

# Vpliv sušnih razmer na kakovost kraških vodnih virov (primer izvira Malenščice)

Janja Kogovšek\*

## Povzetek

Kraški vodonosniki so v Sloveniji pomemben vir pitne vode. Načrtovanje dolgoročnega varovanja kakovosti teh vodnih virov je možno le na osnovi dobrega poznavanja njihovega zaledja in njihovega delovanja. Pogosto so kraški vodonosniki zelo kompleksni sistemi, ki se napajajo z infiltracijo padavin in s površinskimi vodnimi tokovi. Na dinamiko pretakanja vode je vezan prenos snovi, kontaminantov, vendar pa ima dinamika tega prenosa svoje značilnosti. V kraških vodonosnikih, predvsem v vadozni coni lahko prihaja v sušnih obdobjih do daljšega shranjevanja onesnaženja, ki pa se po dovolj izdatnih in intenzivnih padavinah spira, in kakovost kraških izvirov se lahko močno poslabša, čeprav poslabšanja pogosto prekrivajo velike razredčitve. Sočasno spremljanje fizikalnih parametrov (pretok, temperatura, električna prevodnost) in kemijskih parametrov (vsebnost kalcija, magnezija, kloridov, nitratov, sulfatov, fosfatov..) smo v zadnjih dveh letih dopolnjevali še z bakteriološkimi analizami. Le-te so se pokazale pomemben parameter pri prepoznavanju prenosa onesnaženja s poseljenih območij. Tako smo pozimi 2011 po padavinah, ki so sledile zelo sušnemu letu, zabeležili onesaženje v številnih kraških izviroh, tudi dolgotrajno in močno bakteriološko onesnaženje kraškega izvira Malenščice. Tudi v sledečem, zopet sušnem letu 2012 je prihajalo po intenzivnih padavinah vedno znova do izrazitih poslabšanj. To je resno opozorilo, da so obremenitve vodonosnika prevelike, saj se je zmanjšano spiranje vodonosnika v dveh zaporednih letih odrazilo v poslabšani kakovosti po vsakih dovolj izdatnih padavinah in se ni vzpostavilo dobro izhodno stanje, kot v letih z veliko količino padavin.

**Ključne besede:** Kras, vodonosnik, hitrost pretakanja, prenos onesnaženja, bakteriološka kakovost

**Kay words:** Karst, aquifer, flow velocity, pollution transfer, bacteriological quality

## Uvod

Kraške vode so v svetu in v Sloveniji pomemben vir pitne vode. Kar četrtna svetovnega (Forti, 2002) oz. polovica slovenskega prebivalstva se oskrbuje z vodo iz kraških vodonosnikov. Ti so pogosto obsežni in zelo heterogeni vodni sistemi, ki se napajanje tako z infiltracijo padavin kot tudi s površinskimi vodnimi tokovi, v katere odteka v Sloveniji pretežno še vedno neočiščene odpadne vode naselij z različnimi dejavnostmi. Ti viri napajanja omogočajo tudi vnos onesnaženja v vodonosnik vse do kraških izvirov. Tako imamo na eni strani hiter in zvezen prenos onesnaženja po sklenjenih kanalih ter počasnejši in dolgotrajnejši prenos s površja skozi vadozno cono vodonosnika, kjer prihaja do pomembnih učinkov zadrževanja in shranjevanja.

Raziskave načina pretakanja vode in prenosa onesnaženja skozi kraško vadozno cono (Kogovšek, 1997; Kogovšek 2010) so pokazale, da so te hitrosti pretakanja v splošnem

---

\* Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Titov trg 2, 6230 Postojna, Slovenija

manjše kot hitrosti pretakanja po sklenjenih podzemnih kanalih. Hitrost pretakanja in nanj vezen prenos onesnaženja sta zelo odvisna od hidroloških razmer. V sušnih obdobjih v vadozni coni kraških vodonosnikov prevladuje shranjevanje občasnih manjših padavin in tudi morebitnega onesnaženja. Reke ponikalnice, ki pogosto tudi napajajo kraške vodonosnike, so v takih razmerah suhe ali pa dosegajo minimalne pretoke in se pretakajo z zelo majhnimi hitrostmi. Za Rak v Rakovem Škocjanu, ki zateka v vodonosnik Malenščice, je bilo s sledilnimi poskusi ugotovljeno, da se ob minimalnih pretokih pretaka le s 7 m/h (Ravbar et al., 2012), medtem, ko je pretakanje ob visokem vodostaju več kot 10-krat hitrejše (Preglednica 1). V sušnih razmerah je zadrževanje vode v podzemlju znatno daljše, prenos onesnaženja pa je slab in posledično v takih razmerah ugotavljamo relativno dobro kakovost kraških izvirov.

