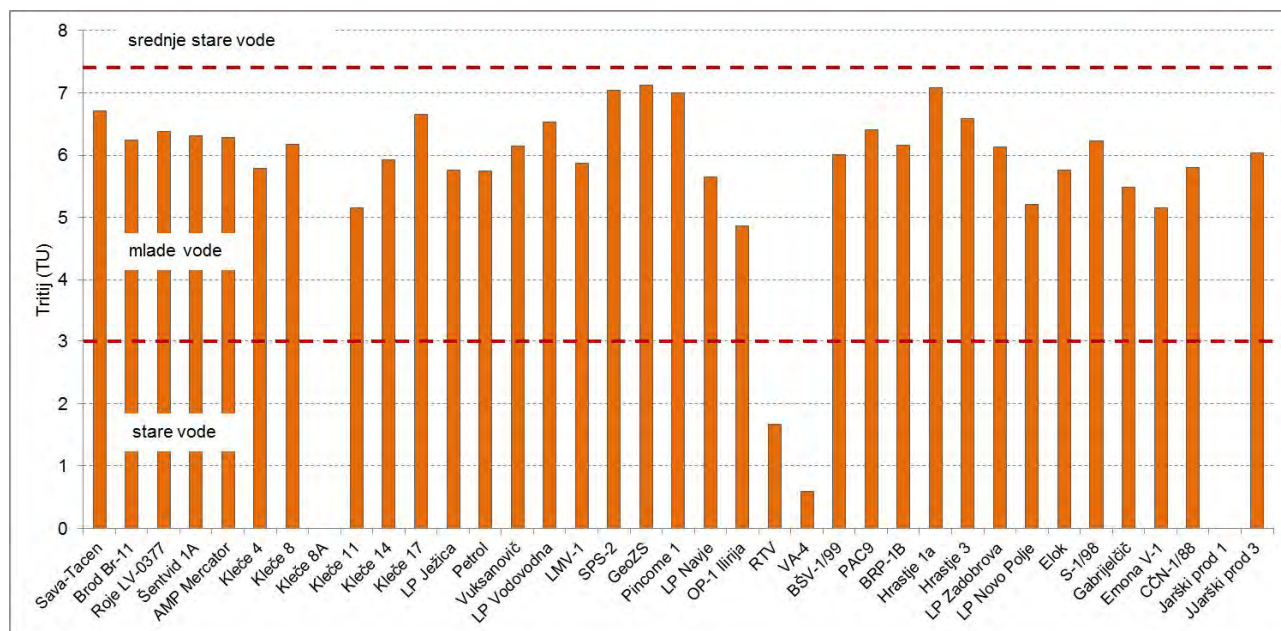


Radioaktivni izotop tritij

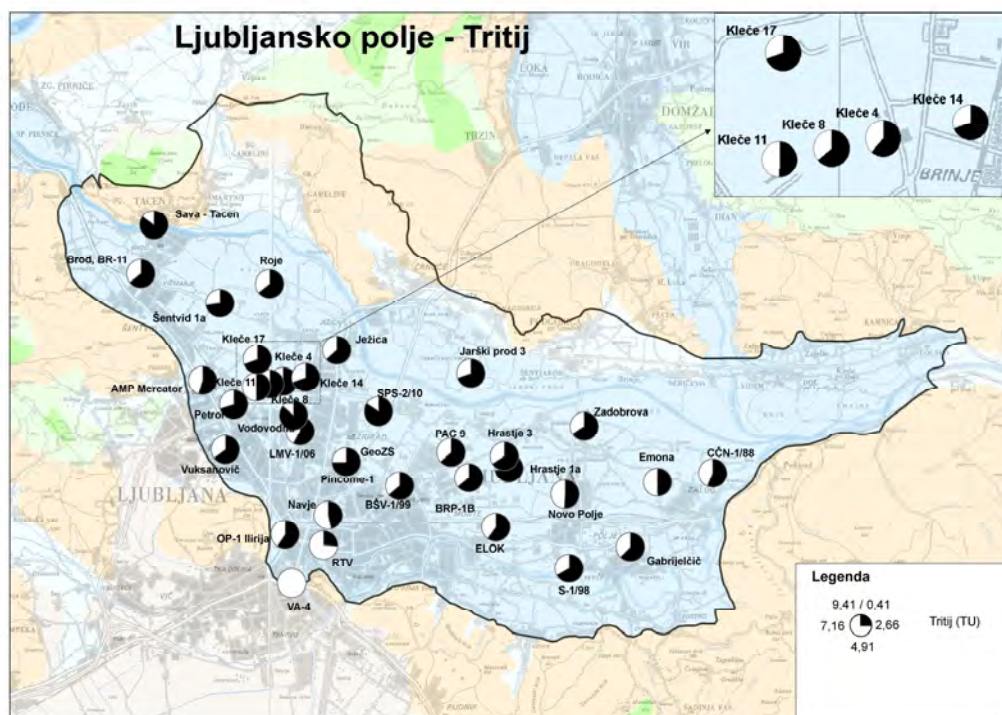
Tritij je radioaktivni izotop z razpolovno dobo 12 let. Aktivnost tritija v padavinah trenutno znaša okoli 8 tritijevih enot, tako da imajo mlade vode, ki niso starejše od 10 let, aktivnost tritija med 4 in 8 tritijevimi enotami.

V načelu velja, da čim starejša je voda, tem nižja je v njej aktivnost tritija zaradi radioaktivnega razpada, ki zmanjšuje število atomov tritija v vodi. V praksi opredeljujemo vode, v katerih je tritija manj kot 3 TU, kot »stare« vode, njihovo starost ocenjujemo na več kot 50 let. V 60. letih prejšnjega stoletja se je nivo tritija v padavinah zaradi površinskih jedrskih poizkusov drastično povečal. Zaradi tega imajo vode, ki so stare med 10 in 50 let povišano aktivnost »bombnega« tritija, ki lahko doseže 12 tritijevih enot.

Graf prikazuje rezultate meritev aktivnosti tritija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja. Večina aktivnosti tritija se giblje v razponu med 5 in 7 tritijevih enot (TU) kar pomeni, da jih lahko uvrstimo v kategorijo mladih vod, katerih starost znaša do 10 let. V kategorijo starih vod, katerih zadrževalni čas je preko 50 let, uvrščamo podzemno vodo na opazovalnih mestih VA-4 in RTV. V teh vodah je zaradi počasnega toka v zaprti vodonosni strukturi prišlo do izrazitega znižanja aktivnosti tritija zaradi radioaktivnega razpada. Takšni rezultati kažejo, da v tem delu vodonosnik ne komunicira s površjem, saj bi bile v tem primeru aktivnosti tritija v podzemni vodi višje.



