

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 novjših 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 izvorišta „Kalenić“..... 173

Nenad Toholj, Vojislav Tomić, Boban Jolović, Spasoje Glavaš

Nova saznanja u istraživanju pitke vode izvorišta “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

- Hydrohemijske 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 "Piro" 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

ODREĐIVANJE ZONA SANITARNE ZAŠTITE IZVORIŠTA PODZEMNIH VODA NA BAZI UKUPNOG VREMENA KRETANJA VODE

SANITARY ZONES DELINEATION OF GRONDWATER SOURCES BASED ON WATER TRAVEL TIME

Vladimir Živanović¹, Veselin Dragišić¹, Igor Jemcov¹, Sava Magazinović¹,
Jovana Radosavljević¹

¹ Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd. E-mail: vladimir.zivanovic@rgf.bg.ac.rs

APSTRAKT: Delineacija zona sanitarne zaštite u praksi se najčešće bazira na analizi horizontalnog transporta podzemnih voda ka vodozahvatnim objektima. Međutim, zaštitna uloga nadizdanske zone se najčešće u potpunosti zanemaruje, iako može imati presudnu ulogu u zaštiti podzemnih voda. Zbog svega navedenog, analiza ranjivosti podzemnih voda i geološke sredine u hidrogeološkoj praksi ima sve češću primenu. Metode za ocenu ranjivosti podzemnih voda posebno imaju široku primenu kada su u pitanju karstne izdani, zbog izrazite nehomogenosti izdanske zone kao i uslova prihranjivanja, kretanja i isticanja, što se posledično odražava i na uslove zaštite podzemnih voda.

U radu su predstavljeni rezultati primene novog koncepta za određivanje zona sanitarne zaštite koji se ogleda u formiranom vremenski zasnovanom modelu transporta voda odnosno čestica. Model je baziran na proračunu vremena vertikalnog i horizontalnog kretanja podzemnih voda, kao i na bazi vremena transporta površinskih voda ka zonama koncentrisane infiltracije. U formirani model inkorporirana je i metoda za ocenu ranjivosti podzemnih voda (Time-Input metoda), na osnovu koje se vrši proračun vremena vertikalnog kretanja podzemne vode u zoni aeracije. Posebnu karakteristiku primenjenog modela predstavlja definisanje ranjivosti područja u slivovima ponora i ponirućih tokova.

Metodologija je testirana i primenjena na karstnom izvorištu Crnica koje se nalazi na zapadnom obodu Kučaja u istočnoj Srbiji. Primenom modela koji je u potpunosti baziran na vremenu kretanja površinske i podzemne vode ka ponorskim zonama uspostavljen je realističan pristup u određivanju zona sanitarne zaštite.

Ključne reči: zone sanitarne zaštite, ukupno vreme kretanja vode, ranjivost izvorišta podzemnih voda, karstna izdan, vrelo Crnice

ABSTRACT: Delineation of sanitary protection zones is usually based on determination of travel time of horizontal water flow toward groundwater source. Protection role of unsaturated zone is often neglected even if it is significant for groundwater protection. As a result, vulnerability assessment of groundwater and geological environment is more and more used in hydrogeological practice. Methods for groundwater vulnerability are particularly useful for karst aquifers in terms of groundwater protection because of aquifer heterogeneity, anisotropy, groundwater flow and recharge and drainage conditions.

Paper presents first outcome of implementation of new concept for sanitary zone delineation which is based on time dependant model of groundwater and contaminant transport. Model is based on evaluation of time components of vertical and horizontal groundwater travel time, as well as surface water transport toward zones with concentrated infiltration. For assessing groundwater travel time through the unsaturated zone, baseline was adopted from the Time-Input method for vulnerability assessment. One of model advantages is assessment of vulnerability of ponor catchments.

Proposed methodology has been tested and applied at karst groundwater source of Crnica spring located at western part of Kučaj anticline in Eastern Serbia. Application of time dependant model resulted in realistic approach of groundwater source vulnerability and groundwater protection zones subsequently.

