KRAS IN VODA

Janja Kogovšek
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU
Titov trg 2, Postojna
Kogovsek@zrc-sazu.si

Povzetek

Četrtina svetovnega in polovica slovenskega prebivalstva pije kraško vodo. V prispevku so podane osnovne značilnosti pretakanja vode in prenosa onesnaženja skozi kraške vodonosnike: skozi vadozno cono krasa ter naprej skozi vodonosnik do kraškega izvira. Predstavljen je kraški izvir Malenščica na Planinskem polju, ki je zajet za oskrbo s pitno vodo za več kot 20.000 prebivalcev. Njegovo zaledje je obsežno in zelo kompleksno in je zato zelo ranljiv vodni vir. Od sredine decembra 2011 do konca januarja 2012 je bilo mikrobiološko onesnaženje tolikšno, da je bilo treba po dezinfekciji s kloriranjem vodo daljši čas prekuhavati. Tedaj so bili onesnaženi tudi številni drugi kraški viri. Čeprav so izrazit pojav poslabšanja kakovosti delno pogojevale hidrološke razmere, pa je vzrok preveliko onesnaževanje v zaledju kraških izvirov.

Ključne besede: *kras, vodonosnik, vadozna cona, hidrodinamika, prenos onesnaženja.*

Abstract

Karst aquifers now supply drinking water to about a quarter of the global population and approximately one half of Slovene inhabitants. In the article the basic characteristics of water flow and transfer of pollutants through karst aquifers are described: through the vadose zone and further on through the aquifer to a karst spring. The case of the Malenščica karst spring at the Planina polje is presented. It is captured for the water supply of more than 20,000 inhabitants. Its extensive recharge area has a very complex structure, hence it is a very vulnerable water source. Due to high microbiological pollution from the middle of December 2011 to the end of January 2012 it was necessary to boil drinking water from this source even after the disinfection with chlorination. At that time many other karst springs were polluted too. Even though the water quality deterioration was partly caused by hydrological conditions, still the main reason was the increased pollution in the catchment of karst springs.

Keywords: *karst, vadose zone, aquifer, hydrodynamics, pollution transfer.*

1 UVOD

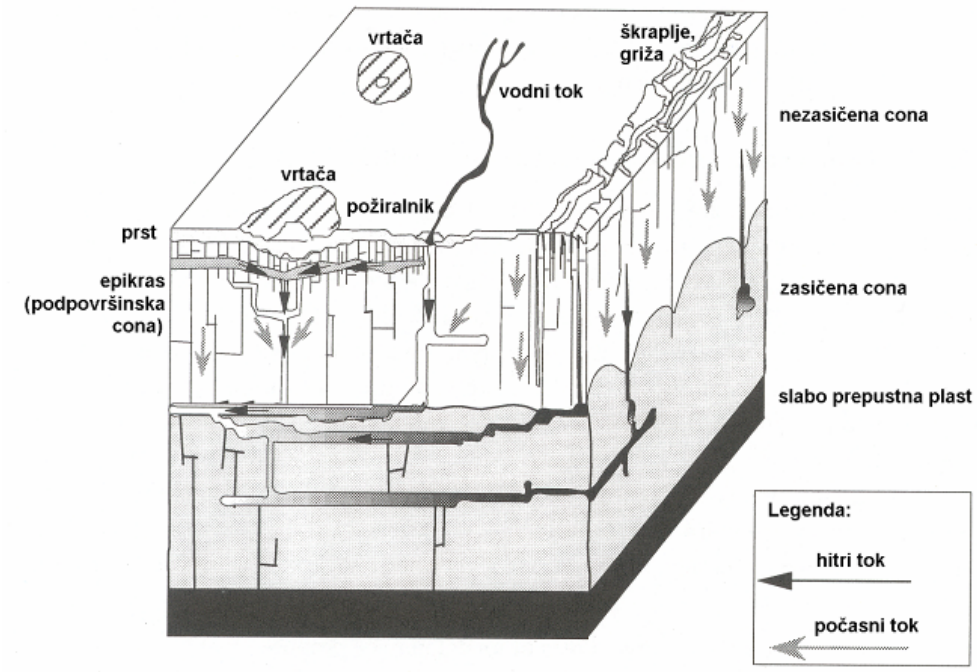
Kraški svet gradijo razpokane karbonatne kamnine, pretežno apnenec in dolomit, ki omogočajo neposredno pretakanje padavin v kraško notranjost. Zato na kraškem površju ni mreže površinskih vodnih tokov, izjema so reke ponikalnice na kraških poljih z dovolj debelo plastjo slabo prepustnih sedimentov. Padavine s kraškega površja spirajo tudi razpoložljivo onesnaženje zaradi različnih človekovih dejavnosti,

ki tako vstopa v kraške vodonosnike. Ti se pogosto napajajo tudi s površinskimi vodnimi tokovi, z rekami ponikalnicami ali pa vodnimi tokovi, ki pritekajo z nekraškega sveta in na stiku s karbonatnimi kamninami ponikajo v kras. Vsi ti vodni tokovi omogočajo hiter prenos onesnaženja.