Aktivnost tritija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega polja



Tritij v vodonosniku Ljubljanskega polja – vzorčenje pomlad 2011



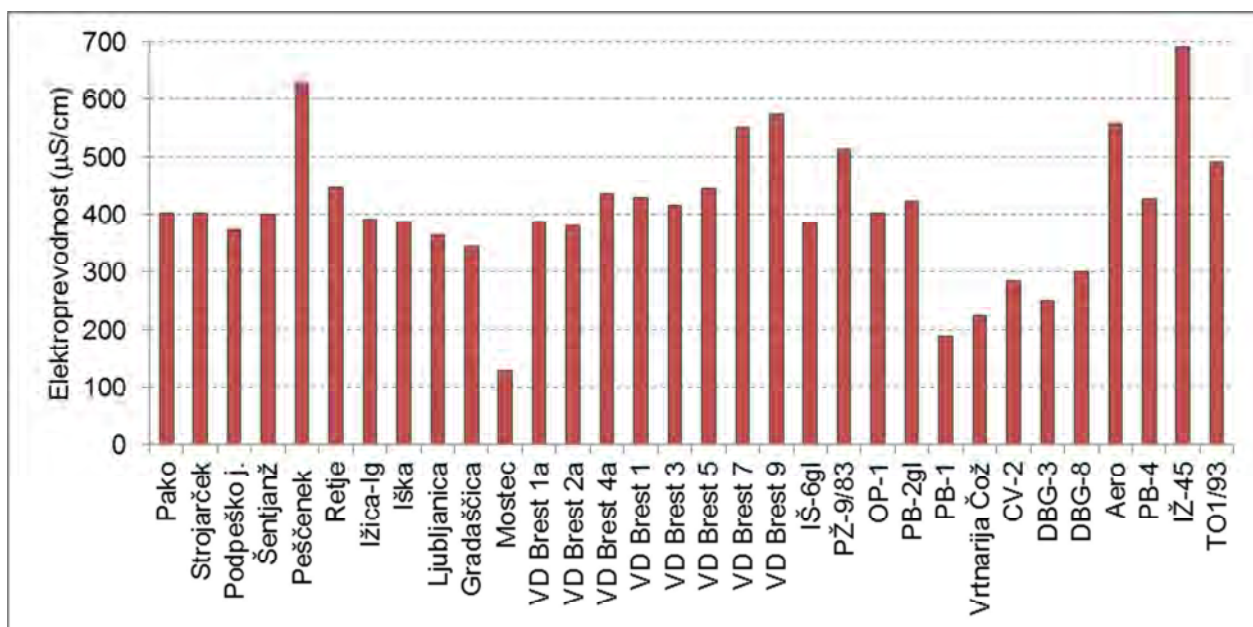


VODONOSNIK LJUBLJANSKEGA BARJA

Elektroprevodnost

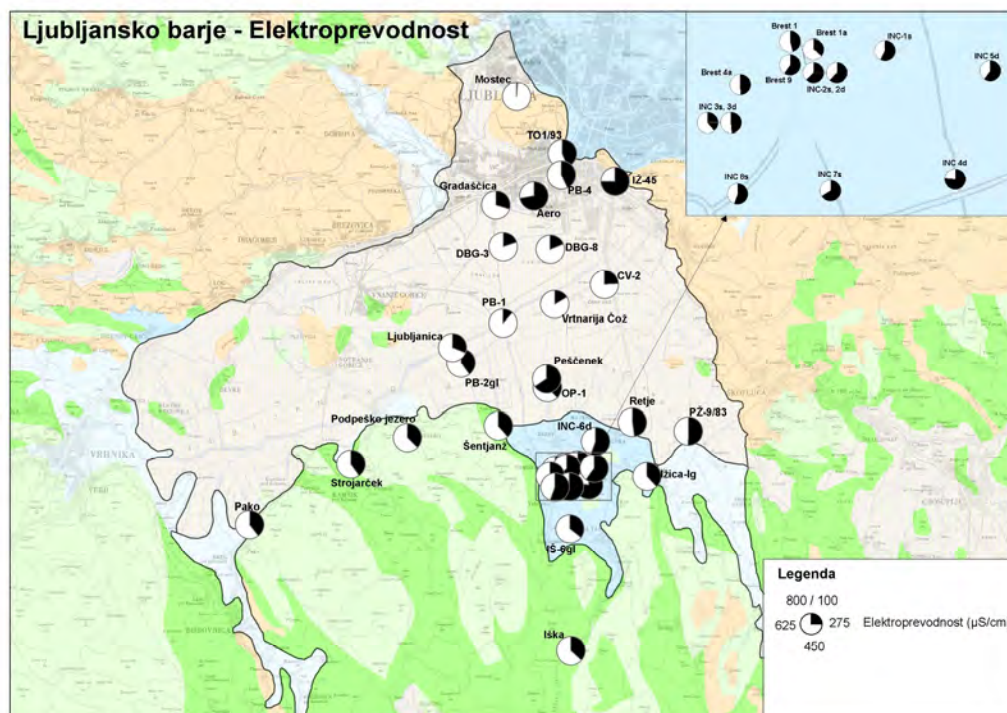
Iz grafa, na katerem so prikazane srednje vrednosti elektroprevodnosti podzemnih vod je razvidno, da je tipična vrednost okoli 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Višja elektroprevodnost okoli 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kar praviloma pomeni tudi več raztopljenih karbonatov, je značilna za podzemno vodo Iškega vršaja, v katerem elektroprevodnost vode narašča v smeri toka podzemne vode proti severovzhodu (Peščenek, VD Brest-7, VD Brest-9, PŽ-9). Povišane vrednosti elektroprevodnosti smo zaznali tudi v severnem delu vodonosnika Ljubljanskega barja (Aero, IŽ-45).

Znižane vrednosti elektroprevodnosti pa smo zaznali predvsem v osrednjem delu vodonosnika Ljubljanskega barja, kjer je vodonosnik zaprt pod plastjo glin polžarice. V vrtnah PB-1, Vrtnarija Čož, ČV-2, DBG-3 in DBG-8 se vrednosti elektroprevodnosti tako gibljejo v območju med 200 in 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Izrazito nižjo elektroprevodnost ima tudi potok v Mostecu, kjer pa gre za površinsko vodo, katere zaledje je v nekarbonatnih kamninah iz karbona in perma.



Elektroprevodnost podzemnih vod vodonosnika Ljubljanskega barja





Ljubljansko barje - Konduktivnost

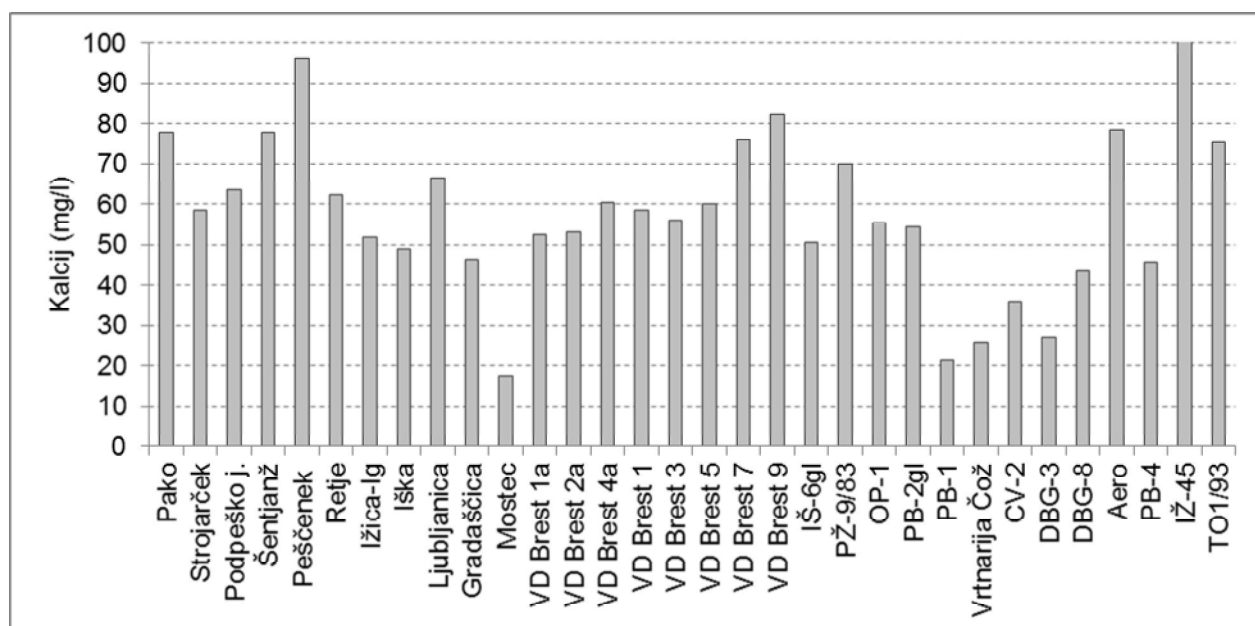
Map showing the distribution of conductivity (konduktivnost) in $\mu\text{S/cm}$ across the Ljubljansko barje area. The map includes locations such as Mostec, TO1/83, Gradaščica, PB-4, IZ-45, Aero, DBG-3, DBG-8, PB-1, CV-2, Vrtnarja Čož, Peščenek, OP-1, Retje, PŽ-9/83, Žlica-1g, Iška, Strojarček, Podpeško jezero, Šentjanž, Brest, INC 1s-19s, and Pako. An inset map shows the location of Ljubljansko barje within the larger region of the Ljubljana area, with labels for Brest, Gorica, and Iška. A legend indicates the conductivity scale in $\mu\text{S/cm}$ using pie charts: 800 / 100, 625, 275, and 450.





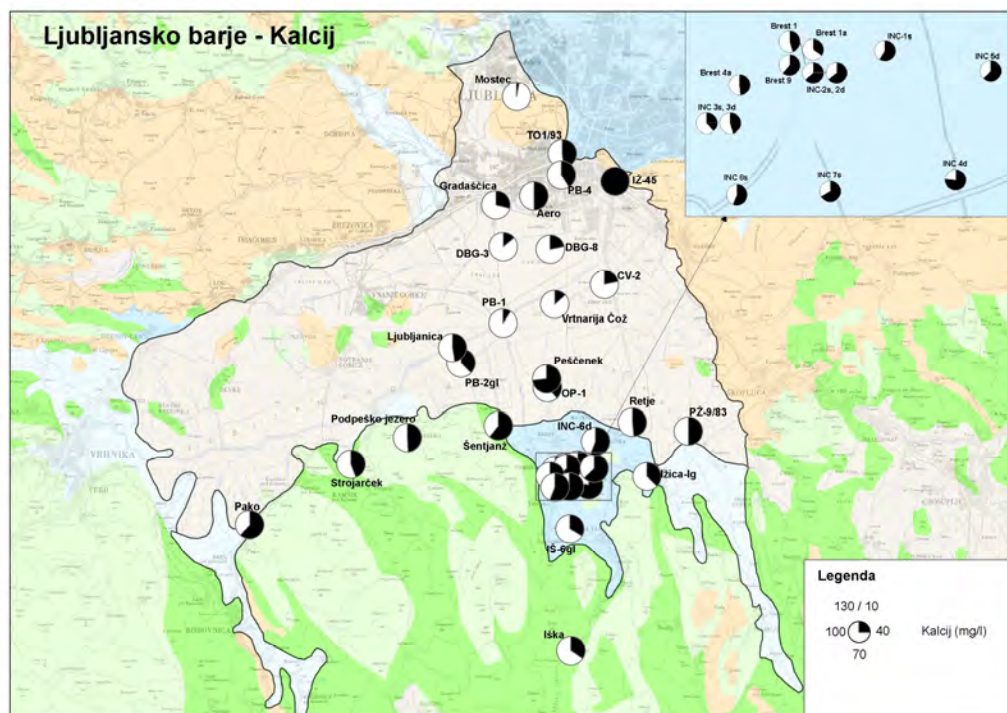
Kalcij

Porazdelitev koncentracij kalcija v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega barja je zelo podobna porazdelitvi elektroprevodnosti. Tudi v tem primeru so povišane koncentracije kalcija v SV delu vodonosnika Iškega vršaja ter na severnem območju vodonosnika, nižje koncentracije kalcija pa so značilne za osrednji del vodonosnika pod plastmi gline.

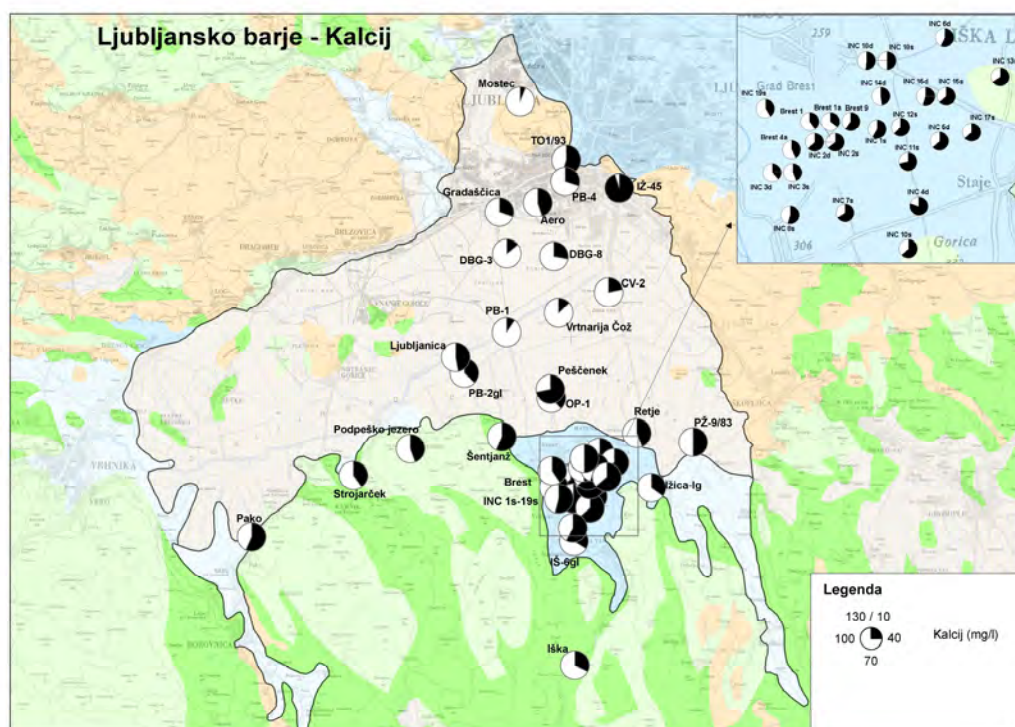


Vsebnost kalcija v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega polja





Vsebnost kalcija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje jesen 2010



