

ACTA CARSOLOGICA	33/1	10	143-158	LJUBLJANA 2004
------------------	------	----	---------	----------------

COBISS: 1.01

**FIZIKALNO-KEMIČNE ZNAČILNOSTI VODA V ZALEDJU  
MALENŠČICE (SLOVENIJA)**

**PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF WATERS IN THE  
MALENŠČICA RECHARGE AREA (SLOVENIA)**

JANJA KOGOVŠEK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karst Research Institute ZRC SAZU, Titov trg 2, SI-6230 Postojna, Slovenia,  
e-mail: kogovsek@zrc-sazu.si

**Abstract:**

UDK: 5556.34(497.4)

**Janja Kogovšek: Physico-chemical properties of waters in the Malenščica recharge area (Slovenia)**

Basic physico-chemical properties of waters within the area of Malenščica are given, and so are the connections that they indicate. Dolomitic water of the Cerknjščica mostly flows into the Rak in Rakov Škocjan valley, while Kotliči springs show the connection with Svinjska jama (cave) and Mala Karlovica. When water levels are low the Rak river at its swallowhole mostly comprises waters from Kotliči, with Ca/Mg about 3, 5 and the lowest value 2,2 when the water levels are the lowest, when only the Cerknjščica sinks into Svinjska jama; this later reflects also in the water of the Malenščica. When water levels are high, the mixture of Rak and Kotliči flows into the swallowhole, and Ca/Mg is about 4. The influx of waters from Pivka Valley is designated by higher ratio of Ca/Mg and higher values of pollution indicators, when the infiltration water from poorly conductive part of Javorniki is designated by Ca/Mg values about 5. Due to the complexity of the system there are still some unanswered questions left which can only be answered by carrying out additional researches.

**Key words:** karstology, karst water, physico-chemical characteristics, recharge area, Malenščica, Slovenia.

**Izvleček:**

UDK: 5556.34(497.4)

**Janja Kogovšek: Fizikalno-kemične značilnosti voda v zaledju Malenščice (Slovenija)**

Podane so osnovne fizikalno-kemične značilnosti voda v zaledju Malenščice in povezave, ki jih nakazujejo. Dolomitna voda Cerknjščice odteka predvsem v Rak v Rakovem Škocjanu, Kotliči pa kažejo na povezavo s Svinjsko jamo in Malo Karlovico. Rak na ponoru predstavlja ob zelo nizkih vodostajih pretežno vodo Kotličev s Ca/Mg okoli 3,5 in z najnižjo vrednostjo 2,2 ob najnižjih vodostajih, ko v Svinjsko jamo ponika le Cerknjščica, kar se kasneje odrazi tudi v Malenščici. Ob visokih vodostajih v ponor odteka mešanica Raka in Kotličev s Ca/Mg okoli 4. Dotok voda iz doline Pivke označuje višje razmerje Ca/Mg in večje vrednosti pokazateljev onesnaženja, medtem ko označujejo infiltracijsko vodo iz slabo prepustnega dela Javornikov vrednosti Ca/Mg okoli 5. Zaradi zapletenosti sistema ostaja še vrsta odprtih vprašanj, ki bi jih lahko pojasnile le dodatne raziskave.

**Ključne besede:** krasoslovje, voda, fizikalno-kemične značilnosti, zaledje Malenščice, Slovenija.

## UVOD

Kraški izvir Malenščice na Planinskem polju je zajet za oskrbo prebivalstva s pitno vodo. Izvir se pomembno napaja s primarno infiltracijo padavin z območja Javornikov, del vode pa dobiva tudi prek sekundarnega napajanja s Cerkniškega polja in iz doline Pivke. Povezavo Malenščice s ponornimi vodami na Cerknškem polju je pokazalo sledenje iz Velike Karlovice ob višjem vodostaju leta 1964 (Gams 1965). Sledenje iz požiralnika v strugi Pivke pri naselju Pivka avgusta 1988 pa je ob upadanju gladine podzemne vode dokazalo, da obstaja tudi vodna povezava Malenščice z dolino Pivke (Habič 1989). Dotok infiltriranih padavin z območja Javornikov je potrdilo sledenje s Počka leta 1997 (Kogovšek 1999), ko je dobra polovica injiciranega sledila odtekla v Malenščico. Vendar pa še ne poznamo velikosti območja Javornikov, s katerega odtekajo padavine v Malenščico.

V času podrobnejšega spremljanja sestave Malenščice (Kogovšek 2001b) in v značilnih hidroloških razmerah ob zelo nizkih vodah ter kasneje po prvih izdatnejših padavinah, smo občasno spremljali tudi sestavo voda na ponorih v Jamskem zalivu na Cerknškem polju (1 in 2), sestavo izvirov v Rakovem Škocjanu: Raka (3), Prunkovca (4), Kotličev (5) in Raka pri Velikem naravnem mostu (6) in Škratovke (7) na Planinskem polju ter Žejskih izvirov (8) in Pivke pri Žejah (9) (slika 1). Naš namen je bil ugotoviti kemično sestavo teh voda ob različnih hidroloških razmerah oz. poskušati opredeliti njihovo povezavo in vpliv na Malenščico.

## DOSEDANJE RAZISKAVE

Na Cerkniško polje, v Obrh in Cemun priteka voda z Loškega polja z razmerjem Ca/Mg okoli 3. Na polje dotekajo tudi Lipsenjščica, Žirovniščica in Martinjščica z dolomitno vodo z razmerjem Ca/Mg nekoliko nad 1 ter nekaj manjših pritokov z višjim razmerjem Ca/Mg (Kogovšek 1998). Te vode ponikajo skozi talne požiralnike v osrednjem delu polja, od koder odtekajo proti izvirom Ljubljani (Gospodarič & Habič 1979). Le višje vode po Strženu dosežejo Jamski zaliv, kjer se stekajo s Cerknjščico in ponikajo v številnih robnih požiralnikih, predvsem v Svinjski jami in v Mali Karlovi. Ob višjih pretokih Stržena le-ta zadržuje Cerknjščico, tako da skupaj ponikata v Mali Karlovi. Ob zelo nizkih vodah, ko je Stržen minimalen, ali pa niti ne priteče do Jamskega zaliva, odteka Cerknjščica vse do Svinjske jame, kjer dokončno ponika. Ko pa dotok na Cerknjško polje močno naraste, odvajajo vodo s polja vsi požiralniki v Jamskem zalivu, ki v primeru dalj časa trajajočih izdatnih padavin kmalu ne zmorejo sproti odvajati vse vode in pride do poplavljanja polja (Kogovšek 2001a).

Sledenje iz Velike Karlovice aprila 1964 ob višjem vodostaju je pokazalo povezavo ponora z Rakom v Zelških jamah, s Kotličo, s Prunkovcem, z Rakovim rokavom v Planinski jami, z Malenščico in z izviri Ljubljani (Gams 1965). Hitrost pretakanja v Malenščico je bila tedaj 5 cm/s, enako kot v Rak v Rakovem rokavu Planinske jame, medtem ko se je voda pretakala v Kotličo s hitrostjo 4 cm/s. Podane so hitrosti pretakanja, verjetno glede na prvi pojav sledila, niso pa podane količine sledila, ki so iztekle skozi posamezne izvire. Tako ni razvidno, kateri izviri so bolj oz. manj neposredno povezani s ponorom Velike Karlovice.