Iz preglednic 1 in 2 so razvidne hitrosti pretakanja po sklenjenih kraških podzemnih kanalih ob različnih hidroloških pogojih, ki so bile ugotovljene s sledilnimi poskusi.

Preglednica 1: Hitrosti pretakanja ponorne vode s Cerkniškega polja (M. in V.Karlovice) prek Rakovega Škocjana do izvira Malenščice.

Datum	Q(l/s)	v <sub>dom</sub> (m/h) Cerk.polje-Kotličiči	v <sub>dom</sub> (m/h) Cerk.polje-Malenščica	v <sub>dom</sub> (m/h) Rak-Malenšč.
20.5.2008	srednji	108	102	101
2.6.2009		min.		7
11.11.1967	2000	250	215	
20.4. 1964	3540	145	180	
7.1.1939	4500	650	215	190

Preglednica 2: Hitrosti pretakanja Pivke s ponora v Postojnsko jamo do Pivke jame in naprej do Planinske jame.

Datum	Q (l/s)	v <sub>dom</sub> (m/h) Ponor Pivke - Pivka j.	v <sub>dom</sub> (m/h) Ponor Pivke – Planinska j.
6. 5.1928	nižji visok	1300	112
31.5.1974	100	86	
19.4.1977	10000	1760	
20.5.2008	srednji	390	145
18.11.2008	srednji	176	
2.6.2009	nizek	22	7

Do največjega prenosa onesnaženja skozi kraške vodonosnike pa prihaja po izdatnejših padavinah, ki sledijo daljšim sušnim obdobjem, ko prihaja do največjih sprememb kakovosti vode. Tedaj padavine intenzivno spirajo shranjeno onesnaženje iz vadozne cone kot tudi iz strug ponikalnic. Onesnaženje potuje v smeri kraških izvirov, od katerih so številni zajeti za pitno vodo. Običajno se v takih razmerah pretoki močno povečajo in prihaja do velikih razredčitev. V kolikor je to onesnaženje veliko, ga tudi sorazmerno velike razredčitve ne morejo prikriti, in ga, v kolikor opravljamo dovolj pogoste meritve, zaznamo v kraških izvirovih.

Po intenzivnejših in izdatnejših padavinah novembra in decembra 2011, ki so sledile izredno sušnemu delu leta, se je kakovost številnih kraških izvirov, ki so zajeti za vodooskrbo, poslabšala in potrebni so bili posebni ukrepi. V Postojni je bilo tako potrebno

vodo Malenščice (slika 1) prekuhavati daljše obdobje. Na osnovi poznavanja sistema pa lahko sklepam, da je v preteklosti že večkrat prišlo do podobnih onesnaženj, ki pa so verjetno trajala krajši čas in jih redke, občasne meritve niso zaznale.



Slika 1. Kraški izvir Malenščice na Planinskem polju ob nizkem vodostaju.

### Območje raziskav in metode dela

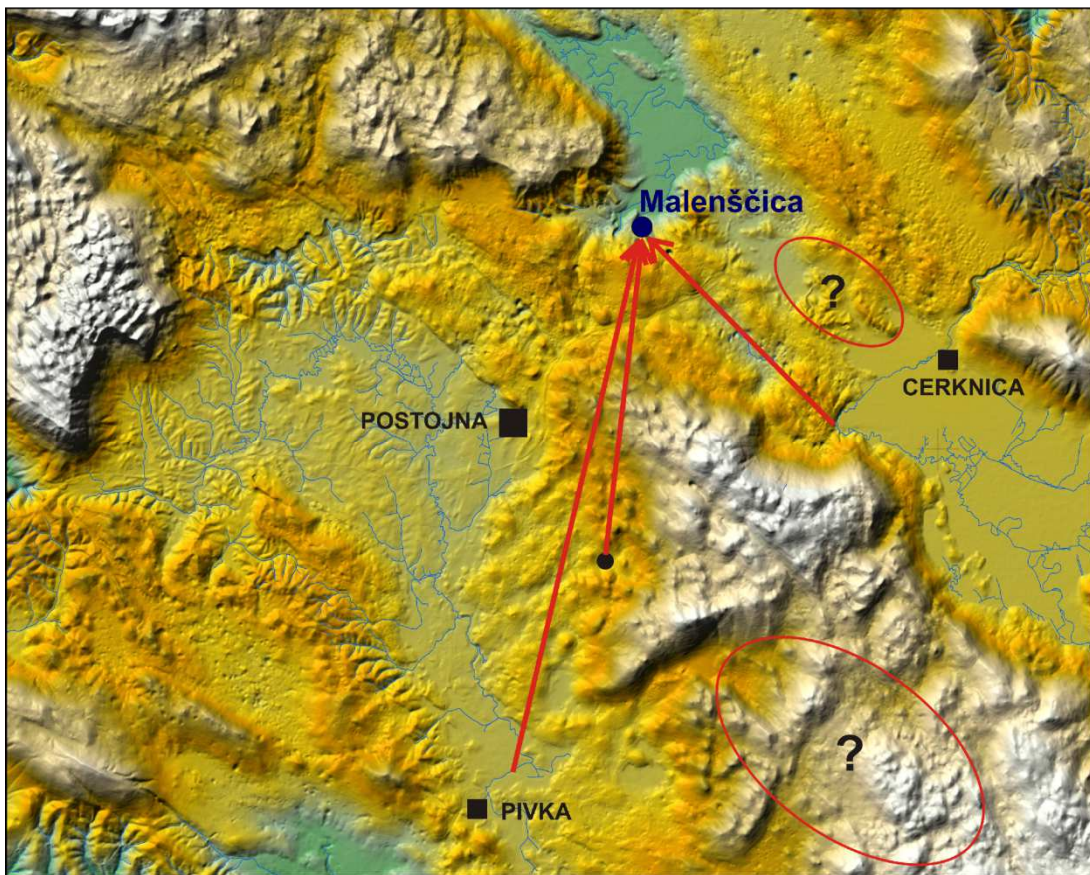
Kraški izvir Malenščice (slika 1) na Planinskem polju je zajet za oskrbo s pitno vodo za več kot 20.000 prebivalcev dveh občin. Njen pretok niha med 1,1 in 9,9 m<sup>3</sup>/s, s srednjim pretokom 6,7 m<sup>3</sup>/s.

