

UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XV SRPSKI SIMPOZIJUM
O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem
ZBORNİK ADOVA



KOPAONIK GRAND OTEL & SPA
14 17. septembar 2016. god



XV SRPSKI SIMPOZIJUM O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem

ZBORNİK RADOVA

IZDAVAČ:

Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet
Đušina 7, Beograd

ZA IZDAVAČA:

Prof. dr Dušan Polomčić, dekan
Rudarsko-geološki fakultet

TEHNIČKI UREDNICI:

Dr Ana Vranješ, dipl.inž
Milan Vukićević, dipl.inž
Sonja Drobac

TIRAŽ:

150 primeraka

ŠTAMPA:

Štamparija Grafolik, Beograd 2016.

Naučno-nastavno veće Rudarsko-geološkog fakulteta na sednici održanoj 18.06.2015. dalo je saglasnost za organizovanje XV srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem u organizaciji Departmana za hidrogeologiju.

CIP - Katalogizacija u publikaciji - Narodna biblioteka Srbije, Beograd

556(082)
628.1(082)

СРПСКИ симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем (15; 2016; Копоник)
Zbornik radova / XV Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Kopaonik 14-17. septembar 2016. godine. - Beograd : Univerzitet, Rudarsko-geološki fakultet, 2016 (Beograd : Grafolik).
- [22], 690 str. : ilustr.; 30 cm

Na vrhu nasl. str.: Departman za hidrogeologiju. - Radovi ćir.i lat. -
Tiraž 150. - Str. [5-6]: Uvodna reć organizatora / Dejan Milenić, Zoran Stevanović. - Abstracts. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7352-316-3

a) Хидрогеологија - Зборници b) Снабдевање водом - Зборници
COBISS.SR-ID 225745420

ORGANIZACIONI ODBOR:

Predsjednik:

Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.

Generalni sekretar i sekretar organizacionog i naučnog odbora:

dr Ana Vranješ, dipl. inž.

Članovi:

1. *Prof. dr Olivera Krunić, dipl. inž.*
2. *Prof. dr Vesna Ristić Vakanjac, dipl. inž.*
3. *Prof. dr Zoran Nikić, dipl. inž.*
4. *Dr Vladimir Beličević, dipl. inž.*
5. *Dr Adam Dangić, dipl. inž.*
6. *Mihajlo Mandić, dipl. inž.*
7. *Velizar Nikolić, dipl. inž.*
8. *Dragan Mitrović, dipl. inž.*
9. *Dejan Drašković, dipl. inž.*
10. *Ivan Đokić, dipl. inž.*
11. *Branko Ivanković, dipl. inž.*
12. *Zorica Vukićević, dipl. inž.*
13. *Milan Radulović, dipl. inž.*
14. *Uroš Urošević, dipl. inž.*
15. *Zoran Radenković, dipl. inž.*

NAUČNI ODBOR:

Predsjednik:

Prof. dr Zoran Stevanović, dipl. inž.

Članovi:

1. *Prof. dr Nenad Banjac, dipl. inž.*
2. *Prof. dr Petar Milanović, dipl. inž.*
3. *Prof. dr Nadežda Dimitrijević, dipl. inž.*
4. *Prof. dr Borivoje Mijatović, dipl. inž.*
5. *Prof. dr Milan Dimkić, dipl. inž.*
6. *Prof. dr Mićko Radulović, dipl. inž.*
7. *Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.*
8. *Prof. dr Milojko Lazić, dipl. inž.*
9. *Prof. dr Veselin Dragišić, dipl. inž.*
10. *Prof. dr Milenko Pušić, dipl. inž.*
11. *Prof. dr Petar Papić, dipl. hem.*
12. *Prof. dr Zoran Nikić, dipl. inž.*
13. *Dr Milenko Vasiljević, dipl. inž.*
14. *Prof. dr Vojislav Tomić, dipl. inž. (u penziji)*
15. *Prof. dr Ivan Matić, dipl. inž. (u penziji)*
16. *Prof. dr Slobodan Ujasinović, dipl. inž. (u penziji)*
17. *Dr Metka Petrič, dipl. inž.*
18. *Dr Tamara Marković, dipl. inž.*
19. *Prof. dr Neđo Đurić, dipl. inž.*
20. *Dr Konstantin Jovanović, dipl. inž.*
21. *Jugoslav Nikolić, dipl. inž.*

UREĐIVAČKI ODBOR:

Predsjednici:

Prof. dr Dušan Polomčić, dipl. inž.

Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.

Članovi:

Prof. dr Petar Dokmanović, dipl. inž.

Prof. dr Igor Jemcov, dipl. inž.

Nenad Toholj, dipl. inž.

Boban Jolović, dipl. inž.

Spasoje Glavaš, dipl. inž.

Ivana Demić, dipl. inž.

Žarko Veljković, dipl. inž.

Andrej Pavlović, dipl. inž.

Milan Vukićević, dipl. inž.

ORGANIZATOR SIMPOZIJUMA:

UNIVERZITET U BEOGRADU

RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

u saradnji sa

DRUŠTVOM GEOLOŠKIH INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

SRPSKIM GEOLOŠKIM DRUŠTVOM

NACIONALNIM KOMITETOM IAH

SPONZORI:

GENERALNI SPONZOR:

REHAU d.o.o.

G.P. KOMBO d.o.o.

THERMO OPTIMAL PROCESS COMPANY d.o.o.

POKROVITELJ:

MILLENNIUM TEAM

SPONZORI:

DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU, RUDARSKO GEOLOŠKI FAKULTET

UNIVERZITET U BEOGRADU, RUDARSKO GEOLOŠKI FAKULTET

BEOGEOAQUA d.o.o.

GECO d.o.o.

INSTITUT ZA VODOPRIVREDU „JAROSLAV ČERNI“

SPA OVČA

DONATORI:

Ibis Inženjering d.o.o.

Hidrogeocentar d.o.o.

Uvodna reč organizatora

Nakon 10 godina od simpozijuma hidrogeologa održanog u Herceg Novom 2002. godine (u tadašnjoj državnoj zajednici Srbije i Crne Gore), i više od 40 godina od kako su se hidrogeolozi istraživači inženjerske geologije u bivšoj SFRJ Jugoslaviji prvi put okupili da na zajedničkom skupu razmene iskustva i utvrde pravce razvoja ovih primenjenih geoloških disciplina, XIV srpski hidrogeološki simpozijum održan je od 17-20. maja 2012., na Zlatiboru, čime je ponovo uspostavljen kontinuitet nacionalnih srpskih hidrogeoloških Simpozijuma.

Ovaj na neki način jubilarni XV-ti srpski hidrogeološki simpozijum održava se na Kopaoniku, od 14-og do 17-og septembra 2016. godine. Njime se potvrđuje ustanovljeni kontinuitet sa prethodnog XIV Simpozijuma i definitivno izgrađuje put ka regularnim četvorogodišnjim ciklusima održavanja. Uz, takođe redovno četvorogodišnje održavanje nacionalnih geoloških Kongresa (samo u ciklusima pomerenim za dve godine u odnosu na hidrogeološke), stiže se i stvara prilika da naše kolege hidrogeološke struke u redovnim dvogodišnjim ciklusima prezentuju svoje radove i dostignuća.

Na XV-om simpozijumu će biti prezentovan rekordan broj radova, ukupno 116, što je više od prethodnog (tada rekordnog sa 108), a dvostruko više od proseka iz poslednjih decenija prošlog veka sa Simpozijuma koji je uključivao i širi prostor, ali i dve srodne geološke discipline. Uz ove podatke, posebno se naglašava činjenica da će u prvom danu ovogodišnjeg Simpozijuma, na posebnoj tematskoj sednici biti prezentovani tematski referati kolega iz svih 6 država koje su nastale nakon raspada SFRJ i gde će se na jednom mestu videti dostignuća i pravci razvoja u svakoj od država. Na posebno organizovanom okruglom stolu, razmotriće se i uslovi i mogućnosti zajedničke saradnje na međudržavnim projektima kao i zajednička apliciranja za naučne projekte koje finansiraju nadnacionalne institucije poput EU, UN itd. Za XV-ti simpozijum prijavljen je veliki broj učesnika iz Srbije i regiona sa preko 170 autora na radovima. Uslovi u kojima se XV simpozijum održava su, iako ne sjajni, ipak bolji za geološku struku i nauku u Srbiji. Poslednji Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima iz 2015. uvažio je dobar broj stavova strukovnih i naučnih institucija, pa iako i dalje geolozi nemaju samostalni Zakon o geološkim istraživanjima, celokupna geološka nauka i struka kreću se u boljem pravcu nego što je to bilo tokom 2011-te i kasnijih godina.