Key words: groundwater protection zoning, time dependent model, groundwater source protection, karst aquifer, Crnica spring

UVOD

Uspostavljanje preventivnih mera predstavlja jedan od najbitnijih koraka u zaštiti podzemnih voda. Izvorišta podzemnih voda se u današnje vreme uglavnom štite uvođenjem zona sanitarne zaštite. Za svaku od definisanih zona se propisuju restriktivne mere koje ograničavaju ili potpuno zabranjuju različite aktivnosti koje mogu da ugroze kvalitet postojećih ili budućih izvorišta podzemnih voda. Broj sanitarnih zona zavisi od lokalne regulative i od hidrogeoloških uslova. U praksi se najčešće uvode neposredna, uža i šira zona zaštite, kao i još šira zona koja obuhvata čitav sliv izvorišta (Filipović & Vujasinović, 1982; Chave et al., 2006).

Određivanje veličine i oblika zona sanitarne zaštite izvorišta podzemnih voda predstavlja kompleksan i multidisciplinarni zadatak. Oblik i veličina zone će zavisi pre sve od karakteristike izdani, režima eksploatacije, stepena ranjivosti, kao i od karaktera kontaminanata i njihovih izvora. U praksi, različiti pristupi u određivanju sanitarnih zona mogu kao rezultat da daju zone koje se značajno razlikuju po veličini i obliku. Upravo zato unapređenje i harmonizacija metoda za delinaciju sanitarnih zona predstavlja i dalje značajan zadatak.

METODOLOGIJA

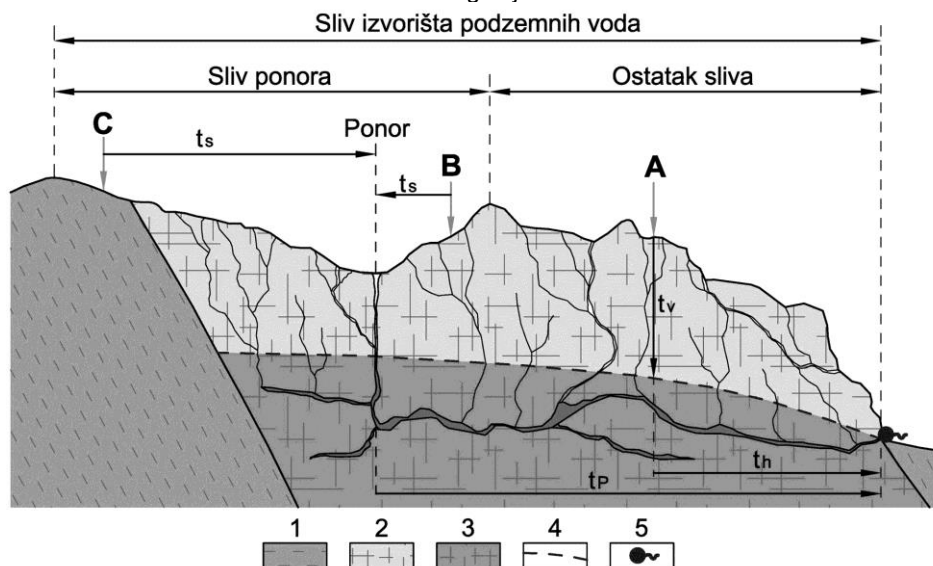
U radu je prikazana TDM metoda (*eng. Time Dependant Method – srp. Vremenski zavisani metod*) za ocenu ranjivosti izvorišta podzemnih voda. Primenom TDM metode dobijaju se karte ranjivosti podzemnih voda pri čemu je ranjivost iskazana preko vremena kretanja čestice vode sa površine terena do vodozahvatnog objekta. Samim tim, na bazi dobijenih karata se lako može definisati prostor koji treba da se obuhvati sanitarnim zonama. Iako je metoda kreirana za zaštitu izvorišta podzemnih voda u karstu, može se primeniti i na izvorišta u izdanima zbijene ili pukotinske poroznosti.

