



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

|||||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0009499>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

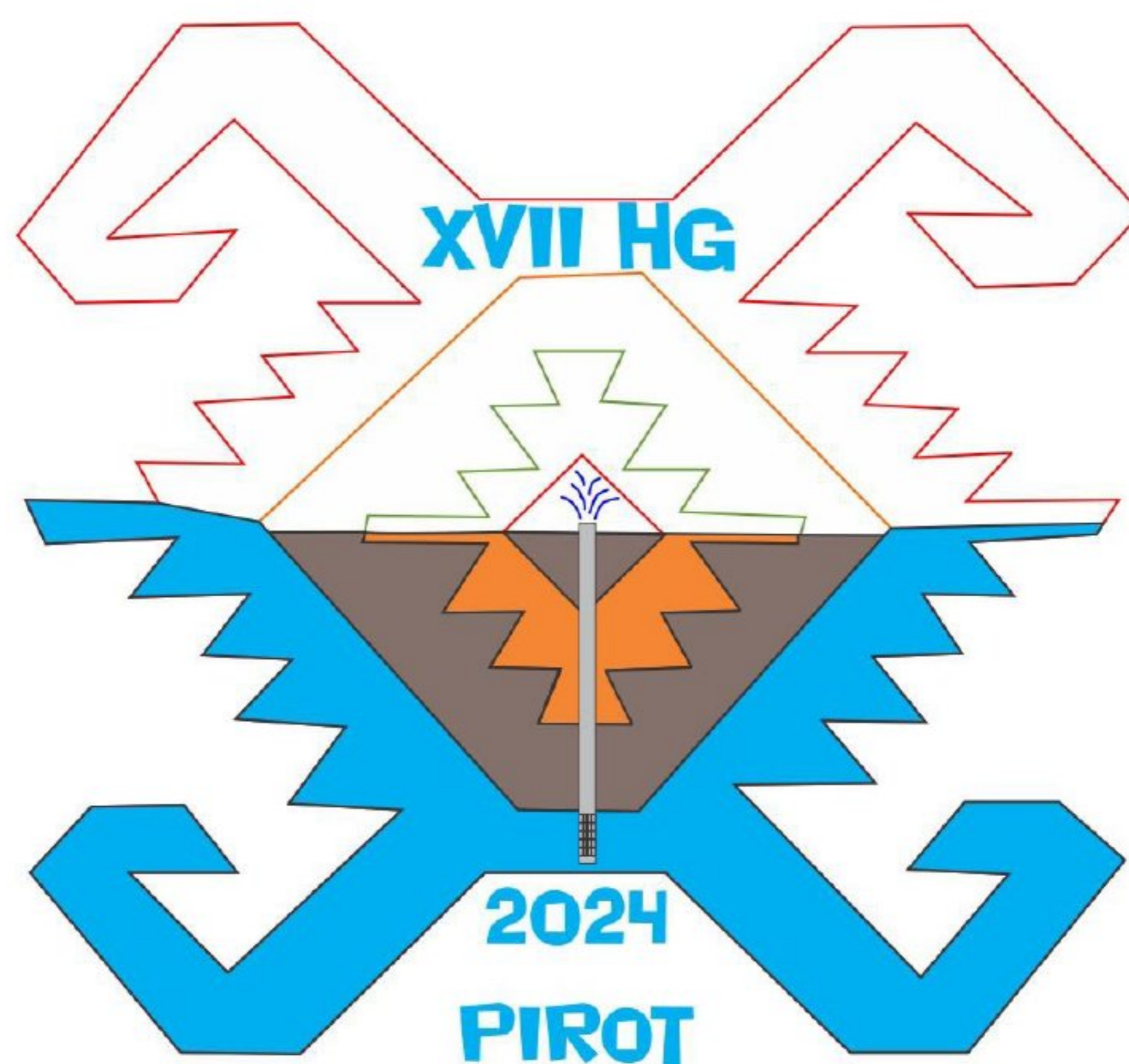
The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs

UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XVII SRPSKI SIMPOZIJUM
O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem