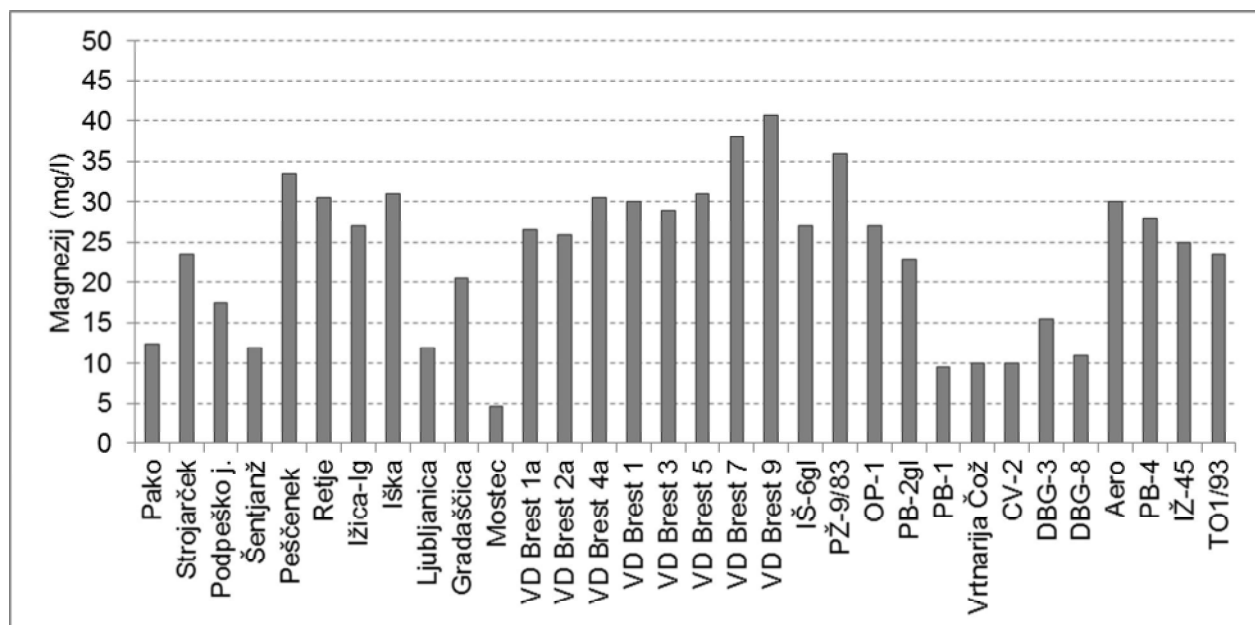
Vsebnost kalcija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011





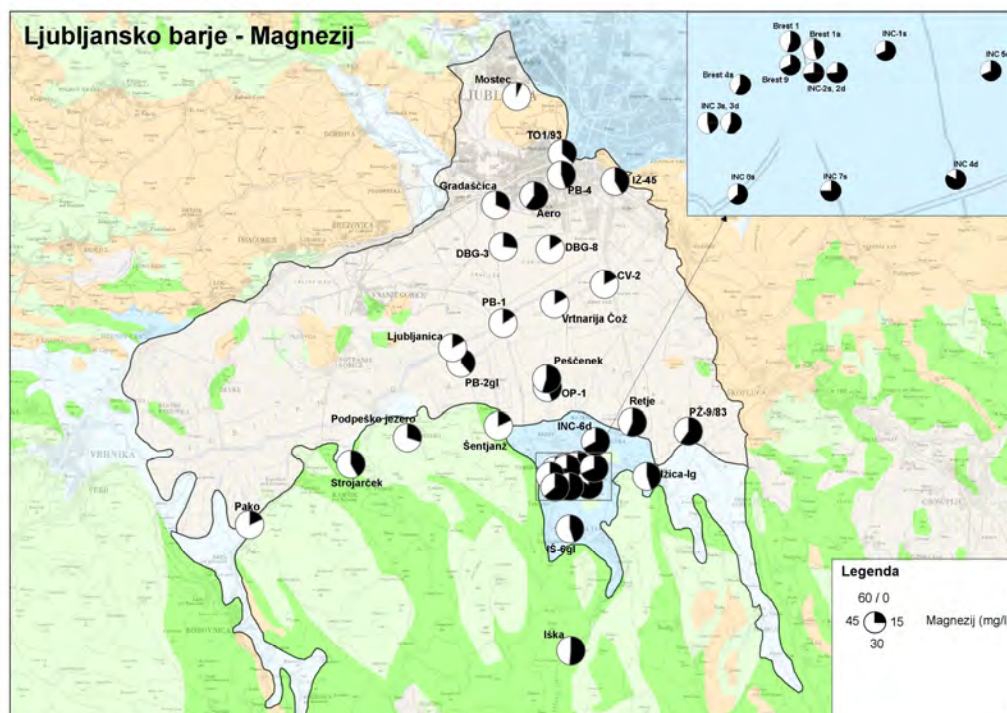
Magnezij

Tudi koncentracije magnezija približno sledijo vzorcu, ki smo ga zaznali ob meritvah elektroprevodnosti ter koncentracij kalcija v podzemni vodi. Tipična koncentracija magnezija se giblje okoli 30 mg/l kar kaže, da imamo na tem območju vode s precejšnjim deležem dolomitnih kamin v zaledju. Nekoliko znižane koncentracije magnezija smo izmerili le v kraških izvirih na južnem obrobju vodonosnika (Pako, Podpeško jezero, Šentjanž).

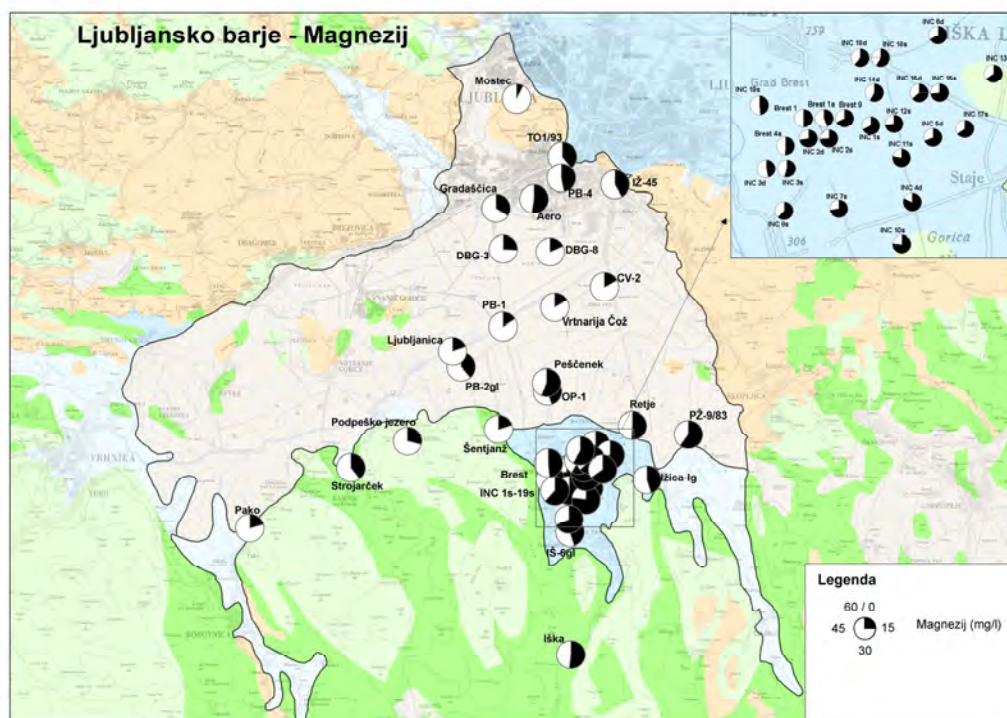


Vsebnost magnezija v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega barja





Vsebnost magnezija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje jesen 2010



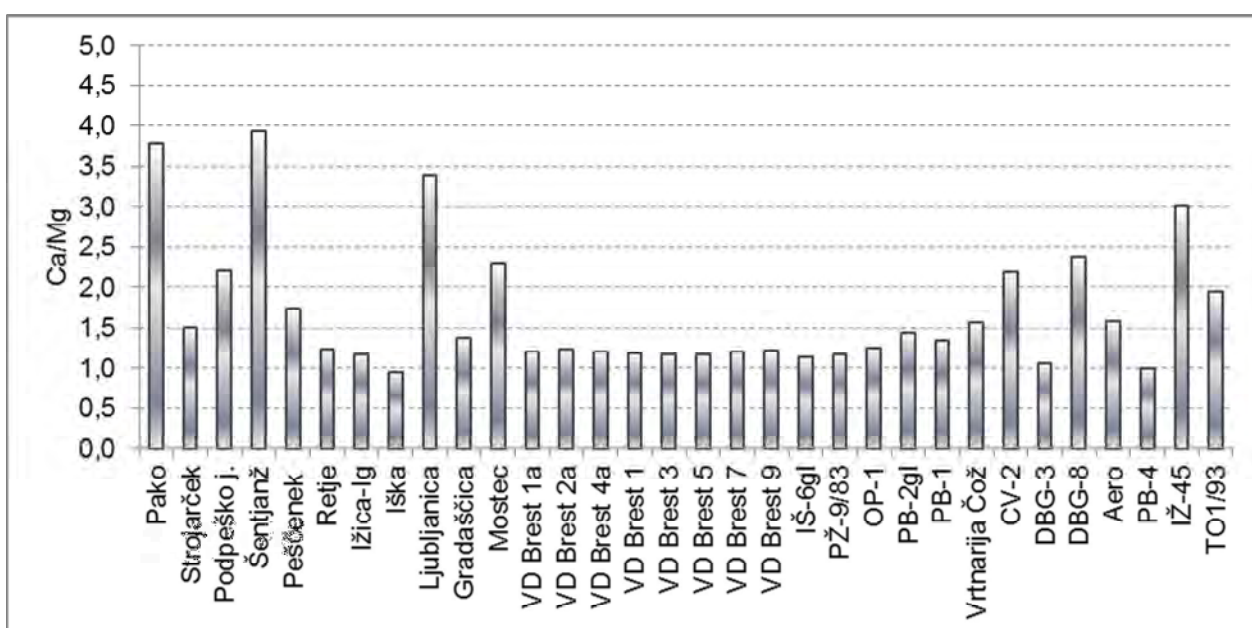
Vsebnost magnezija v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011