Na osnovi vrste sledilnih poskusov z umetnimi sledili od leta 1939 do danes sklepamo, da zaledje Malenščice (slika 2) obsega širše območje Javornikov (Kogovšek, 1999), izvir pa se napaja tudi z vodnima tokovoma Cerknishčice in Stržena, ki ponikata na SZ obrobju Cerknishkega polja, tako, da zaledje Malenščice obsega tudi Cerknishko, Loško in Babno polje, vse do meje s Hrvaško. Leta 1988 (Habič 1989) je bila dokazana tudi vodna povezava s Pivko med naseljema Pivka in Trnje, kjer Pivka ob nizkem vodostaju v celoti ponika. Tja, v Pivko oz. v njeno strugo, je speljana kanalizacija odpadnih voda naselja Pivka. Tudi na območju Javornikov, ki so pretežno porasli z gozdom in tako vir kakovostne vode, sta dva vira onesnaženja, vojaški poligon Poček in postojnsko odlagališče odpadkov (Petrič in Šebela, 2005).

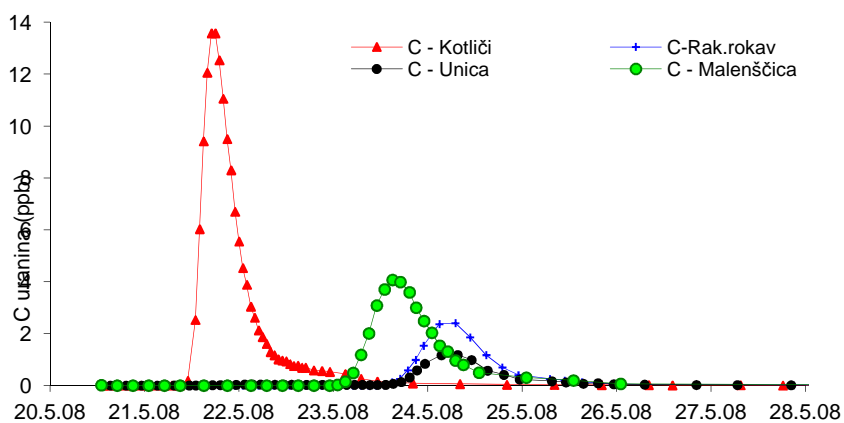
Izdatnost izvira Malenščica je velika in zagotavlja dovolj vode tudi ob najnižjih pretokih, vendar pa je zaledje izvira zelo kompleksno in obsežno, s številnimi viri onesnaženja, saj so Cerknishko polje in višje ležeča kraška polja ter dolina Pivke poseljeni. Danes še ne vemo, do kje na jugu sega prispevno območje na področju Javornikov, saj v tem delu še ni bilo raziskav.

Najnovejše raziskave so pokazale, da vode s Cerknishkega polja, ki ob visokih vodostajih pritekajo skozi Kotličice in Rak v Rakovem Škočjanu, ob nižjih vodostajih iztekajo le skozi Kotličice. Tedaj izvir Raka dobiva vodo še z neznanega območja. Ker je v takih razmerah

njegova kakovost slaba (povišana vsebnost kloridov in fosfatov (do 10 mgCl<sup>-</sup>/l do 0,5 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/l), bi bilo potrebno njegovo ožje zaledje preučiti, posebno še, ker vemo, da odteka naprej neposredno v Malenščico.