Simpozijum će se odvijati u paralelnom radu u tri osnovne grupe sa više tematskih celina. Pored prezentacije radova, biće održani pomenuti okrugli sto na temu aktuelnog stanja i statusa hidrogeološke struke, biće realizovana stručna ekskurzija po južnom i zapadnom obodu kopaoničkog masiva, kao i panel diskusije sa mladim inženjerima i studentima o njihovom statusu i perspektivama struke koje su uspostavljene na prošlom Simpozijumu. Kao i na Zlatiboru 2012., posebna celina biće studentski radovi koji postaju tradicionalni deo Simpozijuma. Iskreno će zadovoljstvo biti susret sa kolegama koji su 2012 te izlagali radove kao studenti, a na ovom Simpozijumu kao već formirani inženjeri.

Organizacioni i Naučni odbor su radove u ovom Zborniku organizovali po hronološkom principu, odnosno po vremenu pristizanja radova, kako ne bi došlo do bilo kakvih „razmišljanja“ o vrednostima i drugim valorizovanjima radova, a imajući u vidu da je svaki revidovan kako u apstraktu tako i u punom radu.

Imajući u vidu složene ekonomske uslove u kojima se Simpozijum organizuje, organizatori izražavaju posebnu zahvalnost sponzorskom pulu sačinjenom od desetak poznatih domaćih i stranih organizacija i kompanija, posebno generalnom sponzoru simpozijuma kompaniji REHAU (sa pratećim kompanijama GP Kombo i TOP Company) koji već duži niz godina aktivno saraduje sa našim kolegama hidrogeolozima, posebno u domenu istraživanja i eksploatacije geotermalnih resursa i energije.

Bez podrške naših domaćina bilo bi jako teško realizovati ambiciozan program koji je planiran tokom XV simpozijuma. Posebno se zahvaljujemo menadžmentu i osoblju hotela „Grand“, kao i drugim hotelima iz sastava MK Grupe na Kopaoniku na prijemu i pomoći u organizaciji boravka i uslova za rad. Zahvaljujući se i svim učesnicima na izuzetnom odzivu, želimo srdačnu dobrodošlicu, ugodan boravak i uspešan rad simpozijuma.

Predsednik Organizacionog odbora
Dejan Milenić

Predsednik Naučnog odbora
Zoran Stevanović

SADRŽAJ

PLENARNA PREDAVANJA

Zoran Stevanović

O stvaranju preduslova za održivo korišćenje resursa podzemnih voda za vodosnabdevanje u Srbiji.....	1
--	---

Dejan Milenić, Ana Vranješ

Istraživanje i pravci razvoja geotermalnih resursa u konceptu energetskog razvoja Republike Srbije u XXI veku.....	13
--	----

Dušan Polomčić, Dragoljub Bajić, Jelena Ratković

Reprezentativnost hidrodinamičkih modela – prikaz savremenih tehnika u izradi i etaloniranju modela.....	33
--	----

Milan Dimkić, Miodrag Milovanović

Mesto podzemnih voda u rešavanju problematike voda u Srbiji.....	51
--	----

TEMATSKA PREDAVANJA

Boban Jolović, Nenad Toholj, Spasoje Glavaš

Istorijat hidrogeoloških istraživanja na teritoriji Republike Srpske.....	63
---	----

Mićko Radulović, Zdenka Ivanović, Milan M. Radulović, Momčilo Blagojević, Marina Jovanović

Mjesto i uloga podzemnih voda u strategiji upravljanja vodnim resursima Crne Gore.....	71
--	----

Kostadin Jovanov

Mesto i uloga podzemnih voda u Republici Makedoniji.....	89
--	----

Metka Petrič

Pregled novijih raziskav in aktivnosti na področju hidrogeologije v Sloveniji.....	97
--	----

Tamara Marković

Promjene u hidrogeološkim istraživanjima u Hrvatskoj tijekom petnaestogodišnjeg perioda.....	105
---	-----

Zoran Stevanović

Stanje i perspektive sistematskih hidrogeoloških istraživanja u kontekstu održivog razvoja Srbije.....	107
---	-----

VODOSNABDEVANJE I UPRAVLJANJE PODZEMNIM VODAMA

Ninoslav Spasojević

Hidrogeološki resursi Semberije u svrhu vodosnabdjevanja.....	117
---	-----

Zoran Popović, Ljiljana Popović, Dragan Mihajlović

Likvidacija bunara u cilju očuvanja kvaliteta podzemnih voda na izvorištu "Coca-cola" u Zemunu.....	123
--	-----

Vladimir Stojadinović, Dušan Stojadinović

Hidrogeološke karakteristike aluviona reke Čemernice.....	129
---	-----

Ferid Skopljak

Rejonizacija podzemnih voda područja Ilidže kod Sarajeva, Bosna i Hercegovina.....	133
---	-----

Aca Udicki, Zoran Nikić

Znanje hidrogeologa - strateški resurs Srbije.....	135
--	-----

**Dušan Polomčić, Dragoljub Bajić, Jelena Močević, Slavko Špadijer,
Dejan Drašković**

Simulacija eksploatacionog režima i određivanje radijusa uticaja izvorišta podzemnih voda „Pramenac“ i „Beljina“ (Čačak).....	141
--	-----

Goran Marinković, Katarina Samolov, Marija Malbaša, Nikola Predić

Hidrogeološki potencijal kvartarnih nanosa u slivu Puste reke.....	147
--	-----

**Ranko Vukićević, Ivana Obradović, Ivana Đinđić, Tijana Vinčić,
Ljupka Mrkonja, Dejan Drašković**

Analiza rezultata monitoringa režima podzemnih voda na izvoristu
„Petrovaradinska ada“ nakon utiskivanja drenova..... 153

**Petar Dokmanović, Zoran Stevanović, Bojan Hajdin, Saša Milanović,
Vesna Ristić – Vakanjac, Veljko Marinović**

Koncept proširenja i unapređenja nacionalne
monitoring mreže podzemnih voda..... 159

**Veljko Marinović, Branislav Petrović, Zoran Stevanović,
Saša Milanović, Ljiljana Vasić**

Procena kvalitativnog pritiska na podzemne vode na primeru
karstnog platoa Babine (JZ Srbija)..... 167

**Ivana Đinđić, Milan Planinčić, Ivana Obradović, Tijana Vinčić,
Slavko Špadijer, Dejan Drašković, Ljupka Mrkonja**

Uticaj odvodnjavanja površinskog kopa „Tamnava“ na
režim podzemnih voda izvorista „Kalenić“..... 173

Nenad Toholj, Vojislav Tomić, Boban Jolović, Spasoje Glavaš

Nova saznanja u istraživanju pitke vode izvorista “Banjica”
u Raševu, opština Milići..... 179

**Sunčica Ninković, Nebojša Atanacković, Sava Magazinović,
Jakov Andrijašević, Mihailo Šević**

Ocena kvaliteta i mogućnost korišćenja podzemnih voda
za piće i navodnjavanje u slivu reke Ralje..... 183

Vlado Savić, Peter Frantar, Mišo Andjelov, Jože Uhan

Analiza vodnih virov in optimizacija mreže postaj
podzemnih voda Ljubljanskega polja..... 189

Metka Petrič, Janja Kogovšek, Blaž Kogovšek

Uporaba sledilnih poskusov z umetnimi
sledili na Slovenskem krasu..... 195

Milenko Pušić, Milan Dimkić

- Primer analize uticaja propusnosti rečnog dna i međusloja
izdani na strujanje podzemnih voda ka bunaru..... 201

**Branko Ivanković, Miloško Lazić, Petar Begović, Božidar Ivanković,
Nataša Bajić**

- Mogućnost višenamjenskog korišćenja podzemnih voda
na širem području Kokora, opština Prnjavor..... 207

Petar Begović, Branko Ivanković

- Hidrogeološki potencijal zapadne Republike Srpske
sa aspekta flaširanja podzemnih voda..... 213