Ob sledenju iz Svinjske jame avgusta 1964 (Gams 1965) je bilo ugotovljeno kar 6 krat počasnejše pretakanje v Kotličo, zato lahko sklepam, da je pretakanje v takih razmerah tudi v smeri Malenščice znatno počasnejše kot ob višjih vodostajih. Novembra 1967 je bil injiciran uranin v Malo Karlovi. ob skupnem pretoku Stržena in Cerknjščice okoli 2 m<sup>3</sup>/s (Gams 1970). Po padavinah, ko so začeli

bruhati tudi številni izviri med Prunkovcem in Kotličiči, so najprej zaznali uranin v Kotličičih, medtem ko se v Prunkovcu ni pojavil. Na osnovi kar obsežnih, občasnih hidrokemičnih raziskav je Gams (1966) ob nizkem vodostaju sklepal na zvezo Stržena s Kotličiči in Cerkniščice z Rakom.

Sledenje iz požiralnika v strugi Pivke pri naselju Pivka, kamor se iztekajo tudi odpadne vode naselja Pivka, je pokazalo na podzemno zvezo z Malenščico (Habič 1989). Injiciranje je bilo izvedeno v začetku avgusta ob splošnem upadanju gladine podzemne vode. K pospešenem odtoku sledila je pripomogel dež, ki je sledil. Narasle vode pa so kasneje pogojevale tudi površinsko odtokanje sledila in prenos sledila skozi Postojnski jamski sistem v Unico na Planinskem polju.

Kasnejše sledenje s Počka na območju Javornikov (Kogovšek 1999) je pokazalo poleg najizrazitejše povezave z Malenščico tudi povezavo z Rakom, Prunkovcem in Kotličiči v Rakovem Škocjanu, ki dobivajo del vode tudi z območja Javornikov. V poletnih sušnih razmerah se je sledilo po občasnih manjših padavinah izraziteje pojavilo v Kotličičih kot v Raku pred izlivom Prunkovca, po izdatnejših padavinah jeseni pa močnejše v Raku. Podrobno spremljanje fizikalno-kemičnih parametrov v vodnem valu Malenščice novembra 1997 (Kogovšek 2001b) je pokazalo na velike spremembe sestave njene vode v prvih 4 dneh po začetku oblikovanja vodnega vala, kar odraža časovno pogojene različno izdatne dotoke z različnih vplivnih območij.

## ZAJEMNA MESTA IN HIDROLOŠKE RAZMERE

Na Cerkniškem polju smo vzorčevali vodo na ponoru v Malo Karlovico (2), kamor se je običajno stekala voda Stržena in Cerkniščice. Cerkniščico smo sicer vzorčevali tudi konec Dolenje vasi. Ko so vodostaji upadli, je bila Mala Karlovica suha, v Svinjski jami (1) pa je ponikala le Cerkniščica. V Rakovem Škocjanu smo vzorčevali Rak pod Malim naravnim mostom (3), izvir Prunkovca (4), izvir Kotličičev (5) ter Rak na ponoru pri Velikem naravnem mostu (6). Vzorčevali smo v času značilnih hidroloških razmer, ob nizkih in zelo nizkih vodostajih ter po izdatnejših padavinah, ko so pretoki močno narasli. Sočasno smo zajemali tudi Malenščico na Planinskem polju ter spremljali njeno temperaturo in specifično električno prevodnost (SEP) v urnem intervalu. Nekajkrat smo zajeli tudi vodo Škratovke (7) na Planinskem polju, ter Žejskih izvirov (8) in Pivke pri Žejah (9) (slika 1).

Prvo polovico junija 1999 so vode na Cerkniškem polju ponikale v Svinjski jami in v Mali Karlovici, vendar je njihova količina upadala, čeprav je kar nekajkrat deževalo in padlo po približno 20 do 30 mm padavin. Očitno je obilo vode porabila vegetacija. Dne 30. junija je bila Mala Karlovica suha, tako da je vsa voda ponikala v Svinjski jami. Tudi pretok Kotličičev in Raka pod Malim naravnim mostom je v tem času po oceni stalno upadal do ponovnih padavin v začetku julija. Tudi Rak, ki je v začetku junija dokončno ponikal v levem ponoru pred Velikim naravnim mostom, je upadal in se v začetku julija izgubljal že v dnu struge precej pred Velikim naravnim mostom. Škratovko smo zajemali v »vodnjaku«, saj je bila voda le tam.

Prve izdatnejše padavine, 60 mm dežja, so padle 10. in 11. julija 1999, kar je povzročilo porast pretokov opazovanih izvirov. V zadnji dekadi julija je padlo še dobrih 30 mm dežja, kar je pogojevalo upočasnen upad pretokov. Avgust in september sta bila zelo skromna s padavinami. Pretok Malenščice je stalno upadal do 20. septembra 1999, ko so padle izdatnejše padavine. Oktober in november nista preseгла 100 mm mesečnih padavin. Nekaj več dežja s snegom, blizu 180 mm, je padlo decembra, januar 2000 pa je bil praktično brez padavin. Tudi ostali meseci do vključno avgusta 2000 so bili skromni s padavinami, skupno je padlo v osmih mesecih le nekaj prek 600 mm padavin. Septembra je bilo nekoliko več dežja, izdatnejše jesenske padavine pa so padle prvo

polovico oktobra 2000 (okoli 180 mm).

Po prvih intenzivnih padavinah, ko je Malenščica 2. oktobra 2000 dosegala že drugi dan pretok prek 9 m<sup>3</sup>/s (maksimalni letni pretok je čez tri tedne dosegel vrednost 10,5 m<sup>3</sup>/s), sta bili strugi Cerkniščica in Stržena še vedno le na pol polni, njuna voda pa je ponikala le v Svinjski jami. Kotličiči so imeli močno povečan pretok, voda je bila kalna, vendar pa je ves Rak še vedno ponikal pred Velikim naravnim mostom. Dne 6. oktobra je bila Cerkniščica približno enako izdatna kot 2. oktobra, medtem, ko je Stržen že delno poplavljal, voda pa je ponikala tudi v Malo Karlovico. Ponovne izdatne padavine v začetku novembra so povzročile, da je 6. in 7. novembra Stržen že poplavljal



Sl. 1: Zajemna mesta vzorčevanih voda: ponora v Svinjsko jama (1) in v Malo Karlovico (2) ter izviri: Rak iz Zelških jam (3), Prunkovec (4), Kotličiči (5), Rak pri Velikem naravnem mostu (6).

Fig.1: Sampling points: ponors into Svinjska jama (1) and Mala Karlovica (2) and springs: Rak from Zelške jame (3), Prunkovec (4), Kotličiči (5), Rak at Veliki naravni most (6).

Jamski zatok, Cerknjščica pa je zapolnjevala svoje korito. Dne 10. novembra je Cerknjščica opazno upadla, medtem ko je bil dotok Stržena izdatnejši, tako da se je poplava na Cerknjškem polju širila. Nadaljnje padavine, ki so povzročile dvigovanje vode v krasu in naraščanje pretokov izvirov, so pogojevale vse večje poplavljanje Cerknjškega polja. Obsežna poplava je trajala še prva dva meseca v naslednjem letu (Kogovšek 2001a). Maksimalno višino je poplava na Cerknjškem polju dosegla 28. novembra 2000.