Slika 2. Kraški izvir Malenščice ima zelo kompleksno zaledje. Napaja se z infiltracijo padavin z območja z gozdom poraslih Javornikov, s Cerkniskega polja priteka prek Rakovega Škocjana Cerknishčica, ob višjih vodostajih pa tudi Stržen, medtem ko je bila iz doline Pivke dokazana povezava iz požiralnika pri Trnju.



Slika 3: Sledilo, ki je bilo maja 2008 injicirano na ponoru v Malo Karlovico, se je pojavilo najprej v Kotličih v Rakovem Škocjanu, nato v pa Malenščici in v Rakovem rokavu v

Planinski jami ter v Unici. Oblika krivulj prehoda sledila nakazuje zvezno pretakanje po dobro razvitih kanalih.

Sledilni poskus z injiciranjem sledila v ponor v Malo Karlovico maja 2008 (Gabrovšek et al., 2010), ko je pretok Malenščice upadal ( $5,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ), padavine, ki so sledile, pa so pospešile prenos sledila, je pokazal na zvezan prenos sledila po dobro prepustnih kanalih (Slika 3).

Do izvira Malenščice se torej voda z onesnaženjem v primerljivih hidroloških razmerah pretaka s hitrostjo 100 m/h. Sočasne meritve pretakanja skozi vadozno cono so pokazale minimalno povečanje iztekanja le po najprepustnejših razpokah, iz česar sklepamo, da ob takih hidroloških razmerah v vadozni coni že prevladuje shranjevanje infiltriranih padavin in je Malenščica v poplavnem valu po omenjenih padavinah dobivala pomemben del vode s Cerkniskega polja.

Ob zelo nizkem vodostaju junija 2009 je bila hitrost pretakanja Raka s ponora do Malenščice (Ravbar et al., 2012) le 7 m/h (Preglednica 1), kar nakazuje zelo velike razlike prenosa možnega onesnaženja v odvisnosti od hidroloških razmer.

Dinamika različnih dotokov se s časom v odvisnosti od padavinskih in hidroloških razmer zelo spreminja, kar pa bo mogoče spoznati le s sočasnimi podrobnimi raziskavami v celem sistemu, kar je zelo obsežna in zahtevna naloga.

V letu 2012 smo začeli poskusno spremljati še bakteriološko kakovost Malenščice. Uporabljali smo testne ploščice RIDA@COUNT (R-biopharm, Nemčija) za določanje celokupnega števila mezofilnih aerobnih bakterij, diferencialno gojišče za določanje celokupnega števila koliformnih bakterij in specifično za določanje bakterije *Escherichia coli* ([www.r-biopharm.com](http://www.r-biopharm.com)) ter gojišče za določanje enterobakterij (Mulec et al., 2012). Ker se za analizo uporabi 1 ml vzorca, so rezultati podani v številu kolonij v 1 ml (CFU/ml). Za pitno vodo se celokupne žive bakterije podaja v številu v 1 ml, medtem ko se koliformne, *E. Coli* in enterobakterije podaja v številu v 100 ml vzorca.

Ob nizkem vodostaju smo ugotavljali zelo nizke vrednosti omenjenih bakterij oz. smo zaključili, da metoda ni dovolj občutljiva. Po padavinah decembra, ko smo pričakovali povečanje kemijskega onesnaženja, pa smo ob naraščanju pretoka zabeležili velika povečanja vseh živih in koliformnih bakterij ter enterobakterij. Ta metoda se je v danih razmerah pokazala kot dovolj občutljiva, zato smo jo uporabljali še v sledečih poplavnih valovih.

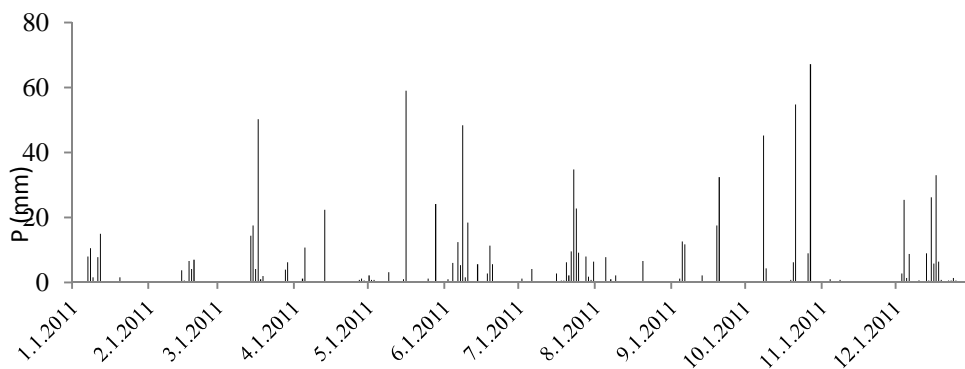
### **Poslabšanje kakovosti izvira Malenščice decembra 2011 in v letu 2012**