Predrag Pajić, Uroš Urošević, Dušan Polomčić

- Analiza uticaja uspora hidroelektrane „Đerdap 1“ na
meliorativna područja u priobalju Dunava –
primer meliorativnog područja „Nera-kanal DTD“..... 219

Neven Miošić, Natalija Samardžić

- Definiranje hidrogeoloških odnosa deponije anodnog mulja
„Dobro selo“ i snažnih krških izvora kod Mostara, Bosna i Hercegovina.... 225

Daniela Radoš, Dragan Budošan

- Osvrt na postojeću zakonsku regulativu i procedure iz oblasti istraživanja
i korišćenja resursa podzemnih voda i geotermalnih resursa..... 235

GEOTERMALNA ENERGIJA**Ninoslav Spasojević**

- Istorijat istraživanja geotermalne energije
sa prikazom stanja geotermalnih bušotina Semberije..... 241

Ivana Demić, Andrey Antropov

- Procena uticaja pretakanja CO₂ iz ležišta Bečej u pliće
porozne slojeve te interpretacija podataka u sklopu
aktivnosti na projektu Mirecol..... 247

Andrej Lapanje, Dušan Rajver, Nina Rman, Joerg Prestor

Vizija razvoja rabe geotermalne energije v Sloveniji.....	249
---	-----

Slobodan Kolbah, Mladen Škrlec

Kvantifikacija indiciranog energetskeog geotermalnog potencijala Hrvatske.....	253
--	-----

Branimir Lazić, Jovan Nikolić, Vladimir Lazić

Prikaz rezultata hidrogeotermalnih istraživanja na području JKP gradske toplane u Nišu.....	259
---	-----

Tamara Marković, Staša Borović, Ozren Larva

Primjena stabilnih izotopa kisika i vodika u istraživanjima termalnih sustava.....	265
--	-----

Nataša Ćuković Ignjatović, Dušan Ignjatović

Unapređenja energetske efikasnosti stambenih zgrada u otvorenim gradskim blokovima.....	269
---	-----

Željko Kljajić, Miloško Lazić, Olivera Krunic

Značaj poznavanja geotermalnih gradijenata u istraživanju termomineralnih voda Kostolačkog neogenog basena.....	275
---	-----

Srdjan Milenković, Velizar Nikolić

Istraživanje i korišćenje podzemnih voda i geotermalnih resursa u novom zakonu o rudarstvu i geološkim istraživanjima - kratak osvrt.....	277
---	-----

Nebojša Stanić

Inovativno korišćenje subgeotermalne energije – RAUGEO HPR dubinske sonde.....	279
--	-----

Dejan Milenić, Ana Vranješ,

Procena geotermalne potencijalnosti AP Vojvodina.....	283
---	-----

Ivan Deljanin, Nenad Doroslovac, Đuro Milanković, Ana Vranješ, Dejan Milenić

Uslovi i način izrade duboke geotermalne sonde na delu kopaoničkog masiva.....	291
--	-----

Nenad Doroslovac, Milan Vukićević, Đuro Milanković

Višenamensko korišćenje termomineralnih voda na primeru Toplica Sveti Martin u Hrvatskoj.....	297
--	-----

Dejan Milenić, Ana Vranješ,

Mesto i uloga subgeotermalnih izvora energije u konceptu povećanja energetske efikasnosti u zgradarstvu.....	303
---	-----

**Ivan Đokić, Mirko Čekić, Gordana Letić, Sibela Oudech,
Vlade Čanić, Bojan Nikolić**

Prilog poznavanju hidrogeotermalne potencijalnosti područja Sente - istražno-eksploatacioni bunar Se-1/H.....	309
--	-----

Nina Rman, Andrej Lapanje, Tjaša Kanduč, Kim Mezga

Razvoj podzemne vode v regionalnih geotermalnih vodonosnikih vzhodne Slovenije.....	315
--	-----

TERMOMINERALNE VODE**Jana Štrbački, Maja Todorović, Marina Ćuk, Jakov Andrijašević,
Petar Papić**

Hidrohemijska karakterizacija mineralnih voda Srbije primenom multivarijantne statističke analize.....	321
---	-----

Milan Tomić, Žarko Veljković

Hidrogeološke karakteristike termomineralnih-lekovitih voda Bačke.....	325
--	-----

Milan Tomić, Katarina Samolov, Žarko Veljković, Goran Marinković

Prikaz istraživanja mineralizovanih podzemnih voda na području južnog i srednjeg Banata.....	329
---	-----

Marina Ćuk, Petar Papić, Igor Jemcov

Primena neparametarskih statističkih metoda na primeru analize radioaktivnih osobina podzemnih voda.....	333
---	-----

Nenad Doroslovac, Nevena Đerić, Ivan Deljanin, Bojan Dončev

Višenamensko korišćenje termomineralnih voda Rajčinovića banje..... 339

Goran Marinković, Petar Papić, Veselin Dragišić

Hidrogeološke strukture Sijarinske i Mladenovačke „Selters“ banje..... 345

**Olivera Krunić, Gordana Subakov – Simić, Slađana Popović,
Milojko Lazić, Željko Kljajić, Vladimir Šaraba**Hidrogeobiologija fototrofnih mikroorganizama u biofilmovima odabranih
pojava termomineralnih voda Srbije..... 351**Olivera Krunić, Milojko Lazić**Hidrogeobiologija i njen značaj kao naučne discipline
u hidrogeološkim istraživanjima..... 357**Jovan Nikolić, Vladan Đokić, Branimir Lazić, Slađana Živanović**

Pojava “Gorkih voda” u naselju Torda kod Žitišta..... 363

Vladan Đokić, Jovan Nikolić, Branimir Lazić

Pojava ugljikiselih voda na lokalitetu Borjak 2 u Vrnjačkoj banji..... 369

Maja Todorović, Petar PapićHidrohemijski podaci ispod granice detekcije
u hidrogeološkim istraživanjima..... 375**Eftimi Romeo, Amataj Sokrat, Zoto Jovan**About the possibility of sea water intrusion in Fushe Kuqe
gravely coastal aquifer; application of environmental
hydrochemical and isotope methods..... 381**Ivan Đokić, Sibela Oudech, Gordana Letić, Mirko Čekić, Vlade Čanić,
Bojan Nikolić**Specifičnosti prirodne mineralne vode “Mivela-Mg”
sa posebnim osvrtom na kvalitet resursa..... 383

HIDROGEOLOGIJA ŽIVOTNE SREDINE

Zoran Nikić, Petar Dokmanović, Nenad Marić

- Specifičnosti hidrogeoloških uslova terena Visok kraj i njihov uticaj na režim proticaja Visočice (istočna Srbija)..... 389

Milorad Kličković

- Rezultati hidrogeoloških istraživanja vrela Kravlje kod Niša..... 395

Branislav Petrović, Veljko Marinović

- Ocena prirodne ranjivosti podzemnih voda karstne izdani Suve planine.... 401

Marina Čokorilo Ilić

- Hidrološke i hidrogeološke specifičnosti reke Zalomke (istočna Hercegovina)..... 407

Zdravko Pantelić

- Hidrohemijske karakteristike karstnih vrela Pešterske visoravni..... 413

Tanja Petrović Pantić, Jovana Nikolov, Milan Tomić, Tamara Marković, Nataša Todorović

- Primena izotopskih analiza pri proučavanju podzemnih voda Vojvodine.... 419

Dejan Drašković, Dušan Polomčić, Slavko Špadijer, Ivana Đinđić, Tijana Vinčić, Ivana Obradović, Ljupka Mrkonja

- Metodologija istraživanja za potrebe zaštite izvorišta vodosnabdevanja grada Čačka i mogućnost usklađivanja sa važećim zakonskim regulativama..... 425

Vojislav Tomić

- Prilog poznavanju vodoprovodnosti stena sa pukotinskom strukturom poroznosti..... 431

Ljiljana Popović, Zoran Popović, Vesna Ristić Vakanjac, Boris Vakanjac, Marijana Mandić

- Trenutno stanje i moguće posledice nekontrolisane eksploatacije šljunka po životnu sredinu i vodosnabdevanje - primer Velike Morave..... 435