Posebne razmere so nastopile poleti 2003. Pomlad in poletje 2003 sta bila zelo suha, tako, da je količinsko skromna in motna Cerknjščica (ocenjena na 50 l/s) 30. maja dokončno ponikala le v Svinjski jami, Stržen pa ni dotekal v Jamski zaliv. Rak iz Zelških jam v Rakovem Škocjanu je bil še aktiven, Kotličiči so bili v obliki očes, skupni tok pa je nato ponikal v svoji strugi že precej pred Velikim naravnim mostom. Pretoki so prek poletja upadali in 20. avgusta je Cerknjščica ponikala že v strugi pri Rakovem mostku, Svinjska jama pa je bila suha. Kotličiči so le minimalno iztekali, Rak iz Zelških jam pa je bil suh. Tudi višina Malenščice je bil tedaj 10 cm nižja kot konec maja (vodomerna leta na izvirov).

## METODE DELA

Vzorci smo zajemali ročno in pri tem vsakokrat izmerili temperaturo in specifično električno prevodnost – referenčna temperatura 25°C (SEP) s koduktometrom LF 597, pH s pH-metrom Multiline in vsebnost raztopljenega kisika z oximetrom OXI 197, vse firme WTW. Urne meritve temperature in SEP v izvirov Malenščice smo opravljali v črpališču Malni z merilnikom in shranjevalnikom podatkov Gealog S, firme LOGOTRONIC, ki uporablja sonde WTW. Več kot 70 ročno zajetim vzorcem v zaledju Malenščice ter številnim vzorcem Malenščice smo v laboratoriju določali vsebnost karbonatov, kalcija in magnezija, kloridov, nitratov, sulfatov in o-fosfatov po standardnih metodah (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 1992).

## REZULTATI

### Rak

Cerknjščica, ki priteka z dolomitnega zaledja, ima nizko razmerje Ca/Mg. Izmerjene vrednosti so bile v opazovanem obdobju med 0,8 in 1,3. Podobna nihanja smo ugotavljali tudi za druge dolomitne dotoke na Cerknjško polje (Kogovšek 1998). Cerknjščica ima tudi višjo SEP (za okoli 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ter v toplejšem delu leta opazno nižjo temperaturo kot Stržen. Ko sta junija 1999 Stržen in Cerknjščica skupno ponikala v Mali Karlovičici, smo ob nižanju vodostaja ugotavljali vzporedno nižanje razmerja Ca/Mg in temperature ter naraščanje vrednosti SEP, kar je nakazovalo povečevanje deleža Cerknjščice na ponoru Male Karlovice. Na osnovi meritev SEP lahko sklepamo, da je 14. junija delež Stržena znašal le še dobro četrtino vse vode, ki je tedaj ponikala v Mali Karlovičici.

Tudi Rak iz Zelških jam v Rakovem Škocjanu ima nizko razmerje Ca/Mg, v opazovanem obdobju se je gibalo med 1,3 in 3. Podobno kot dolomitne vode nasploh ima opazno višjo vsebnost karbonatov, celokupne trdote in SEP (od 368 do 480  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) v primerjavi z vodami iz apnenčastega zaledja. Le ob visokih vodostajih smo beležili nižje vrednosti trdot in višje razmerje Ca/Mg. Višje temperature Raka poleti in nižje pozimi ob višjih pretokih (1 do 17°C) kažejo na pomemben dotok površinske vode v takih razmerah.

Že omenjene nizke vrednosti Ca/Mg ter visoke vrednosti karbonatov, celokupne trdote in SEP kažejo na pomemben, prevladujoč dotok dolomitne vode, zelo verjetno Cerknjščice, ki ob nizkem vodostaju ponika vsa že v ilovnati strugi pred Veliko in Malo Karlovico (Gams 1966). Dokončno ponikanje Cerknjščice v strugi v bližini Rakovega mostka smo ugotavljali tudi ob opazovanih prek zelo sušnega poletja 2003.

Junija 1999, ob enakomerno upadajočem vodostaju voda, se temperatura, SEP, trdote in razmerje Ca/Mg Cerknjščice in Raka iz Zelških jam niso bistveno razlikovali (sliki 2 in 3). Šele 60 mm dežja 10. julija, ki je povečal pretoke, je povzročil upad SEP, trdot in nitratov Raka, kar bi skladno z rezultati sledenja s Počka, kazalo na povečan dotok z območja Javornikov. Ker pa sočasno ni prišlo do spremembe razmerja Ca/Mg, medtem ko v Kotličih nismo zaznali nobenih sprememb, se je verjetno povečal predvsem dotok Cerknjščice z manjšo mineralizacijo zaradi pomembnega deleža meteorne vode takoj po padavinah.

Tudi ob nizkem vodostaju februarja ter avgusta in septembra 2000 sta si bila Rak in Cerknjščica po sestavi zelo blizu (celokupna trdota, Ca/Mg in SEP), medtem ko so Kotliči opazno odstopali. Tudi meritve trdot septembra 1964 ob nizkem vodostaju (Gams 1966) nakazujejo povezavo Cerknjščice z Rakom. Zato sklepam, da mešanica Cerknjščice in Stržena, ki ob nižjih vodostajih ponika v Malo Karlovico in Svinjsko jamo (Ca/Mg > 3), ne odteka v Rak v Zelške jame, vsaj ne v večjih količinah.

Vendar pa je bilo razmerje Ca/Mg Raka vedno nekoliko višje, vrednosti SEP, karbonatne in celokupne trdote pa nižje kot v Cerknjščici, kar nakazuje tudi dotekanje voda z apnenčastega zaledja. To pojasnjujejo rezultati sledenja s Počka (Kogovšek 1999), ki so pokazali, da doteka v Rak tudi nekaj vode iz Javornikov z višjim razmerjem Ca/Mg, in sicer sorazmerno več ob visokih vodostajih v primerjavi z nizkimi.

Zato tudi predvidevam, da je po izdatnih padavinah ob naraščujočem vodostaju 7. novembra 2000 v Rak najprej intenzivneje pritekala voda z območja Javornikov z višjim razmerjem Ca/Mg, z nižjima celokupno trdoto in SEP. Dne 10. novembra pa nižje razmerje Raka, podobno pa tudi Kotličev, kaže na relativno večji dotok dolomitne vode, verjetno Cerknjščice, ki po padavinah hitreje reagira kot Stržen. Cerknjščica je bila obogatena s padavinsko vodo, saj se trdote niti SEP niso bistveno spremenile. Kasnejše zopet višje razmerje Ca/Mg Raka ob nižji trdoti pa verjetno nakazujejo dotok poplavnih voda s Cerknjškega polja z višjim razmerjem Ca/Mg.