V Postojni je v letu 2011 (naše meritve pri vojašnici v Postojni z RG2-M, ONSET) padlo le 945 mm dežja, do vključno septembra pa le 627 mm dežja. Oktobra, novembra in decembra je v šestih padavinskih dogodkih padlo skupno še 318 mm dežja (Slika 4). Prve padavine so se v veliki meri porabljele za zapolnjevanje močno spraznjenega zaledja.

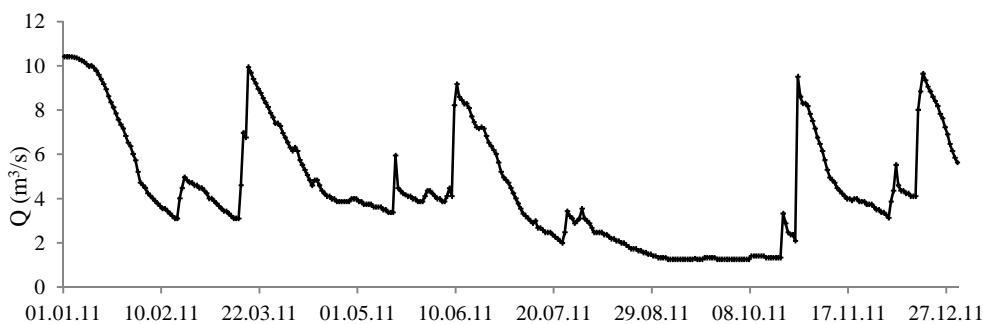
Dne 10. Junija 2011 je poplavni val dosegel maksimalni pretok, nato pa upadal in od začetka septembra vse do 20.10.2011, ko se je začel oblikovati prvi jesenski poplavni val (maksimalni pretok  $9,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), dosegal minimalni pretok  $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$  (Slika 5). Pretok je hitro upadal, po ponovnih padavinah pa se je sredi decembra oblikoval nov poplavni val. Pogosto vzorčenje tega poplavnega vala, ko je pretok dosegel maksimalno vrednost  $9,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , je pokazalo poslabšanje bakteriološke kakovosti Malenščice (Slika 6). Najprej smo zabeležili izrazito povečanje števila vseh živih bakterij, nekoliko z zamikom povečanje

števila enterobakterij, medtem ko je število koliformnih bakterij postopno naraščalo in v upadajočem delu poplavnega vala doseglo največjo vrednost.

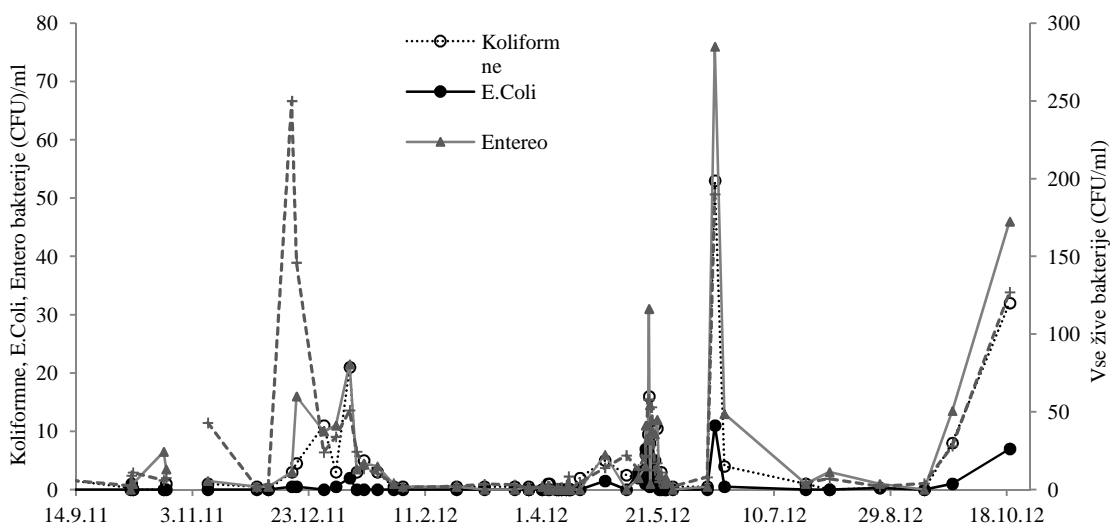
Zelo verjetno je prišlo do določenega prenosa onesnaženja in poslabšanja kakovosti že po oktobrskih intenzivnih padavinskih dogodkih, v prvem jesenskem poplavnem valu, vendar so bile naše analize tedaj še premalo pogoste. Glede na postopno slabšanje bakteriološkega stanja v sledečih poplavnih valovih, pa morda ta prenos le ni bil izdaten.



