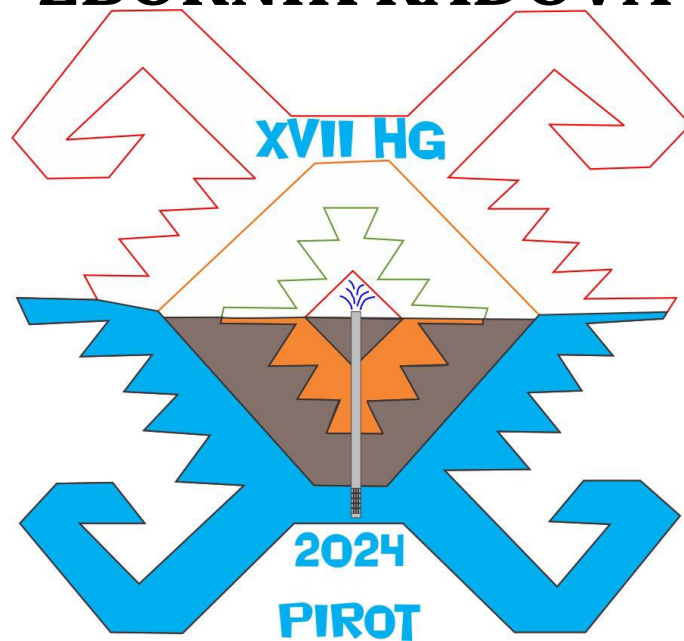


UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XVII SRPSKI SIMPOZIJUM
O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem

ZBORNIK RADOVA



02-06. oktobar
2024. godine



XVII SRPSKI SIMPOZIJUM O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem
ZBORNIK RADOVA

IZDAVAČ:

Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet
Đušina 7

ZA IZDAVAČA:

Prof. dr Biljana Abolmasov, dekan
UB Rudarsko-geološki fakultet

UREDNIK:

Doc. dr Ljiljana Vasić, ☎0000-0001-9140-5748
UB Rudarsko-geološki fakultet

TIRAŽ:

150 primeraka

ŠTAMPA:

Pi Press, Pirot

GODINA IZDANJA: 2024.

Na 10/23. Sednici Veća Departmana i Katedre za hidrogeologiju doneta je odluka o organizaciji XVII srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, koja je potvrđena i Saglasnošću Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta br. 8/67 od 20.10.2024. godine.

Autori priloga u ovom Zborniku odgovorni su za sadržaj i autorska prava njihovih članaka. Ni izdavač ni bilo koja druga osoba koja deluje u njeno ime nije odgovorna za moguće korišćenje informacija sadržanih u ovoj publikaciji.

Naslovna strana: **Logo simpozijuma**

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

556(082)
628.1(082)

СРПСКИ симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем (17 ; 2024 ; Пирот)

Zbornik radova / XVII Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, 02-06. oktobar 2024. godine, Pirot ; [urednik Ljiljana Vasić]. - Beograd : Univerzitet, Rudarsko-geološki fakultet, 2024 (Pirot : Pi Press). - [19], 598 str. : ilustr. ; 30 cm

Kor. nasl. - Na vrhu nasl. str.: Departman za hidrogeologiju. - Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 150. - Str. [5-6]: Uvodna reč organizatora / Saša Milanović, Dušan Polomčić. - Abstracts. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7352-405-4

a) Хидрогеологија -- Зборници b) Снабдевање водом -- Зборници

COBISS.SR-ID 151976457

UTICAJ ZEMLJIŠTA I EPIKARSTA NA KVALITET PODZEMNIH VODA KARSTNE IZDANI NA PRIMERU KARSTNE IZDANI SUVE PLANINE INFLUENCE OF SOIL AND EPIKARST ON THE KARST GROUNDWATER COMPOSITION, CASE STUDY: SUVA PLANINA MT. KARST AQUIFER

Branislav Petrović¹, Živojin Smiljković², Veljko Marinović¹

¹Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd. E-mail: branislav.petrovic@rgf.bg.ac.rs