Struktura TDM metode je takva da obuhvata analizu tri komponente kretanja površinskih i podzemnih voda (slika 1):

- Vreme kretanja površinskih voda (t_s). U karstnim terenima veoma je karakteristična pojava transporta površinskih voda sa nekarbonatnih delova terena i njihova intenzivna infiltracija kroz koncentrične ponore ili ponorske zone. Na taj način omogućen je veoma brz transport kontaminanata do izdanske zone, a samim tim i do vodozahvatnog objekta. U ovakvim slučajevima vreme potrebno da se kontaminant transportuje do izvora ili bunara često se meri danima, ponekada i satima. Da bi se definisalo vreme putovanja potencijalnih kontaminanata do izdani, potrebno je analizirati vreme kretanja površinskih voda u slivu svakog ponora.

- Vreme vertikalnog kretanja podzemne vode kroz nadizdansku zonu (t_v). Sudbina kontaminanta u velikoj meri zavisi od karaktera nadizdanske zone tj. od zaštitne funkcije koju ona ima. U kojoj meri će doći do atenuacije kontaminanata, zavisi od brojnih faktora, od koji se posebno izdvajaju: sastav rudinskog pokrivača, sedimenata i stena u nadizdanskoj zoni, njihova vodopropusnost, dubina do nivoa izdani, intenzitet padavina, vidovi infiltracije, količina vode koja se infiltrira i sl. U analizi pomenutih faktora se u skorije vreme sve više koriste metode za ocenu ranjivosti podzemnih voda. Karte koje se dobijaju primenom ovih metoda predstavljaju odličnu podlogu za prostorno definisanje vremena vertikalnog kretanja podzemne vode.

- Vreme horizontalnog kretanja podzemne vode (t_h). Od trenutka kada infiltrirana voda i kontaminant dopru do izdanske zone, horizontalno kretanje postaje dominantno pa je zbog toga neophodno prostorno definisati kretanje podzemne vode ka vodozahvatu. Ključni faktori koji utiču na horizontalno kretanje su tip i veličina poroznosti i hidraulički gradijent slobodnog tj. pijezometarskog nivoa podzemnih voda. Primenom hidrodinamičkog modeliranja ili jednostavnijih analitičkih rešenja definiše se vreme horizontalnog kretanja podzemne vode iz svake tačke u slivu do vodozahvatnog objekta.



Slika 1. Konceptualni model određivanja vremena putovanja kontaminanta sa površine terena do vodozahvatnog objekta, kao baza za delinaciju zona sanitarne zaštite (Zivanovic, 2015)

1. slabije vodopropusne stene; 2. karstifikovani krečnjak u nadizdanskoj zoni; 3. karstifikovani krečnjak u izdanskoj zoni; 4. nivo podzemnih voda; 5. izvor; t_s – vreme putovanja vode po površini terena do ponora; t_P – vreme putovanja vode od ponora do vodozahvatnog objekta;

t_v i t_h – vertikalno i horizontalno vreme putovanja vode od tačke C do vodozahvatnog objekta

Figure 1. Conceptual time-dependent model (TDM) for karst source vulnerability (Zivanovic, 2015)

1. Low-permeable rocks; 2. Karstified limestone (unsaturated zone); 3. Karstified limestone (saturated zone); 4. Groundwater level; 5. Spring; t_s – surface travel time to the ponor; t_P – travel time from the ponor to the intake structure; t_v and t_h – vertical and horizontal travel times from point A to the intake structure.