Slika 4: Padavine v letu 2011.



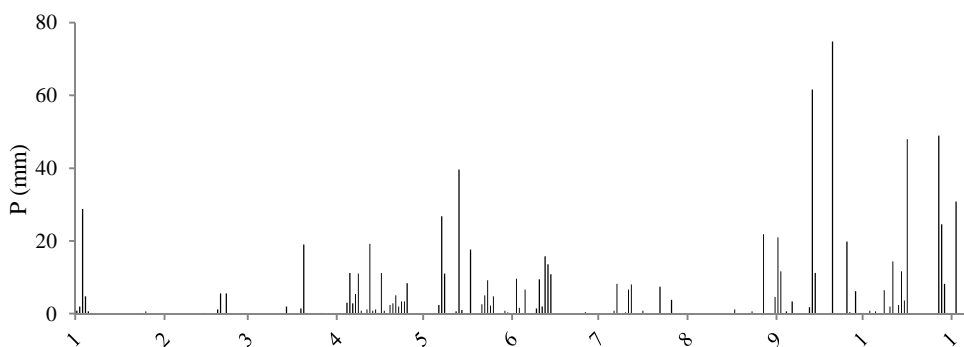
Slika 5: Hidrogram izvira Malenščica za leto 2011



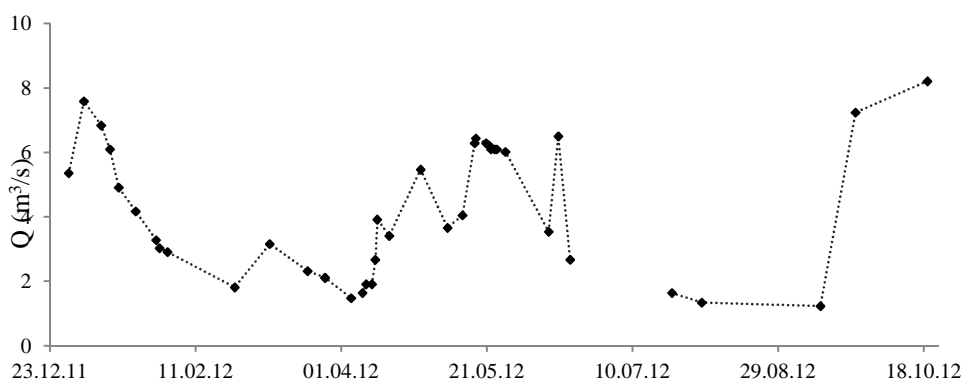
Slika 6: Rezultati bakterioloških analiz Malenščice v času poplavnih valov, ko smo beležili visoke vrednosti (vse žive in koliformne bakterije, enterobakterije in *E.Coli*). V sušnih obdobjih z uporabljenimi testi nismo zabeležili njihove prisotnosti z izjemo vseh živih bakterij.

Na približno 180 mm dežja, ki so padel septembra in oktobra pretok Malenščice ni reagiral. Šele intenzivne in izdatne padavine konec oktobra so povzročile oblikovanje prvega jesenskega poplavnega vala (Slika 5).

Tudi v letu 2012 (Slika 7) je do vključno septembra padlo malo padavin (642 mm). Manjše padavine v začetku januarja 2012 (40 mm) so oblikovale manjši poplavni val. V tem valu smo zaznali še večje število koliformnih bakterij in enterobakterij kot v poplavnem valu sredi decembra 2011, prisotne pa so bile tudi *E.Coli*.



Slika 7: Padavine v letu 2012 (meritve pri vojašnici v Postojni).



Slika 8: Ocenjeni pretoki Malenščice v času spremljanja bakterioloških parametrov.

Pretok Malenščice je nato pa upadal in vztrajal na sorazmerno nizkih vrednostih do 10.4.2012, ko je začel zložno naraščati (Slika 8) kot posledica manjših, dalj časa trajajočih padavin. Ves ta čas do konca aprila 2012 naše analize niso pokazale ne prisotnosti koliformnih bakterij, niti enterobakterij in *E.Coli*, število vseh živih bakterij pa je bilo nizko. Naj ponovno poudarim, da so rezultati podani v CFU v 1 ml vzorca.