²Agencija za zaštitu prirode Srbije, Žabljačka 10A, 11000 Beograd. E-mail: zivojin.smiljkovic@sepa.gov.rs

APSTRAKT: *Kroz zemljište migriraju i cirkulišu različite supstance u obliku pravih i koloidnih rastvora, a u njemu se odvija i mnoštvo hemijskih reakcija. Kao rezultat kretanja supstanci i biološke aktivnosti organizama u zemljištu se formiraju slojevi određenih fizičko-hemijskih i bioloških osobina. Na taj način u zemljištu se odvija prvi korak u promeni sastava infiltrirane površinske vode i njen postepen prelaz u podzemnu vodu. Rastvaranje krečnjaka je već u površinskim delovima krečnjaka – epikarstu veoma intenzivno, što podaci prikupljeni sa lokacije pećine Peč, na Suvoj planini, i potvrđuju. Porast pH i specifične električne provodljivosti, zajedno sa pratećim povećanjem sadržaja osnovnog jonskog sastava i mikroelemenata (koji su poreklom pre svega iz zemljišta), ukazuju na značajne izmene sastava infiltrirane vode na samom ulasku u karstni izdanski sistem. Nakon nastavka filtracije vode kroz karstnu izdan, procesi rastvaranja krečnjaka i obogaćivanja sastava podzemne vode kalcijumom i magnezijumom sa jedne, a bikarbonatima sa druge strane, preuzimaju primat nad ostalim procesima. Na taj način podzemna voda, koja ističe na karstnim vrelima u podnožju istočnih padina Suve planine, ima katjonski sastav u kojem potpuno dominiraju kalcijum (>85%ekv) i magnezijum (~12%ekv), a u anjonskom bikarbonati (>95%), dok su ostale makrokomponente prisutne u koncentracijama koje ne prelaze 3%ekv.*

Ključne reči: *zemljište, epikarst, karstna izdan, kvalitet podzemne vode*

ABSTRACT: *Different substances in the form of real and colloidal solutions migrate and circulate through the soil, and many chemical reactions take place in it. As a result of the migration and the biological activity of organisms in the soil, layers of certain properties are formed. In this way, the first step in changing the composition of infiltrated surface water and its gradual transition into groundwater takes place. The dissolution of limestone is already very intense in the near surface limestone - epikarst, which is confirmed by the data collected from the location of the Peč cave, on Suva planina Mt. The increase in pH and specific electrical conductivity, together with the accompanying increase in the content of the basic ionic composition and microelements (primarily from the soil), indicates significant changes in the composition of the infiltrated water at the very entrance to the karst aquifer system. After the continuation of water filtration through the karst aquifer, the processes of dissolving limestone and enriching the composition of groundwater with calcium and magnesium on the one hand, and bicarbonates on the other, take precedence over other processes. In this way, the groundwater, which yields from the karst springs at the eastern slopes of the Suva planina Mt., has a composition completely dominated by calcium (>85% eq), magnesium (~12% eq), and bicarbonate (>95%), while other macrocomponents are present in concentrations that do not exceed 3% eq.*

Key words: *soil, epikarst, karst aquifer, groundwater composition*

UVOD

Epikarst predstavlja sloj delimično izmenjene matične stene koji još uvek nije postao zemljište, a u kojem je vodopropusnost i difuzna cirkulacija vode bitno veća i ravnomernije raspoređena u prostoru u odnosu na ostatak karstifikovane stenske mase, u stvari predstavlja najviši deo stenske mase koji je izložen procesu karstifikacije (Petrović et al, 2022, Klimchouk, 2000). Kontrast u vertikalnom profilu u pogledu efektivne poroznosti i propusnosti između zone epikarsta i ostatka karbonatne stenske mase je od izuzetne važnosti za hidrogeološku funkciju ove pripovršinske zone u pogledu izmene kvaliteta vode i uticaja na količinu vode koja se filtrira ka „pravou“ karstnoj izdani (Petrović, 2020). Razlikuje se od lebdećih izdani koje su formirane u integranularnoj sredini po tome što se kvantitativne osobine lebdećih