**Vesna Ristić Vakanjac, Marina Čokorilo Ilić,
Dušan Polomčić, Dragoljub Bajić, Nikola Vojvodić**

Analiza režima i bilans Gostiljskog vrela..... 441

**Igor Jemcov, Jovana Radosavljević, Jovana Šišović, Ana Mladenović,
Radmila Pavlović, Branislav Trivić**

Uticaj hidrotehničkog tunela HE "Piroć" na stanje podzemnih voda..... 447

Zdravko Pantelić

Hidrogeološke karakteristike i kvalitet podzemnih voda
karstnog vrela Milina glava..... 453

Tamara Marković, Željka Brkić, Ozren Larva

Distribucija teških metala (Fe, Mn, Zn i As) u aluvijalnom
vodonosniku Dravskog bazena..... 459

Igor Jemcov

Metod utvrđivanja eksploatacionog potencijala karstnih izvorišta..... 463

Risto Milošević, Nenad Toholj, Spasoje Glavaš, Boban Jolović

Uticaj rudarskih radova na režim i bilans podzemnih voda
sjevernog dijela Gatačkog ugljenog basena..... 471

Branimir Lazić, Milojko Lazić

Režim nitrata u podzemnim vodama izvorišta "Bogatić"..... 477

Dušan Polomčić, Dragoljub Bajić, Jelena Ratković, Marina Čokorilo Ilić

Bilans podzemnih voda na području površinskog kopa
„Tamnava-zapadno polje“..... 483

**Vladimir Živanović, Veselin Dragišić, Igor Jemcov, Sava Magazinović,
Jovana Radosavljević**

Određivanje zona sanitarne zaštite izvorišta podzemnih voda
na bazi ukupnog vremena kretanja vode..... 489

**Nebojša Atanacković, Veselin Dragišić, Vladimir Živanović,
Jana Štrbački, Sunčica Gardijan**

Regionalna analiza rizika od zagađivanja podzemnih voda pod
uticajem napuštenih rudarskih radova na prostoru Srbije..... 495

Đorđije Božović, Dušan Polomčić, Dragoljub Bajić

Predlog sanacije bunara sa horizontalnim drenovima na
Beogradskom izvorištu podzemnih voda..... 501

Garašić Mladen, Garašić Davor

Kraći prikaz istraživanja speleohidrogeoloških objekata
u Hrvatskoj u posljednjih 25 godina..... 507

Vladimir Lukić, Goran Jevtić, Ilija Oparušić, Ratko Bajčetić

Analiza kriterijuma za rekonstrukciju osmatračke mreže
pijezometara na prostoru Vojvodine..... 509

Jani Mulec

Preliminary screening of water catchment areas using bacterial
indicators at springs for sites managers; examples from Serbia..... 515

**Saša Milanović, Željko Zubac, Ljiljana Vasić, Radovan Grdinić,
Stanko Sorajić, Marija Cuca**

Analiza funkcionalnosti drenažnih bušotina
ankerskog polja na HE Grančarevo..... 517

Goran Jevtić, Milenko Pušić, Katarina Dubljanin

Uloga analize režima podzemnih voda u postupku razrade
hidrotehničkih rešenja uređenja prostora
- primer kompleksa "Sava park" u Šapcu..... 523

Vesna Ristić Vakanjac, Zoran Stevanović

Projekat KINDRA - inventar podataka o hidrogeološkim istraživanjima..... 529

Zlatko Ilijovski

Metodologija izrade karata ranjivosti podzemnih voda (metoda MVCRS).. 533

Ivan Deljanin, Milan Vukićević, Đuro Milanković

- Novi prilog poznavanju hidrogeoloških karakteristika
kopaoničkog granitoidnog masiva..... 539

Bojan Dončev, Milan Vukićević, Nevena Đerić,

- Prikaz rezultata istraživanja dela neogenog basena za
potrebe vodosnabdevanja fabrike „Vibac Balcani“ u Jagodini..... 547

**David Mitrinović, Miloš Perić, Jelena Zarić, Marija Perović,
Anđelka Petković, Milan Dimkić**

- Određivanje udela rečne vode u vodozahvatnim bunarima
uz Veliku Moravu – izvorište “Ključ”..... 555

Dragan Kaluđerović

- Uloga matematičkog modeliranja transporta zagađenja u
projektovanju bio barijera za remedijaciju nitrata u podzemnim vodama.... 561

Jovana Radanović, Iva Nikolić, Vladimir Stojadinović

- Konceptualni hidrogeološki model aluvijalne izdani na primeru
drenažnog sistema Kovin-Dubovac..... 567

**Ivan Đokić, Gordana Letić, Mirko Čekić, Sibela Oudech,
Vlade Čanić, Bojan Nikolić**

- Revitalizacija prostora napuštenog kopa "Suvo rudište" na
Kopaoniku kroz primer izgradnje vodozahvata i vodosabirnika
za višenamensko korišćenje voda..... 573

HIDROGEOLOGIJA I INFORMACIONE TEHNOLOGIJE**Tanja Petrović Pantić, Mihajlo Mandić, Slavica Radulović,
Katarina Samolov**

- Hidrogeološka kategorizacija litostratigrafskih jedinica
na području OHGK list Smederevo..... 575

**Mihajlo Mandić, Tanja Petrović Pantić, Žarko Veljković,
Branko Miladinović**

- Predlog sadržaja tumača osnovne
hidrogeološke karte razmere 1:100.000..... 581

Mihajlo Mandić, Zoran Popović

Osvrt na proračun rezervi podzemnih voda u okviru izrade tumača za osnovnu hidrogeološku kartu prema važećem uputstvu.....	585
--	-----

Dejan Milenić, Ana Vranješ

Upravljanje i zaštita geotermalnih resursa u urbanim terenima korišćenjem interaktivne baze podataka.....	591
---	-----

STUDENTSKI RADOVI**Natalija Ćirica**

Procena geotermalnog potencijala termomineralnih voda Mataruške banje (centralna Srbija) metodom geotermometara.....	597
--	-----

Marko Nikolić

Primena hidrodinamičke metode u istraživanju geotermalnog potencijala grada Zrenjanina.....	603
---	-----

Danica Stevanović, Marina Poledica

Predlog nove osmatračke mreže vodnih tela karstnih podzemnih voda u Srbiji.....	609
---	-----

Milana Živojnov

Hidrogeotermalni potencijal područja Republike Srbije sa aspekta mogućnosti primene kogeneracije.....	615
---	-----

Uroš Milić

Hidrogeološki uslovi povećanja kapaciteta izvorišta za vodosnabdevanje Sremske Mitrovice.....	621
---	-----

Kristina Milićević, Marina Poledica, Danica Stevanović

Određivanje ranjivosti podzemnih voda i predlog zona sanitarne zaštite na primeru Hajdučke česme.....	623
---	-----

Jelena Krstajić

Uporedna analiza metoda za ocjenu hazarda i rizika od zagađenja podzemnih voda.....	627
---	-----

Ivan Drakulić

Primena hidrodinamičkog modela u određivanju bilansa podzemnih voda i radijusa uticaja izvorišta "Šumice" u Kikindi.....	633
--	-----

Strahinja Lazović

Multidisciplinarni pristup u upravljanju projektima u geotermalnom istraživanju.....	639
--	-----

Matija Kordić

Analiza bilansa karstne izdani Drežničkog basena i severnog oboda zlatiborskog masiva i mogućnosti vodosnabdevanja“.....	641
--	-----

Jovana Radosavljević, Miloš Rakijaš, Sanja Marković, Mihailo Šević

Kvalitet i mogućnosti korišćenja vode arteskog bunara "Živa voda" kod Smedereva.....	647
--	-----

Miloš Rakijaš, Jovana Radosavljević, Sanja Marković, Ivan Filić

Proces prečišćavanja zemljišta i vode primenom zeolita.....	651
---	-----

Sanja Marković

Problematika izvorišta „Suva separacija“ na području Kolubarskog ugljonosnog basena.....	653
--	-----

Bojana Mijanović

Hidrogeološke i hidrodinamičke karakteristike izvorišta „Kalenić“.....	659
--	-----

Irina Savić

Eksploatacija geotermalnog resursa sa aspekta zakonodavstva Republike Srbije.....	663
---	-----

Vladimir Šaraba

Uloga i značaj poznavanja mikroorganizama sa aspekta hidrogeoloških istraživanja mineralnih voda.....	669
---	-----

Sonja Drobac

Integrirano upravljanje vodnim resursima na primeru zlatiborskog masiva.....	675
---	-----