Po izdatnejših padavinah sredi maja pa je pretok Malenščice porasel in 16.5.2012 že presegal 6 m<sup>3</sup>/s. Zabeležili smo sočasen porast vseh merjenih vrst bakterij (Slika 6), pri *E. Coli* pa smo zabeležili celo največje vrednosti v okviru opazovanj od aprila 2011 dalje. Podobne vrednosti smo zabeležili v sledečem poplavnem valu, le da je bilo število enterobakterij in koliformnih bakterij še znatno višje.

Junija, avgusta in polovico septembra je bil pretok Malenščice nizek in nismo beležili prisotnosti bakterij ali pa v zelo nizkem številu.

Sredi septembra pa so padavine pogojevale hitro naraščanje pretoka. Analize 24.9. ob pretoku prek  $7 \text{ m}^3/\text{s}$  so pokazale naraščanje števila vseh vrst bakterij, 19.10.2012 ob pretoku prek  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  pa še večje vrednosti. Iz tega sklepam, da je prišlo do ponovnega intenzivnejšega spiranja onesnaženja.

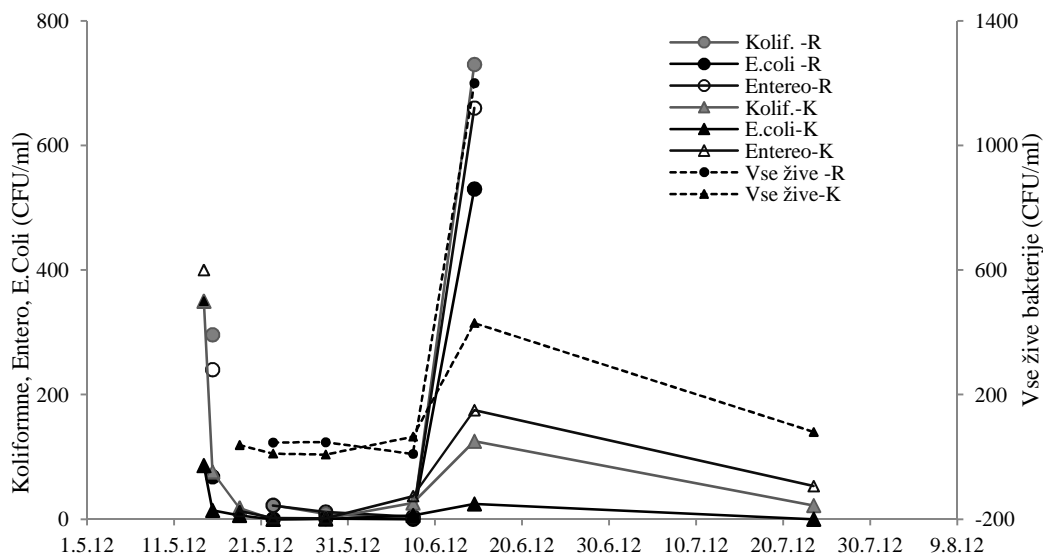
### Možni viri onesnaženja Malenščice

Možni viri onesnaženja so Rak, ki ponika v Rakovem Škocjanu, in Pivka z odplakami, ki ob nižjih vodostajih vsa ponika pri naselju Pivka.

Ker je znana povezava ponikalnic na Cerkniskem polju z izviri v Rakovem Škocjanu, smo preverili tudi bakteriološko stanje Kotličev in Raka v času poplavnega vala junija 2012, ko je bilo število enterobakterij, koliformnih bakterij in *E.Coli* v Malenščici visoko (Slika 6). Rezultati meritev Raka in Kotličev so razvidni iz slike 9.

V danih hidroloških razmerah je v Kotliče pritekala voda s Cerkniskega polja, medtem ko v Rak pritekala pretežno voda iz še neznanega zaledja oz. je bil dotok s Cerkniskega polja minimalen. Število entero bakterij je bilo v Kotličih več kot 2-krat večje, v Raku pa kar 9-krat večje kot v Malenščici. Tudi število koliformnih bakterij je bilo v Kotličih več kot 2-krat večje, v Raku pa kar 14-krat večje. *E.Coli* je dosegala v Kotličih 2-krat večjo, v Raku pa skoraj 50-krat večjo vrednost.

Ti rezultati jasno kažejo na večji prispevek onesnaženja, ki priteka z Rakom na izviru, podobno kot so to pokazale kemijske analize. Onesnaženje, ki priteka s Cerkniskega polja, je manjše, čeprav tudi preveliko. Zato bi bilo nujno raziskati zaledje Raka, ki le ob višjih vodostajih dobiva vodo tudi s Cerkniskega polja. Seveda pa bo potrebno preučiti tudi dotok Pivke z odpadnimi vodami iz ponora pri naselju Pivka.



