

## Težke kovine v vodotokih zaledja Ljubljane

### Heavy metals in the Ljubljana catchment area (Slovenia)

Branka TRČEK

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, 1000 Ljubljana, Slovenija, e-mail:branka.trcek@geo-zs.si

*Ključne besede:* porečje Ljubljane, Slovenija, izviri in ponikalnice, monitoring težkih kovin

*Key words:* Ljubljana River Basin, Slovenia, springs and swallowholes, monitoring of heavy metals

#### Kratka vsebina

Na začetku leta 2005 se je vzpostavil v glavni izviri in ponikalnicah porečja reke Ljubljane monitoring težkih kovin z namenom, da se prouči prenos snovi v vodnem telesu ter analizo ranljivosti na onesnaženje s težkimi kovinami. Predstavljeni so rezultati I. faze monitoringa - tiste prvine, ki kažejo na obremenitev okolja zaradi delovanja industrije, prometa, kmetijstva ali urbanizacije: Al, As, Cd, Cl, Cr, Cu, Mn in Pb. Rezultati so opozorili, da se ranljivosti kraških vodonosnikov spreminja v odvisnosti od hidrodinamičnih pogojev v vodonosniku, infiltracijskih pogojev in razvitosti kraškega drenažnega sistema. Označili so lokalne in regionalne geokemijske in hidrogeološke razmere in omogočili razumevanje procesov in vzrokov za spreminjanje okolja.

#### Abstract

In main springs and swallowholes of the Ljubljana River Basin the monitoring of heavy metals was established at the beginning of 2005 with the intention to study the solute transport in the water body and to analyse the risk of contamination with heavy metals. The results of the first monitoring phase are presented – elements that indicate the load of environment due to industry, traffic, agriculture and urbanisation: Al, As, Cd, Cl, Cr, Cu, Mn in Pb. The results point out that the vulnerability of karst aquifers depends on aquifer hydrodynamic conditions, infiltration conditions and development of a karst drainage system. Furthermore, they indicated the local and regional geochemical and hydrogeological characteristics and enable to evidence the main processes and effects that impact on environmental changes.

#### Uvod

Podobno kot v mnogih evropskih regijah, tudi v Sloveniji naraščajo potrebe po zvišanju količine kvalitetnih vodnih virov za vodooskrbo prebivalstva kot tudi industrije in kmetijstva. V kraških vodonosnikih so uskladiščene ogromne zaloge podzemne vode. Po mnenju strokovnjakov, naj bi do leta 2025 v Sloveniji in po svetu kraški vodonosniki pokrivali kar 80 odstotkov vodooskrbe. Zaradi

specifičnih lastnosti (zelo prepustno omrežje kraških kanalov, kjer se lahko pretaka voda z velikimi hitrostmi; nizka samočistilna sposobnost), pa so kraški vodonosniki izredno občutljivi za onesnaženje. Da bi zaščitili kraške vodonosnike pred onesnaženjem, je treba proučiti obnašanje onesnaževalcev v njem in poznati naravne faktorje, ki nadzirajo to obnašanje. Glede na to, se je začel izvajati leta 2004 v porečju Ljubljane (slika 1) študij prenosa težkih kovin. Le-ta je tesno

povezan z uporabo zanesljive in učinkovite raziskovalne metodologije, ki zagotavlja a) znanstveno razumevanja mehanizmov, ki nadzirajo tok in prenos snovi/onesnaženja v vodnem telesu in b) monitoring teh procesov (Trček, 2001, 2003). Obravnavano ozemlje ima zelo zapleteno geološko oziroma tektonsko zgradbo in za pravilno interpretacijo zahteva povezovanje geoloških, tektonskih, hidrogeoloških, mineraloških in geokemijskih parametrov, ki so pogojeni z evolucijo nastajanja terena.

V glavni izviri in ponikalnicah porečja reke Ljubljanice se je vzpostavil monitoring težkih kovin na začetku leta 2005. Izvajal se bo v dveh letnih fazah, ki bosta druga drugo dopolnjevale in nadgrajevale. Tema tega članka so rezultati monitoringa I. raziskovalne faze, ki se je izvajala od aprila 2005 do marca 2006.

## Raziskovalno območje

V preteklosti je bilo porečje reke Ljubljanice tema številnim raziskovalcem. Putick je že leta 1887 objavil prve zapise o podzemnih vodnih zvezah med Cerkniškim poljem, Planinskim poljem in Ljubljanskim barjem. Najobsežnejše raziskave pa je vodil Inštitut za raziskovanje krasa, pod okriljem mednarodnega združenja ATH (Association of Tracer Hydrology), v letih 1972-1975. Rezultati geoloških, hidrogeoloških in geo-kemičnih raziskav so zbrani v knjigi *Underground water tracing – Investigations in Slovenia 1972-1975* (Gospodarič & Habič, 1976).

Celotno porečje Ljubljanice, do izliva v Savo, je ocenjeno na 1900 km<sup>2</sup>, medtem ko obsega kraško zaledje, do izvirov pri Vrhniki, 1100-1200 km<sup>2</sup> (Habič, 1976). Višinska razlika med najvišjo točko porečja (vrh Sne-



Slika 1. Položaj porečja Ljubljanice (1 – površinsko razvodje, 2 – kraško razvodje, 3 – jadransko-črnomoško razvodje, 4 – nekraški del porečja, 5 – kraški del porečja) (Habič, 1976)