izdani formiranih u zbijenoj izdani ne razlikuju od osobina osnovne izdani, čak je i kvalitet vode skoro isti, dok epikarstna izdan ima drugačije odlike od karstne izdani i u pogledu brzine i karaktera filtracije vode i u pogledu kvaliteta vode (Petrović, 2020). Najznačajnije zaključke o procesu nastanka epikarsta u okviru karstnog sistema doneli su: Williams (1983); Gunn (1985); Ford & Williams (2007); Klimchouk (1995, 2004). Do određenih zaključaka o epikarstu kao svojevrsnoj polupropusnoj membrani dolazi Bakalowicz (2005), dok „efekat klipa“ analiziraju Trček (2003) i Trček & Krothe (2004), a „pulsni pritisak“ Williams & Fowler (2002) i Kogovšek (2010). Stevanović (2015) prihvata da epikarst često postoji u gornjim delovima zone aeracije i da u njemu dolazi do akumuliranja određene količine podzemne vode i formiranje lebdeće izdani, smatra i da se mora uzeti u obzir da na izuzetno karstifikovanim terenima može doći do brzog dreniranja vode i da epikarst može izostatati. Petrović (2020) smatra da postojanje epikarsta u okviru karstnog izdanskog sistema utiče na poboljšanje kvaliteta i bolju raspodelu količina podzemnih voda koje ističu iz karstne izdani.

Suva planina se nalazi oko 10 km jugoistočno od grada Niša. Prostire se pravcem severozapad-jugoistok u visinskim zonama od 250 m.n.m. do 1810 m.n.m., počinje istočno od Niške Banje, a završava se jugozapadno od Babušnice u Lužničkoj kotlini, planina je duga oko 45 km, a široka oko 15 km. U geološkom i geografskom smislu Suva planina pripada Karpato-balkanskom lancu planina, na granici sa Srpsko-makedonskom masom. Prostire se u vidu potkovice (lučno) počev od sela Ljuberađa (Opština Babušnica) u dva smera: severnim krakom do Crvene Reke i severozapadnim krakom do Niške Banje. Planinski deo terena se karakteriše jako razuđenim reljefom sa velikim visinskim razlikama. Površinski karstni oblici prisutni su na skoro svim delovima istočne padine Suve planine, uprkos postojanju guste šumske (visoke i niske) vegetacije. Podzemni karstni oblici su na istočnim padinama Suve planine prisutni, ali ne kao na severnim i zapadnim okomitim krečnjačkim liticama. Podzemni karstni oblici otkriveni na užem prostoru istraživanja su jama Prosek i pećina Peč, u ataru sela Bežište (Petrović, 2020).

Uže područje istraživanja uticaja tla i epikarsta na osnovni sastav tj. kvalitet podzemne vode obuhvatilo je istočni deo Suve planine, a predstavljeno je oblašću prihranjivanja karstnih vrela Mokra, Divljana, Gornja Koritnica i izvora Bežište. Geološka građa terena je složena i posledica je višestrukih tektonskih događaja i pokreta koji su uzrokovali nastanak antiklinale pravca pružanja severozapad-jugoistok, koja tone ka jugoistoku (Petrović et al, 2023; Petrović & Marinović, 2021; Petrović, 2020; Vujisić et al, 1971). Krečnjaci različitog stepena čistoće, uz mestimično prisustvo dolomita, izgrađuju krila antiklinale, sa padom slojeva ka severoistoku i jugozapadu. Na istražnom području izdvojeni su svi tipovi izdani, ali i uslovno bezvodni delovi terena.

Na istražnom području zastupljena je umereno-kontinentalna klima sa karakterističnim dugim i hladnim zimama i relativno toplim letima. Deo područja na nadmorskim visinama iznad 800 m ima karakteristike planinske klime. Srednje višegodišnje sume padavina za analizirani period 1991-2018. godina imaju vrednosti od 593,8 mm do 680,9 mm (Petrović, 2020). Posmatrano u višegodišnjem periodu prosečne godišnje temperature su od +9,9°C do +13,8°C.