Milica Pantović

Određivanje toplotne provodljivosti stena primenom metode konstantnog linearnog izvora toplote na primeru granodioritskog masiva Kopaonika.....	681
---	-----

Aleksandra Dedijer

Uticaj efekta toplotnog ostrva na geotermalni potencijal urbanih područja.....	687
---	-----

PROSTOR ZA SPONZORE

OCENA KVALITETA I MOGUĆNOST KORIŠĆENJA PODZEMNIH VODA ZA PIĆE I NAVODNJAVANJE U SLIVU REKE RALJE EVALUATION OF GROUNDWATER QUALITY AND ITS SUITABILITY FOR DRINKING AND AGRICULTURAL USE IN RALJA RIVER BASIN

Sunčica Ninković¹, Nebojša Atanacković¹, Sava Magazinović¹,
Jakov Andrijašević¹, Mihailo Šević¹

¹Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd. E-mail: suncica.ninkovic@rgf.rs;

APSTRAKT :Analiza mogućnosti korišćenja podzemnih voda za potrebe vodosnabdevanje stanovništva kao i za navodnjavanje vršena je na prostoru sliva reke Ralje. Istražni prostor veličine oko 280 km² je obuhvatio veći deo sliva reke Ralje koji se administrativno nalaze na području grada Beograda. Podzemne vode su glavni izvor za vodosnabdevanje i navodnjavanje u ovom području. Seoska naselja nemaju urađenu komunalnu infrastrukturu pa predstavljaju značajan faktor za degradaciju kvaliteta podzemnih voda na ovom području. U periodu 2012-2014 godine prikupljeno je 100 uzorka vode sa lokalnih izvora i kopanih bunara. Na uzorcima su vršene analize fizičko-hemijskih karakteristika kao što su pH, elektroprovodljivost, tvrdoća vode, suvi ostatak, glavni anjoni i katjoni.

Mogućnost korišćenja podzemnih voda za piće ocenjena je na osnovu vrednosti maksimalno dopuštenih koncentracija neorganskih materija u vodi za piće i pokazuje da 44% uzoraka podzemnih voda nije pogodno za piće. Pogodnost upotrebe podzemnih voda za navodnjavanje procenjena je na osnovu indeksa saliniteta, procenta jona natrijuma, koeficijenta adsorpcije Na, US dijagrama saliniteta, Wilcox koeficijenta i indeksa propustljivosti. Dobijeni podaci pokazuju da 11% uzoraka nije pogodno za upotrebu za navodnjavanje. Sa obzirom na nedovoljnu razvijenost vodovodne infrastrukture i veoma razvijenu poljoprivrednu aktivnost na ispitivanom području, analiza mogućnosti korišćenja podzemnih vodnih resursa za potrebe vodosnabdevanja stanovništva i za navodnjavanje predstavlja osnov za pravilno planiranje budućeg urbanističkog razvoja ovog dela Beograda.

Ključne reči: kvalitet voda, hidrohemijski parametri, navodnjavanje, zagađenje, reka Ralja

ABSTRACT:Assesment of suitability of groundwater for drinking and agricultural purposes was carried out in Ralja river basin. The study area covers an area of 280 km² which is administratively located in the city of Belgrade. Groundwater is the main source of water supply and irrigation in this area. The villages haven't constructed communal infrastructure and represents a significant factor for the degradation of water quality on this area.

In this study, 100 groundwater samples were collected from wells and springs during the period 2012-2014 year and analysed for pH, electrical conductivity, total hardness and major ions. Groundwater suitability for drinking usage was evaluated by the Rulebook on Drinking Water Hygiene (official Journal of SFRY no 42/98) and suggests that 44% of samples are not suitable for drinking. Suitability of groundwater for irrigation was evaluated based on salinity hazard, sodium adsorption ratio, residual sodium carbonate, magnesium hazard, US salinity diagram, Wilcox's diagram and permeability index and results suggest that 11% samples are not fit for irrigation. Considering the insufficient development of water supply infrastructure and well-developed agricultural activity in the study area, groundwater assessment of the suitability for drinking and agricultural use represents the basis for proper planning of future urban development of this part of Belgrade.

Key words: groundwater quality, hydrochemical facies, irrigation, contamination, Ralja river

UVOD

Voda je glavni i neophodni resurs za opstanak života i osnovna ljudska potreba. Vodni resursi se koriste u različite svrhe: za piće, poljoprivredne aktivnosti, industrija, u domaćinstvima, za rekreaciju i za aktivnosti vezane za zaštitu životne sredine. Podzemne vode su obnovljivi prirodni resurs i dragocena komponenta ekosistema i kao takve ranjive su na prirodne i ljudske uticaje. Zahvaljujući mogućnosti korišćenja podzemnih voda za različite namene, kvalitet podzemnih voda je podjednako značajan kao i kvantitet. Hemijske karakteristike podzemnih voda igraju važnu ulogu u klasifikaciji i proceni kvaliteta vode, a geohemijske studije o podzemnim vodama omogućuju bolje razumevanje mogućih promena u kvalitetu podzemnih voda. Mnogi makro i mikro elementi, kao i elementi koji se javljaju u tragovima mogu imati značajan uticaj na ljudsko zdravlje putem nedovoljnog ili prekomernog unosa. Podzemne vode sadrže širok spektar rastvorenih neorganskih hemijskih sastojaka u različitim koncentracijama, koji su produkt hemijskih i biohemijskih interakcija između vode i stene. Procena kvaliteta podzemnih voda za piće i navodnjavanje je postala neophodan i važan zadatak za sadašnje i buduće upravljanje kvalitetom podzemnih voda. Danas u svetu, postoje brojne studije koje su fokusirane na praćenje kvaliteta podzemnih voda i evaluaciju za upotrebu u domaćinstvu i za poljoprivredne aktivnosti.

U radu je izvršena ocena kvaliteta podzemnih voda i analiza mogućnosti upotrebe u domaćinstvu i za poljoprivredne aktivnosti.

PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Reka Ralja protiče kroz četiri opštinska područja: Sopot, Mladenovac, Grocka i Smederevo. Područje istraživanja veličine oko 280 km² obuhvata veći deo sliva reke Ralje koji se administrativno nalazi na teritoriji grada Beograda. Izvorište reke Ralje nalazi se na Parcanskom Visu, spajanjem više potoka oko naselja Parcani i dela sliva sa planine Kosmaj. U slivu reke Ralje nalazi se 21 naseljeno mesto u kojima, zajedno sa onima koji tu borave vikendom, živi oko 35 000 stanovnika. Primarna aktivnost lokalnog stanovništva je poljoprivredna proizvodnja. Postojeća naselja nemaju adekvatno izgrađenu vodovodnu infrastrukturu pa se vodosnabdevanje bazira na korišćenju podzemnih voda preko bunara u okviru pojedinačnih domaćinstava i izvora. Kanalizacioni sistem u pomenutim seoskim naseljima nije izveden, već se otpadne vode odlažu u septičke jame te predstavljaju značajan faktor za degradaciju kvaliteta podzemnih voda na ovom području.

METODOLOGIJA

U periodu 2012-2014 godine prikupljeno je 100 uzoraka vode sa lokalnih izvora i kopanih bunara. Na uzorcima su vršene analize fizičko-hemijskih karakteristika kao što su pH, elektroprovodljivost, tvrdoća vode, suvi ostatak, glavni anjoni i katjoni.

Elektroprovodljivost i pH su mereni na terenu odmah nakon uzimanja uzorka sa Mi805 instrumentom koji je opremljen sa Mi805 multiparametarskom sondom. Što se tiče makrokomponenti Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ određivane su metodom AAC-atomsko adsorpcione spektrometrije, HCO₃⁻ i Cl⁻ određivani su zapreminskom metodom, SO₄²⁻ je određivan turbidimetrijskom metodom a NO₃⁻ UV-VIS spektrofotometrijom. Analitička preciznost za sva merenja jona je proverena računanjem jonskog balansa i ustanovljeno je da se procenat greške kreće u granicama ± 5%.

Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ broj 42/98 i 44/99) bio je osnova za ocenu kvaliteta podzemnih voda.