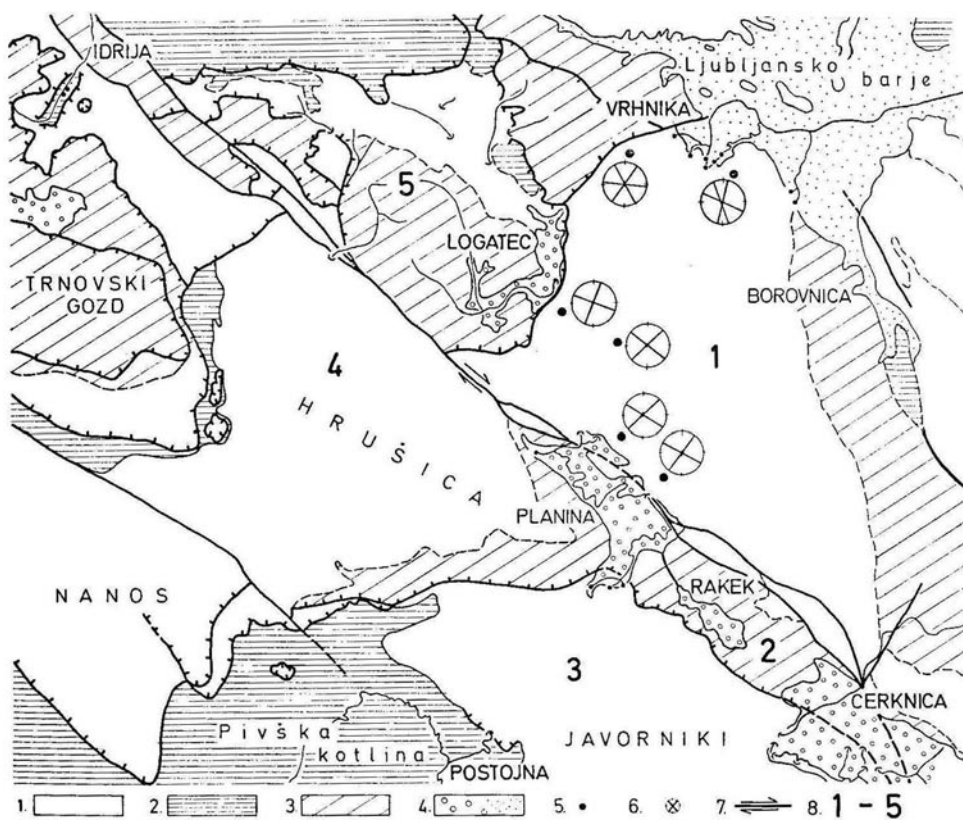
Figure 1. The situation of the Ljubljana river basin (1 – superficial watershed, 2 – karst watershed, 3 – Adriatic-Black sea watershed, 4 – non karst river basin's part, 5 – karst river basin's part) (Habič, 1976)

žnika na 1796 mnv) in izlivom Ljubljane v Savo je 1530 m, višinska razlika med vrhom Snežnika in izviri Ljubljane pri Vrhniki pa je 1505 m.

Podatki o geološki in hidrogeološki zgradbi raziskovalnega območja so zbrani na sliki 2 (Buser et al., 1976). Ozemlje pripada zunanjim in notranjim Dinaridom, ki se stikajo jugo-vzhodno od Idrijskega preloma. Gradijo ga permo-karbonski, permski, triasni, jurski, kredni, paleocenski, eocenski in kvartarni sedimenti. Največji del prekrivajo triasne, jurske in kredne plasti, manjši pa permo-karbonske, permske in eocenske. Kvartarne sedimente najdemo le na območju kraških polj in na Ljubljanskem barju.

Triasni skrilavci, peščenjaki, laporji, apnenci in predvsem dolomit, gradijo ozemlje vzhodno od Vrhnike pa do Idrije. Jurski apnenci in dolomiti sestavljajo kraško ozemlje med Ljubljanskim barjem in Cerkniškim poljem ter obrobje tega polja. Kredne plasti ležijo med Planinskim in Logaškim poljem ter na območju Idrijsko-žirovke enote. Prevladujeta apnenec in dolomit, najdemo pa tudi laporje. Permo-karbonske in permske plasti skrilavcev, peščenjakov, konglomeratov, dolomitov in apnencev najdemo med Idrijo in Vrhniko.

Proučevano ozemlje sekajo številni prelomi, katerih prevladujoča smer je NZ-JE. Poleg Idrijskega preloma, so pomembni ti-