Rečna mreža je razvijena samo u podnožju Suve planine. U okviru užeg područja istraživanja postoje samo 2 stalna površinska toka, Mokranjska reka i Koritnička reka. Postoji nekoliko povremenih tokova koji su (svi) aktivni samo za vreme dužih i obilnijih prolećnih padavinskih epizoda, kombinovanih sa otapanjem snega.

METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Hidrogeološko kartiranje je izvršeno radi definisanja karakteristika epikarsta tj. radi korelacije sa podacima koji su prikupljeni i analizirani tokom primene daljinske detekcije i geomorfoloških istraživanja, a na osnovu kojih je kreirana karta potencijala razvoja epikarsta. Na istočnim padinama Suve planine kategorije epikarsta izdvojene su na repnim profilima u okviru užeg istražnog prostora, izdvojene su 4 kategorije ovog potpovršinskog sloja (Petrović et al, 2022; Petrović, 2020): 1-slabo razvijen epikarst, 2-razvijen epikarst, 3-srednje razvijen epikarst i 4-izuzetno razvijen epikarst. Izdvajanje je pre svega izvršeno prema debljini zone, zatim prema debljini zemljišnog sloja koji se nalazi na površini i prisustvu i tipu vegetacije.

Definisanje stenskog sastava, izvršeno je petrološkim analizama obavljenim u laboratoriji Rudarsko - geološkog fakulteta. Uzorci stena za petrološke analize su prikupljeni u okviru užeg istražnog.

Determinacija sadržaja svih važnijih makro i mikro elemenata koji ulaze u sastav tla izvršena je standardnim metodama u laboratoriji Hemijskog fakulteta (Smiljković, 2019). Elementarnom analizom određen je sadržaj vodonika, azota, sumpora i organskog ugljenika. Sadržaj makro- i mikro-elemenata je određen metodom optičke emisione spektrometrije sa indukovano kuplovanom plazmom (ICP-OES) na instrumentu Thermo Scientific Cap 6500 Duo ICP (*Thermo Fisher Scientific Cambridge UK*).

Hemijske analize vode, izrađivane su kao skraćene terenske hemijske analize podzemne vode, kišnice i procedne vode iz pećine Peč u okviru laboratorija na Rudarsko-geološkom fakultetu. Izvršeno je utvrđivanje sadržaja mikrokomponenti u određenim uzorcima voda u Laboratoriji Hidroelektrane na Trebišnjici, Trebinje i u laboratorijama Hemijskog fakulteta.

REZULTATI I DISKUSIJA

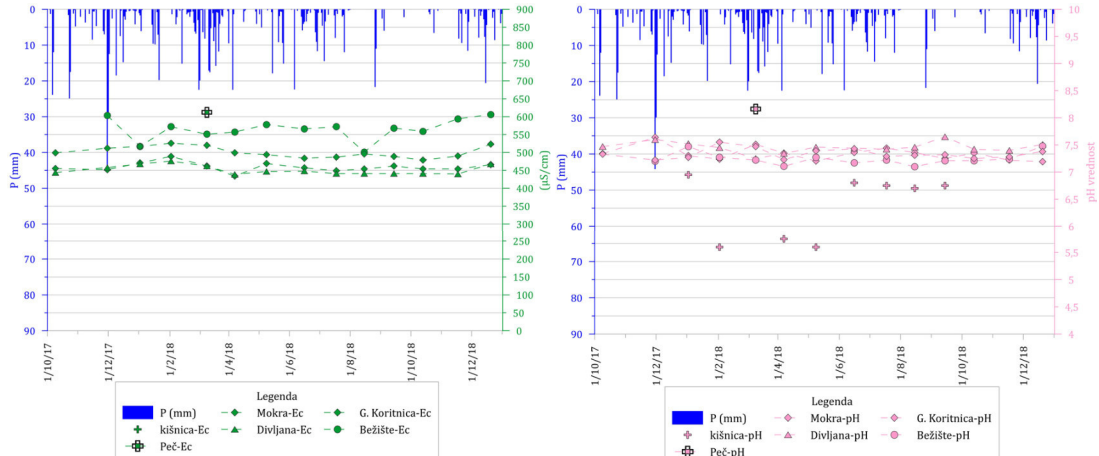
Sadržaj kalcita u uzorcima stena prelazi 88% (u oblasti pećine Peč preko 97%), stoga ne čudi jako izražena karstifikacija i formiranje kanala i kaverni metarskih dimenzija. Takođe, može se zaključiti da sastav stena na istočnim padinama Suve planine pogoduje procesu karstifikacije i njegovom brzom napredovanju, naročito u kombinaciji sa tektonskim pokretima koji su izazvali izdizanje antiklinale i pucanje slojeva krečnjaka, samim tim i nastanak epikarsta na ovom terenu nije upitan.