Ukupno vreme putovanja vode (t_{tot}), a samim tim i kontaminanata sa površine terena do vodozahvatnog objekta se može izračunati preko sledeće relacije:

$$t_{tot} = t_v + t_h$$

(za delove terena van sliva zona sa koncentrisanom infiltracijom, primer tačka A)

$$t_{tot} = t_s + t_p$$

(za delove terena u slivu zona sa koncentrisanom infiltracijom, primer tačke B i C)

gde su:

t_{tot} – ukupno vreme putovanja vode;

t_v – vertikalno vreme putovanja vode od površine terena do nivoa podzemne vode;

t_h – horizontalno vreme putovanja podzemne vode ka vodozahvatnom objektu;

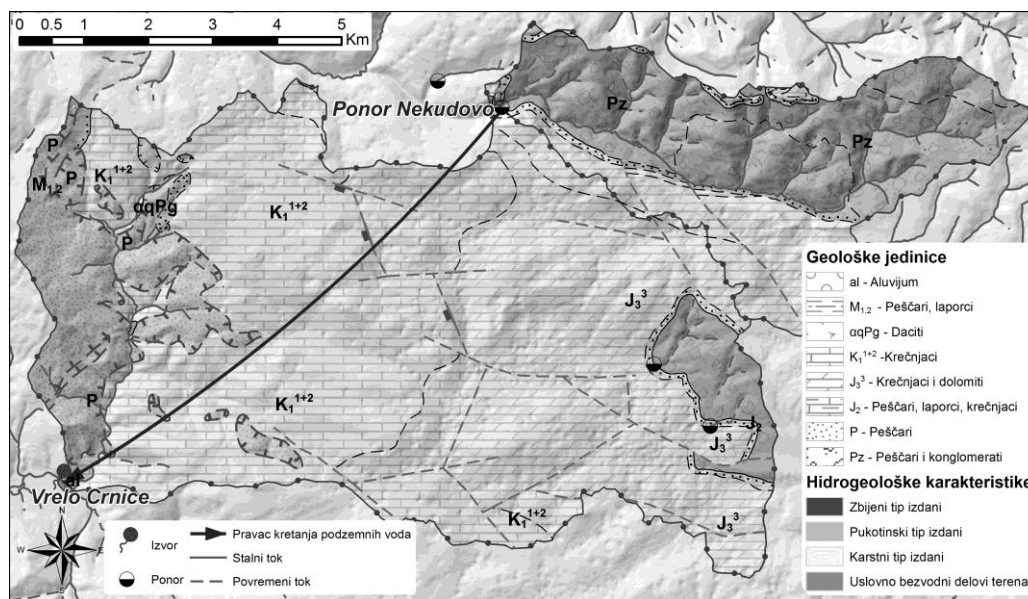
t_s – vreme putovanja površinske vode u slivu zone sa koncentrisanom infiltracijom;

t_p – vreme putovanja vode od zone sa koncentrisanom infiltracijom do vodozahvatnog objekta.

TEST PODRUČJE

Vrelo Crnice pripada karstu Karpato-balkanida istočne Srbije gde drenira zapadne delove Kučajske antiklinale (Cvijić, 1983). Istražno područje predstavlja tipičan binaran karstni hidrogeološki sistem. Karstni deo je najvećim delom razvijen u gornjojurskim i donjokrednim krečnjacima i dolomitima. Nekarstni deo obuhvata severoistočni deo područja koji obuhvata paleozojske stene u jezgri antiklinale.

Izvorišna zona vrelo Crnice se javlja u zoni navlake permskih pešćara preko krednih krečnjaka. Navlaka je od presudnog značaja ne samo za pojavu gravitacionog vrelo, već i za pojavu subtermalnog uzlaznog izvora izdašnosti oko 10 l/s i temperature vode koja varira od 26-34 °C. Vrelo Crnice je razbijenog tipa, koga čini nekoliko izvora ukupne izdašnosti 280-3000 l/s. U prihranjivanju karstne izdani značajan udeo ima Nekudovska reka koja kompletno ponire kroz Nekudovski ponor. Na osnovu opita trasiranja potvrđeno je da se podzemna voda prosečnom brzinom od 0,012 do 0,020 m/s kreće od ponora ka vrelo Crnice (Jemcov, 2000).