V Sloveniji je okoli 44 % ozemlja kras (Gams, 2003), v Evropi 35 % in kar polovica slovenskega in četrtina svetovnega prebivalstva se oskrbuje z vodo iz kraških vodonosnikov. Zato je kakovost kraških vodnih virov, predvsem tistih, zajetih za pitno vodo, zelo pomembna. Za prihodnost napovedujejo vse večji pomen kraških vodonosnikov (Forti, 2002).

2 VLOGA VADOZNE CONE V PRETAKANJU IN PRENOSU ONESNAŽENJA SKOZI KRAŠKI VODONOSNIK

Raziskave vadozne oz. nezasičene cone krasa, to je območja med površjem in stalno zalito oz. zasičeno cono (slika 1), so pokazale, da se v tem delu vodonosnika lahko padavine zadržijo tudi daljši čas. Mangin (1973) je to cono poimenoval epikras. Kasneje so to potrdili še drugi raziskovalci, tudi slovenski (Kogovšek in Habič, 1981; Pezdič s sod., 1984; Trček, 2003; in drugi).



Slika 1. Shematski model kraškega vodonosnika (po Hodaliču, 1996; Doerfliger & Zwahlen, 1995)

Zvezne, večparameterske in večletne raziskave pretakanja in prenosa snovi skozi jamski strop Postojnske jame oz. skozi 100 m debelo vadozno cono so pokazale, da dinamika iztekanja vode iz vadozne cone, in s tem napajanje globljih delov vodonosnika, ni odvisna le od intenzivnosti in količine efektivno infiltriranih padavin, temveč tudi od vsakokratne namočenosti prsti ter zapolnjenosti vadozne cone z vodo (Kogovšek, 2010). Le ob dobri namočenosti prsti in ustrezni zapolnjenosti vadozne cone prihaja do zveznega iztekanja infiltriranih padavin po celotni hierarhiji različno prepustnih razpok v vadozni coni, medtem ko se v sušnih obdobjih ob slabi

namočenosti prsti padavine pretežno shranjujejo v vadozni coni. V poletnih sušnih obdobjih, ki trajajo od 2,5 do 6 mesecev, se tudi večja količina manj intenzivnih padavin (do 390 mm padavin oz. do 180 mm efektivno infiltriranih padavin) pretežno shranjuje v vadozni coni in je iztok iz nje minimalen, ko izteka le predhodno shranjena voda. Najpočasnejše je polnjenje in posledično iztekanje iz najslabše prepustnega dela vadozne cone. Slabše prepusten del vadozne cone ima velik pomen za kraške izvire v sušnih obdobjih, ko so večje razpoke suhe. Na dinamiko pretakanja vode pa je neposredno vezan prenos onesnaženja.

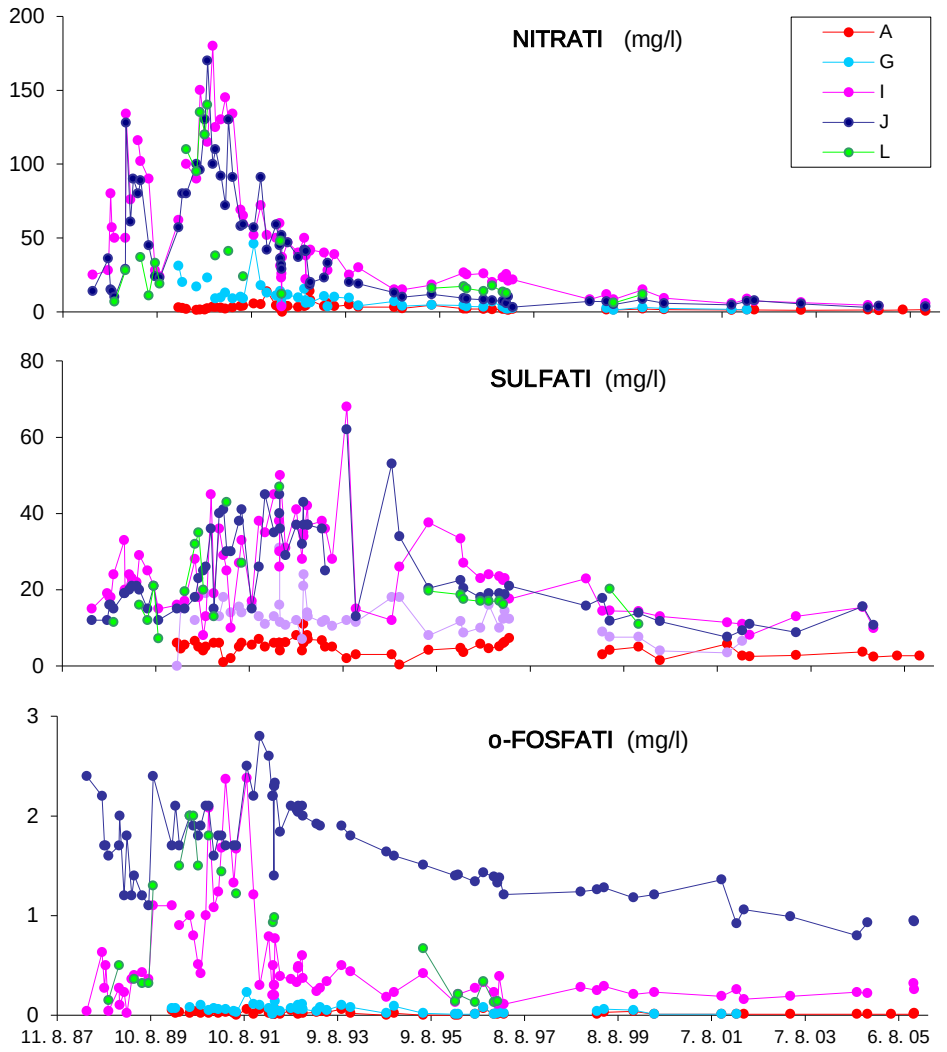
Tudi izliv večjih količin nevarnih snovi se v takih razmerah lahko shrani za daljši čas. Sledenje z umetnim sledilom v podobnih hidroloških razmerah, ko smo junija injicirali v vodi topno sledilo in ga sprali s 6 m^3 vode, je pokazalo, da je skozi 100 m debele kamnine takoj le po najprepustnejši razpoki izteklo 2 % injiciranega sledila in 4 % injicirane vode (Kogovšek, 1997). Šele jesenske izdatne padavine čez tri mesece so začele spiranje shranjenega sledila in vode. Kljub majhni količini sledila, se je to spiralo tri leta.