Najvišje razmerje Raka iz Zelških jam (Ca/Mg do 3) smo tako beležili ob visokih vodostajih, novembra in decembra 2000. Tedaj je Rak močno narasel in je bil rjavo-zelene barve s plavajočimi penami. To naraščanje pretokov je vodilo v eno daljših in obsežnejših poplav v Rakovem Škocjanu in na kraških poljih (Kogovšek 2001a). Sklepam, da zaradi visoke poplave na Cerknjškem jezeru poplavna voda zalije tudi ponore, kjer sicer ponika Cerknjščica, tako da v Rak v Rakovem Škocjanu odteka mešanica Cerknjščice in Stržena, ob pomembnem dotoku iz Javornikov, kar je bilo že ugotovljeno za visoke vode s sledenjem z Javornikov (Kogovšek 1999).

Rak ima ob nižjih vodostajih, kot so bili junija do avgusta 1999, višje vsebnosti sulfatov, nitratov in o-fosfatov v primerjavi s Kotliči, kar odraža vpliv Cerknjščice. Ob visokih vodostajih, ko pride do poplavljanja Cerknjškega polja in povečanih dotokov z Javornikov so te razlike majhne ob sicer nižjih vrednostih, kar je skladno z ugotovljenim pretakanjem voda (Slika 4).

Na osnovi znanega lahko zaključim, da Rak dobiva predvsem površinsko vodo Cerknjščice skozi ponore že pred Malo Karlovico (dokončno potrditev bi dal sledilni poskus). V sušnih poletnih

razmerah, ko zelo nizka Cerknjščica ponika že v svoji strugi pred ponori, Rak presahne. Rak dobiva ob višjih vodostajih nekaj vode tudi iz Javornikov, vendar pa se ta količina spreminja odvisno od hidroloških razmer. V času poplav odteka s Cerknjškega polja v Rak tudi poplavna voda.

### **Kotliči**

Kotliči izkazujejo v primerjavi z Rakom bistveno drugačne fizikalno-kemične značilnosti. Meritve temperature so pokazale vrednosti v intervalu od 1,8 do 21,8 °C, kar kaže na pomemben dotok površinske vode, podobno kot v Rak. Kotliči so dosegali poleti opazno višje temperature kot Rak, kar odraža dotok toplejšega Stržena v primerjavi s Cerknjščico. Meritve SEP so pokazale vrednosti med 342 in 415  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , razmerje Ca/Mg pa je dosegalo vrednosti med 2,6 in 5,9. Vsebnost karbonatov, SEP in celokupna trdota so v Kotličih opazno nižji kot v Raku. Vendar pa se nakazuje dokaj vzporeden potek naštetih parametrov v Raku in Kotličih, posebno ob nizkih ustaljenih vodostajih, ko je delež Cerknjščice na ponoru v Malo Karlovico in Svinjsko jamo večji. V času poplave na Cerknjškem polju, jeseni in pozimi 2000, ko je v oba izvira dotekala poplavna voda, se njuna temperatura ni bistveno razlikovala, razlike v SEP in celokupni trdoti pa so bile minimalne.

Najnižjo vrednost Ca/Mg=2,7 smo v Kotličih določili ob zelo nizkem vodostaju 3. februarja 2000 ter v začetku septembra in oktobra, ko sta v Svinjsko jamo ponikala upadajoči Stržen in Cerknjščica, oz. je dokončno ponikala le Cerknjščica. Tudi septembra 1962 je bila ugotovljena enako nizka vrednost (Gams 1966). Temperatura Kotličev je bila 3. februarja enaka temperaturi Raka (3,3 °C), razmerje Ca/Mg pa le za 0,6 višje. Očitno je v Kotliče dotekala predvsem voda iz Svinjske jame, ki je bila v danih razmerah predvsem Cerknjščica. Torej priteka v Rak in Kotliče ob zelo nizkem vodostaju s Cerknjškega polja le Cerknjščica, dotok iz Javornikov pa je minimalen. Dotok s Cerknjškega polja se v Kotličih izraziteje odrazi ob nižjih dotokih iz Javornikov (slika 3).

Jeseni 2000 sta temperatura in SEP Kotličev ob zniževanju pretoka upadala do začetka oktobra, kar nakazuje vse manjši delež vode s Cerknjškega polja v primerjavi z dotokom iz Javornikov (slika 2). Po intenzivnem dežju pa je 2. oktobra 2000 skozi Kotliče ob povečanem pretoku iztekala kalna voda z nižjima SEP in celokupno trdoto, z nespremenjenim nizkim razmerjem Ca/Mg ter višjimi vsebnostmi sulfatov, nitratov in o-fosfatov (slika 4). Stržen in Cerknjščica sta ta dan zapolnjevala svoji strugi do polovice in vsa voda je še vedno dokončno ponikala le v Svinjski jami. Verjetno je šlo za prvi povečan dotok s Cerknjškega jezera, za spiranje onesnaženja iz struge Cerknjščice ob njenem razredčenju s padavinsko vodo, kar se je odrazilo v sorazmerno nizkih vrednostih SEP in trdot Kotličev.

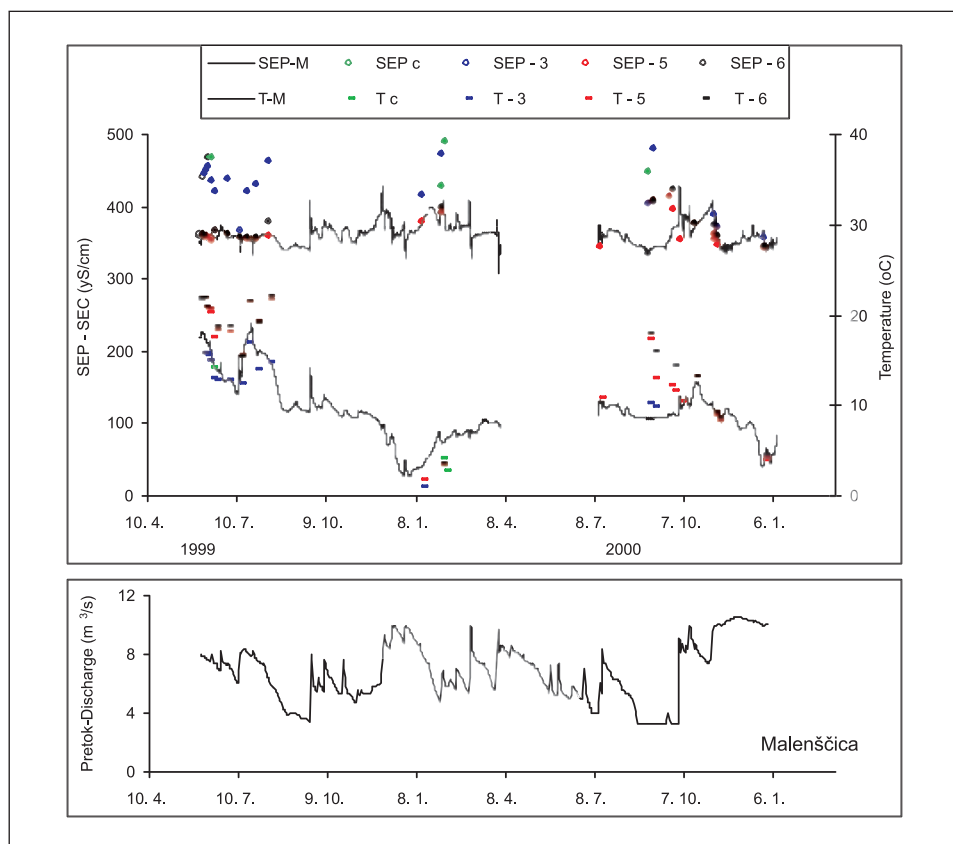
Po nadaljnjih padavinah smo 17. oktobra zabeležili manjši porast temperature, izrazit porast Ca/Mg (z 2,8 na 4,1) ter izrazit upad sulfatov (z 9,8 na 4,9 mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$ ) in nitratov (s 5,8 na 2,5 mg  $\text{NO}_3/\text{l}$ ) ob manjšem povečanju SEP in celokupne trdote Kotličev. To nakazuje povečan dotok tako z območja Javornikov, kot tudi s Cerknjškega polja. Ker so se povečali dotoki na Cerknjško polje in je Stržen poplavljal del polja, je prišlo do spremembe sestave vode, ki je ponikala v Malo Karlovico. Voda je imela tedaj razmerje Ca/Mg = 4,3 in nižjo vsebnost kloridov, nitratov in sulfatov, podobno kot Kotliči.