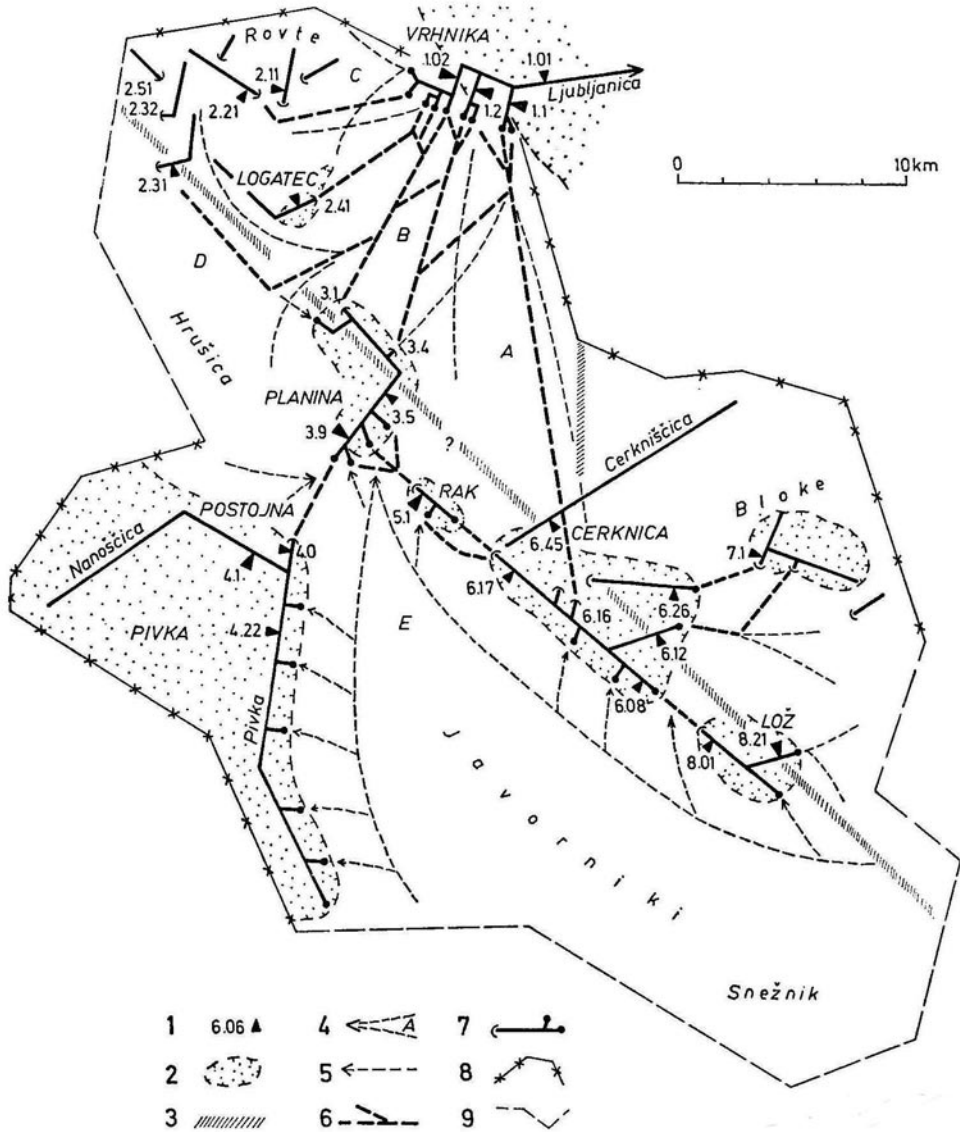


Slika 2. Hidrogeološke enote v srednjem delu kraškega porečja Ljubljane (1 – apnenčev, 2 – neprepustne kamnenine (skrilavci in drugo), 3 – dolomit, 4 – naplavine na kraških poljih in barju, 5 – lokacije merjenih ruptur, 6 – diagrami ruptur, 7 – prelomi, 8 – hidrogeološke enote: (1) Vrhnika-Cerkniška gruda, (2) Rakeško-cerkniška gruda, (3) Javorniško-snežniška gruda, (4) Hrušica, (5) Idrijsko-žirovska pokrovov (Habič et al., 1976)

Figure 2. Hydrogeological units in the central part of the Ljubljana karst river basin (1 – limestone, 2 – impermeable rocks (schists, etc.), 3 – dolomite, 4 – sediments on the karst poljes and moor, 5 – locations of rupture survey, 6 – rupture diagrams, 7 – faults, 8 – hydrogeologic units: (1) Vrhnika-Cerknica block, (2) Rakek-Cerknica block, (3) Javorniki-Snežnik block, (4) Hrušica-block, (5) Idrija-Žiri nappes area) (Habič et al., 1976)

sti na območju med Rovtami in Logatcem, med Logatcem in Vrhniko ter pri Vrhniki. Pomembnejši prelomi s smerjo S-J so na območju med Cerknico in Vrhniko ter pri Hotedršici.

Glede na prepustnost in poroznost ločimo štiri hidrogeološke skupine kamenin: zelo prepustne kamnine (razpokani in zakraseli apnenci ter konglomerati), prepustne kamnine (razpokani dolomiti in apnenci), slabo



Slika 3. Shema površinskih in podzemnih voda v kraškem porečju Ljubljanice (1 – važnejše vodomerne postaje, 2 – kraško polje z naplavitino, 3 – osrednja hidrogeološka pregrada, relativna bariera, 4 – zbirno območje stalnih kraških izvirov, 5 – občasni visokovodni prelivi kraške vode, 6 – podzemne vodne zveze, 7 – površinski tok z izviri in ponori, 8 – površinsko razvodje, 9 – kraško predpostavljeno razvodje (Habič, 1976)

Figure 3. Schematic review of superficial and underground waters in the Ljubljana karst river basin (1 – important gauging stations, 2 – karst polje with sediments, 3 – central hydrogeologic relative barrier, 4 – catchment area of permanent karst springs, 5 – periodic high water discharges of karst water, 6 – underground water connections, 7 – superficial stream with springs and ponors, 8 – superficial watershed, 9 – supposed karst watershed (Habič, 1976)