Bistveno drugačen je prenos topnih snovi v deževnih obdobjih, ko je ob dobri zapolnjenosti vadozne cone z vodo prenos topnih snovi po padavinah zvezen po celotni hierarhiji razpok v vadozni coni, z majhnimi razlikami v hitrosti prenosa po različno prepustnih razpokah (Kogovšek, 2000). V kolikor bi prišlo do točkovnega onesnaženja v takih razmerah, lahko pričakujemo sorazmerno hiter pojav onesnaženja v kraškem izviru, vendar bi se to spiralo daljše obdobje.

Kombiniran sledilni poskus, ko je bilo eno sledilo injicirano na površju po prsti in vegetaciji v sorazmerno sušnih razmerah, je pokazal dolgotrajen prenos, saj po 10 letih še traja (Kogovšek, 2010). Prst in sedimenti na površju v takih razmerah pomenijo pomemben filter tudi za prenos topnih snovi. Tudi sočasne izotopske analize so nakazale pomembne procese shranjevanja v vadozni coni. Povprečni zadrževalni čas vode, ki se pretaka po prepustnejših razpokah, je bil 2,5 meseca, tisti, po slabo prepustnih razpokah pa 1 leto in več.

Spremljanje prenosa nitratov, kloridov, sulfatov in fosfatov, rezultata onesnaževanja na površju (iztok odpadne vode iz manjšega objekta jugoslovanske vojske do leta 1991), skozi 100 m debele kamnine je pokazalo, da je njihov prenos skozi vadozno cono neposredno vezan na dinamiko pretakanja infiltriranih padavin. Dolgotrajno spremljanje prenosa je pokazalo, da se tudi manjše onesnaženje s površja spira do vzpostavitve izhodnega stanja do več desetletij in da se posamezni kontaminanti spirajo različno (slika 2).

V okviru raziskav vpliva omenjenih kontaminantov na apnenec je bilo tudi ugotovljeno, da večja količina nitratov, sulfatov, kloridov in fosfatov povzroča povečano raztapljanje apnenca in s tem pospešeno širjenje razpok vse globlje v vadozni coni (Kogovšek, 2011). To nakazuje vse večjo prepustnost vadozne cone pod takimi viri onesnaženja in s časom vse hitrejše prodiranje kontaminantov v smeri kraških izvirov, kar bi bilo smiselno v prihodnosti še podrobneje preučiti. Taki viri onesnaženja so odlagališča odpadkov (Kogovšek in Petrič, 2010), izlivi odpadnih voda na krasu in podobno.



Slika 2. Prenos nitratov, sulfatov in o-fosfatov skozi 100 m debelo kraško vadozno cono (vir onesnaženja je bil izpust odpadnih voda iz manjšega vojaškega objekta do leta 1991). Opazovani so bili onesnaženi curki (G, I, J in L) in referenčni curek A (zunaj območja onesnaženja) v obdobju 18 let.