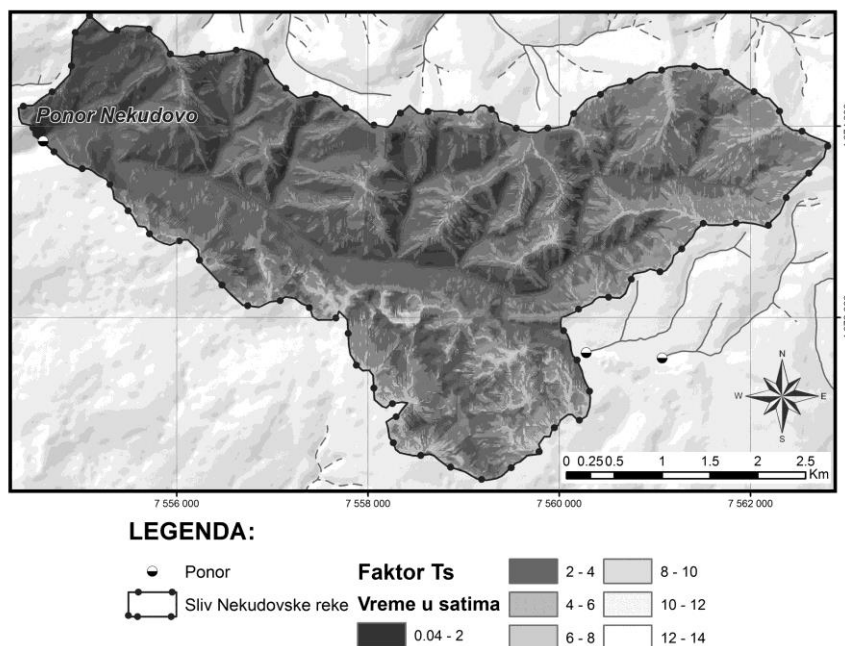


Slika 2. Hidrogeološka karta sliva vrelo Crnice
Figure 2. Hydrogeology map of the Crnica Spring's catchment area

REZULTATI I DISKUSIJA

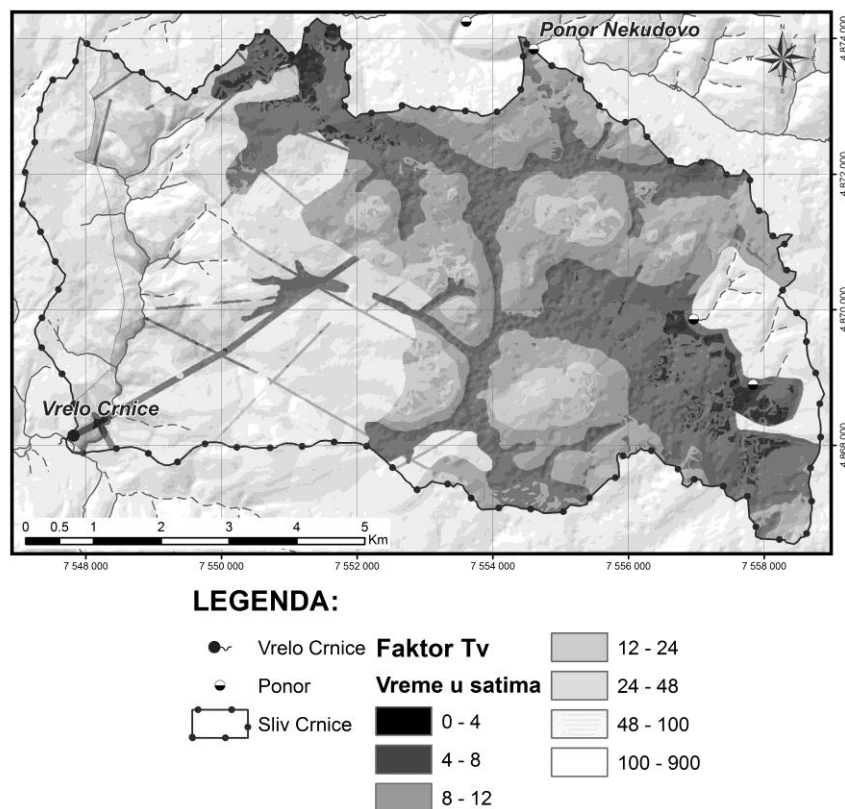
TDM metoda je primenjena za ocenu ranjivosti izvorišta podzemnih voda vrelo Crnice. U proračunu su posebno određene tri glavne komponente:

1. Vreme kretanja površinskih voda (t_s) iz svake tačke sliva Nekudovske reke do lokacije ponora. Ova komponenta predstavlja sumu vremena tečenja površinskih voda: ravansko tečenje (*sheet flow*), plitko koncentrisano tečenje i kanalsko tečenje. Svaka od navedenih komponenti površinskog oticaja, može se izračunati na bazi Manningove jednačine za tečenje po ravni ili za kanalsko tečenje. Faktori koji su razmatrani prilikom proračuna komponenti vremena tečenja su dužina toka, nagib terena, hrapavost terena kao i intenzitet padavina (Conservation Engineering Division, 1986). Dobljena karta je pokazala da je potrebno manje od jednog dana da površinska voda dotekne iz bilo kog dela sliva do ponorske zone (slika 3). Ove vrednosti su očekivane sa obzirom na relativno malu veličinu sliva Nekudovske reke, strmih nagiba terena i posledično velikih brzina kretanja vodotoka. Ukupno vreme $t_p = 8$ dana je dodato na svaku tačku sliva ponorske zone kao rezultat kretanja vode od ponora do vrelo.



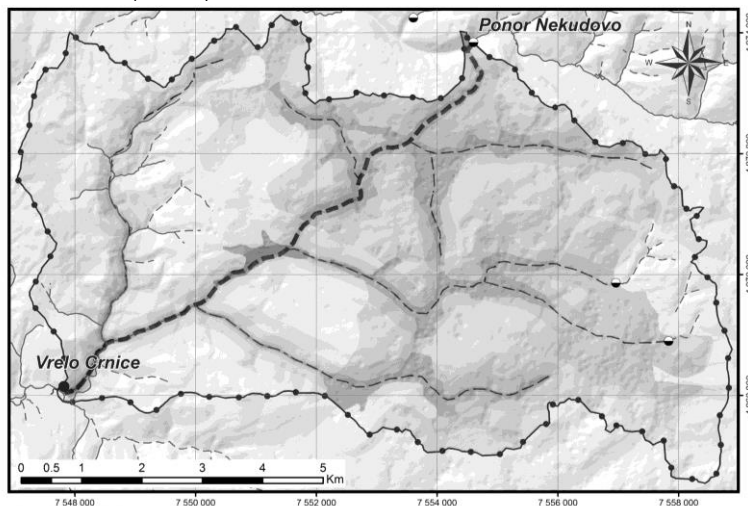
Slika 3. Karta vremena kretanja površinske vode (t_s) u slivu ponora
 Figure 3. Surface travel-time (t_s) in the ponor's catchment area

2. Vreme vertikalnog kretanja podzemne vode kroz nadzidansku zonu (t_v) za sliv Crnice je proračunato primenom Time-Input metode za ocenu ranjivosti podzemnih voda (Kralik and Keimel, 2003). Posebno su pripremljene oleate za dva parametra Vreme (*Time*) i Ulaz (*Input*). Prvi parametar uključuje proračun vremena kretanja vode kroz zemljište i kroz slojeve stena u nadzidanskoj zoni. Za svaki sloj su procenjene debljina i koeficijent filtracije. Pored toga, pri proračunu vremena vertikalnog kretanja vode u obzir je uzeto prisustvo rasednih struktura. Faktor Ulaz se dobija prostornim proračunom veličine infiltracije u slivu vrele. Pored veličine padavina u obzir su uzeti nagib terena i orijentacija nagiba (faktor radijacije), stepen razvijenosti vegetacije i veličine oticaja. Množenjem faktora Vreme i Ulaz dobijena je karta vremena vertikalnog kretanja podzemne vode (slika 4).