ZBORNİK RADOVA



02-06. oktobar
2024. godine

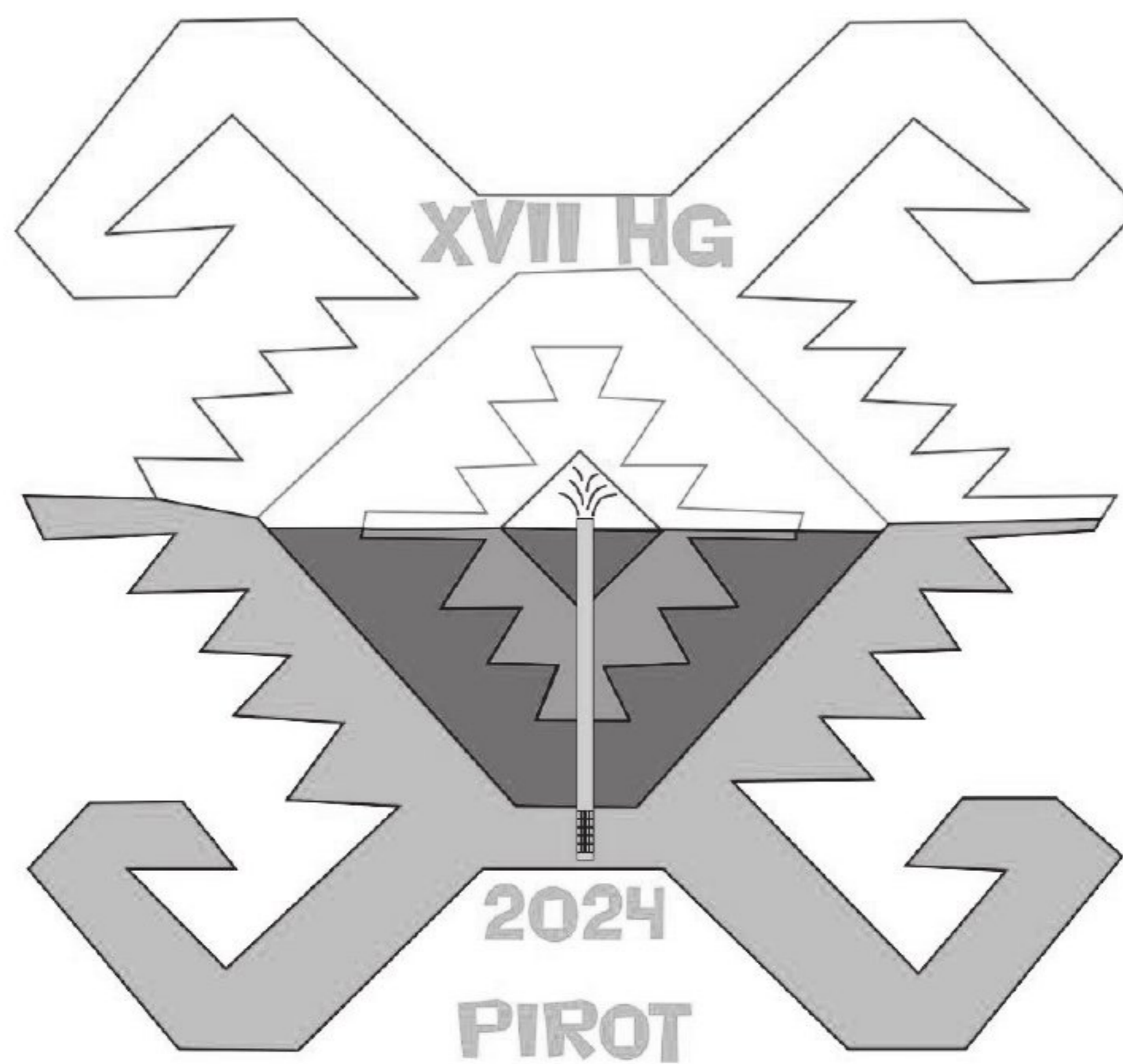


UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XVII SRPSKI SIMPOZIJUM
O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem

ZBORNIK RADOVA



02-06. oktobar
2024. godine



XVII SRPSKI SIMPOZIJUM O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem
ZBORNIK RADOVA

IZDAVAČ:

Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet
Đušina 7

ZA IZDAVAČA:

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

UREDNIK:

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

TIRAŽ:

150 primeraka

ŠTAMPA:

Pi Press, Pirot

GODINA IZDANJA: 2024.