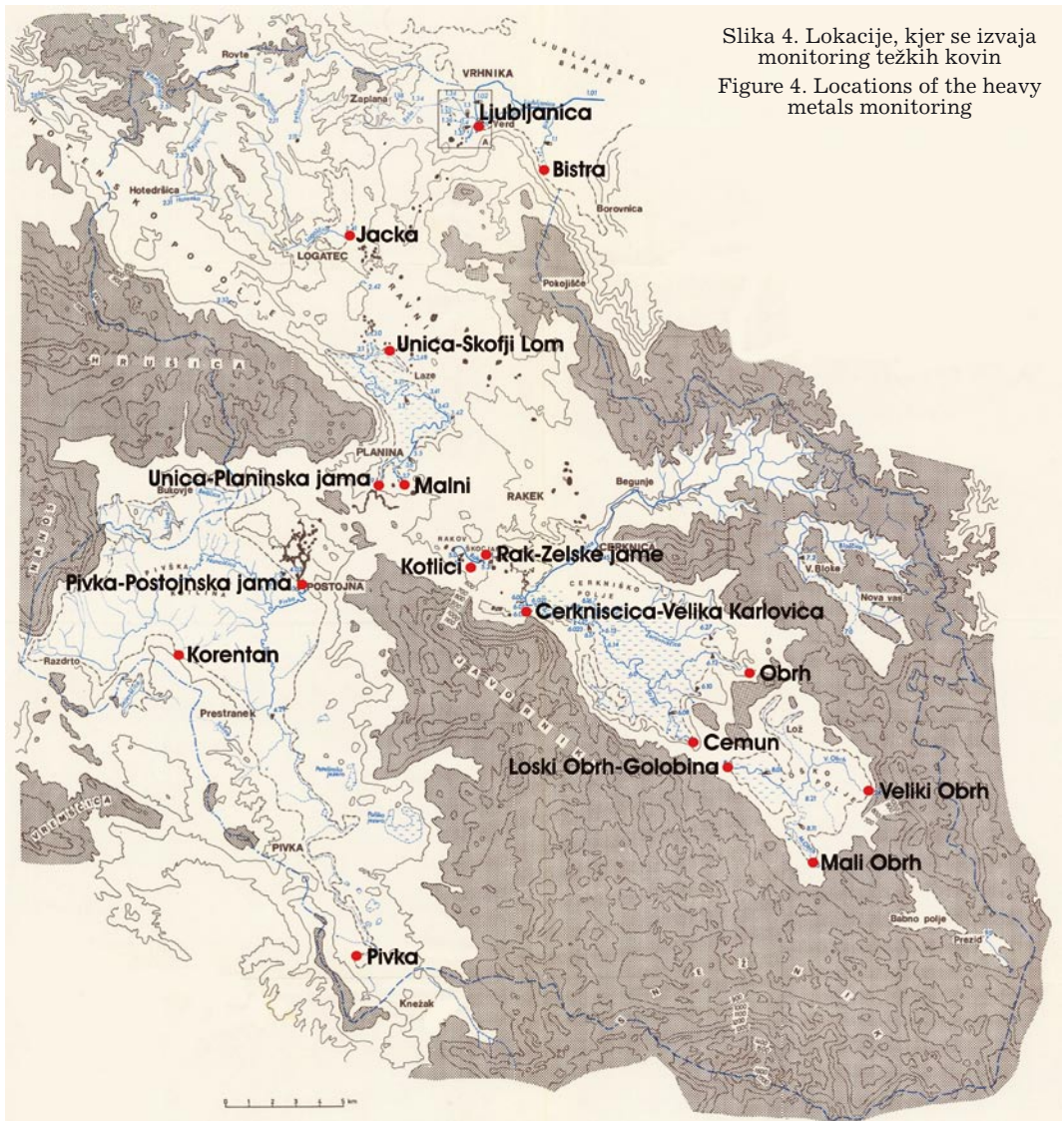


prepustne in neprepustne kamenine (klastiti, kot so skrilavci in laporji, ki se izmenjujejo z drugimi kameninami) ter kamenine z medzrnsko poroznostjo (kvartarni rečni in barjanski sedimenti). V povezavi z litološko in tektonsko strukturo lahko razdelimo raziskovano območje na pet hidrogeoloških enot: Vrhniško-cerkniška gruda, Rakeško-cerkniška gruda, Javorniško-snežniška gruda, Hrušica in Idrijsko-žirovsko ozemlje pokrovov (Buser et al., 1976). Izmenjavanje bolj in manj prepustnih ter neprepustnih plasti skupaj s tektonsko zgradbo pogojuje površinski in podzemni vodni tok, kar je

shematično ilustrirano na sliki 3 (Habič, 1976). Na splošno je mogoče povzeti, da iz višje ležečih območij napajanja podzemna voda lahko odteka neposredno proti izvirov Ljubljane ali pa proti obrobnemu kraškemu polju, kjer izvira in ponikne ter ponovne priteče na površje na nižje ležečih kraških poljih, dokler se končno ne pojavi v enemu od izvirov Ljubljane.

### Metode in tehnike

Čeprav ni mogoče natančno razložiti zgradbe in hidravličnega obnašanja kra-



Slika 4. Lokacije, kjer se izvaja monitoring težkih kovin

Figure 4. Locations of the heavy metals monitoring

škega vodonosnika, poznamo njegove specifične zakonitosti, ki ga ločujejo od ostalih vrst vodonosnikov. Razumevanje zgradbe in posebnih lastnosti obravnavanih vodonosnikov omogoča le analiza rezultatov različnih raziskovalnih metod – tistih, ki opisujejo zgradbo kraškega sistema in tistih, ki dajo informacijo o toku in prenosu snovi. Vrste raziskovalnih metod in njihova uporabnost na kraških območjih so zelo nazorno opisane v poročilu EU projekta COST action 65 (1995).

Geološke in hidrogeološke informacije črpam predvsem iz dveh knjig ATH – prva je omenjena v prvem poglavju tega članka in opisuje rezultate raziskav v porečju Ljubljane v letih 1972-1975 (Gospodarič & Habič, 1976), druga pa opisuje rezultate raziskav na območju Trnovsko-banjske planote v devetdesetih letih (Kranjc, 1997; Janež et al., 1997). Le-te sem nadgradila z rezultati raziskav, ki sem jih opravila v zaledju izvira Hubelj (Trček, 2001, 2003, 2006), kjer sem spremljala tok in prenos snovi na osnovi stabilnih izotopov vodika in kisika.

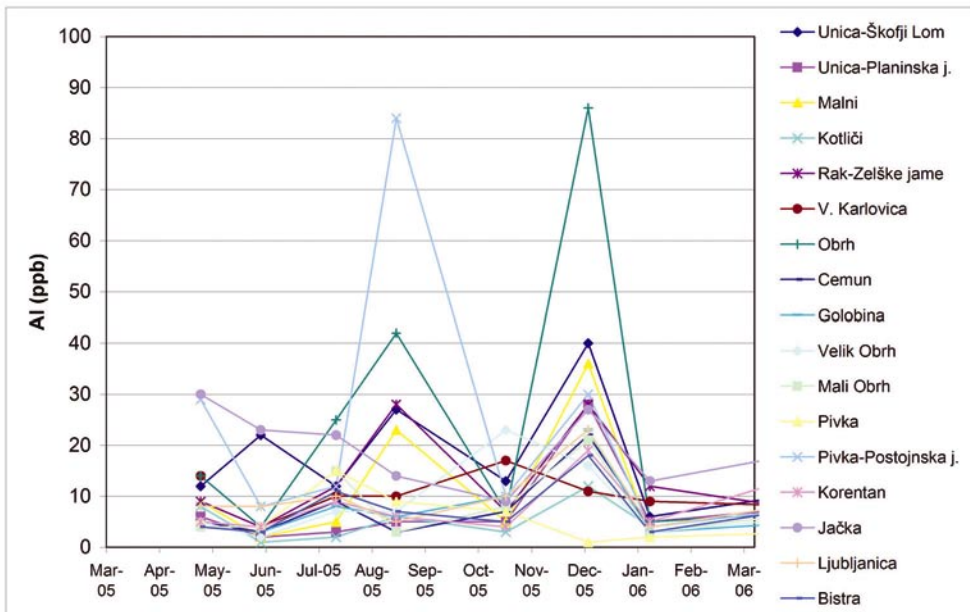
Za potrebe študije prenosa težkih kovin v zaledju Ljubljane se je vzpostavil aprila 2005 monitoring glavnih izvirov in ponikalnic. Na sedemnajstih vzorčnih mestih poteka ob različnih hidrodinamičnih po-