Izdatne padavine, ki so sledile od 1. do 10. novembra 2000, so 6. novembra napolnile korito Cerknjščice in poplavlile velik del Jamskega zaliva. Kotliči so 7. novembra izdatno bruhalo vodo, aktivni pa so bili tudi stranski izviri. Dne 10. novembra so bili nekoliko manj izdatni, podobno pa tudi konec decembra. Ob naraščanju pretoka Kotličev je izrazilo naraščalo razmerje Ca/Mg, ki je



7. novembra doseglo vrednost 5,9. Dne 10. novembra smo zabeležili izrazit upad razmerja Ca/Mg na 4,5, podobno kot v Raku z 2,9 na 2,3, medtem ko so le nekoliko upadle vrednosti trdot, sulfatov in SEP. V tem času je očiten vzporeden potek Ca/Mg in trdot Kotličev in Raka, kar nakazuje, da sta sočasno dobivala pomemben del vode iz istega zaledja. Najprej verjetno z območja Javornikov (7. novembra), medtem ko meritve in analize 10. novembra kažejo na izdatnejši dotok dolomitnih voda. Verjetno je dotekala Cerknjščica, obogatena s padavinami, kar je zmanjševalo njene trdote. Cerknjščica je bila 10. novembra že v upadanju, dotok Stržena pa je naraščal, kar se je s časovnim zamikom odrazilo v izvrih v Rakovem Škocjanu.

To naraščanje pretokov je vodilo v začetek poplave na Cerknjškem polju, v Rakovem Škocjanu in na Planinskem polju, ki je dosegla maksimalne višine 27. in 28. novembra. Konec decembra je še vedno vztrajala visoka voda, saj je bil ponor v Tkalco jamo v Rakovem Škocjanu zalit do



Sl. 2: Meritve temperature (T) in specifične električne prevodnosti (SEP) Malenščice (M), Cerknjščice (c), Raka (3), Kotličev (5) in Raka na ponoru (6) ter pretok Malenščice.

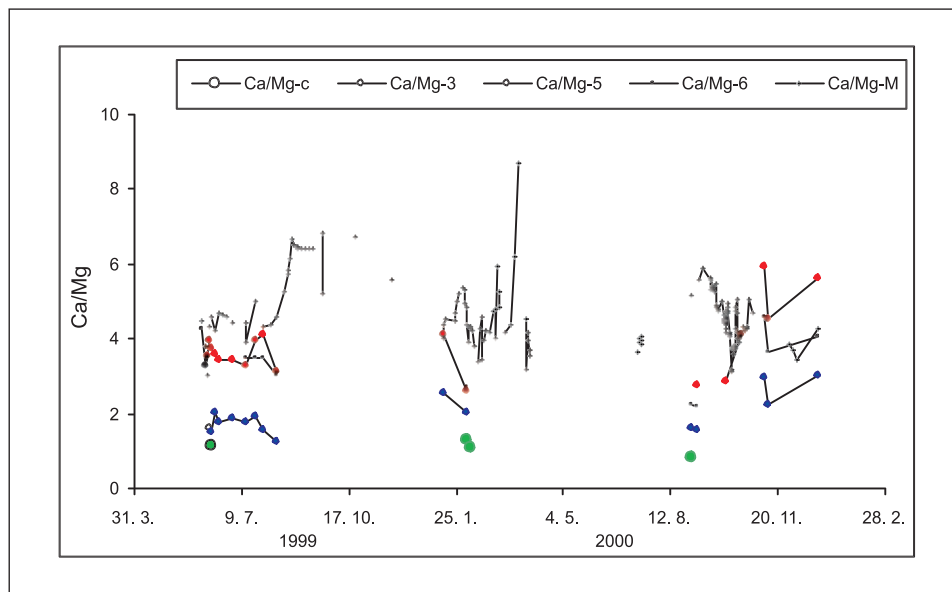
Fig. 2: Measurements of temperature (T) and conductivity (SEC) of Malenščica (M), Cerknjščica (c), Rak (3), Kotličiči (5) and Rak at the ponor (6) and discharge of Malenščica.

vrha. Tedaj sta imela Rak in Kotlički zopet višje razmerje Ca/Mg (3 in 5,6), ki odraža dotok voda iz Javornikov, pa tudi povečan dotok poplavne vode s Cerkniškega polja. Sorazmerno nizko razmerje Raka pa da slutiti, da v takih zelo visokih vodostajih dobiva verjetno tudi druge dotoke dolomitne vode, ne le Cerkniščico.

### Intenzivni naliv maja 2001

Zanimiv je bil močan naliv (50 mm) v popoldanskih urah 31. maja 2001, po katerem sta bila Stržen in Cerkniščica 1. junija, ko sta ponikala tudi v Mali Karlovici, močno kalna in intenzivno rjave barve, da sta spominjala na barvo rek v Yunnanu na Kitajskem, kjer je močna erozija prsti. Do večera tega dne se kalnost ni pojavila niti v Kotličih niti v Raku, vendar pa smo v obeh izvirih določili povečane o-fosfate, bolj v Raku, ki je imel povečane tudi kloride, nitratre in sulfate. Višjo vrednost fosfatov ob visokem razmerju Ca/Mg smo izmerili tudi v Malenščici, ki ji je naraščal pretok. Vendar pa v vodnem valu, ki je 2. junija dosegel vrh, ni prišlo do naraščanja SEP in temperature niti do sprememb kalnosti, ki je bila stalno nizka.

Ker v danih razmerah ne poznamo hitrosti pretakanja voda s Cerkniškega polja skozi podzemlje, je možno, da je prišlo do njihovega vpliva na omenjene izvire kasneje; da kalna voda v času opazovanj še ni dosegla izvira Malenščice in da je šlo le za izpodrivanje stare vode. V vodnem valu Malenščice novembra 1999 (Kogovšek 2001b) sem v podobnih razmerah sklepala, da je šlo skozi Malenščico najprej za povečan iztok stare vode, ki jo je izpodrivala hitro infiltrirana voda po padavinah.



Sl. 3 Nihanje razmerja Ca/Mg Cerkniščice (c), Raka (3), Kotličev (5) in Malenščice (M) v opazovanem obdobju.