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

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

Naslovna strana: Logo simpozijuma

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

556(082)
628.1(082)

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

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

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

ISBN 978-86-7352-405-4

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

COBISS.SR-ID 151976457

ORGANIZACIONI ODBOR:

Predsjednik

Prof. Dr Saša Milanović
UB Rudarsko-geološki fakultet

Generalni sekretar

Prof. Dr Vesna Ristić Vakanjac
UB Rudarsko-geološki fakultet

Članovi:

Dr Branislav Petrović, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet

Dr Veljko Marinović, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet

Dr Bojan Hajdin, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet

Dr Marina Ćuk Đurović, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet

Dr Maja Todorović, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet

Dr Nebojša Atanacković, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet

Dr Marjan Temovski, viši naučni saradnik
Institute for Nuclear Research, Debrecen

Dr Đorđije Božović, dipl. inž. geol.
JKP "Beogradski vodovod i kanalizacija"

Jelena Ratković, master. inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet

Sava Magazinović, dipl. inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet

Dejan Drašković, dipl. inž. geol.
BeoGeoAqua doo

Branko Ivanković, dipl. inž. geol.
Ibis-Inženjering doo

Dragan Mihajlović, dipl. inž. geol.
Geološki zavod Srbije

Boyka Mihaylova, master inž. geol.
Geological Institute, BAS

Daniela Radoš, dipl. inž. geol.
Pokrajinski sekretarijat za energetiku,
građevinarstvo i saobraćaj

Ivan Đokić, dipl. inž. geol.
GECO-inženjering doo

Milorad Kličković, dipl. inž. geol.
Zavod za zaštitu prirode Srbije

Uroš Jurošević, dipl. inž. geol.
Republički zavod za geološka istraživanja RS

Andrej Pavlović, dipl. inž. geol.
Ministarstvo rudarstva i energetike Srbije

NAUČNI ODBOR (RECENZENTI):

Predsjednik

Prof. Dr Dušan Polomčić
UB Rudarsko-geološki fakultet

Članovi:

Prof. Dr Vesna Ristić Vakanjac
UB Rudarsko-geološki fakultet

Prof. Dr Petar Dokmanović
UB Rudarsko-geološki fakultet

Prof. Dr Olivera Krunić
UB Rudarsko-geološki fakultet

Prof. Dr Dejan Milenić
UB Rudarsko-geološki fakultet

Prof. Dr Vladimir Živanović
UB Rudarsko-geološki fakultet

Prof. Dr Saša Milanović
UB Rudarsko-geološki fakultet

Prof. Dr Dragoljub Bajić
UB Rudarsko-geološki fakultet

Prof. Dr Jana Štrbački
UB Rudarsko-geološki fakultet

Doc. Dr Ljiljana Vasić
UB Rudarsko-geološki fakultet

Doc. Dr Dragoslav Banjak
Univerzitet Crne Gore, Filozofski fakultet

Doc. Dr Katarzyna Wator
AGH University of Krakow

Dr Josip Terzić, naučni savetnik
Geološki zavod Hrvatske HGI

Dr Tamara Marković, naučni savetnik
Geološki zavod Hrvatske HGI

Dr Laszlo Palcsu, naučni savetnik
Institute for Nuclear Research, Debrecen

Prof. Dr Nenad Marić
UB Šumarski fakultet

Prof. Dr Aleksey Benderev
Geological Institute, BAS

Prof. Dr Ferid Skopljak
Federalni zavod za geologiju, FBiH

Prof. Dr Metka Petrić, znanstvena savetnica
Inštitut za raziskovanje krasa, Postojna

Doc. Dr **Ana Vranješ**
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Zoran Stevanović**, u penziji
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Veselin Dragišić**, u penziji
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Milojko Lazić**, u penziji
UB Rudarsko-geološki fakultet

Prof. Dr **Zoran Nikić**, u penziji
UB Šumarski fakultet
Prof. Dr **Milan Radulović**
Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet
Prof. Dr **Jugoslav Nikolić**
Republički hidrometeorološki zavod Srbije
Prof. Dr **Miloš Stanić**
UB Građevinski fakultet
Prof. Dr **Petar Milanović**, u penziji
Univerzitet u Mostaru, Građevinski fakultet
Mr. **Vesna Tahov**, dipl. inž. geol.
Geološki zavod Srbije