gojih sezonsko vzorčenje vode za analizo težkih kovin. Vzorčijo se: izvir Mali Obrh, izvir Veliki Obrh, izvir Obrh, izvir Cemun, Cerknjščica - pred odtokom v Veliko Karlovico, Loški Obrh pri ponoru Golobina, izvir Pivke, Pivka - pred odtokom v Postojnsko jamo, izvir Korentan, izvir Kotličiči, Rak - v Zelških jamah, Unica - pred ponori v Škofjem Lomu, Unica - pri izotku iz Planinske jame, izvir Malni, Jačka - pred ponorom, izvir Bistra in izvir Ljubljana (slika 4). Vsak letni čas odvezamemo na vseh vzorčnih mestih po dva vzorca - enega v obdobju nizkih, drugega pa v obdobju visokih vod. Sočasno potekajo tudi "in situ" meritve osnovnih fizikalno-kemijskih parametrov: pH, temperature in specifične elektroprednosti.

Vzorčenje težkih kovin v vodi poteka v skladu z navodili, ki so bila izdelana za pripravo geokemične karte Evrope (Salminen et al., 1998). V vzorcih se določa 72 prvin. Analize opravlja Acme Analytical Laboratories Ltd., Vancouve, Kanada.

## Rezultati in razprava

Predstavljeni bodo tisti rezultati I. faze monitoringa težkih kovin v vodotokih zaledja Ljubljane, ki kažejo na obremenitev



Slika 5. Koncentracije aluminija v vzorčenih voda v obdobju I. faze monitoringa

Figure 5. Aluminum concentrations during the first monitoring phase

okolja zaradi delovanja industrije, prometa, kmetijstva ali urbanizacije in bodo v povezavi z rezultati II. faze monitoringa omogočili pregled sedanjih in zgodovinskih onesnaževalcev ter analizo ranljivosti proučevanega ozemlja na onesnaženje s težkimi kovinami.

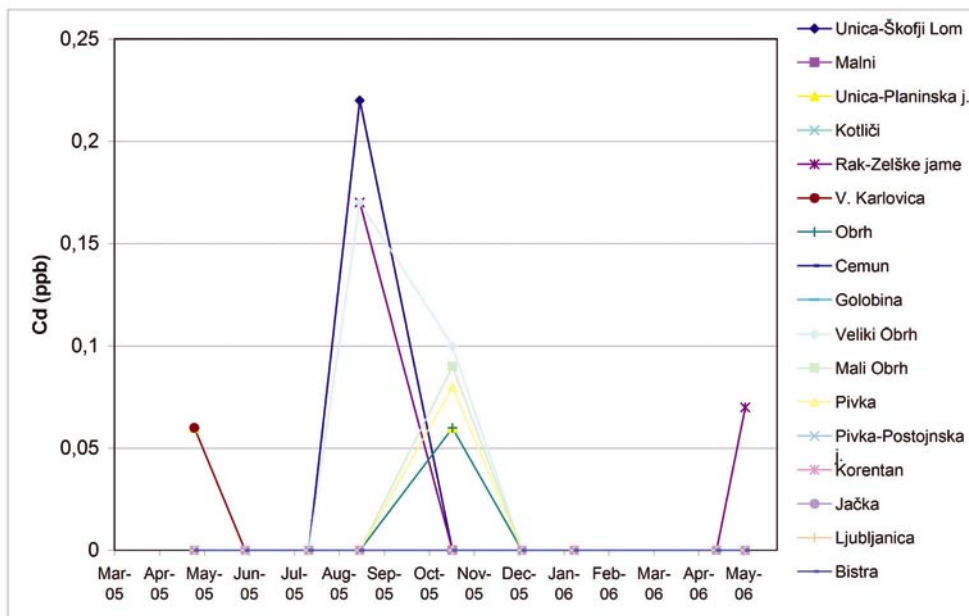
Slika 5 prikazuje vsebnost aluminija (Al) v vzorčenih vodah. Za to prvinjo je določena mejna vrednost v pitni vodi 200 ppb. Nobena meritev ni presega te vrednosti. Najvišje vrednosti, okoli 85 ppb, so bile izmerjene v Pivki, pred Postojnsko jamo, in v Obrhu. Opazen je tudi splošen trend nihanja parametra. V ospredju so povečane vrednosti skoraj vseh vzorčenih mestih decembra 2005, v času prvih jesenskih izredno visokih vod, pa tudi nizke vrednosti januarja 2006 in junija 2005, ko je bilo sušno obdobje.

Vrednosti arzena (As), katerega mejna vrednost v pitni vodi je 10 ppb, so bile v času I. faze monitoringa v glavnem pod 0.5 ppb, razen poleti 2005 (julija in avgusta), ko so narasle do največ 1.1 ppb v Pivki, pred Postojnsko jamo, in v Unici, pred ponori pri Škofjem Lomu.

Meritve vsebnosti kadmija (Cd) so predstavljene na sliki 6. V pitni vodi je določena mejna vrednost za to prvinjo 5 ppb. Le ta v vzorčenih vodah ni bila presežena. V večini vzorcev je bila vsebnost Cd celo pod 0.05

ppb. Večje vsebnosti so se občasno pojavljale v sedmih vodotokih. Aprila 2005 je narasla koncentracija Cd na 0.06 ppb v Unici - na iztoku iz Planinske jame in pri ponorih na koncu Planinskega polja ter v Cerkniščici pred izlivom v jamo Velika Karlovica. Takrat so bile visoke vode, po taljenju snega in spomladanskem deževju. Najvišje vrednosti, 0.17-0.22 ppb, so bile izmerjene poleti, avgusta 2005, v Raku v Zelških jamah, v Velikem Obrhu in v Unici pri ponorih v Škofjem Lomu, ko je po daljšem sušnem obdobju padlo kar nekaj dežja. Višje vrednosti, 0.06-0.1 ppb, so bile zabeležene še oktobra 2005 v vseh treh Obrhah, v izviru Pivke in v Unici, pri iztoku iz Planinske jame. Takrat je bilo deževno obdobje, ki pa ni povzročilo visokih vod. Le te so bile, kot je že omenjeno, na začetku decembra 2005, vendar na povišanje vsebnosti Cd niso vplivale, saj so bile vrednosti povsod pod 0.05 ppb.