Fig. 3 Variations of ratio Ca/Mg in the Cerkniščica (c), Rak (3), Kotlički (5) and Malenščica (M).

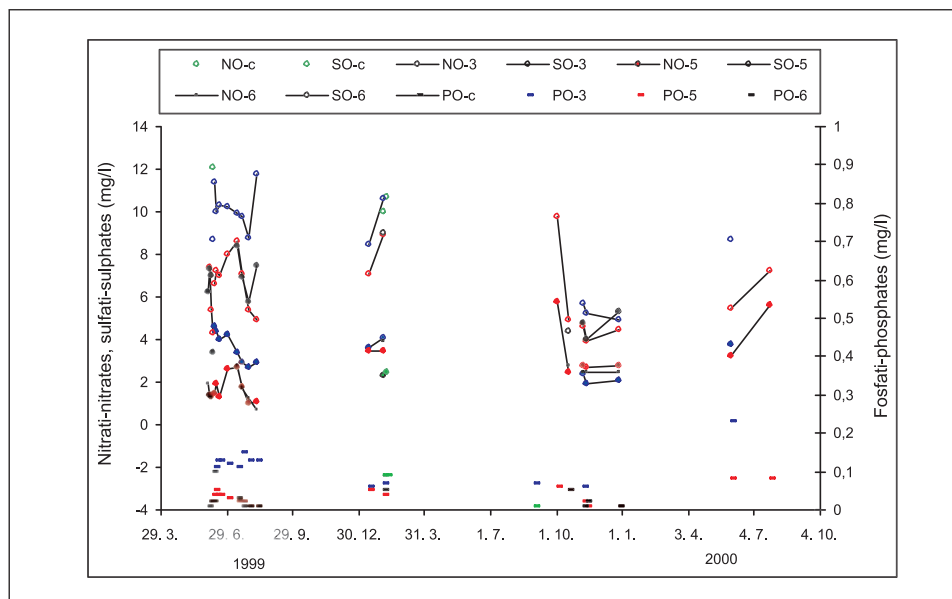
### Razmere izredno nizkih voda

Posebne razmere nizkih in zelo nizkih voda smo spremljali spomladi in poleti 2003 (slika 5). Dne 30. maja, ko je v Svinjski jami dokončno ponikala le Cerknjščica, je imel Rak pod Malim naravnim mostom enako razmerje Ca/Mg kot Cerknjščica, po SEP, celokupni trdoti in vsebnosti fosfatov pa je le malo odstopal. Kotliči, ki so s Cerknjškega polja dobivali le vodo Cerknjščice, so imeli opazno višje razmerje Ca/Mg ter nižje vrednosti SEP, celokupne trdote in sulfatov, kar pomeni, da so dobivali vsaj polovico svoje vode z območja Javornikov, v kolikor privzamemo sestavo Malenščice kot vodo iz Javornikov.

Dne 20. avgusta 2003, ko je bila Svinjska jama suha, saj je skromna Cerknjščica ponikala kar v strugi pri Rakovem mostku, suh pa je bil tudi Rak pod Malim naravnim mostom, so imeli Kotliči in Malenščica skoraj enako razmerje Ca/Mg (4,5 oz. 4,8), enake pa tudi SEP, celokupno trdoto in fosfate, tako da sklepam, da so Malenščica in Kotliči tedaj dobivali vodo pretežno iz skupnega zaledja, z območja Javornikov. V Malenščici smo zabeležili le nekoliko višje sulfate in nitratre. Malenščico smo v podobnih razmerah spremljali že novembra 1997 (Kogovšek 2001b).

### Prunkovec in Škratovka

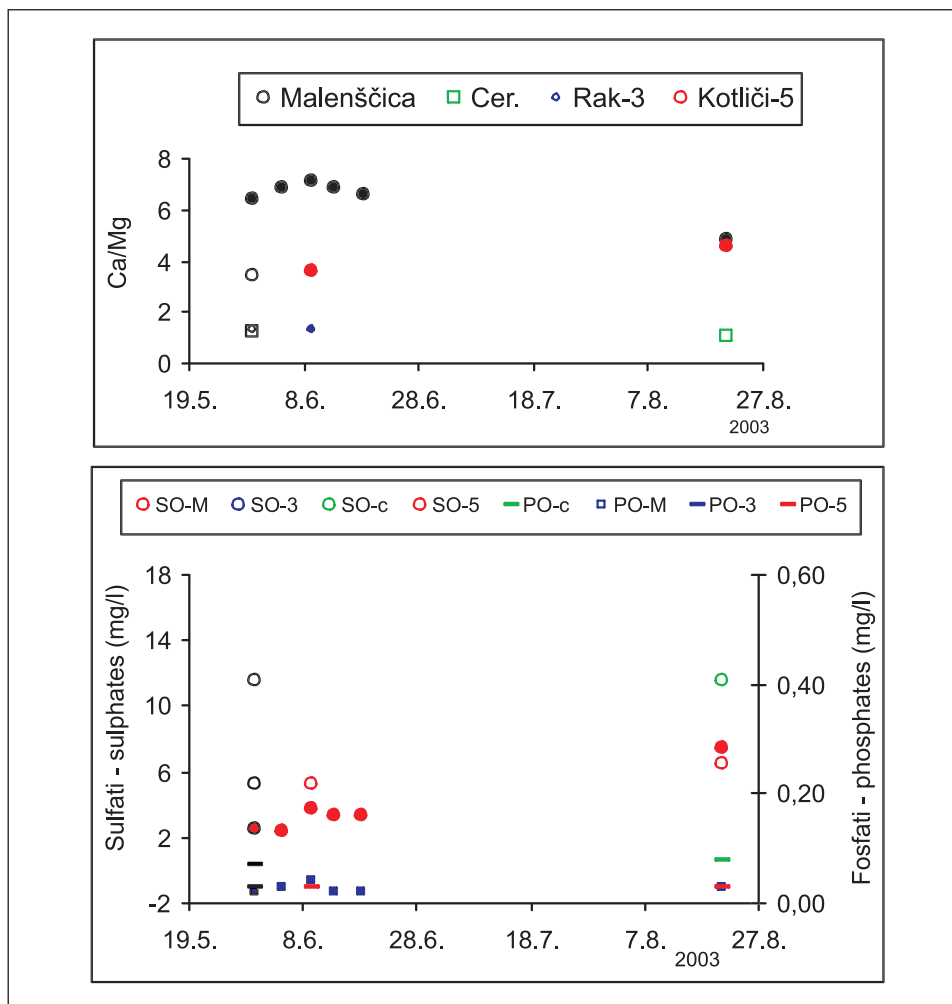
Prunkovec v Rakovem Škocjanu (3) in Škratovka (7) na Planinskem polju sta imela ob nizkem vodostaju najnižjo temperaturo od vseh opazovanih voda. Tudi po Ca/Mg odstopata od ostalih voda,



Sl. 4 Nihanje vsebnosti nitratov (NO), sulfatov (SO) and fosfatov (PO) v Cerknjščici (c), Raku (3), Kotličih (5) in Raku na ponoru (6) v opažovanem obdobju.

Fig. 4 Variations of nitrate, sulphate and phosphate levels in the Cerknjščica (c), Rak (3), Kotliči (5) and Rak at the ponor (6) during observed period.