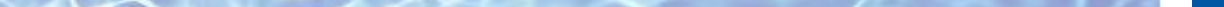
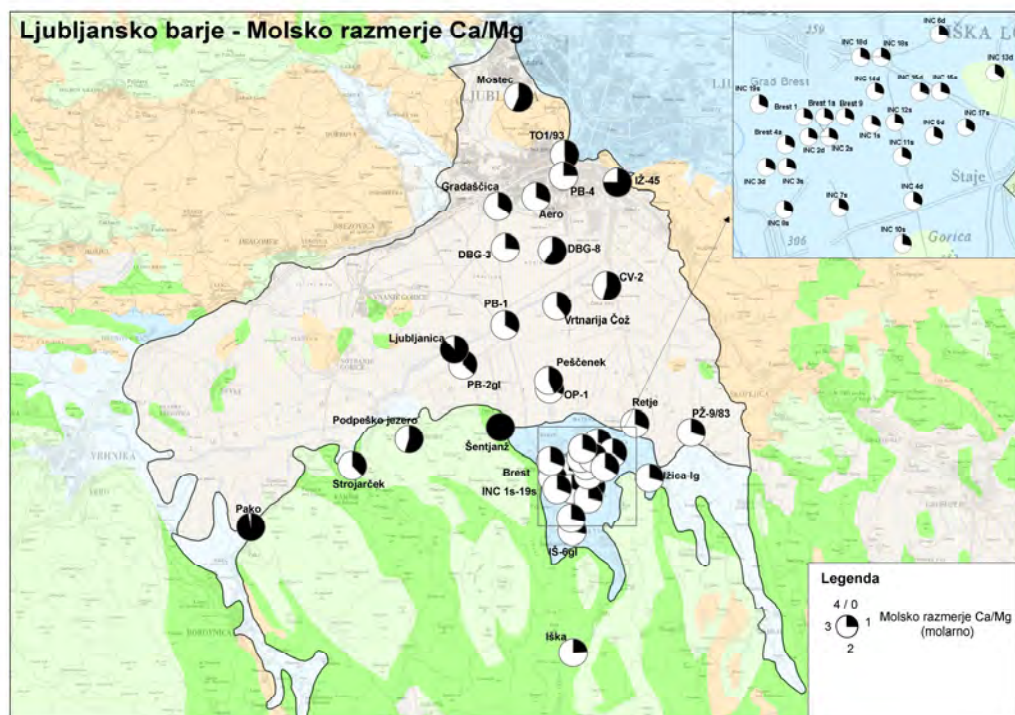
Molsko razmerje Ca/Mg

Graf molskega razmerja med kalcijem in magnezijem lepo kaže, da imamo v vodonosniku Ljubljanskega barja večinoma opraviti s podzemnimi vodami, katerih zaledje tvorijo večinoma dolomiti, saj se večina razmerij Ca/Mg nahaja v območju med 1 in 1,5. Višje molsko razmerje Ca/Mg je v vodah kraških izvirov na južnem obrobju Ljubljanskega barja ter na severnem delu vodonosnika, kjer očitno prihaja do vpliva lokalne infiltracije padavin na podzemno vodo.



Molsko razmerje Ca/Mg v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega barja



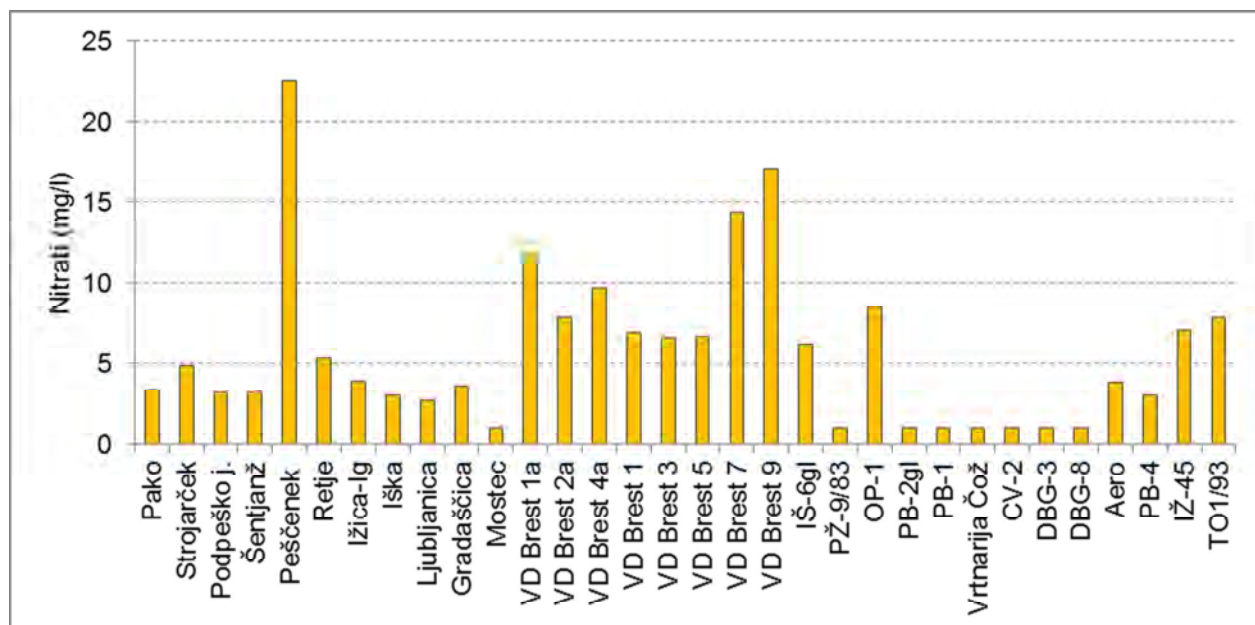




Nitrati

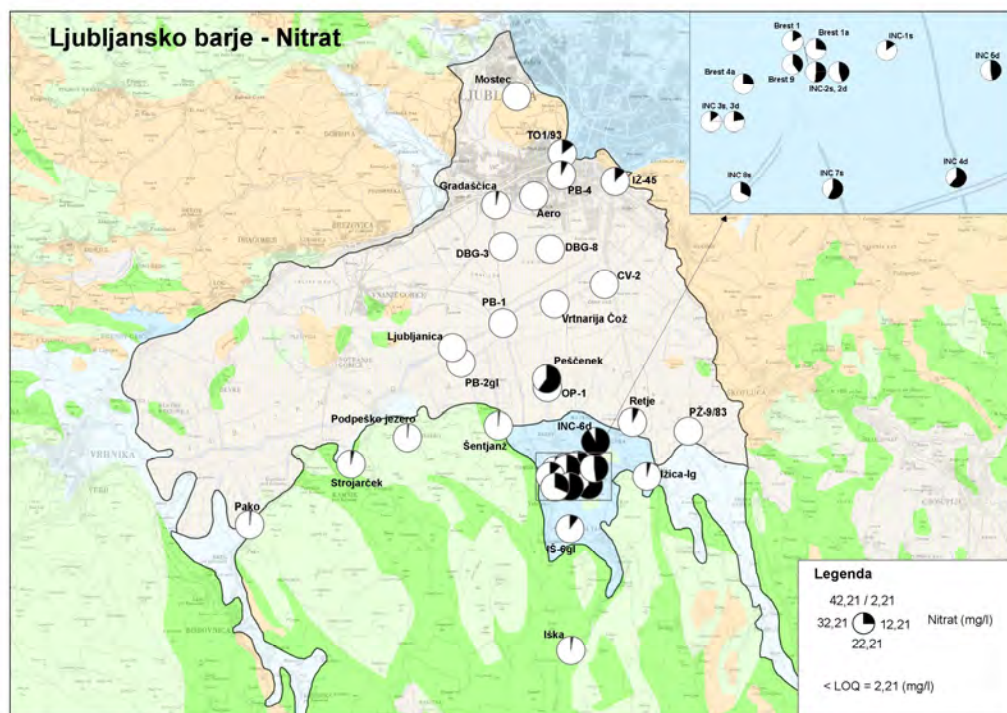
Podatki analiz kažejo, da je vsebnost nitratov v vodonosniku Ljubljanskega barja večinoma dokaj nizka. Večina koncentracij nitratov v vzorcih podzemnih vod je pod 5 mg/l. Nekoliko povišane vrednosti nitratov beležimo le na tistih območjih, kjer prihaja do neposrednih vplivov onesnaževal s površja, bodisi zaradi kmetijske dejavnosti ali urbanih vplivov. Takšni območji sta Iški vršaj na južnem delu vodonosnika ter območje Viča na severnem območju vodonosnika.

Še posebej nizke so koncentracije nitratov v osrednjem delu Ljubljanskega barja, kjer vodonosnik prekriva neprepustna glinasta plast. Zaradi redukcijskega okolja tu prihaja do denitrifikacije, ki izrazito zmanjša vsebnost nitratov v podzemni vodi.