Slika 7 ilustrira nihanje vsebnosti klorida (Cl) v vzorčenih vodah, za katerega je določena mejna vrednost v pitnih vodah 250 ppb. Vzorcev niso onesnažene s to prvinjo. Najvišje vrednosti so vezane na Pivko, pred izlivom v Postojnsko jamo in na Jačko, na vzorčni mesti, ki imata v zaledju najbolj obremenjeno okolje z urbanizacijo in industrijo. Zanimiv pa je splošen časoven trend



Slika 6. Koncentracije kadmija v vzorčenih vodah v obdobju I. faze monitoringa

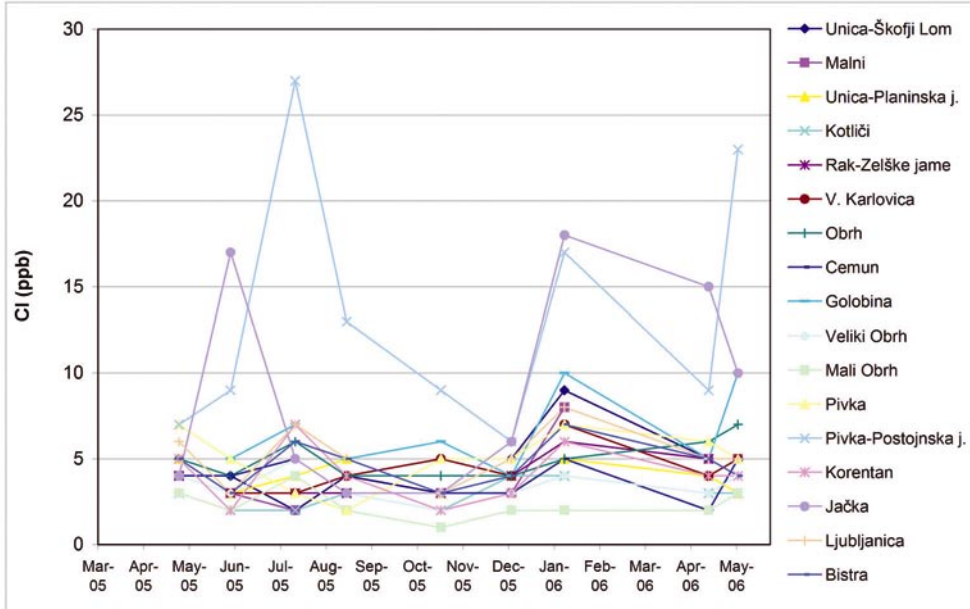
Figure 6. Cadmium concentrations during the first monitoring phase



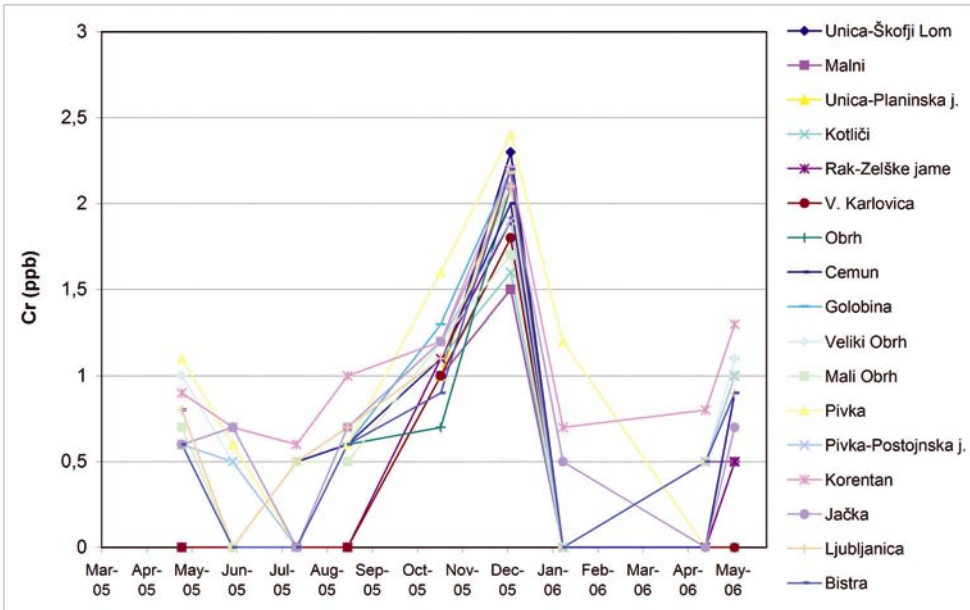
vsebnosti parametra. Izpostaviti je treba zvišanje vrednosti v sušnem obdobju, julija 2005 in januarja 2006.

Rezultati meritev kroma (Cr) najdemo na sliki 8. Mejna vrednost tega elementa v pitni

vodi je 50 ppb, vendar je iz diagramu razvidno, da v vzorčenih vodah ni bila presežena. Opazimo, da so na vseh vzorčnih mestih začele naraščati vrednosti Cr jeseni 2005 in dosegle maksimum decembra 2005, v času



Slika 7. Koncentracije klora v vzorčenih voda v obdobju I. faze monitoringa  
Figure 7. Chlorine concentrations during the first monitoring phase