Slika 4. Karta vremena vertikalnog kretanja vode (t_v)
 Figure 4. Vertical travel-time (t_v) through the unsaturated zone

3. U proračunu vremena horizontalnog kretanja podzemne vode (t_h) posebno je sračunata brzina filtracije vode kroz karstne kanale i kroz matriks stene. Za kretanje vode kroz glavni kanal korišćeni su podaci opita trasiranja između ponora Nekudovo i vrela Crnice. Za sporedne, sekundarne kanale koji gravitiraju ka glavnom kanalu korišćene su redukovane brzine kretanja podzemne vode u odnosu na glavni kanal. Za simulaciju vremena kretanja kroz matriksnu poroznost prvo je za celo područje sliva vrela Crnice izvršen proračun udaljenosti svake tačke od najbližeg karstnog kanala. Nakon toga je izvršen proračun vremena kretanja vode ka karstnom kanalu pri čemu je upotrebljena vrednost brzine filtracije vode kroz matriksnu poroznost krednih krečnjaka od $v=0,2$ m/h (Teutsch & Sauter, 1991). Sumiranjem vremena kretanja vode kroz matriksnu poroznost, a zatim i kroz kanalski sistem dobijena je vrednost parametra t_h , a samim tim i karta vremena horizontalnog kretanja podzemne vode ka vrelu (slika 5).



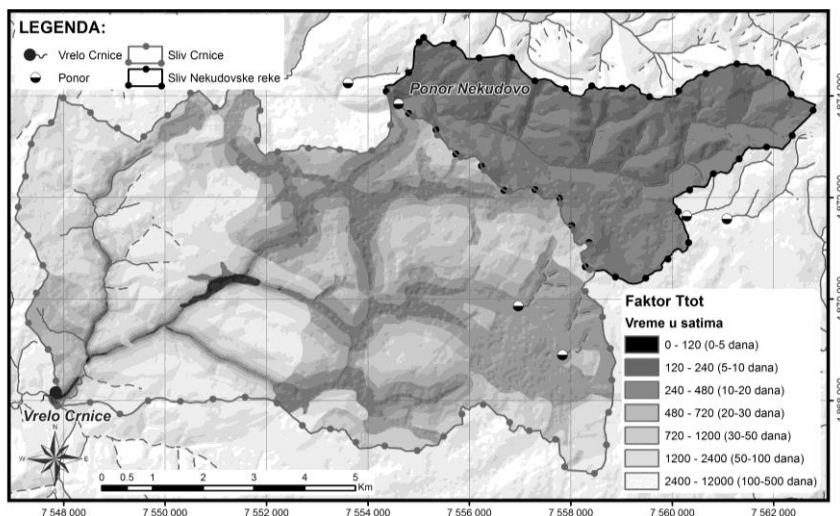
LEGENDA:

● Vrelo Crnice	Faktor Th	■ 120 - 240 (5-10 dana)
○ Ponor	Vreme (h)	■ 240 - 480 (10-20 dana)
□ Sliv Crnice	■ 0 - 48 (0-2 dana)	■ 480 - 1200 (20-50 dana)
--- Trasa sekundarnih kanala	■ 48 - 72 (2-3 dana)	■ 1200 - 2400 (50-100 dana)
--- Trasa glavnog kanala	■ 72 - 120 (3-5 dana)	■ 2400 - 12000 (100-500 dana)

Slika 5. Karta vremena horizontalnog kretanja vode ka vrelu Crnice (t_h)

Figure 5. Horizontal travel-time (t_h) through the saturated zone

Pripremljene karte vremena kretanja površinske i podzemne vode su spojene u ArcGis okruženju i ukupno vreme putovanja vode (t_{tot}) je izračunato na bazi predložene metodologije (slika 1). Finalna karta ranjivosti izvorišta (slika 6) je pokazala da su najranjivija područja intenzive karstifikacije u istočnom delu sliva vrela. Za ova područja je karakteristična brza propagacija vode kroz nadzidansku zonu i brz transport kroz sekundarni i glavni karstni kanal. Relativno visokom ranjivošću se karakteriše i sliv Nekudovske reke. Površinska voda iz ovog sliva može mnogo brže da doputuje u odnosu na delove pokrivenog karsta u zapadnom delu sliva vrela.