Prunkovec z visokim (11 in več) in Škratovka z nizkim Ca/Mg (1,4). Vendar pa se vrednosti Ca/Mg glede na hidrološke razmere prek leta precej spreminjajo. Tako Prunkovcu razmerje Ca/Mg upade lahko do 5, Škratovki pa narase do 4. Sklepam, da se obseg zaledja obeh izvirov zelo spreminja, odvisno od hidroloških razmer, in da ob visokih vodostajih dobivata vodo z obsežnejšega zaledja. Sledenje s Počka je pokazalo (Kogovšek 1999), da ob višjih vodostajih dobivata tudi vodo z območja Javornikov. To nakazujejo pri Prunkovcu tudi nižje vrednosti Ca/Mg in višje trdote, pri Škratovki pa višje vrednosti Ca/Mg in nižje trdote ob višjih vodostajih.



Sl. 5 Značilnosti (Ca/Mg, vsebnosti sulfatov - SO in nitratov - NO) opazovanih voda ob izredno nizkih vodostajih poleti 2003.

Fig. 5 Characteristics (Ca/Mg, SO-sulphate and PO-phosphate levels) of observed waters during extremely low waters during the summer 2003.

## Pivka

Občasne meritve in analize Pivke (8) pri Žejskih izviroh so pokazale v primerjavi z vodami, ki s Cerkniskega polja prek Rakovega Škocjana napajajo Malenščico, opazno višje razmerje Ca/Mg (okoli 10). Pivka ima tudi opazno večje vsebnosti sulfatov in fosfatov, pa tudi nitratov in kloridov, ki so odvisne od hidroloških razmer (tabela 1). Pivka je pri požiralniku ob cesti Pivka-Trnje, kjer se vanjo iztekajo odpadne vode naselja Pivka in kjer je injicirano sledilo avgusta 1988 (Habič 1989) pokazalo zvezo z Malenščico, še bolj onesnažena. Zato lahko pričakujemo vpliv Pivke na kakovost Malenščice, razpoznaven po že omenjenih parametrih. Ker je pri tem zelo pomemben tudi delež Pivke ob deležu Žejskih izvirov (9) v celotnem pretoku Malenščice, je ta vpliv lahko zelo zabrisan

## Malenščica

Datum	Q	T	SEP	Karb	Ca	Ca+Mg	Cl	NO	SO	PO	Ca/Mg
13.12.99	velik Q	7,4	406	3,93	3,9	4,21	6,2	8,4	8,6	0,21	11,6
14.12.99		6,5	420	4,2	4,16	4,49	4,7	6,5	8,3	0,12	12,6
15.12.99		7,7	410	4,1	3,99	4,38	4,7	6,7	7,9	0,12	9,2
16.12.99		5,6	413	4,13	4,01	4,44	4,7	6,3	7,8	0,11	9,3
17.12.99		6	410	4,16	4,05	4,44	3,8	5,4	7,4	0,08	10,4
6.1.00		5,9	413	4,18	4,09	4,49	3,8	5	6,7	0,03	10,2
2.10.00	majhen Q	14,2	458	4,16	4,22	4,64		11,6	17,3	0,16	10

Tabela 1: Fizikalno-kemične značilnosti Pivke pri Žejah.

Sestava Malenščice odraža kompleksno sliko s časom se spreminjajočih dotokov s celotnega zaledja, zato je prepoznavanje posameznih komponent na osnovi znanega pogosto zelo težko, včasih celo nemogoče. Opazovanja so pokazala, da je v toplih oz. mrzlih obdobjih temperatura dober pokazatelj oz. okoljsko sledilo dotoka s Cerkniskega jezera, še posebno ko je polje poplavljenno. V času nizkih voda so samočistilni procesi v vodotokih zelo omejeni, tako da odteka s Cerkniskega polja v ponore voda znatno slabše kakovosti kot v času poplav, ko se strupene snovi in nutrienti hitro porabijo in nevtralizirajo v sestojih vodne vegetacije, ki deluje kot naravni filter (Gabrešček et al. 1994).

Nizke vrednosti razmerja Ca/Mg ob povečanih trdotah ter SEP odražajo povečan dotok določitne vode, predvsem Cerkniske, ki z vodo Kotličev ponika v Rakovem Škocjanu (Ca/Mg od 2,8 do 4,0). Višje vrednosti Ca/Mg, ki prek leta nihajo okoli vrednosti 5, označujejo verjetno dotok iz Javornikov, visoke vrednosti Ca/Mg pa bi bile lahko pokazatelj pomembnejšega dotoka Pivke ob spremljajočih višjih vsebnostih parametrov, ki nakazujejo onesnaženje.

Na odprta vprašanja v tem zapletenem sistemu bi v veliki meri verjetno odgovorila kombinirana sledenja z umetnimi sledili ob različnih hidroloških pogojih ter bilanca voda.

## SKLEPI

Ker izkazujejo Cerknjščica in Stržen na Cerknjškem polju ter izviri Raka in Kotličev v Rakovem Škocjanu različne fizikalno-kemične značilnosti, temperaturo, SEP, vsebnost karbonatov, kalcija in magnezija, smo lahko opredelili povezave teh voda.

- Ob izredno nizkih vodostajih, kot je bilo konec avgusta 2003, ko so ponori v Jamskem zalivu in Rak iz Zelških jam suhi, dobivajo Kotliči ( $Ca/Mg=4,5$ ) vodo le z območja Javornikov, ki je po sestavi zelo podobna Malenščici ( $Ca/Mg=4,8$ ), le da ima ta nekoliko višje kloride, nitrata in sulfate, kar kaže na možen vpliv odpadnih voda, ki odtekajo v ponor v strugi Pivke pri naselju Pivka. Meritve in analize Raka na ponoru v Rakovem Škocjanu kažejo, da je voda, ki tu ponika ob nižjih vodostajih, predvsem voda Kotličev.
- Ob nizkih vodostajih, ko Stržen ne priteka do Jamskega zaliva in Cerknjščica dokončno ponika v Svinjsko jamo, Mala Karlovica pa je suha, so Kotliči ( $Ca/Mg=2,6$ ) po svoji sestavi najbližje sestavi Raka ( $Ca/Mg=2,0$ ), saj tedaj dobivajo vodo Cerknjščice in le manjši delež vode tudi iz Javornikov. V takih razmerah dotoki iz cerknjške smeri znižujejo tudi razmerje  $Ca/Mg$  Malenščice.
- Ob višjih vodostajih, ko v Jamskem zalivu ponika tudi Stržen, so razlike v sestavi Raka in Kotličev največje, razmerje  $Ca/Mg$  Raka oz. Kotličev je bilo 1,6 oz. 4,8. Velike razlike smo beležili tudi v času poplave na Cerknjškem polju, ko poplavna voda s Cerknjškega polja z višjim razmerjem  $Ca/Mg$  odteka tudi v Rak. Nizko razmerje Raka daje slutiti, da tedaj dobiva še neznane pritoke dolomitne vode. Ob zelo visokih vodostajih, kot je bilo novembra in decembra 2000 smo ocenili na osnovi razmerja  $Ca/Mg$  delež Raka na ponoru v Rakovem Škocjanu do polovice vse vode, ki je imela razmerje  $Ca/Mg$  okoli 4,0.
- Za dotok voda iz doline Pivke lahko zaenkrat rečemo le, da jih označuje višje razmerje  $Ca/Mg$  in večje vrednosti pokazateljev onesnaženja, infiltracijsko vodo iz slabo prepustnega dela Javornikov pa označujejo vrednosti  $Ca/Mg$  okoli 5.