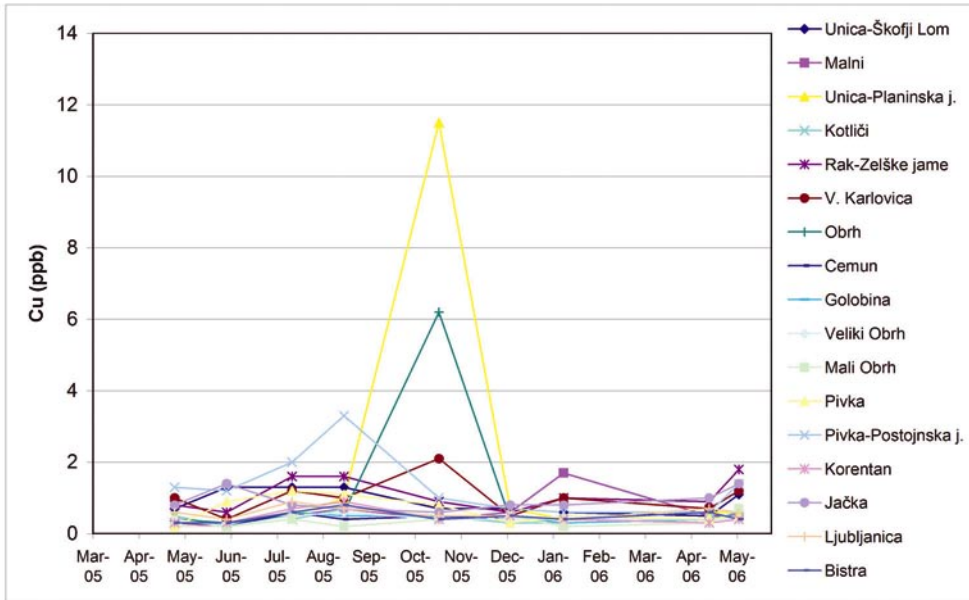


Slika 8. Koncentracije kroma v vzorčenih voda v obdobju I. faze monitoringa  
Figure 8. Chromium concentrations during the first monitoring phase

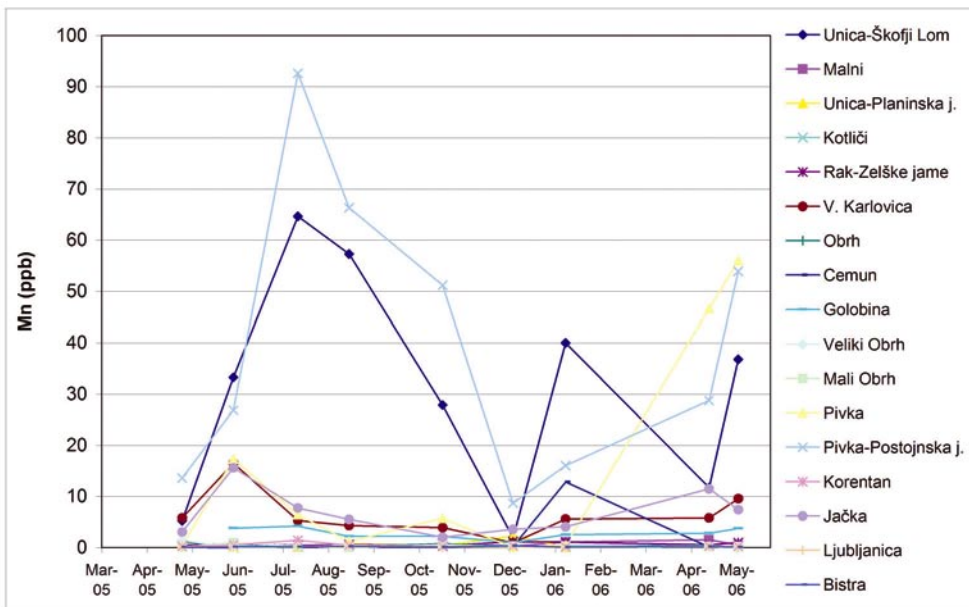


prvih jesenskih visokih vod. Razpon maksimalnih vrednosti je bil med 1.5 in 2.4 ppb. Najvišja vrednost je bila izmerjena v Pivki, pred odtokom v Postojnsko jamo, najnižja pa v Malnih.

Vrednosti bakra (Cu) so prikazane na sliki 9. Za pitno vodo je določena mejna vrednost Cu 2000 ppb. Vzorčene vode torej niso onesnažene z obravnavano prvino. Vsebnost Cu je na večini vzorčnih mest narasla v po-



Slika 9. Koncentracije bakra v vzorčenih voda v obdobju I. faze monitoringa  
Figure 9. Copper concentrations during the first monitoring phase



Slika 10. Koncentracije mangana v vzorčenih voda v obdobju I. faze monitoringa  
Figure 10. Manganese concentrations during the first monitoring phase

letnem sušnem obdobju in dosegla minimum decembra 2005, v času izredno visokih vod. Od splošnega trenda izstopajo višje vrednosti Obrha, Cerknjščice in Unice, pri iztoku iz Planinske jame, izmerjene oktobra 2005, ki je bil precej deževen. Opazimo tudi, da je vsebovala Unica na koncu Planinskega polja precej manj Cu in da je v njenem pritoku Malenščica (na izviru Malni) narasla koncentracija Cu mesec kasneje, januarja 2006, v času nizkih vod.

Slika 10 predstavlja meritve vsebnosti mangana (Mn). Večina vzorčenih vod vsebuje nizke koncentracije te prvine. Višje koncentracije so bile izmerjene v Loškem Obrhu - pred ponorom Golobina, v Jački, Cerknjščici - pred odtokom v Veliko Karlovico, Unici - pred ponori v Škofjem Lomu, na izviru Pivke in v Pivki - pred odtokom v Postojnsko jamo. Najvišje vrednosti so vezane na Unico, pred ponori v Škofjem Lomu in Pivko, pred odtokom v Postojnsko jamo. Na teh dveh vzorčnih mestih so koncentracije Cu presegle mejno vrednost, določeno za pitno vodo - 50 ppb, predvsem poleti 2005. Obravnavane vode so dosegle minimalne koncentracije Cu decembra 2006, v času izredno visokih voda. Le te so ponovno narasle v sušnem zimskem obdobju, januarja 2006.