Prof. Dr **Nataša Ravbar**, viša znan. savetnica
Inštitut za raziskovanje krasi, Postojna
Dr **Kostadin Jovanov**, dipl. inž.
Geološki zavod Republike S. Makedonija
Dr **Romeo Eftimi**, dipl. inž., u penziji
Nezavisni istraživač, Albanija
Prof. Dr **Iulian Popa**
Facultatea de Geologie și Geofizică
Universitatea din București
Dr **Milovan Rakijaš**, dipl. inž. geol.
Hidrogeorad d.o.o.
Dr **Vladimir Beličević**, dipl. inž. geol.
Energoprojekt Hidroinženjering AD
Dr **Tanja Petrović Pantić**, naučni saradnik
Geološki zavod Srbije
Dr **Branislav Petrović**, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet
Dr **Veljko Marinović**, naučni saradnik
UB Rudarsko-geološki fakultet
Dr **Brankica Majkić Dursun**, dipl. inž. geol.
Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi”

UREĐIVAČKI ODBOR:

Predsednik

Doc. Dr **Ljiljana Vasić** ☎0000-0001-9140-5748
UB Rudarsko-geološki fakultet

Članovi:

Prof. Dr **Ivana Vasiljević** ☎0000-0002-0549-2652
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Nevenka Đerić** ☎0000-0002-5141-898X
UB Rudarsko-geološki fakultet
Prof. Dr **Tina Dašić** ☎0000-0002-4679-3101
UB Građevinski fakultet

TEHNIČKI ODBOR:

Srđan Stefanović, master inž. geol.
Agencija Background, Pirot
Petar Vojnović, master inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Milica Stepanović, master inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Jovana Mladenović, master inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Natalija Radosavljević, master inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Hristina Petrova, master inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet

Eugène Katansao Pyabalo, mast. inž.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Kodjovi Zondokpo, mast. inž.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Maša Vulović, dipl. inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Aleksandar Tanasković, dipl. inž. geol.
UB Rudarsko-geološki fakultet
Jovana Lončar, student
UB Rudarsko-geološki fakultet

ORGANIZATOR SIMPOZIJUMA:

*UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU*

u saradnji sa

SRPSKIM GEOLOŠKIM DRUŠTVOM

SAVEZOM INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

DRUŠTVOM GEOLOŠKIH INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

NACIONALNIM KOMITETOM IAH

MULTILATERALNIM CENTROM, PIROT

POKROVITELJI:

***MINISTARSTVO NAUKE, TEHNOLOŠKOG RAZVOJA I INOVACIJA
REPUBLIKE SRBIJE***

GRAD PIROT

SPONZORI:

***JP „VODOVOD I KANALIZACIJA“ PIROT
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU, RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET***

BEOGEOAQUA D.O.O.

TAŠ GRUPA

AQUA PRO ENERGY D.O.O.

CENTAR ZA HIDROGEOLOGIJU KARSTA

TURISTIČKA ORGANIZACIJA PIROT

IBIS-INŽENJERING D.O.O.

STRATING D.O.O.

GECO-INŽENJERING D.O.O.

FREATIKA

AGENCIJA ZA MARKETING BACKGROUND

Uvodna reč organizatora

Poštovane kolegice i kolege,

nakon samo dve godine od održavanja XVI Srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, ponovo imamo priliku da se družimo na ovom veoma značajnom skupu za hidrogeologe. Razlog „ubrzanja“ održavanja Simpozijuma je zapravo ponovno uspostavljanje dvogodišnjeg razmaka održavanja Srpskog simpozijuma o hidrogeologiji i Geološkog kongresa Srbije. Objašnjenje za ovakav korak leži u tome da je prethodni Simpozijum, prema uspostavljenoj dinamici od 2012. godine (Zlatibor), preko 2016. godine (Kopaonik), trebalo da se održi 2020. godine, ali je usled globalne pandemije korona virusa (COVID-19), došlo do njegovog pomeranja na 2022. godinu, kada je i održan na Zlatiboru. Upravo iz iznetih razloga, a uz veliki trud i zalaganje organizatora zarad ponovnog uspostavljanja dvogodišnjeg niza sa Kongresom geologa Srbije, XVII Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem se održava ove godine od 2.10.-6.10. 2024. godine u Pirotu.

Kroz XVII Simpozijum će se na neki način izvršiti retrospektiva prethodnih Simpozijuma, počevši od 1971. godine do 2024. godine, sa ciljem da se sublimira i prikaže položaj hidrogeologije kao nauke i struke, kako u Srbiji, regionu, pa i šire. Počevši od prvog Simpozijuma koji je održan u Herceg Novom 1971. godine, preko ostalih Simpozijuma održavanih širom bivših Republika Jugoslavije, kao i tad i sada je jedini usko stručni skup koji za cilj ima izlaganje naučnih i tehničkih dostignuća iz oblasti izučavanja podzemnih voda i prikaz izuzetne važnosti ovih istraživanja za sva moderna i razvijena društva.