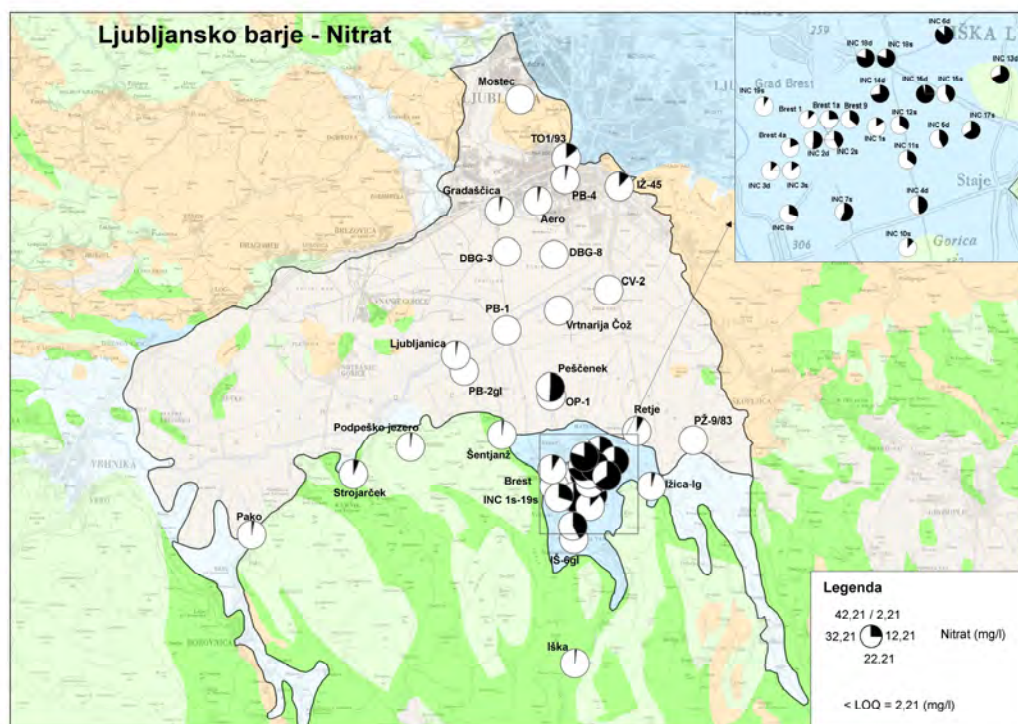


Vsebnost nitratov v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega barja





Vsebnost nitratov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011



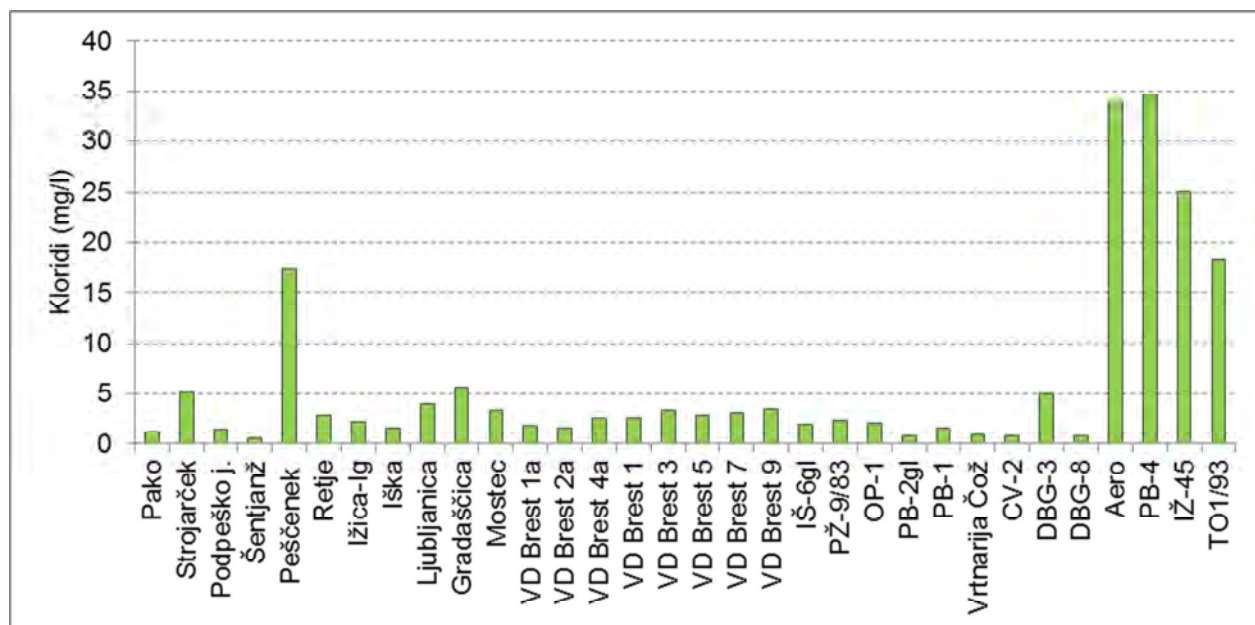
Vsebnost nitratov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011





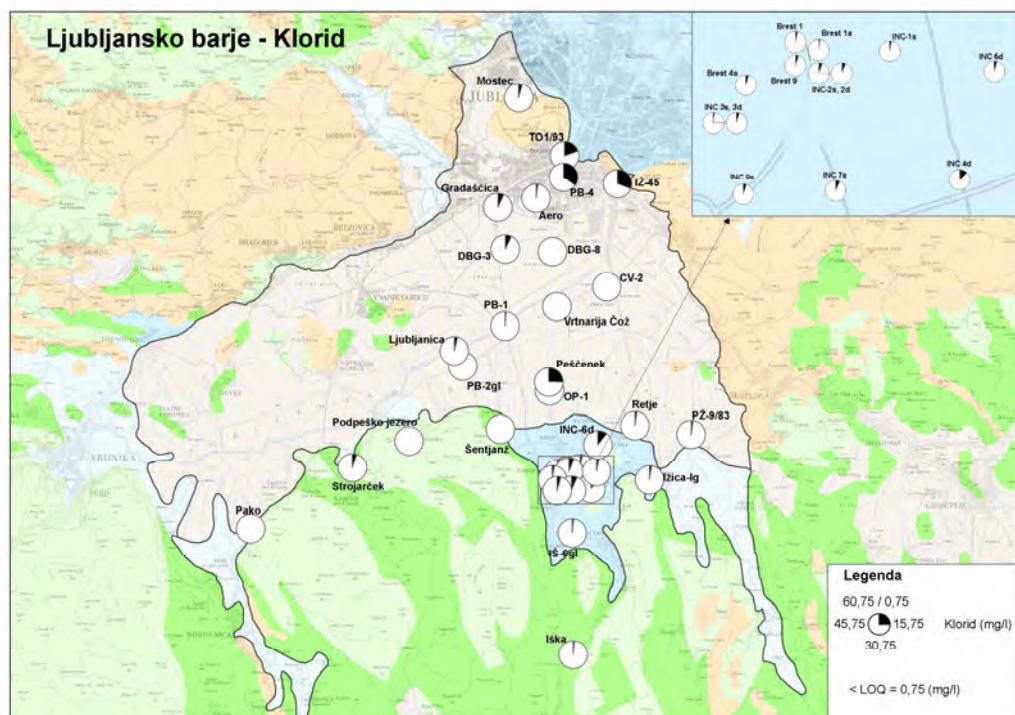
Kloridi

Tudi koncentracije kloridov so na območju vodonosnika Ljubljanskega barja v večini primerov zelo nizke in ne dosežajo niti 5 mg/l. V tem pogledu predstavljajo izjemo izvir Peščenek, preko katerega se prazni vodonosnik Iškega vršaja ter opazovalna mesta na severnem območju vodonosnika, kjer se soočamo z večjimi urbanimi vplivi na kakovost podzemne vode. Na severnem območju vodonosnika koncentracije kloridov tako dosežejo tudi 35 mg/l.

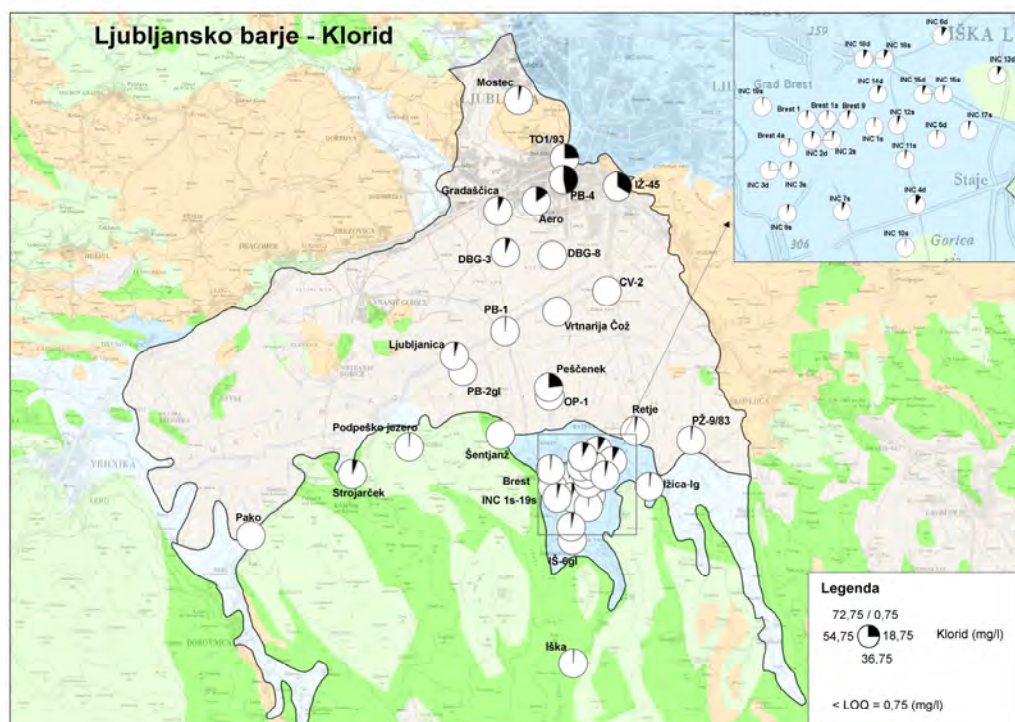


Vsebnost kloridov v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega barja





Vsebnost kloridov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje jesen 2010