Procesi i reakcije koje se odvijaju u sistemu voda-zemljište-epikarst (stena) u nadizdanskoj zoni karstne izdani se mogu pratiti kroz rezultate analiza kvaliteta (sastava) vode koja u ovim procesima učestvuje, a čije prisustvo i omogućava da se određene hemijske i biohemijske reakcije odigraju u podzemlju. Voda u karstni sistem dospeva iz spoljašnosti u vidu infiltriranih padavina ili u vidu poniranja površinske vode, što je u slučaju Suve planine jako retko. Vrednosti pH i specifične električne provodljivosti (Ec) koje su izmerene u prokapnoj vodi pećine Peč pokazale su da postoje značajne promene u kvalitetu vode koja se filtrirala kroz zemljište, epikarst i karstifikovani krečnjak u povlaci pećinske tavanice, u odnosu na kvalitet (osnovi sadržaj jona) kišnice. U slučaju stena koje su sačinjene od karbonata, u kojem dominira kalcit, pH kišnice će se odmah nakon infiltracije sa početnih vrednosti pH=5-6 u kontaktu sa krečnjačkim stenama povećati na pH=8-10 (Sparks, 1995). Sposobnost zemljišta za razmenljivu adsorpciju jona se povećava sa povećanjem pH rastvora sa kojim se zemljište nalazi u ravnoteži. Tako se pri povećanju pH sredine od 6-11 kapacitet razmene jona može povećati 2-3 puta (Jakovljević et al, 2000), pa je navedeno povećanje izmerenih parametara sastava prokapne vode očekivano. Kasniji procesi koji se odvijaju u izdani: retardacija i/ili izmena jona, adsorpcija/desorpcija, apsorpcija i difuzija, koji se odvijaju između jona u „novoj“ vodi (infiltrirane kišnice) sa jedne strane i podzemne vode koja se već nalazi u izdani tj. krečnjačkih stena sa druge strane, će dovesti do ujednačavanja vrednosti pH u vodi koja na kraju ističe iz karstnih vrela. Vrednosti parametara koje su merene u procednoj vodi pećine: Ec od 204 do 513 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i pH od 7,42 do 8,42 (Slika 1), su konstantno bile mnogo više od vrednosti izmerenih u kišnici: Ec<100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i pH<6. Vrednosti pH i Ec izmerene u procednoj vodi, upoređene sa vrednostima u kišnici ili u podzemnoj vodi, u stvari pokazuju da je voda prošla kroz sloj koji ju je obogatio mineralnim materijama, a koji nije u potpunosti diktiran sadržajem kalcijuma, magnezijuma i bikarbonata.

Vrednosti Ec u procednoj vodi su za 32% više od vrednosti u podzemnoj vodi karstnih vrela Mokra i Divljana, a za oko 15% su više nego u podzemnoj vodi karstnih vrela Gornja Koritnica i Bežište, dok su u odnosu na vrednosti Ec u kišnici više čak 13 puta, tako da se može zaključiti da se u tlu i epikarstu odvija intenzivno bogaćenje infiltrirane vode mineralnim materijama (Slika 1). Kišnica koja se infiltrira i prihranjuje karstnu izdan je samo malo izmenjenog sastava, ukoliko uporedimo lokacije Mokra i pećina Peč, što ukazuje da prokapna voda u pećini Peč ima znatno izmenjen sastav baš usled prolaska kroz epikarst i tanak sloj karstifikovanog krečnjaka (< 9 metara). Vrednosti tri količinski najzastupljenija jona (Ca^{2+} , Mg^{2+} i HCO_3^-) u procednoj i podzemnoj vodi na karstnim vrelima (Mokra, Divljana, Bežište i Gornja Koritnica) ne razlikuju se mnogo, pa se na osnovu ovoga može zaključiti da je u procednoj vodi sadržaj drugih (mikro) elemenata veći od sadržaja istih tih elemenata u podzemnoj vodi koja se drenira na vrelima u podnožju istočnih padina Suve planine.