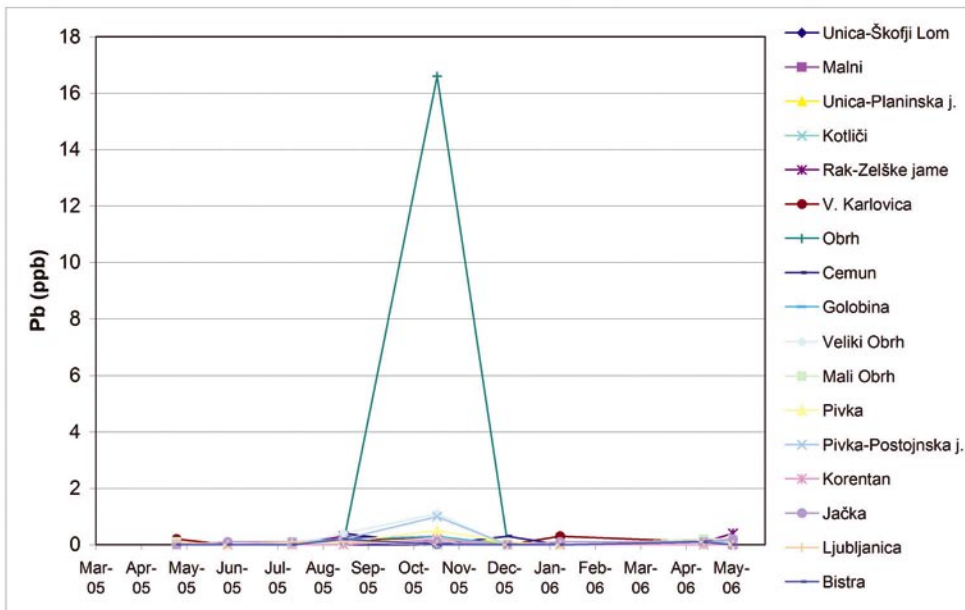
Zadnja prvina, ki jo obravnava članek je svinec (Pb), katerega vrednosti so ilustrirane

na sliki 11. Mejna vrednost te prvine v pitni vodi je 10 ppb in je bila presežena v izviru Obrh oktobra 2005, ki ga lahko označimo kot moker mesec. Tega meseca so bile zabeležene maksimalne koncentracije Pb, okoli 16 ppb, tudi v Pivki - na obeh vzorčnih mestih in v Velikem Obrhu. V drug vzorčenih vodah je bila vsebnost Pb nizka. Nihala je v razponu 0-0.4 ppb.

## Sklepi

Rezultati I. faze monitoringa težkih kovin v vodotokih zaledja Ljubljaničice so omogočili vpogled v hidrodinamiko opazovanega kraškega vodnega telesa in procese prenosa snovi oziroma težkih kovin. Opozorili so, da se ranljivosti kraških vodonosnikov spreminja v odvisnosti od hidrodinamičnih pogojev v vodonosniku, infiltracijskih pogojev in razvitosti kraškega drenažnega sistema. Označili so lokalne in regionalne geokemične in hidrogeološke razmere in omogočili razumevanje procesov in vzrokov za spreminjanje okolja.

Dosedanji rezultati monitoringa težkih kovin kažejo, da je treba s tovrstnim monitoringom nadaljevati, da bomo imeli podatke vsaj za dve hidrološki leti, ki bodo omogočili statistično obdelavo, kvantitativ-



Slika 11. Koncentracije svineca v vzorčenih voda v obdobju I. faze monitoringa

Figure 11. Lead concentrations during the first monitoring phase

na opredelitev geokemičnih procesov migracije, razprševanja in kopičenja kemičnih prvin ter modeliranje geokemičnih procesov in prenosa snovi ter s tem natančnejšo oceno ranljivosti proučevanega ozemlja.

### Literatura

Buser, S., Drobne, F. & Gospodarič, R. 1976: Geology and Hydrogeology of the Ljubljana River Basin. V: R. Gospodarič & P. Habič (ur.), *Underground Water tracing - Investigations in Slovenia, 1972-1975*. - Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Inštitut za raziskovanje krasa, 27-38, Ljubljana.

Final report of COST action 65 1995: Hydrogeological aspects of groundwater protection in karstic areas. - European Commission, 446 str., Luxembourg.

Gospodarič, R. & Habič, P. (ur.) 1976: *Underground Water tracing - Investigations in Slovenia, 1972-1975*. - Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Inštitut za raziskovanje krasa, 312 str., Ljubljana.

Habič, P. 1976: Geomorphologic and hydrographic characteristics of the Ljubljana River Basin. V: R. Gospodarič & P. Habič (ur.), *Underground Water tracing - Investigations in Slovenia, 1972-1975*. - Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Inštitut za raziskovanje krasa, 12-27, Ljubljana.

Janež, J., Čar, J., Habič, P. & Podobnik, R. 1997: Vodno bogastvo Visokega krasa - Ranljivost kraške podzemne vode Banjšic, Trnovskega gozda, Nanosa in Hrušice. - *Geologija* d.o.o., 167 str., Idrija.

Kranjc, A. 1997: Karst hydrogeological investigations in South-Western Slovenia. - *Acta Carsologica*, 26/1, 98 str., Ljubljana.

Salminen, R., Tarvainen, T., Demetriades, A., Duris, M., Fordyce, F.M., Gregorauskiene, V., Kahelin, H., Kivisilla, J., Klaver, G., Klein, H., Larson, O.J., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mjartanova, H., Mouvet, C., O'Connor, P.O., Odor, L., Ottonello, G., Paunkola, T., Plant, J.A., Reimann, C., Schermann, O., Siewers, U., Steenfelt, A., Van der Sluys, J., de Vivo, B., Williams, L. 1998: FOREGS geochemical mapping, Field manual. - Geological Survey of Finland, Guide 47, 36 str.

Trček, B. 2001: Spremljanje prenosa snovi v nezasičeni coni kraškega vodonosnika z naravnimi sledili - doktorska disertacija. - Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, 125 str., Ljubljana.

Trček, B. 2003: Epikarst zone and the karst aquifer behaviour, A case study of the Hubelj catchment, Slovenia. - Geological Survey of Slovenia, 100 str., Ljubljana.

Trček, B., Veselič, M. & Pezdič, J. 2006: The vulnerability of karst springs - a case study of the Hubelj spring (SW Slovenia). - *Environmental geology*, 49/6, 865-874.