3 PRETAKANJE SKOZI KRAŠKI VODONOSNIK DO KRAŠKIH IZVIROV

Do najslabšega prenosa kontaminantov skozi vadozno cono prihaja v sušnih obdobjih, v času minimalnih pretokov kraških izvirov. Tedaj v vadozni coni prevladuje shranjevanje in izteka shranjena voda. Sočasno imajo ponikalnice, ki prenašajo večje onesnaženje s poseljenih območij, minimalne pretoke ali pa presušijo. Tako sklepamo (Habič, 1989), da v takih razmerah odpadna voda iz naselja Pivka, ki se steka v suho strugo Pivke in tam ponika, zateka v karbonatni masiv Javornikov in odteka v smeri izvirov na Planinskem polju. Izdatnejše padavine, ki sledijo in intenzivno spirajo zaledja kraških izvirov, tako vadozno cono kot tudi akumulirano onesnaženje v strugah ponikalnic in pritokov ter podzemnih kanalov, potisnejo onesnaženje do kraških izvirov. Tako pride do najintenzivnejšega prenosa v poplavnih valovih po padavinah, ki sledijo daljšim sušnim obdobjem. To se odrazi v slabši kakovosti izvirov (mikrobiološki in kemijski) ob začetnem spiranju in kakovost izvirov je tedaj najslabša, posebno še, če ne pride do prevelikih povečanj pretoka in

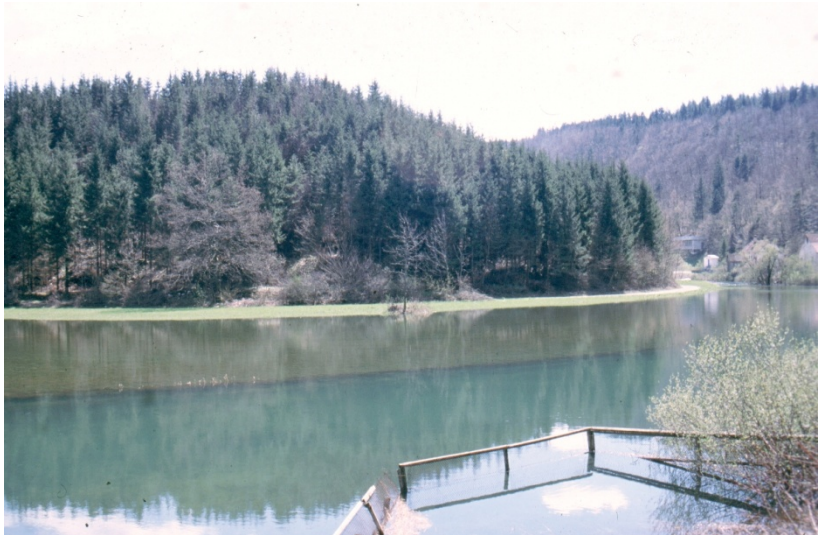
ni velikih učinkov razredčenja. Take razmere so nastopile decembra 2011 in januarja 2012, ko je bilo na številnih zajetih kraških izvirih ugotovljeno izrazito poslabšanje kakovosti vode.

Pogosto velike razredčitve zelo zmanjšajo ali celo prekrijejo tak prenos. V deževnih obdobjih z veliko količino intenzivnih padavin, ko prihaja na kraških poljih do poplav, prihaja do učinkovitega spiranja širših zaledij kraških izvirov in običajno do vzpostavitve boljšega kakovostnega stanja. A koliko časa še?