Voda u vidu kišnice, prilikom infiltriranja u podzemlje ima niske vrednosti pH (pH=5,45-6,95), i tokom filtracije kroz stene se menja i počinje da odražava sastav sredine kroz koju se kreće, pa je tako pH vrednost u prokapnoj vodi od 7,42 do 8,42. Proces izjednačavanja, u vrelima sa dubljim zaleganjem kanala duž kojih se podzemna voda duže kreće (Mokra i Divljana), je intenzivniji i konstantan. Na vrelu Bežište nije bilo dovoljno vremena za alkalizaciju infiltrirane kišnice, što pokazuje postojanje uticaja epikarsta, koji je detektovan na znatnom delu površine koja predstavlja oblast prihranjivanja vrela Bežište, značajniji. Sastavom epikarsta, naravno da dominira krečnjak, međutim, sekundarni sastojci utiču na smanjenje pH vrednosti vode, a usled povišenog sadržaja ugljen-dioksida, kao i usled postojanja organske materije u epikarstu. Ukoliko uzmemo u obzir i sastav analiziranog zemljišta (Petrović, 2020), opet možemo uočiti povišene sadržaje određenih elemenata, koji utiču na povećanje specifične električne provodljivosti u podzemnoj vodi vrela Bežište. Koncentracija gvožđa u uzorcima zemljišta dostiže 54 mg/g, koncentracija kalijuma skoro 20 mg/g, a natrijuma 4 mg/g. Rezultati hemijskih analiza pokazuju i da su u vodi karstnog vrela Bežište koncentracije kalcijuma u proseku za 10-15% više od onih koje su

zabeležene u podzemnoj vodi sa vrela Mokra i Divljana. Razlika u koncentraciji je posledica pojačanog rastvaranja kalcita iz krečnjaka u otvorenoj epikarstnoj izdani, kojom se delimično prihranjuje izdan koja se drenira na vrelu Bežište. Pojačano rastvaranje krečnjaka dešava se usled povišene koncentracije ugljen-dioksida koji potiče iz zemljišta, kao i usled potpune otvorenosti zone prihranjivanja ovog vrela. Koncentracije magnezijuma na vrelu Bežište su u proseku niže od onih na vrelima Mokra, Divljana i Gornja Koritnica, a niže vrednosti koncentracija Mg^{2+} se, takođe, mogu objasniti dužinom boravka vode u podzemlju, pošto je bogaćenje podzemne vode jonima magnezijuma sporije usled manje rastvorljivosti magnezijum karbonata. Koncentracije bikarbonata u podzemnoj vodi vrela Bežište su uglavnom više, a pokazuju i najveću vrednost standardne devijacije indikujući da je mešanje podzemne vode iz epikarstne i karstne izdani intenzivnije.



Slika 1. Vrednosti Ec i pH u kišnici, prokapnoj vodi i podzemnoj vodi karstnih vrela (preuzeto iz Petrović, 2020)
Figure 1. Values of Ec and pH in rainwater, drip water and spring water (from Petrović, 2020)

Brzina filtracije podzemne vode kroz epikarstnu izdan, proračunata na osnovu opita trasiranja i tokom opita sa kontaminantom (Petrović, 2022; Petrović, 2020), manja je od brzine cirkulacije kroz karstnu izdan. Fiktivna brzina kretanja vode kroz sloj epikarsta je bila u opsegu od 0,0041 m/s do 0,006 m/s, a virtuelna brzina kretanja podzemne vode kroz karstnu izdan koja se drenira na Gornjoj Koritnici je bila 0,048 m/s (Petrović J, 1958). Međutim, vrednosti filtracije vode i kroz epikarstnu izdan i kroz karstnu izdan su u skladu sa vrednostima koje su dobijene za karstnu izdan na prostoru karstnih terena istočne Srbije (Stevanović, 1991).