Slika 6. Karta ukupnog vremena putovanja vode ka vrelu Crnice (t_{tot})

Figure 6. Map of total water travel-time to the Crnica spring

ZAKLJUČAK

Dobijena karta ranjivosti izvorišta podzemnih voda je pokazala značaj analize svih vremenskih komponenti kretanja površinske i podzemne vode. Prednosti primenjene TDM metode su sledeće:

- Ranjivost je u potpunosti na bazi vremena kretanja pa je samim tim olakšano razumevanje i njihovo korišćenje;
- Upotreba parametarskih skala i rangiranja je znatno smanjena u odnosu na klasične metode za ocenu ranjivosti izvorišta podzemnih voda, pa je zbog toga subjektivnost dovedena na niži nivo;
- Validacija dobijenih rezultata je znatno olakšana jer je finalni rezultat izražen preko vremena putovanja vode;
- Primena TDM metode je moguća u različitim hidrološkim uslovima, ili pri različitim uslovima eksploatacije.
- U slučaju neophodnosti analize ranjivosti izvorišta na specifične kontaminante (npr. patogeni mikroorganizmi), proračun ranjivosti izvorišta podzemnih voda je znatno olakšan, jer je opšta ranjivost izražena preko vremena.

Najbitnija prednost prikazane metodologije jeste jednostavnost u primeni dobijenih rezultata u procesu delineacije sanitarnih zona. Primena ovakvog pristupa u određivanju sanitarnih zone je od posebnog značaja za karstna izvorišta jer u nekim slučajevima na osnovu dobijenih rezultata je potrebno predložiti restriktivne mere za delove sliva koje su znatno udaljeni od vrela.

LITERATURA

- CHAVE P., HOWARD G., SCHIJVEN J., APPELYARD S., FLADERER F., SCHIMON W., 2006: *Groundwater protection zones*. In: Schmoll O, Howard G, Chilton J, Chorus I (eds) *Protecting Groundwater for Health, Managing the Quality of Drinking-water Sources*. IWA Publishing, London, pp 465-492
- CONSERVATION ENGINEERING DIVISION (1986) *Urban hydrology for small watersheds*, National Resources Conservation Service, U.S. Dep. Agric., Tech. Rel. No. 55 (1975)
- CVIJIĆ J., 1893: *Geografska ispitivanja u oblasti Kučaja i u istočnoj Srbiji*. Geološki anali Balkanskog poluostrva, knj. V, sv. 1, Beograd, s. 7 – 172.
- FILIPOVIĆ B., VUJASINOVIĆ S., 1982: *Zaštita podzemnih voda*. OOUR grupa za hidrogeologiju Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu, Beograd, 1-358.
- JEMCOV I., 2000: *Mogućnosti dugoročnog vodosnabdevanja podzemnim vodama gradova centralnog Pomoravlja*. Magistarski rad. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- KRALIK M., KEIMEL T., 2003: *Time-input, an innovative groundwater-vulnerability assessment scheme: application to an alpine test site*. *Environ Geol* 44(6):679–686. doi: 10.1007/s00254-003-0809-y
- TEUTSCH G., SAUTER M., 1991: *Groundwater modelling in karst terrains: Scale effects, data acquisition and field validation*. In: Quinlan J (ed) *Proceedings of the Third Conference on Hydrogeology, Ecology, Monitoring, and Management of Groundwater in Karst*. Nashville, pp 17-34
- ŽIVANOVIĆ V., 2015: *Delineation of karst groundwater protection zones*. In: Z. Stevanovic (ed) *Karst Aquifers – Characterization and Engineering, Professional Practice in Earth Sciences*. Springer International Publishing, Switzerland, ISBN: 978-3-319-12850-4, DOI 10.1007/978-3-319-12850-4_17