Pogodnost podzemnih voda za navodnjavanje zavisi od dejstva mineralnih sastojaka vode na biljke i na tlo. Opšti kriterijumi za procenu kvaliteta vode za navodnjavanje su: ukupna koncentracija soli merena kao Eh, relativne proporcije jona Na⁺ izražene preko procenta jona natrijuma Na⁺%, koeficijenta adsorpcije natrijuma-SAR, rezidualni natrijum karbonat RSC, indeks propustljivosti SI, magnezijum hazard MH i drugi.

REZULTATI I DISKUSIJA

Ocena kvaliteta podzemnih voda za piće

pH vrednost podzemnih voda u slivu reke Ralje su u dozvoljenim granicama od 6,8 do 8,5 kao što je propisano Pravilnikom. Vrednost elektroprovodljivosti je bila iznad maksimalno dozvoljenih koncentracija u 35% uzoraka (tabela 1). Povišene vrednosti elektroprovodljivosti mogu izazvati iritaciju gastrointestinalnog sistema kod ljudi. Velike varijacije elektroprovodljivosti se uglavnom pripisuju geohemijskim procesima kao što su jonska izmena, isparavanje, interakcija voda-stena, rastvaranje silikata, redukcija sulfata, oksidacioni procesi, i antropogene aktivnosti poput primene agrohemijskih u slivu.

Na osnovu koncentracije suvog ostatka, Davis and de Wiest (1966) su dali klasifikaciju prema kojoj 15% uzoraka je poželjno za piće i 82% uzoraka je dozvoljeno za piće.

Prema klasifikaciji podzemnih voda na osnovu tvrdoće (Sawer and McCarty, 1967), svi uzorci spadaju u grupu tvrdih i veoma tvrdih voda. Postoje dokazi koji ukazuju da dugoročna potrošnja izuzetno tvrde vode može dovesti do povećanja učestalosti javljanja urolitijaze, prenatalne smrti kod beba, nekih vrsta raka i kardiovaskularnih oboljenja (Agrawal and Jagetai, 1997).

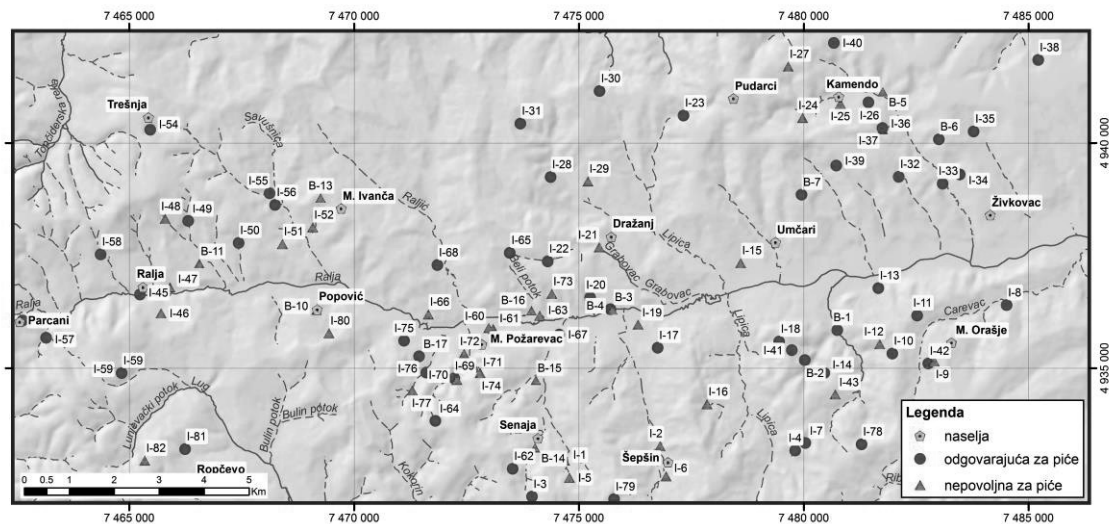
Kalcijum i magnezijum su najzastupljeniji elementi u podzemnim vodama i javljaju se uglavnom kao hidrokarbonati i u manjoj meri u obliku sulfata i hlorida. U analiziranim uzorcima, 10% uzoraka ima koncentracije Ca^{2+} iznad dozvoljene granice, a 25% uzoraka prelazi dozvoljene količine Mg^{2+} . Što se tiče nitrata, 22% uzoraka se nalazi iznad dozvoljene granične vrednosti.

Tabela 1. Raspon koncentracija hemijskih parametara na istražnom području u poređenju sa Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ broj 42/98 i 44/99)

Table 1. Range in concentration of chemical parameters of the study area and compared with Rulebook on Drinking Water Hygiene (Official Journal of SFRY no 42/98)

Parametar	MDK	Broj uzorka koji prelazi MDK	Min koncentracija	Max koncentracija	Sr. vrednost
pH	6,8-8,5	-	6,9	8,5	7,4
Ec($\mu\text{S}/\text{cm}$)	<1000	I-1, I-5, I-6, I-9, I-12, I-15, I-27, I-28, I-29, B-8, B-9, I-46, I-47, I-48, I-51, I-52, I-53, I-60, I-61, I-63, I-66, I-68, I-69, I-70, I-72, I-73, I-74, I-77, B-0, B-11, B-13, B-14, B-15, I-80	420	2400	953
Ca (mg/l)	200	I-9, I-25, B-8, B-9, I-46, I-60, I-61, B-14, B-15, I-83	46	306	134,3
Mg (mg/l)	50	I-1, I-2, I-5, I-9, I-12, I-17, I-29, I-36, B-8, B-9, I-46, I-60, I-61, B-14, B-15	16,4	91,2	43
Na (mg/l)	150	-	7,77	109,57	33,3
K (mg/l)	12	I-19, I-43	0,3	23,8	2,3
Cl (mg/l)	200	B-10	6	233,26	45,3
SO_4 (mg/l)	250	I-29	10	270	76,4
NO_3 (mg/l)	50	B-4, I-1, I-6, I-9, I-15, I-21, I-24, I-25, B-8, B-9, I-60, I-61, I-63, I-70, I-71, I-72, I-74, B-13, B-14, B-16, B-17, I-81	1,2	332	40,2

Integrirana karta mogućnosti korišćenja podzemnih voda za piće u slivu reke Rajle je kreirana kombinovanjem svih parametara kvaliteta: pH, Eh, Ca, Mg, Na, K, Cl, SO_4 , NO_3 (slika 1). Ova karta urađena je prema konceptu da, ukoliko uzorci podzemnih voda prelaze maksimalno dozvoljene koncentracije propisane Pravilnikom u bilo kom od analiziranih parametara, onda nisu pogodni za upotrebu za piće. Analizom podataka, dolazimo do zaključka da 44% uzoraka prekoračuje makar jednu od vrednosti maksimalno dozvoljenih koncentracija, pa je svega 56% uzoraka moguće koristiti za piće.

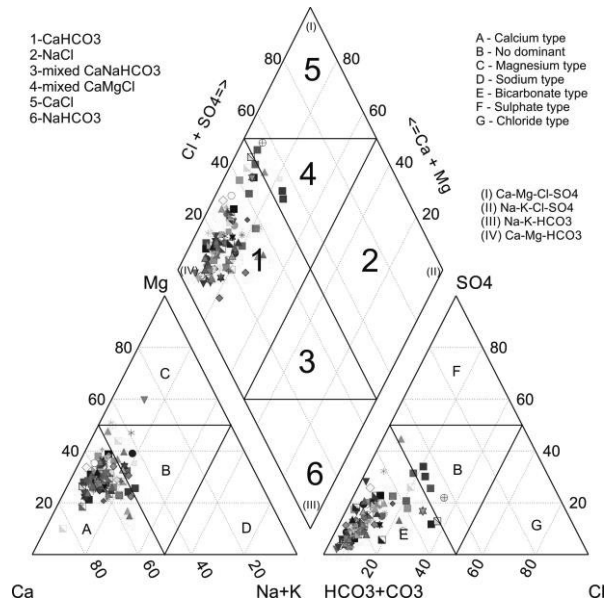


Slika 1. Karta mogućnosti korišćenja podzemnih voda za piće u slivu reke Rajle

Figure 1. Integrated groundwater suitability map for drinking in the study region

Odnos analiziranih hidrohemijskih parametara podzemnih voda može se najbolje razumeti nanošenjem koncentracija glavnih anjona i katjona na Pajperov dijagram koji predstavlja najprihvatljiviji način za klasifikaciju i poređenje tipova voda (hidrohemijskih facija) na osnovu jonskog sastava. Hidrohemijske facije su kategorije u kojima su izdvojene zone sa određenom koncentracijom anjona i katjona, koje su rezultat interakcije stene i vode, geološkog sastava, prirodnih ili antropogenih izvora zagađenja i koriste se za izdvajanje tipova voda koje se razlikuju po svom sastavu.