Vsebnost kloridov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011

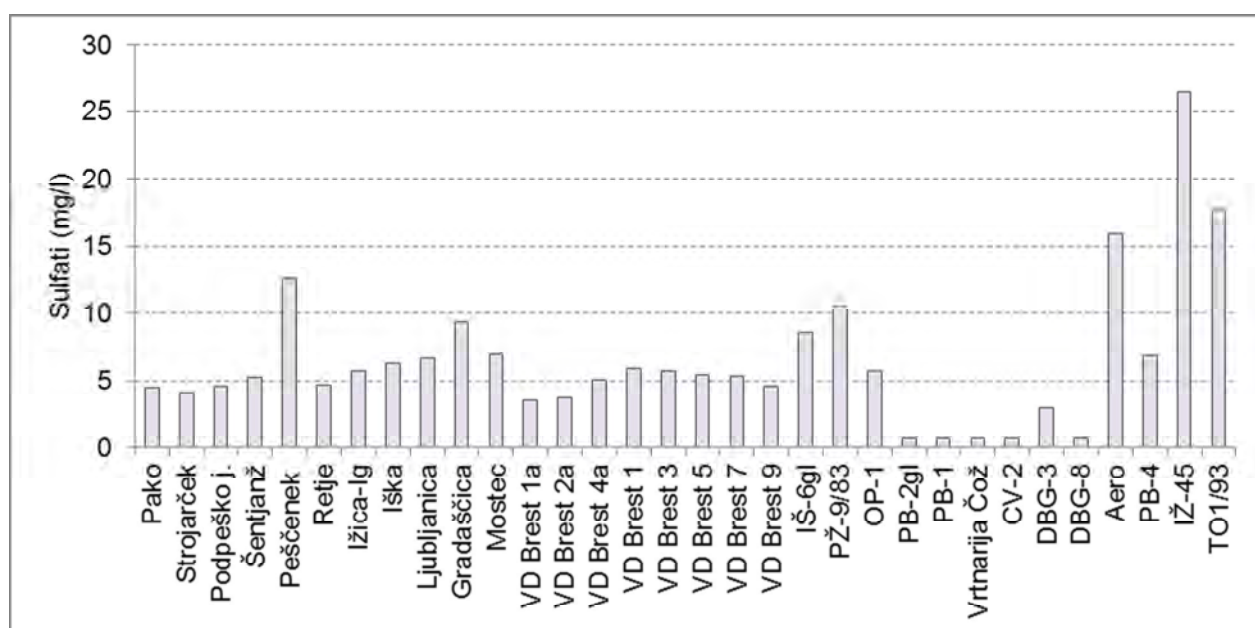




Sulfati

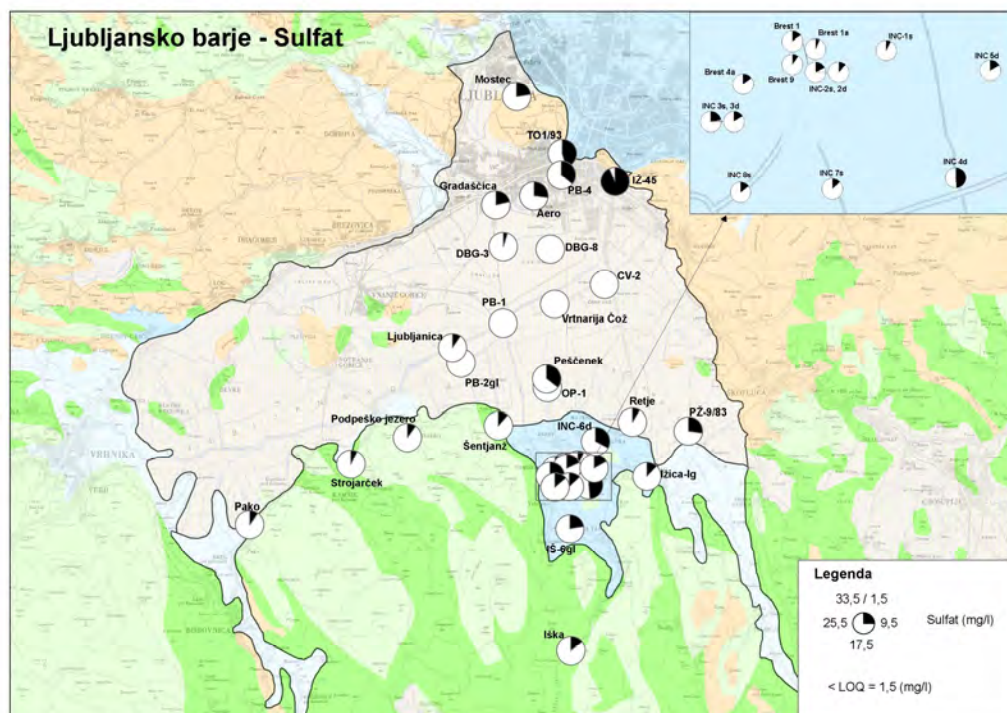
Tipična raven vsebnosti sulfatov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja se giblje okoli 5 mg/l. Povišane vrednosti podobno kot pri nitratih in kloridih zaznavamo na območjih neposrednega vpliva kmetijstva ter urbanizacije na podzemno vodo.

Zelo znižane koncentracij sulfatov nastopajo na osrednjem delu vodonosnika. V tem delu vodonosnika zaradi pomanjkanja kisika torej očitno prihaja do redukcije sulfatov v podzemni vodi.

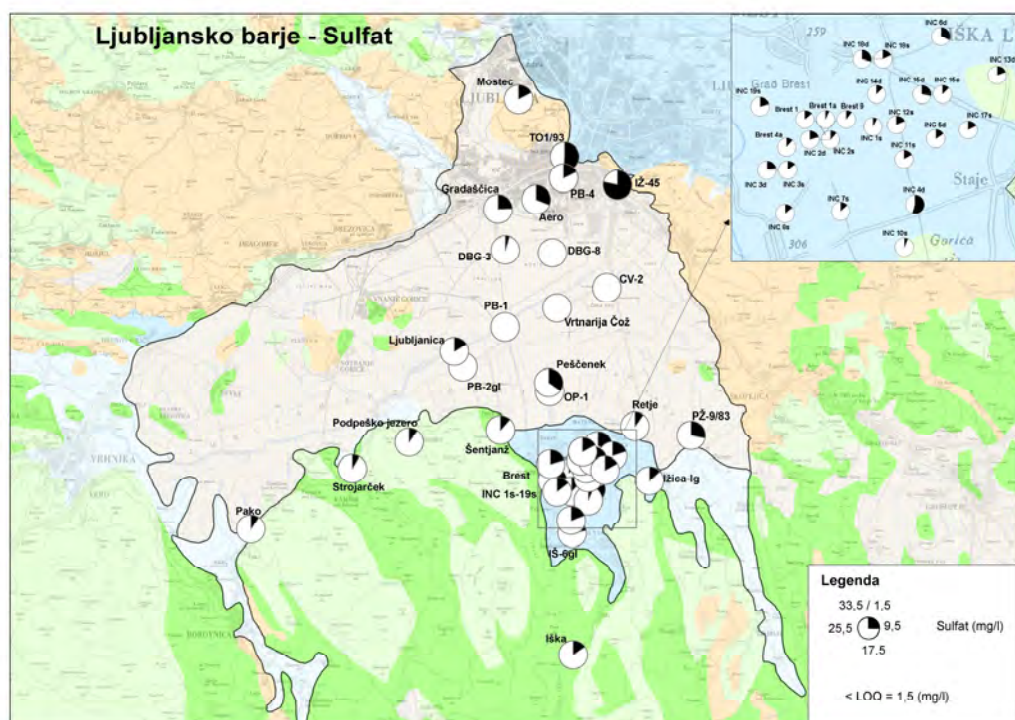


Vsebnost sulfatov v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega barja





Vsebnost sulfatov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje jesen 2010



Vsebnost sulfatov v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011





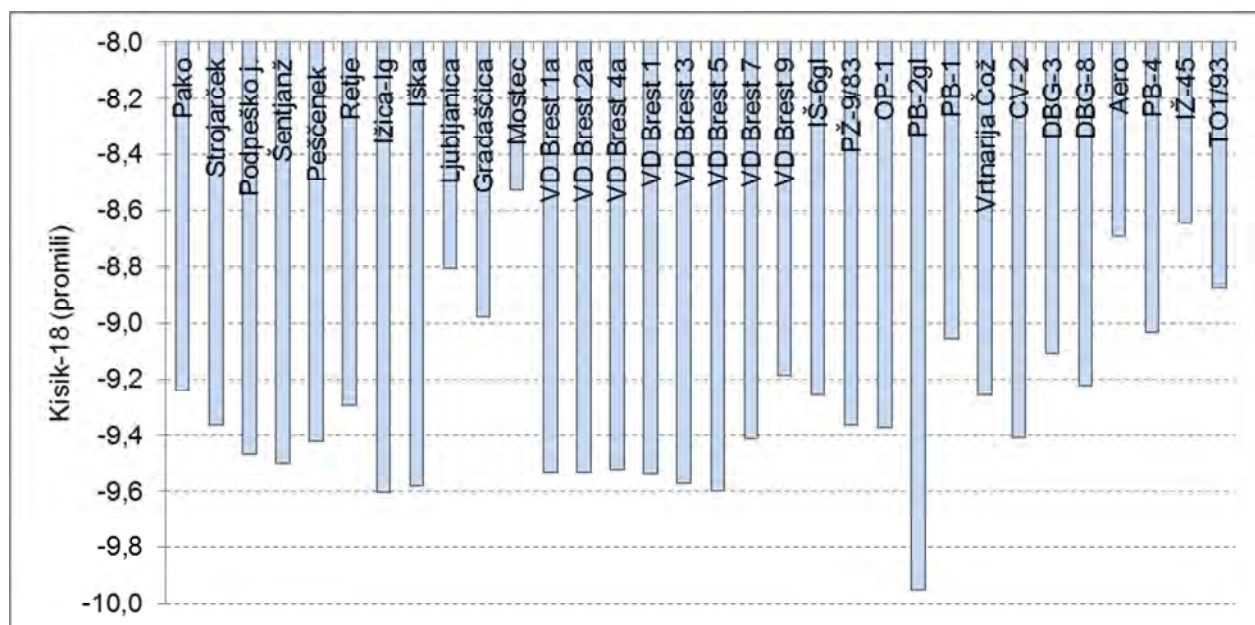
Izotop kisik-18

Glavno padavinsko zaledje vodonosnika Ljubljanskega barja je Krimsko pogorje, zato so zaradi višinskega izotopskega efekta podzemne vode večinoma osiromašene s kisikom-18. Večina vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ se giblje v intervalu med -9,2 in -9,6 ‰.

Glede na izotopsko sestavo kisika izstopajo Ljubljanica ter Gradaščica, katerih zaledje je izven obravnavanega območja in sta obogatena s kisikom-18 zaradi nižje srednje nadmorske višine zaledja. Tudi potok v Mostecu je zaradi svojega nižjega zaledja izrazito obogaten s kisikom-18.