ZAKLJUČAK

Kišnica se u atmosferi obogaćuje neorganskim i organskim materijama pre svega rastvaranjem gasova (NO_x , CO_2 , SO_x ...) i rastvaranjem materijala koji se nalazi u česticama prašine i čađi. Kišnica uglavnom ima niže vrednosti pH od 5,4 do 6,9. Srednji sadržaj rastvorenih mineralnih materija, proračunat iz vrednosti specifične električne provodljivosti (US EPA, 1992), je nizak i iznosi od 7 do 53 mg/l, a niže vrednosti su povezane sa periodima izlučivanja većih količina padavina (prolećni i letnji pljuskovi).

Kroz zemljište migriraju i cirkulišu različite supstance u obliku pravih i koloidnih rastvora, a u njemu se odvija i mnoštvo hemijskih reakcija. Kao rezultat kretanja supstanci i biološke aktivnosti organizama u zemljištu se formiraju slojevi određenih fizičko-hemijskih i bioloških osobina. Na taj način u zemljištu se odvija prvi korak u promeni sastava infiltrirane površinske vode i njen postepen prelaz u podzemnu vodu.

Prokapna voda je značajno izmenjenog sastava u odnosu na sastav kišnice, što se ogleda u uvećanim vrednostima pH, specifične električne provodljivosti, koncentracije kalcijuma, magnezijuma i bikarbonata. Promene su najvećim delom nastale tokom filtracije vode kroz zemljišni sloj, kao i kroz epikarst u čijem sastavu su sadržane određene količine zemljišnog materijala. U zemljištu se dešavaju i određeni biohemijski procesi usled delovanja živog sveta i produkata njihovog metabolizma (bogaćenje rastvora ugljen-dioksidom, azotnim jedinjenjima, huminskim kiselinama i sl.), tako da je proces izmene sastava infiltrirane vode intenzivan na jako malom rastojanju.

Određeni mikroelementi su zabeleženi u izuzetno niskim koncentracijama u podzemnoj vodi karstnih vrela ili nisu uopšte detektovani. Međutim, ukoliko koncentracije svih mikroelemenata u procednoj vodi i podzemnoj vodi uporedimo sa osrednjenim koncentracijama mikroelemenata koje su detektovane u uzorcima zemljišta vidi se da su koncentracije određenih elemenata značajno opale. Sa druge strane je došlo do višestrukog povećanja koncentracija određenih mikroelemenata u podzemnoj vodi koja ističe na karstnim vrelima, u odnosu na koncentracije koje su beležene u uzorcima zemljišta.

Porast pH i specifične električne provodljivosti, zajedno sa pratećim povećanjem sadržaja osnovnog jonskog sastava i mikroelemenata, ukazuje na značajne izmene sastava infiltrirane vode na samom ulasku u karstni izdanski sistem. Nakon nastavka filtracije kroz karstnu izdan, procesi rastvaranja krečnjaka koji obogaćuju sastav podzemne vode kalcijumom i magnezijumom sa jedne, a bikarbonatima sa druge strane, preuzimaju primat nad ostalim hemijskim procesima. Stoga podzemna voda na vrelima ima katjonski sastav u kojem potpuno dominira kalcijum (>85%ekv), magnezijum(~12%ekv), a u anjonskom bikarbonati (>95%), dok su kalijum+natrijum, sulfati i hloridi prisutni u koncentracijama koje ne prelaze 3%ekv.