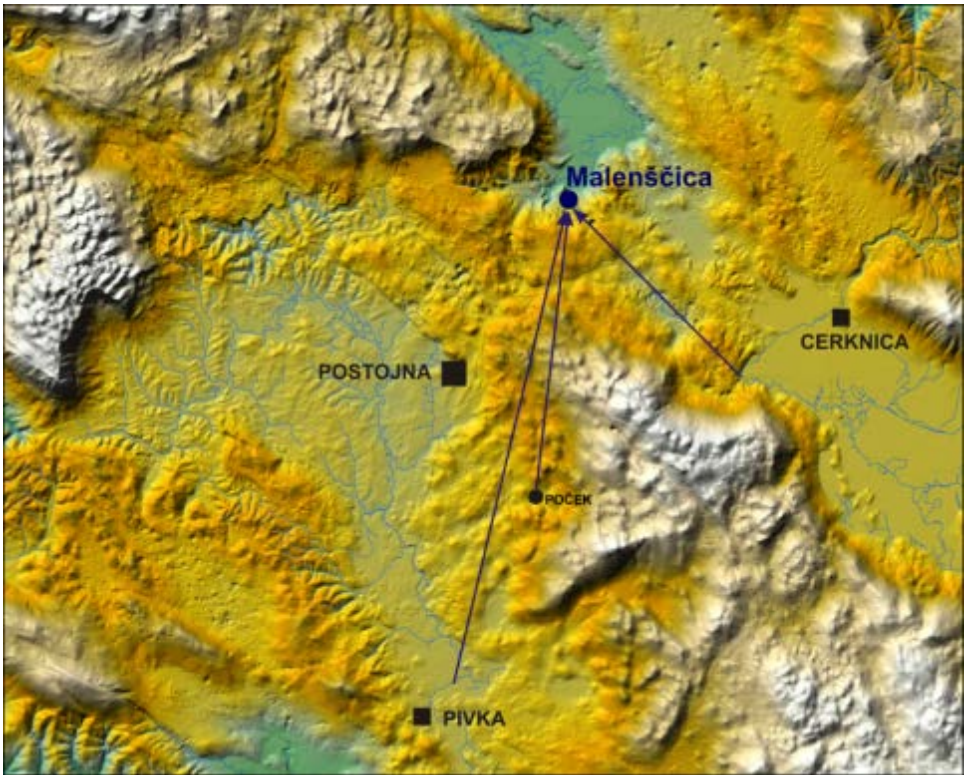
Reke ponikalnice vstopajo v kraške vodonosnike po dobro prepustnih kanalih. Dinamika pretakanja sicer niha v odvisnosti od padavinskih in hidroloških razmer, vendar pa je to pretakanje in z njim prenos onesnaženja znatno hitrejše kot skozi vadozno cono. V sušnih obdobjih z minimalnimi pretoki je njihovo pretakanje počasno (pod 10 m/h), po izdatnih padavinah pa hitro narastejo, sperejo onesnaženje iz zaledja in strug, kamor se stekajo še vedno pretežno neočiščene odpadne vode (kraška polja so poseljena), in ga potisnejo skozi kraške izvire. V takih razmerah skoraj vsako leto dobivamo klice, ko nam domačini sporočajo, da je voda na izvirih onesnažena.
Izostanek takojšnjega pojava nekega izlitega kontaminanta ob nesreči na kraškem površju še ne pomeni, da ni prišlo do kontaminacije določenega izvira, kakor tudi hiter pojav, v kolikor ni možno izmeriti njegove povrnjene količine, še ne pomeni, da se ne bo kontaminant še izraziteje pojavil kasneje, po padavinah.

4 PRIMER KRAŠKEGA IZVIRA MALENŠČICA NA PLANINSKEM POLJU

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



Slika 3. Izvir Malenščice na Planinskem polju ob visokem vodostaju



Slika 4. Kraški izvir Malenščice ima zelo kompleksno zaledje. Napaja se z infiltracijo padavin z območja z gozdom poraslih Javornikov, s Cerkniškega polja priteka prek Rakovega Škocjana Cerkniščica, ob višjih vodostajih pa tudi Stržen, medtem ko je bila iz doline Pivke dokazana povezava iz požiralnika pri Trnju.

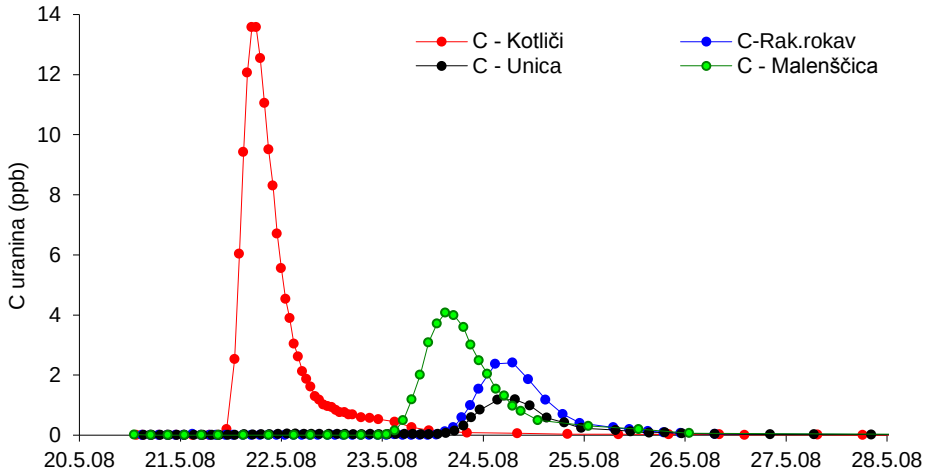
Na osnovi vrste sledilnih poskusov z umetnimi sledili od leta 1939 do danes sklepamo, da zaledje Malenščice obsega območje Javornikov (Kogovšek, 1999), izvir pa se napaja tudi z vodnima tokovoma Cerkniščice in Stržena, ki ponikata na SZ obrobju Cerkniškega polja. Leta 1988 (Habič 1989) je bila dokazana tudi vodna povezava s Pivko pri Trnju (slika 4). V Pivko oz. v njeno strugo je speljana kanalizacija odpadnih voda naselja Pivka.