Slika 9: Rezultati bakterioloških preiskav Raka (R) na izviru pod Malim naravnim mostom in Kotličev (K) v Rakovem Škocjanu.



## Sklepi

Dinamika iztekanja shranjenega onesnaženja iz vadozne cone krasa je neposredno vezana na dotok sveže vode, a ni odvisna le od intenzivnosti in količine efektivno infiltriranih padavin, temveč tudi od vsakokratne namočenosti prsti ter zapolnjenosti vadozne cone. Le ob dobri namočenosti prsti in ustrezni zapolnjenosti vadozne cone izdatne padavine pogojujejo zvezno spiranje onesnaženja iz celotne hierarhije različno prepustnih razpok v vadozni coni ter vzpostavitev boljšega kakovostnega stanja.

V poletnih sušnih obdobjih prevladuje shranjevanje padavin in onesnaženja. Tedaj iz vadozne cone minimalno izteka le že predhodno shranjena voda po tistih najbolj spranih razpokah, zato je njena kakovost sorazmerno dobra. V takih razmerah imajo reke ponikalnice, ki napajajo vodonosnik, minimalne pretoke, ali pa so suhe in zato se dotoki onesnaženih voda v njihovih koritih akumulira.

Padavine, ki sledijo, najprej zapolnjujejo celotno zaledje vodonosnika in šele dovolj izdatne in intenzivne pogojujejo tudi intenziven prenos onesnaženja, ki se v primeru, da ne pride do dovolj velikih razredčitev, odrazi v močno poslabšani bakteriološki in v manjši meri kemijski kakovosti kraških izvirov.

Rezultati bakterioloških preiskav izvira Malenščice v poplavnih valovih v sorazmerno sušnih letih 2011 in 2012 nakazujejo, da je onesnaževanje v njegovem zaledju doseglo že to mejo, ko ga razredčitve ne morejo več prikriti.

Ker v kraških vodonosnikih prihaja do največjega prenosa v poplavnih valovih, lahko spoznamo dejansko kakovostno stanje kraških izvirov le, če opazovanja opravljamo tudi v takih razmerah, ko se moramo osredotočiti na najbolj indikativne parametre. Občasne analize, čeprav zelo obsežne, ki pa so opravljene ne glede na hidrološke razmere, ne morejo podati pravega kakovostnega stanja izvira.

## Zahvala

Raziskave so potekale v okviru programa Raziskovanje krasa (ARRS) in ob podpori Slovenske nacionalne komisije za UNESCO - IHP program.

## Literatura

- Forti, P. 2002. Speleology in the Third Millennium: Achievements and Challenges. *Theoretical and Applied Karstology*, 15, 7–26.
- Gabrovšek, F., Kogovšek, J., Kovačič, G., Petrič, M., Ravbar, N., Turk, J. 2010. Recent results of tracer tests in the catchment of the Unica River (SW Slovenia) = Novejši rezultati sledilnih poskusov v zaledju reke Unice (JZ Slovenija). *Acta carsologica*, 39, 1: 27-37.
- Kogovšek, J. 1997. Pollution transport in the vadose zone. V: Günay G., Johnson A. I., Tezcan L., Atilla A.Ö. (Eds.). *Karst waters & environmental impacts : proceedings*. A.A. Balkema, 161–165, Rotterdam.
- Kogovšek, J. 1999. Nova spoznanja o podzemnem pretakanju vode v severnem delu Javornikov (Visoki kras). *Acta carsologica*, 28, 1:161–200.
- Kogovšek, J. 2010. Characteristics of percolation through the karst vadose zone. *Carsologica* 10, 168 p, Postojna–Ljubljana.
- Habič, P. 1989. Kraška bifurkacija Pivke na jadransko črnemorskem razvodju. *Acta carsologica*, 18, 233–264.
- Mulec, J., Krištufek, V., Chroňáková, A. 2012. Comparative microbial sampling from eutrophic caves in Slovenia and Slovakia using RIDACOUNT test kits. *Int. J. Speleol. (Ed. ital.)*, 41, 1: 1–8.

- Petrič, M., Šebela, S. 2005. Hidrogeološke raziskave kot osnova za izdelavo načrta monitoringa onesnaženosti podzemnih vod : primer odlagališča Stara vas pri Postojni (JZ Slovenija). *Acta carsologica*, 34, 2:489–505.
- Ravbar, N., Barberá, J. A., Petrič, M., Kogovšek, J., Andreo Navarro, B. 2012. The study of hydrodynamic behaviour of a complex karst system under low-flow conditions using natural and artificial tracers (the catchment of the Unica River, SW Slovenia). *Environmental earth sciences*, 65, 8: 2259-2272.