Literatura:

- Bakalowicz M., 2005: Karst groundwater: a challenge for new resources. *Hydrogeology Journal*, Vol. 13, pp. 148–60
- Ford D.C. & Williams P.W., 2007: *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, p. 562
- Gunn J., 1985: A conceptual model for conduit flow dominated karst aquifers, in *Karst Water Resources* (eds. Gultekin Gunay, A. Ivan Johnson; Proceedings of the Ankara - Antalya Symposium, July 1985), IAHS Publ. no. 161, pp. 587-596
- Jakovljević M., Blagojević S., Raičević V., 2000: Hemija i mikrobiologija voda, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd-Zemun, p. 89
- Klimchouk A.B., 1995: Karst Morphogenesis in the epikarstic zone, *Cave and Karst Science*, Vol. 21, No. 2, Transactions of the British Cave Research Association, pp. 45-50
- Klimchouk A.B., 2004: Towards defining, delimiting and classifying epikarst: Its origin, processes and variants of geomorphic evolution, Speleogenesis and evolution of karst aquifers, *The Virtual Scientific Journal*, pp. 1-13
- Kogovšek J., 2010: Characteristics of percolation through the karst vadose zone, *Karst Research Institute ZRC SAZU*, Postojna, p. 168
- Petrović B., 2020: Funkcionisanje i uticaj epikarstane režim, bilans kvaliteta podzemnih voda istočnog delakarstnog sistema Suve planine, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitetu Beogradu
- Petrović B., 2022: The Flow Conditions in the Epikarst Zone of a Karst Aquifer. Case Study: Suva planina Mt., East Serbia, Proceedings of "Man and Karst 2022", *Speleologia Iblea*, ISBN: 978-88-947661-1-0
- Petrović B., Marinović V., 2021: Primena diskretnog autoregresivno – krosregresivnog modela pokretnog preseka za prognozu dnevnih vrednosti izdašnosti vrela Mokra i Divljana, *Zapisnici Srpskog Geološkog Društva, Srpsko geološko društvo*, Beograd, ISSN: 0372-9966, pp. 1-14
- Petrović B., Stevanović Z., Marinović V., Ignjatović S., 2022: Prostorna analiza epikarstauokviru karstnog sistema istočnog dela Suve planine, XVI Srpski simpozijum hidrogeologije sa međunarodnim učešćem, Univerzitetu Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, pp. 365-370, ISBN: 978-86-7352-380-4, Zlatibor
- Petrović B., Marinović V. & Stevanović Z. Characterization of the eastern Suva Planina Mt. karst aquifer (SE Serbia) by time series analysis and stochastic modelling. *Environ Earth Sci* **82**, 222 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10911-5>
- Petrović J., 1958: Kraška vrela Suve planine i njihov značaj, *Zbornik radova Geografskog instituta PMF*, sv. 5, Beograd, pp. 45-60
- Smiljković Ž., 2019: Geohemijska karakterizacija zemljišta sa istočnih obronaka Specijalnog rezervata prirode „Suva planina“, *Diplomski rad*, Hemijski fakultet, Univerzitet u Beogradu, p. 47
- Sparks D., 1995: *Environmental Soil Chemistry*, Academic Press, Elsevier, p. 267
- Stevanović Z., 1991: Hidrogeologija karsta Karpato-Balkanida istočne Srbije i mogućnosti vodosnabdevanja, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, p. 245
- Trček, B., 2003: Epikarst zone and karst aquifer behaviour – A case study of the Hubelj catchment, Slovenia, *Geološki zavod Slovenije*, Ljubljana, p. 100

- Trček B. & Krothe N., 2004: Oxygen isotope studies of major karst springs on the Mitchell plain (USA) and the Trnovski Gozd karst plateau (Slovenia), in: Epikarst (Jones, W., Culver, D. & J. Herman Eds.), Karst Waters Institute Special Publication 9, pp. 92–98, Charles Town
- US EPA, 1992: APHA Standard Methods #2510
- Williams P.W., Fowler A., 2002: Relationship between oxygen isotopes in rainfall, cave percolation waters and speleothem calcite at Waitomo, New Zealand, Journal of hydrology, New Zealand Hydrological Society, vol. 41, No 1, Christchurch, New Zealand, pp. 53-70
- Williams P.W., 1983: The role of the subcutaneous zone in karst hydrology, Journal of Hydrology, 61, pp. 45-67