Vzporeden potek parametrov Raka in Kotličev odraža dotok dela vode v oba izvira iz istega dela zaledja; ob nižjih vodostajih se kaže vpliv Cerknjščice, ob visokih pa dotok poplavne vode s Cerknjškega polja, oz iz Javornikov.

Spremljanje vodnega vala Malenščice (Kogovšek 2001b) je pokazalo ob hitrem in izrazitem povečanju pretoka najprej iztiskanje stare vode, šele nato pa so sledile večje spremembe merjenih parametrov, ki nakazujejo različne, s časom spreminjajoče se dotoke vode iz Rakovega Škocjana, zaledja Javornikov in doline Pivke. Zaradi zapletenosti sistema ostaja še vrsta odprtih vprašanj, ki bi jih v precejšnji meri lahko pojasnile le dodatne raziskave, kot so kombinirani sledilni poskusi s sočasnim sledenjem okoljskih parametrov ter bilanca voda.

## LITERATURA

- Gabrešček, A. & Kosi, G. & Krušnik, C. & Urbanc-Berčič, O & M. Bricelj, 1994: Kvaliteta vode na Cerknjškem jezeru in njegovih pritokih. *Acta carsologica*, 23, 265-283, Ljubljana.
- Gams, I., 1965: Aperçu sur l'hydrologie du karst slovene et sur ses communications souterraines. *Naše jame*, 7, 1-2, 51-60, Ljubljana.
- Gams, I., 1966: K hidrologiji ozemlja med Postojnskim, Planinskim in Cerknjškim poljem. Poročila,

- Acta carsologica, 4, 5-54, Ljubljana.
- Gams, I., 1970: Maksimiranost kraških podzemeljskih pretokov na primeru ozemlja med Cerkniškim in Planinskim poljem. Acta carsologica, 5, 171-187, Ljubljana.
- Gospodarič, R. & P. Habič, 1979: Kraški pojavi Cerkniškega polja. Acta carsologica, 8, 7-162, Ljubljana.
- Habič, P., 1989: Kraška bifurkacija Pivke na jadransko črnomorskem razvodju. Acta carsologica, 18, 233-262, Ljubljana.
- Kogovšek J., 1998: Osnovne fizikalno kemične značilnosti kraških voda na Notranjskem. Acta carsologica, 27/2, 199-220, Ljubljana.
- Kogovšek J., 1999: Nova spoznanja o podzemnem peretakanju vode v severnem delu Javornikov (Visoki kras). Acta carsologica, 28/1, 161-200, Ljubljana.
- Kogovšek, J., 2001a: Visoka voda jeseni 2000. Naše jame, 43, 68-74, Ljubljana.
- Kogovšek, J., 2001b: Monitoring the Malenščica water pulse by several parameters in november 1997. Acta carsologica, 30/1, 39-53, Postojna.
- Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 1992, 18<sup>th</sup> Edition, Washington.

## **PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF WATERS IN THE MALENŠČICA RECHARGE AREA (SLOVENIA)**

### **Summary**

The karst spring Malenščica on Planinsko polje is fed by waters from a vast recharge area. The research and the follow-up experiments showed that in addition to the waters from wooded area of Javorniki it is also fed by waters from Cerknica polje - through Rakov Škocjan Valley – and also from the Pivka River Valley, the latter being of poorer quality. During the period of close observation of the composition of the Malenščica River in significant hydrological conditions, during very low water levels and after the first substantial rainfall, we also periodically followed the composition of waters in the recharge area of Malenščica. We took samples at swallowholes of Jamski zaliv on Cerknica polje and at springs of the following springs in Rakov Škocjan: Rak, Prunkovec, Kotličiči; we took samples of the Rak river by the Veliki naravni most (Great Natural Bridge), of the Škratovka spring on Planinsko polje, of the Žejski springs and of the Pivka near Žeje (Fig. 1). Our goal was to determine the chemical composition of these waters under various hydrological conditions and to determine how they affect the Malenščica.

At the spring of Malenščica we made joint measurements of temperature, conductivity and water level hourly. At other sampling points we measured the mentioned parameters manually, we took samples that were analysed for the same parameters as the samples from the Malenščica river: carbonate, calcium, magnesium, chloride, nitrate, sulphate and o-phosphate levels; the analyses were made according to standard methods.

As the Cerkniščica and Stržen on Cerkniško polje, as well as Rak and Kotličiči springs in Rakov Škocjan, show different physico-chemical properties, we were able to determine the connections of these waters:

- When the water levels are extremely low – such conditions occurred at the end of August 2003 (Fig. 5), when sinkholes in Jamski zaliv and at Zelške jame are dry, the Kotličiči springs (Ca/Mg=4,5) get water only from the area of Javorniki; the composition of these waters is similar to the composition of the Malenščica (Ca/Mg=4,8). The Malenščica contains slightly a little more chlorides, nitrates and sulphates, indicating the possibility of wastewaters effect flowing into the swallowhole, located in the riverbed of the Pivka near the town of Pivka.
- When water levels are low - when the Stržen does not flow into Jamski zaliv, when the Cerknjščica sinks into Svinjska jama and when Mala Karlovica is dry, the composition of the Kotličiči springs (Ca/Mg=2,6) is closest to the composition of the Rak river (Ca/Mg=2,0); this is due to the fact that in this case Kotličiči springs get most water from Cerknjščica and only a tiny part from the area of Javorniki (Fig. 3). When the conditions are as described above, then the influx coming from the direction of Cerknica decreases the Ca/Mg ratio of the Malenščica spring.
- When water levels are higher – when Stržen also sinks in Jamski zaliv – the difference in the composition of Rak and Kotličiči is the biggest; the Ca/Mg ratio of the Rak was 1, 6 and of Kotličiči 4, 8. Big differences were recorded also when water levels were the highest and when Cerknjško polje was flooded – in such cases the flood water from Cerknjško polje, with higher Ca/Mg ratio, flows also into the Rak river. This indicates the possibility that in this case the Rak river with low Ca/Mg ratio is fed by unknown inflow of dolomitic water.
- When the inflow of waters from Pivka is concerned, we can only say it characterized by higher Ca/Mg ratio and higher values of pollution indicators (Table 1); infiltration water from poorly conductive part of Javorniki is characterized by Ca/Mg values around 5.

The parallel pattern of parameters typical for the Rak river and Kotličiči indicate that both springs are fed by the waters from the same area; when water levels are low, the effect of the Cerknjščica can be detected; when water levels are high, the effect of flood water from Cerknjško polje shows as well as the effect from the Javorniki area waters (Fig. 3 and 4). During warm and cold periods the temperature is a good environmental indicator of waters from Cerknjško polje that flow into Malenščica, especially in times of floods.

Due to the complexity of the system some questions remain unanswered; the answers can only be gott by carrying out additional research – combined tracing experiments, with simultaneous tracing of environmental parameters and water bilanca.