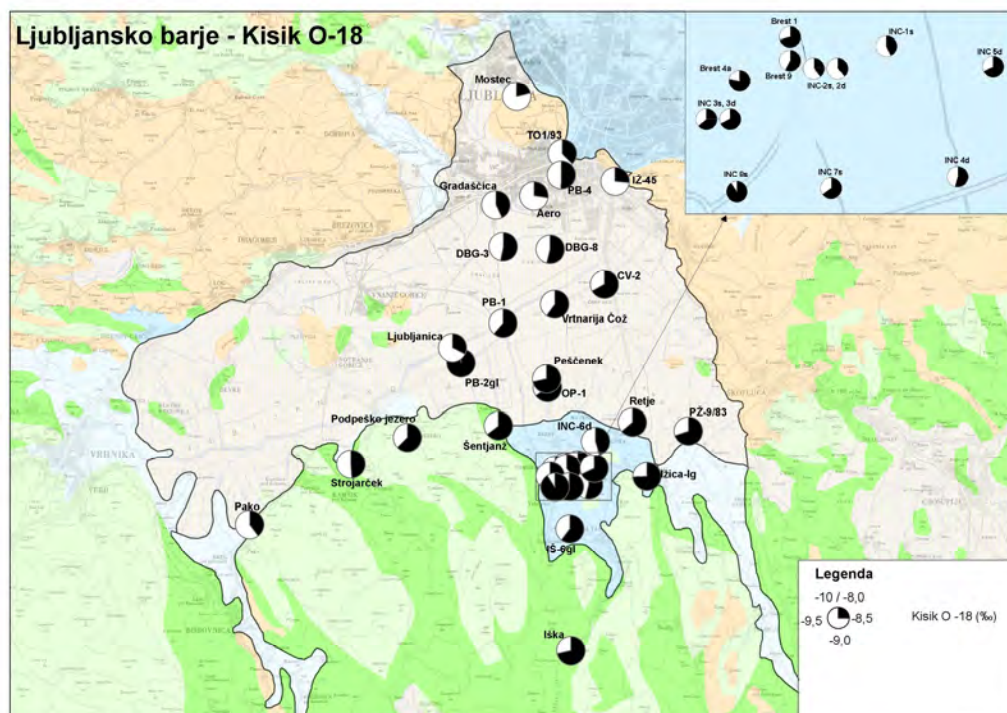
Na vodonosniku Iškega vršaja so vodnjaki, ki so bolj oddaljeni od Iške proti severovzhodu (VD Brest-7, VD Brest-9) vse bolj obogateni s kisikom-18. V tem primeru gre za vse večji vpliv lokalne padavinske infiltracije; na tem območju so namreč zaradi značilnosti reliefa padavine bolj obogatene s kisikom-18 kot padavine, ki padejo na Krimskem pogorju. Kot je bilo predstavljeno že v predhodnih poglavjih, se lokalni vplivi padavinske infiltracije odražajo tudi v kemijski sestavi podzemne vode Iškega vršaja.

Proti severu se je podzemna voda vse bolj obogatena z izotopom kisik-18. Tudi v tem primeru gre za vpliv lokalne padavinske infiltracije na vodonosnik, ki je v tem delu dokaj odprt.

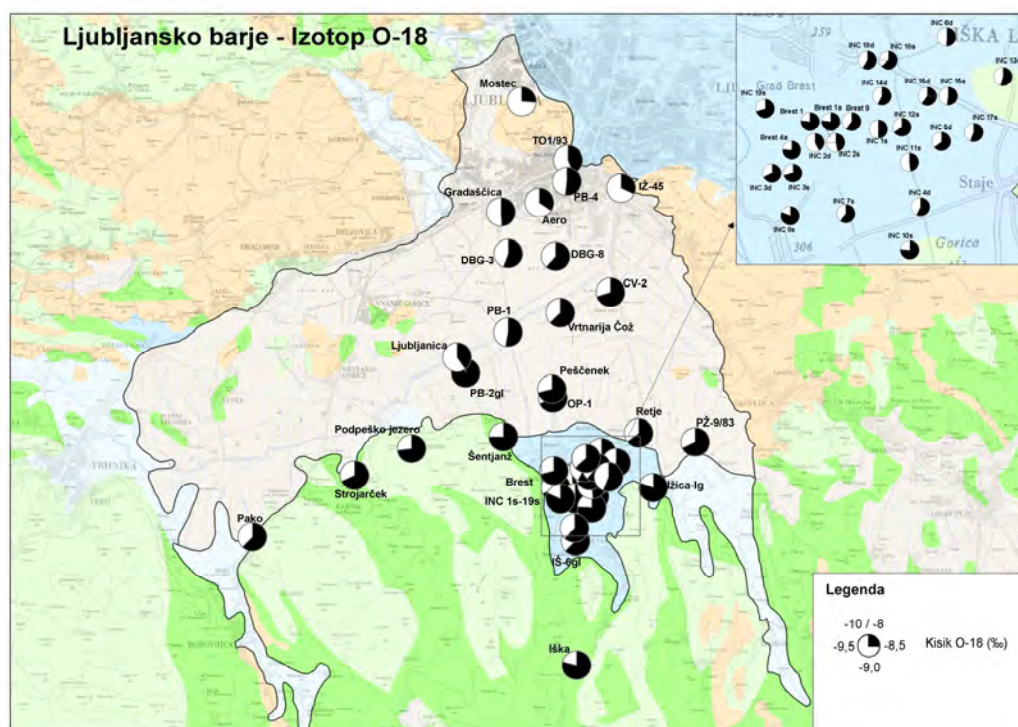


Izotopska sestava kisika-18 v podzemnih vodah vodonosnika Ljubljanskega barja





Izotop kisik-18 v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje jesen 2010



Izotop kisik-18 v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011



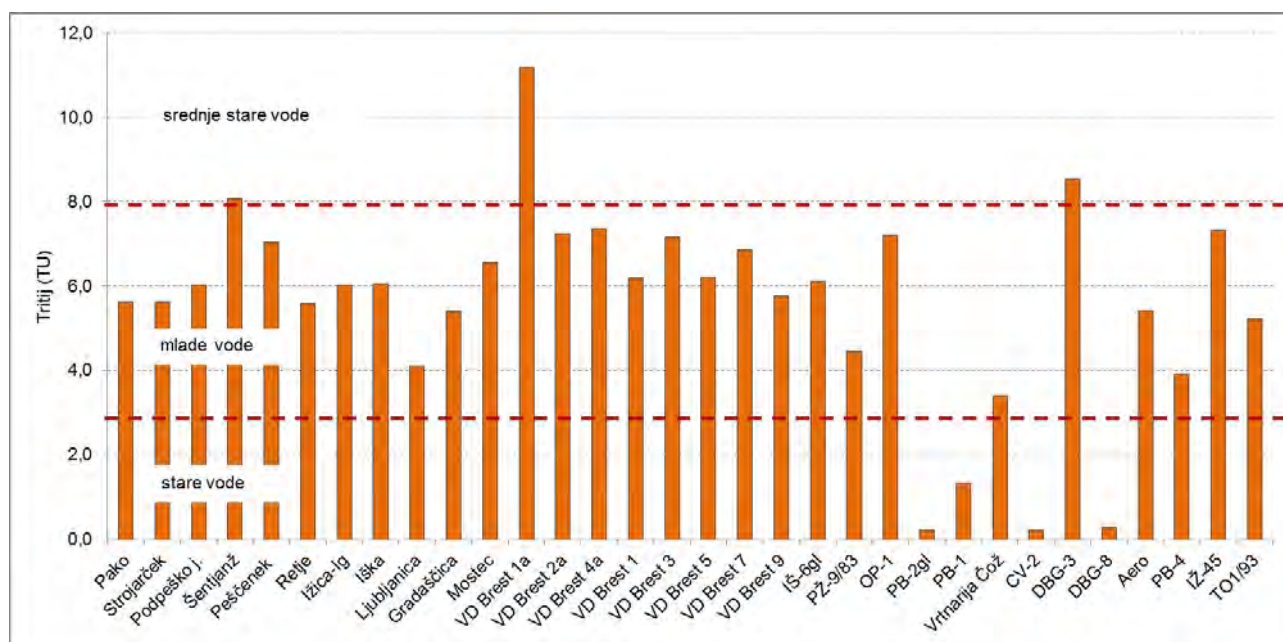


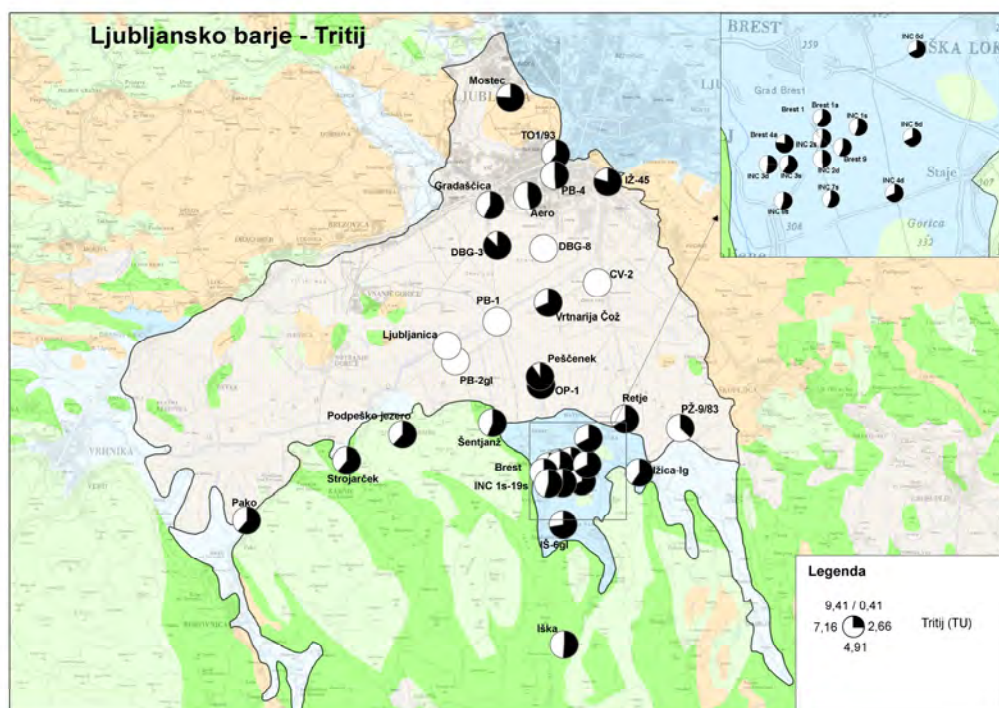
Tritij

V večini podzemnih vod iz vodonosnika Ljubljanskega barja so bile izmerjene aktivnosti tritija med 4 in 8 TU, kar pomeni, da gre za mlade vode, katerih aktivnost tritija je podobna kot v sedanjih padavinah.