Zaledje izvira je zelo kompleksno in obsežno. Na območju Javornikov, ki so pretežno porasli z gozdom, sta dva pomembnejša vira onesnaženja, vojaški poligon Poček in postojnsko odlagališče odpadkov (Petrič in Šebela, 2005). Cerkniško polje in više ležeča kraška polja ter dolina Pivke pa so poseljeni. Danes še ne vemo, do kje na jugu sega prispevno območje na področju Javornikov, saj ni bilo raziskav. Dinamika različnih dotokov se s časom v odvisnosti od padavinskih in hidroloških razmer zelo spreminja, kar bo mogoče spoznati le s sočasnimi podrobnimi raziskavami v celem sistemu, kar je zelo obsežna in zahtevna naloga.

Poleg starejših sledenj s Cerkniškega polja je bilo najnovejše sledenje izvedeno maja 2008 (Gabrovšek s sod., 2010). Sledilo je bilo injicirano na ponoru v Malo Karlovico (slika 5), ko je bil pretok Malenščice v upadanju (5,4 m^3/s), padavine, ki so sledile, pa so povečale pretok in pospešile prenos sledila (slika 6).

Slika 5. Maja 2008 je bilo sledilo injicirano v Malo Karlovico, ko je večina vode ponikala v niže ležečem ponoru v Svinjsko jamo

To se je najprej pojavilo v Kotličih v Rakovem Škocjanu (t_{dom} = 29 ur), nato v Malenščici (t_{dom} = 74 ur) in nato v Unici v Planinski jami (t_{dom} = 91 ur). Do izvira Malenščice se torej voda z onesnaženjem v primerljivih hidroloških razmerah pretaka s hitrostjo 100 m/h. Sočasne meritve pretakanja v vadozni coni (100 m pod površjem) so pokazale minimalno povečanje iztekanja po padavinah le po najprepustnejših razpokah. Torej je v vadozni coni že prevladovalo shranjevanje infiltriranih padavin in je Malenščica v poplavnem valu zato pomemben del vode tedaj dobivala s Cerkniškega polja. Ob zelo nizkih vodostajih je pretakanje več kot 10-krat počasnejše, ob visokih pa hitrejše.

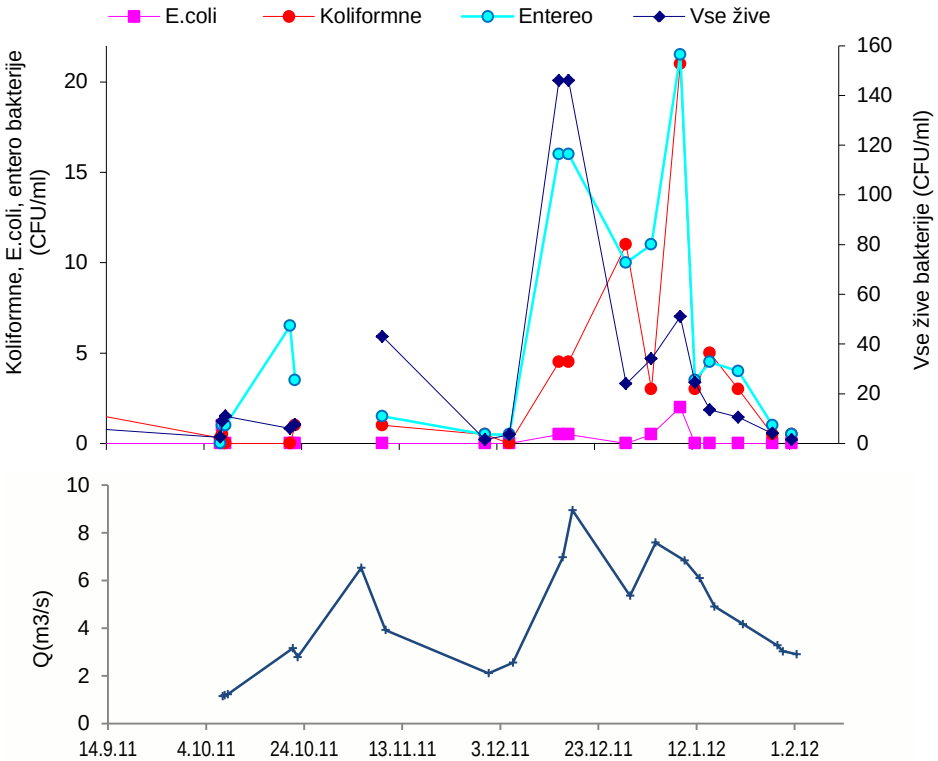


Slika 6. Sledilo, ki je bilo injicirano na ponoru v Malo Karlovico, se je do Kotličev v Rakovem Škocjanu pretakalo s hitrostjo 108 m/h, naprej do Malenščice pa s hitrostjo 118 m/h. Oblika krivulj prehoda sledila nakazuje zvezno pretakanje po dobro razvitih kanalih.