Pajperov dijagram na koji su naneti uzorci podzemnih voda je prikazan na slici 2 i jasno pokazuje varijacije u koncentracijama anjona i katjona na istražnom području. Dijagram pokazuje da većina uzoraka podzemnih voda pada u oblast zemnoalkalnih metala (Ca, Mg) koji dominiraju u odnosu na baze (Na,K), i slabe kiseline (HCO_3) su dominantnije u odnosu na jake kiseline (Cl, SO_4). Analizom dijagrama zaključuje se da većina uzoraka podzemnih voda pripada Ca-Mg- HCO_3 tipu vode.



Slika 2. Pajperov dijagram kvaliteta podzemnih voda u slivu reke Rajle
Figure 2. Piper trilinear diagram shows the chemical character of groundwater samples

OCENA KVALITETA PODZEMNIH VODA ZA NAVODNJAVANJE

Elektroprovodljivost i koncentracija jona Na^+ su veoma važni za poznavanje prilikom klasifikacije vode za navodnjavanje. Visoki sadržaj soli u vodi za navodnjavanje uzrokuje osmotski pritisak u rastvoru zemljišta. Pored toga, soli direktno utiču na rast biljaka, strukturu i propustljivost zemljišta, aeraciju, teksturu i čine zemljište teškim.

USSL (United States Salinity Laboratory) sa američkog Departmana za poljoprivredu je usvojila nekoliko tehnika koje se koriste za testiranje kvaliteta vode za poljoprivredu, a neke od pomenutih su objašnjene u daljem radu. Koncentracija jona Na^+ u vodi za navodnjavanje se obično označava sa procentom jona Na^+ i može se odrediti pomoću formule (Wilcox, 1955):

$$\text{Na}\% = \left(\frac{\text{Na}^+ + \text{K}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+} \right) \times 100$$

(mekv/l)

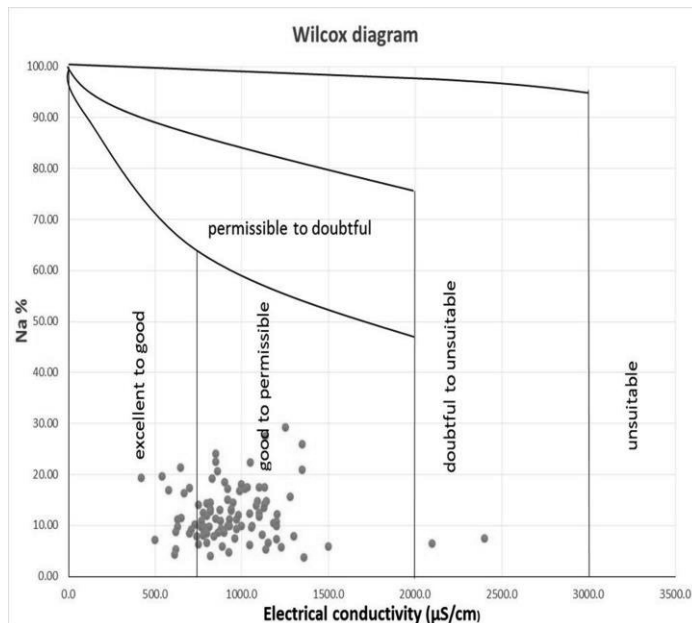
Natrijum u kombinaciji sa karbonatima može dovesti do formiranja alkalnih zemljišta, dok u kombinaciji sa hloridima gradi slana zemljišta. Tako nastali tipovi zemljišta ne doprinose rastu biljaka.

Klasifikacija uzoraka prema procentu jona Na^+ pokazuje da se 91% uzoraka podzemnih voda svrstava u kategoriju odličnih odnosno pogodnih za navodnjavanje.

Na Wilcox dijagramu nanete su vrednosti elektroprovodljivosti i procenta natrijuma (slika 3) i može se videti da se 79% uzoraka podzemnih svrstava u grupu dobre do zadovoljavajuće za navodnjavanje, dok se 19% uzoraka podzemnih voda svrstava u grupu odličnih za navodnjavanje, a 2% uzoraka ne zadovoljava kriterijume vode za navodnjavanje.

Koeficijent adsorpcije natrijuma

SAR. Koeficijent adsorpcije natrijuma je bitan parametar za određivanje mogućnosti korišćenja podzemnih voda za navodnjavanje i bazira se na određivanju uzajamnog odnosa koncentracija jona Na^+ u odnosu na sadržaj Ca^{2+} i Mg^{2+} :



Slika 3. Wilcox dijagram kvaliteta podzemnih voda u slivu reke Rajle

Figure 3. Irrigational suitability of groundwater in the study area-Wilcox diagram

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}+Mg^{2+}}{2}}} \text{ (mekv/l)}$$

Sračunate vrednosti SAR na istražnom području variraju u granicama od 0,17 do 1,98. Detaljnija analiza prema pogodnosti podzemnih voda za navodnjavanje koristeći vrednosti SAR i elektroprovodljivost prikazana je na USSSL dijagramu (slika 4).

Prema USSSL dijagramu razlikujemo 4 klase voda za navodnjavanje prema opasnosti od natrijuma i prema elektroprovodljivosti. Podzemne vode na ispitivanom području padaju u grupu dobrih do umerenih za navodnjavanje (slika 4). Od ukupnog broja uzoraka 19% pada u C₂S₁ grupu i 80% pada u C₃S₁ grupu.

RSC. Da bi se odredilo štetno dejstvo karbonata i hidrokarbonata na kvalitet podzemnih voda, izračunat je RSC koeficijent prema jednačini (Eaton,1950):

$$RSC = (CO_3+HCO_3)-(Ca^{2+}+Mg^{2+}) \text{ (mekv/l)}$$

Sračunate vrednosti RSC kreću se u intervalu od -13,71 do 1,56 što nam prema klasifikaciji Lloyd i Heathcote (1985) govori da su svi uzorci podzemnih voda pogodni za navodnjavanje.

Magnezijum hazard. Magnezijum hazard (MH) se smatra jednim od najvažnijih parametara u određivanju kvaliteta vode za navodnjavanje. Višak magnezijuma u vodi dovodi do smanjenja rasta biljaka i prinosa, a dolazi do povećanja saliniteta zemljišta. Indeks MH sračunat je prema jednačini (Paliwal, 1972):

$$MH = Mg^{2+} \times 100 / (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \text{ (mekv/l)}$$

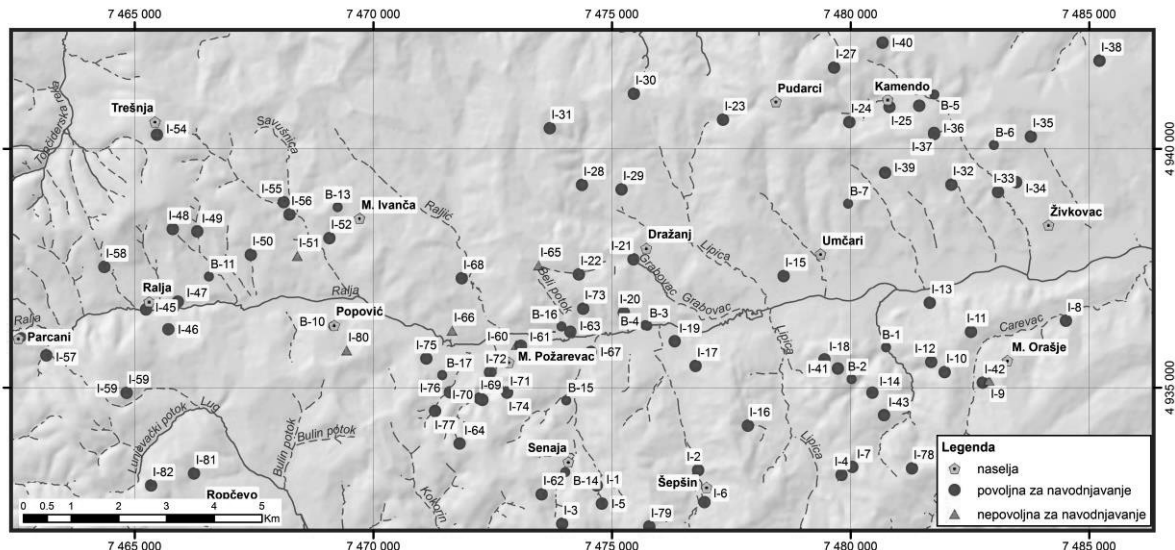
Podzemne vode sa MH>50 smatraju se štetnim i neodgovarajućim za navodnjavanje. Sračunate vrednosti MH na istražnom području se kreću od 10,82 do 68,43, odnosno 95% uzoraka podzemnih voda se može koristiti za navodnjavanje.