Pri podzemnih vodah iz osrednjega dela vodonosnika Ljubljanskega barja (PB-1, Vrtnarija Čož, ČV-2 in DBG-8) so aktivnosti tritija zelo nizke in večinoma ne presegajo 2 TU. V skladu rezultati modela popolnega mešanja pomenijo aktivnosti tritija pod 3 TU zadrževalni čas vode večji od 50 let.

Na dveh opazovalnih mestih pa so aktivnosti tritija v vodi izrazito povišane: v vodnjaku VD Brest 1a okoli 11 TU ter v vrtini DBG-3 okoli 9 TU. Takšne vrednosti tritija so celo višje od sedanjih povprečnih padavin, zato jih v skladu z izotopskim modelom starosti podzemnih vod uvrščamo med srednje stare vode, katerih zadrževalni čas znaša od 10 do 50 let. V teh vodah se odražajo izrazito povišane aktivnosti zaradi t.i. »bombnega« tritija, ki izhaja iz jedrskih poizkusov v 60. letih prejšnjega stoletja.





Izotop tritij v podzemni vodi vodonosnika Ljubljanskega barja – vzorčenje pomlad 2011





SLEDILNI POIZKUS VRBLJENE

S sledilnim poizkusom smo želeli opredeliti hitrost podzemne vode na območju med Vrbljenami in vodarno Brest. Kot sledilo je bila uporabljena kuhinjska sol (200 kg). Prisotnost sledila smo ugotavljali s terenskimi merilniki elektroprevodnosti WTW 340i.



Voda za pripravo sledila



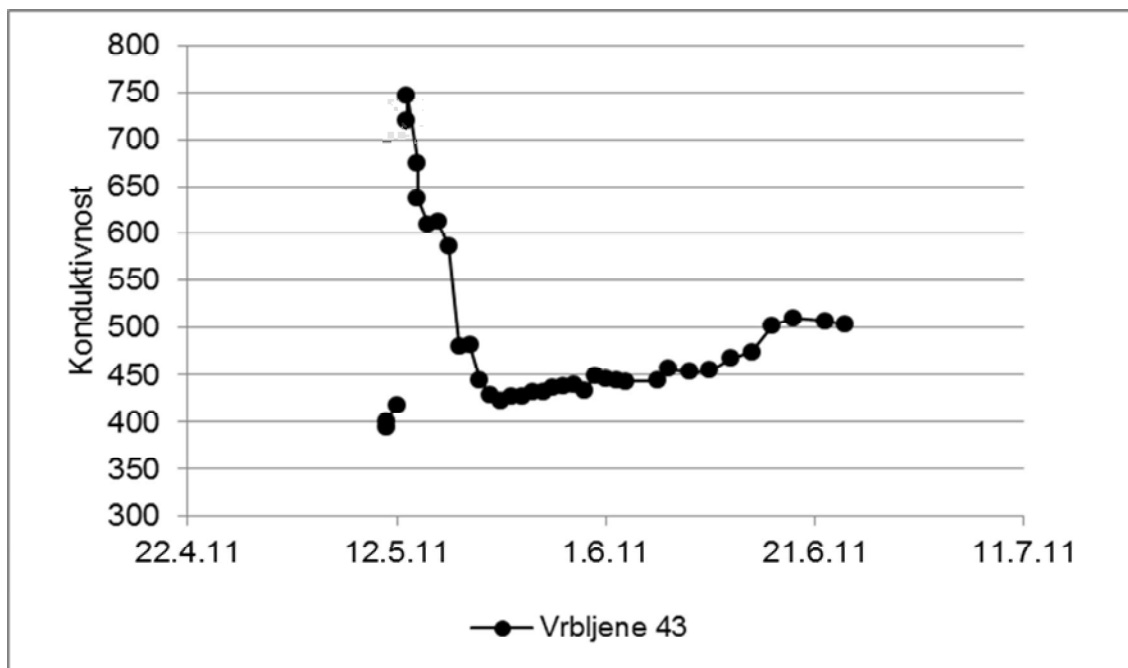
Priprava sledila





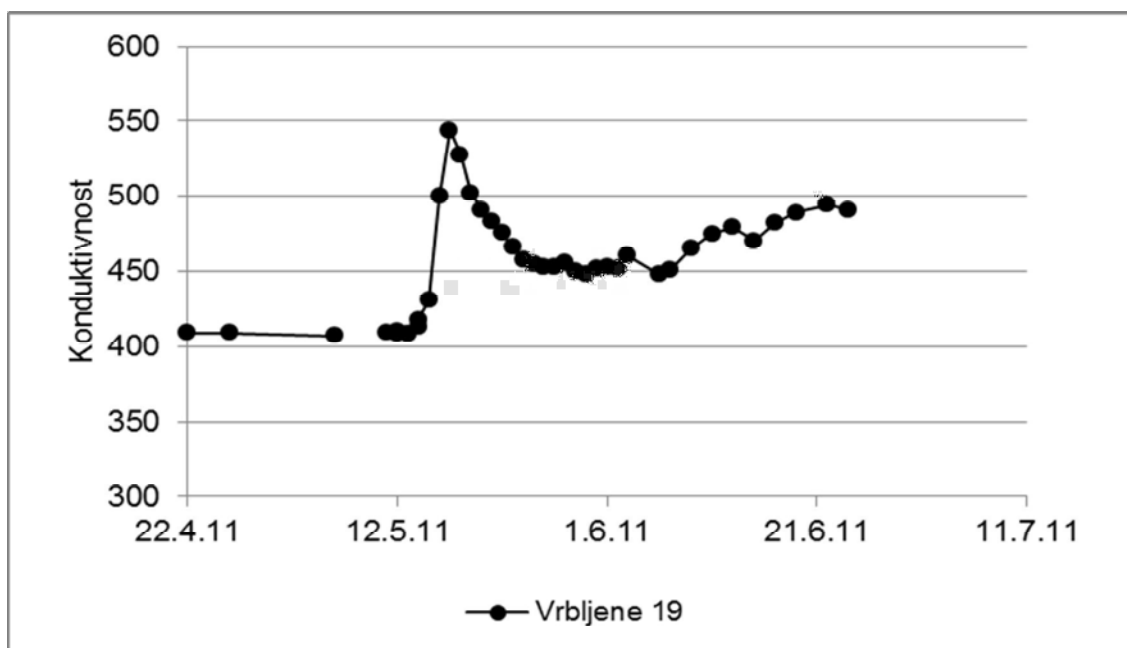
Injiciranje sledila v hišni vodnjak

Sledilo se je jasno pojavilo na dveh opazovalnih mestih: Vrbljene 43 in Vrbljene 19.



Pojav sledila v vodnjaku Vrbljene 43





Pojav sledila v vodnjaku Vrbljene 19

V tabeli so prikazani osnovni podatki o sledilnem poizkusu ter izračun hitrosti sledila, ki odraža hitrost podzemne vode na tem območju.

Lokacija injicirnega mesta	Vrbljene 48
Datum injiciranja	11.5.2011
Vrsta sledila	NaCl
Količina sledila	200 kg
Količina vode	760 l
Začetek injiciranja	11.26
Zaključek injiciranja	18.05

Opazovalno mesto	Vrbljene 43
Prvi pojav sledila	12.5. ob 11.35
Čas prvega pojava	20,66 ur
Maksimalni pojav	12.5. ob 17.15
Čas maksimalnega pojava	26, 33 ur
Največja hitrost V_{max}	2,66 m/h = 63,8 m/dan
Srednja hitrost	2,09 m/h = 50,13 m/dan





Opazovalno mesto	Vrbljene 19
Prvi pojav sledila	14.5. ob 17.20
Čas prvega pojava	74,42 ur
Maksimalni pojav	17.5. ob 13.10
Čas maksimalnega pojava	142,25 ur
Največja hitrost $V_{\max}$	3,39 m/h = 81,29 m/dan
Srednja hitrost	1,77 m/h = 42,51 m/dan





REFERENCE

Jamnik, B., Urbanc, J., 2000: Izvor in kakovost podzemne vode Ljubljanskega polja. RMZ - Materials and geoenvironment 47, 167-178, Ljubljana.

Mencej, Z., 1988: Prodni zasipi pod sedimenti Ljubljanskega barja. Geologija 31, 517-553, Ljubljana.

Prestor, J., Trček, B., Strojan, M., Mencej, Z., 1993: Meritve in interpretacija vpliva črpanja podzemne vode iz globokega vodonosnika vodarne Brest na širše območje Ljubljanskega barja. Delovno poročilo, Arhiv GeoZS, št. K-II-30d/c-1/772, Ljubljana.

Prestor, J., Urbanc, J., Janža, M., Rikanovič, R., Bizjak, M., Medić, M., Strojan, M. 2002: Preverba in dopolnitev strokovnih podlag za dopolnitev strokovnih podlag za določitev varstvenih pasov vodnih virov centralnega sistema oskrbe s pitno vodo MOL – Ljubljansko polje. Geološki zavod Slovenije, arh. št. K-II-30d/c-2/874-a, Ljubljana.

Urbanc, J., Jamnik, B., 1998: Izotopske raziskave podzemne vode Ljubljanskega polja. Geologija 41, 355-364, Ljubljana.

Urbanc, J., Jamnik, B., 2004: Nitrate isotope composition as a decision support in drinking water management, Ljubljana, Slovenia. V: Isotopes in the hydrological cycle and environment, UNESCO, Paris, France, str. 247-248.

Založba ZRC (več avtorjev), 2005: Podtalnica Ljubljanskega polja. Geografija Slovenije, 10. Ljubljana.

Žlebnik, L., 1971: Pleistocen Kranjskega, Sorškega in Ljubljanskega polja. Geologija 14, Ljubljana.