4.1 Poslabšanje kakovosti Malenščice decembra 2011 in januarja 2012

V letu 2012 smo začeli poleg spremljanja kemijskega onesnaženja (nitrati, fosfati) poskusno spremljati tudi 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) ter gojišče za določanje enterobakterij (Mulec in sod., 2012). Za analizo se uporabi 1 ml vzorca.

Ob nizkem vodostaju smo ugotavljali zelo nizke vrednosti oz. da metoda ni dovolj občutljiva. Decembra po padavinah, ko smo pričakovali povečanje kemijskega onesnaženja, pa smo z občasnim vzorčenjem ob naraščanju pretoka zabeležili velika povečanja vseh živih in koliformnih bakterij ter enterobakterij. Občasno smo določili tudi prisotnost *Escherichie coli* (slika 7).



Slika 7. Rezultati bakterioloških analiz Malenščice ob nihanju pretoka od oktobra 2011 do januarja 2012, ko mesec in pol dezinfekcija s kloriranjem ni bila dovolj učinkovita in je bilo treba vodo prekuhavati.

V letu 2011 je bila letna količina padavin na Postojnskem (meritve nad Postojnsko jamo) 945 mm, najmanj v zadnjih 30 letih, čeprav je bila letna količina padavin le nekaj nad 1000 mm tudi v letih 2003 in 2006. Manj padavin pomeni manj intenzivno spiranje zaledja kraških izvirov prek leta. Jeseni 2011 je izostalo daljše intenzivno deževno obdobje. Septembra in oktobra je skupno padlo 266 mm dežja, ki je nekoliko povečal pretoke konec oktobra ter namočil prst, da se je začelo tudi iztekanje iz vadozne cone. Dodaten dež sredi decembra pa je pogojeval večje povečanje pretokov, Malenščice skoraj do 9 m^3/s, in sklepamo, da s tem tudi

intenzivnejši prenos onesnaženja predvsem po podzemnih kanalih s Cerkniškega polja in iz doline Pivke pri Trnju. Intenziviralo se je tudi pretakanje skozi vadozno cono, vendar ocenjujemo, da morebitno onesnaženje z območja Javornikov do januarja 2012 še ni moglo doseči izvira Malenščice. V obdobju pred temi padavinami so namreč občani pogosto sporočali, da je prišlo do polivanja velikih količin digesterskega ostanka iz bioplinarne Biofutura v Ilirski Bistrici tudi na območju Javornikov. V kolikor je do tega res prišlo tudi na območju zaledja Malenščice, lahko ta vpliv pričakujemo po večjih in intenzivnejših padavinah, ki bodo sledile. Iz rezultatov spremljanja prenosa onesnaženja skozi vadozno cono krasa lahko pričakujemo dolgotrajen vpliv na kakovost Malenščice, merljiv v desetletjih in več.

Dne 5. 12. 2011, ko je imela Malenščica nizek pretok (okoli 2,5 m^3/s), so naše bakteriološke analize pokazale nizke vrednosti (slika 7). Naslednji vzorčenji 15. in 17. decembra, ko je pretok naraščal oz. dosegel maksimalno vrednost v poplavnem valu, pa smo zabeležili veliko povečanje predvsem vseh živih, enterobakterij in koliformnih bakterij. Tudi podjetje KOVOD, ki upravlja vodovod, je čez nekaj dni zaznalo onesnaženje v rezervoarju, poleg povečanja bakterij tudi prisotnost parazitov, in je zato predpisalo obvezno prekuhavanje vode.

Dne 29. 12. 2011, ko je pretok upadel na okoli 4 m^3/s, je število bakterij nekoliko upadlo, razen koliformnih, ki so bile v porastu. Podobno, še izrazitejše poslabšanje bakteriološke kakovosti je sledilo po naslednjih padavinah v začetku januarja 2012, ko se je pretok manj povečal kot sredi decembra 2011. Šele konec januarja oz. v začetku februarja smo zaznali znatno zmanjšanje števila bakterij ob zelo upadlem pretoku. Tedaj je bilo preklicano tudi obvezno prekuhavanje vode. Po padavinah v prihodnosti znova pričakujemo poslabšanje kakovosti Malenščice. Tako podrobno spremljanje kakovosti in kasnejša analiza nam dajo dragocena nova spoznanja, ki so bistvena za načrtovanje monitoringa kakovosti.

5 ZAKLJUČKI

Pojav onesnaženja kraških izvirov konec leta 2011 po sušnem poletno-jesenskem obdobju lahko razložimo z rezultati naših dolgoletnih raziskav pretakanja in prenosa onesnaženja s sledenjem naravnih in umetnih sledil, da se onesnaženje (kemijsko, še bolj pa očitno mikrobiološko) odrazi najizraziteje v prvih poplavnih valovih po padavinah. Izrazitejši pojav v tej zimi je delno posledica tudi manj izdatnih padavin, predvsem pa prevelikega onesnaževanja v zaledju.