Indeks propustljivosti. Propustljivost zemljišta je pod uticajem dugoročnog korišćenja vode za navodnjavanje i Na, Ca, Mg i HCO₃ koji se nalaze u sastavu tla. Doneen (1964) je dao kriterijum za procenu mogućnosti korišćenja podzemnih voda za navodnjavanje zasnovanu na indeksu propustljivosti PI, koji se računa pomoću sledeće formule:

$$PI = (Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}) \times 100 / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+) \text{ (mekv/l)}$$

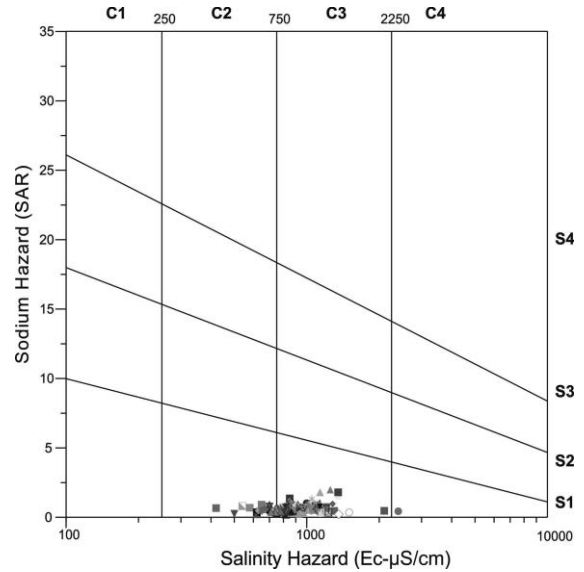
Analizom uzoraka podzemnih voda sa istražnog područja, PI indeks se kreće u intervalu od 18,73 do 56,71 odnosno 94% uzoraka, prema klasifikaciji Doneen (1964) ,spada u II klasu gde su podzemne vode dobre za navodnjavanje.

Nakon proračuna svih navedenih indeksa, urađena je integrisana mapa mogućnosti korišćenja podzemnih voda za navodnjavanje, po istom principu kao i integrisana mapa mogućnosti korišćenja vode za piće. Analizom svih dobijenih podataka, utvrđeno je da 11% uzoraka podzemnih voda nije pogodno za korišćenje za navodnjavanje.



Slika 5. Karta mogućnosti korišćenja podzemnih voda za navodnjavanje u slivu reke Ralje

Figure 5. Integrated groundwater suitability map for irrigational purposes in the study region



Slika 4. USSSL klasifikacija uzoraka podzemnih voda

Figure 4. USSSL classification of groundwater samples

ZAKLJUČAK

Ocena kvaliteta podzemnih voda u slivu reke Ralje je vršena da bi se utvrdila mogućnost njihovog korišćenja za piće i navodnjavanje. U ovom radu prikazani su rezultati sa 100 lokacija na kojima su uzeti uzorci podzemnih voda, u periodu od 2012. do 2014. godine, na kojima su rađene analize pH, elektroprovodljivosti, suvog ostatka, tvrdoće vode i osnovni anjoni i katjoni. Rezultati pokazuju da su u 95% uzoraka Ca^{2+} i HCO_3 najdominantniji katjon i anjon na istražnom području. Dalje, Pajperov dijagram takođe ukazuje na to da je Ca-Mg- HCO_3 tip voda najrasprostranjeniji. Mogućnost korišćenja podzemnih voda za piće ocenjena je na osnovu vrednosti maksimalno dopuštenih koncentracija neorganskih materija u vodi za piće prema Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće i pokazuje da 44% uzoraka podzemnih voda nije pogodno za piće. Integrisana mapa mogućnosti korišćenja podzemnih voda za piće kreirana je prema Pravilniku, poštujući pravilo da ukoliko makar jedan od analiziranih parametara na uzorku prevazilazi maksimalno dopuštenu koncentraciju, onda taj uzorak nije moguće koristiti za piće. Pogodnost upotrebe podzemnih voda za navodnjavanje procenjena je na osnovu indeksa saliniteta, procenta jona natrijuma, koeficijenta adsorpcije Na, US dijagrama saliniteta, Mg hazarda, Wilcox koeficijenta i indeksa propustljivosti. Dobijeni podaci pokazuju da 11% uzoraka nije pogodno za upotrebu za navodnjavanje. Integrisana mapa mogućnosti korišćenja podzemnih voda za navodnjavanje urađena je po istim principima kao i prethodna mapa. Obe integrisane mape daju sveukupnu sliku o kvalitetu podzemnih voda u posmatranom području. Rezultati pokazuju da je kvalitet podzemnih voda dosta narušen prvenstveno ljudskom aktivnošću, te je potrebno napraviti adekvatan plan upravljanja sa ciljem zaštite resursa podzemnih voda u slivu reke Ralje.

LITERATURA

- AGRAWAL., V., JAGETAI., M., 1997. *Hydrochemical assessment of groundwater quality in Udaipur city, Rajasthan, India*. In Proc.Indian Conference on Dimensions of Environmental Stress in India. Department of Geology, MS University, Baroda, India, pp 151-154
- DAVIES, S. N., DEWEIST, R. J. M., 1966. *Hydrogeology*, New York, Wiley
- DONEEN, L. D. 1964. *Water quality for agriculture*. Department of Irrigation, University of California, Davis, 48
- DONEEN, L.D. 1964. *Notes on water quality in Agriculture*. Published as a water science and Engineer Paper 4001, Department of Water Sciences and Engineering. University of California
- DRAGIŠIĆ, V., 2015: *Inovirani katastar vodnih pojava i objekata na teritoriji grada Beograda sa izradom digitalne karte i baze podataka*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- EATON, E.M., 1950. *Significance of carbonate in irrigation water*. Soil Sci 69: pp.123-133
- HAKIM, M.A. et al. 2009. *Suitability Evaluation of Groundwater for Irrigation, Drinking and Industrial Purposes*, American Journal of Environmental Sciences 5(3):43-419, ISSN 1553-345X
- KARUNANINIDHI, D. et al. 2013. *Evaluation of groundwater quality feasibility zones for irrigational purposes through GIS in Omalur Taluk, Salem District, South India*, Environmental Science Pollution Research, Springer 20:7320-7333, DOI 10.1007/s11356-013-1746-2
- LLOYD, J.W. AND HEATHCOTE, J. A., 1985. *Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater*. Oxford University Press, Clarendon, pp.294
- PALIWAL, K.V. 1972. *Irrigation with saline water*. New Delhi, IARI, p.198
- PIPER., A.M., 1953. *A graphic procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis*, Washington D.C.. US Geological Survey ISBN ASIN B0007HRZ36
- SAWYER G.N., MCCARTHY, D.L. 1967. *Chemistry of sanitary engineers, 2nd edition*. Mc Graw Hill, New York, p 518
- SINGH, V., KHARE, M.C., 2008. *Groundwater quality evaluation for irrigation purpose in some areas of Bhind, Madhya Pradesh (India)*, Journal of Environmental Research and Development, Vol.2 No.3
- TYAGI K.S. ET AL. 2009. *Hydrochemical appraisal of groundwater and its suitability in the intensive agricultural area of Muzaffarnagar district, Uttar Pradesh, India*, Environmental Geology 56:901-912, DOI 10.1007/s00254-008-1190-7
- WILCOX, L.V. 1955. *Classification and use of Irrigation Waters*. U.S. Department of Agriculture, Circular No.696,p.19, Washington D.C.