Leto 2010 je bilo bogato s padavinami in je prišlo do dobrega spiranja vodonosnika. Vendar pa vemo, da je spiranje topnega onesnaženja iz kraških vodonosnikov, še posebno iz vadozne cone, dolgotrajen proces (več desetletij in več), da ne omenjamo spiranja v vodi netopnih snovi, kar je še dolgotrajnejši proces.

Padavine so naravna danost, zato v skrbi za dobro pitno vodo lahko vplivamo le na onesnaževanje v zaledju izvirov, ki se je v primeru Malenščice z leti le povečevalo. Od leta 1988 oz. 1997, ko je bila ugotovljena razsežnost njenega zaledja in so bili s tem znani številni veliki viri onesnaževanja, pa do danes, ni bilo za zmanjšanje onesnaževanja oz. za ohranjanje kakovosti Malenščice narejeno nič učinkovitega (niso bili sprejeti varstveni pasovi, ni bilo čiščenja odpadnih voda v neposrednem

zaledju, v zadnjih letih pa je prišlo celo do dodatnega onesnaževanja s polivanjem digesterskega ostanka in posipavanjem »kurjekov« …).

Raziskovanje kraških voda zagotavlja temeljno znanje, ki ga je treba stalno dopolnjevati in ki je osnova za načrtovanje bivanja človeka na krasu, vendar pa neželene posledice (onesnaženje kraških vodnih virov) nakazujejo, da se to znanje vse premalo uporablja.

Tako onesnaženje kraških vodnih virov konec leta 2011 na osnovi dosedanjega znanja nakazuje potrebne nadaljnje raziskave. V primeru izvira Malenščice bi le sočasne raziskave na ključnih točkah v vodonosniku lahko doprinesle še k boljšemu razumevanju dinamike dotokov iz različnih delov njenega zelo kompleksnega zaledja. Le tako bi lahko v bodoče prepoznavali negativne vplive.

Vse dosedanje znanje nakazuje, da je za popolno oceno stanja kakovosti kraških voda kot tudi za spremljanje kakovosti zajetih kraških izvirov nujen podroben monitoring v času poplavnih valov v kritičnih razmerah, ko je prenos onesnaženja največji. Monitoring kakovosti kraških izvirov mora biti neposredno vezan na hidrološke razmere. Pri tem je tudi nujno poznavanje zaledja izvirov. Vse to, poznavanje pretakanja vode in prenosa onesnaženja skozi kraški vodonosnik, ter dejstvo, da je spiranje onesnaženega vodonosnika dolgotrajen proces, so nujna osnova za načrtovanje učinkovitega varovanja kakovosti kraških voda, še posebno kraških izvirov, ki so zajeti za oskrbo prebivalstva s pitno vodo.

ZAHVALA

Raziskave hidrodinamike in prenosa kontaminantov skozi vadozno cono so potekale v okviru programa ARRS Raziskovanje krasa ob podpori UNESCO-vega programa IHP.

Viri

Forti, P. (2002): Speleology in the Third Millennium: Achievements and Challenges. Theoretical and Applied Karstology, Vol. 15; 7–26.
Gams, I. (2003): Kras v Sloveniji v prostoru in času. Ljubljana.
Habič, P. (1989): Kraška bifurkacija Pivke na jadransko črnomorskem razvodju. Acta carsologica, Vol. 18; 233–264.
Kogovšek, J., Habič, P. (1981): Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame. Acta carsologica. Vol. 9; 129–148.
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, Vol. 28/1;161–200.
Kogovšek, J. (2000): Ugotavljanje načina pretakanja in prenosa snovi s sledilnim poskusom v naravnih razmerah. Annales, Vol. 10/1=19; 133–142.
Kogovšek, J. (2010): Characteristics of percolation through the karst vadose zone. Carsologica 10, Postojna–Ljubljana.
Kogovšek, J. (2011): Impact of chlorides, nitrates, sulfates and phosphates on increased limestone dissolution in the karst vadose zone (Postojna Cave, Slovenia). Acta carsologica, Vol. 40/ 2; 319–327.
Mangin, A. (1973): Sur la dyinamique des transferts en aquifère karstique. Proc. of the 6th Inter. Cong. of Speleology, Olomuc, 4; 157–162.

Kogovšek, J., Petrič, M. (2010): Tracer tests as a tool for planning the monitoring of negative impacts of the Mozelj landfill (SE Slovenia) on karst waters. Acta carsologica, Vol. 39/2; 301–311.
Mulec, J., Krištůfek, 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,* Vol. 34/2; 489–505.
Pezdič, J., Leskovšek-Šefman, H., Dolenec, T., Urbanc, J. (1984): Isotopic study of karst water. Final Report on IAEA Research Contract No. 2845/RB. J. Stefan Institute, 47p, Ljubljana.
Trček, B. (2003): Epikarst zone and the karst aquifer behaviour. A case study of the Hubelj catchment, Slovenia. Geološki zavod Slovenije, 100 p, Ljubljana.