Kao specijalni poklon Organizatora skupa, svim učesnicima skupa će na raspolaganju biti skenirani zbornici radova Simpozijuma (Sveske Hidrogeologija) od 1971. godine zaključno sa ovim poslednjim Simpozijumom koji se održava u Pirotu ove godine.

Zahvaljujući kolegama koji su do sada dali značajan doprinos, a kroz veliko zalaganje i trud u održavanju prethodnih Simpozijuma, danas je ovaj Simpozijum ponovo jedan od najznačajnijih događaja, kako hidrogeološke, tako i cele geološke struke u Srbiji i regionu.

Za ovaj XVII-ti Simpozijum, iako sa kratkim rokom za pripremu i organizaciju samog događaja i za animiranje kolega da pripreme i pošalju radove, pristigao je veliki broj radova, kako iz Srbije, tako i iz regiona, pa i šire. Na Simpozijumu će biti prezentovano više od 90 radova iz svih grana hidrogeologije, sa preko 200 autora i koautora radova, što je i dokaz uspešnosti i dobre reputacije ovog skupa, sa nadom da se tako nastavi i predstojećim godinama. Uz ove podatke, posebno je važno naglasiti da će na svečanom otvaranju ovogodišnjeg Simpozijuma biti izloženi plenarni referati kolega hidrogeologa iz svih 6 država bivše SFRJ, kao prilog i osvrt na položaj i budućnost značaja hidrogeologije.

Svi prihvaćeni radovi koji su prošli recenzentski postupak su svrstani u 6 tematskih sesija:

1. Vodosnabdevanje i upravljanje vodnim resursima
2. Zaštita podzemnih voda
3. Mineralne vode i njihovo iskorišćavanje
4. Geotermalna energija
5. Hidrogeološka istraživanja u hidrotehnici, rudarstvu i građevini
6. Studentski radovi

Podela na ovakve tematske grupe u najvećoj meri utiče aktuelnost hidrogeologije u određenim oblastima vezanim za održivo upravljanje ovim dragocenim resursom od koga zavise kako stanovništvo, tako i različite grane privrede u Srbiji i regionu, što najbolje ilustruju plenarna predavanja koja su sastavni deo Simpozijuma i zbornika radova.

Ovaj XVII-ti Srpski simpozijum o hidrogeologiji je organizovan pod pokroviteljstvom Grada Pirota i JKP „Vodovod i kanalizacija“ Pirot i uz podršku Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije.

Takođe, veliku zahvalnost dugujemo i kompanijama koje su sponzorisle ovaj naučni skup: Departman za hidrogeologiju, BeoGeoAqua d.o.o., Taš grupa, Aqua Pro Energy d.o.o., Ibis-Inženjering d.o.o., Strating d.o.o., GECO-Inženjering d.o.o., FREATIKA, CKH, TO Pirot, Background.

Praksa koja je zaživela na XV Simpozijumu, o učestvovanju kolega iz regiona i šire i time doprinela da ovaj skup dobija i značajne međunarodne okvire, se pojačava i na ovom skupu. Izuzetno nam je zadovoljstvo da ove godine možemo poželeti dobrodošlicu u grad Pirot kolegama iz Republike Srpske i Federacije BiH, Crne Gore, Hrvatske, Slovenije, Severne Makedonije, Bugarske, Mađarske, Rusije, Poljske, SAD i Togo-a.

Veliku zahvalnost za organizovanje ovako velikog skupa u veoma kratkom vremenskom roku izražavamo Generalnom sekretaru simpozijuma prof. dr Vesni Ristić Vakanjac, Predsednici uređivačkog odbora Doc. dr Ljiljani Vasić, Članovima Organizacionog odbora: dr Branislavu Petroviću, naučnom saradniku i dr Veljku Marinoviću, naučnom saradniku. Takođe, zahvalnost izražavamo i Članovima Tehničkog odbora Srđanu Stefanoviću i Petru Vojnoviću, kao i svim dragim kolegama i studentima, članovima Tehničkog, Organizacionog i Naučnog odbora koji su pomogli da se ovaj skup održi.

U ime organizatora skupa želimo vam lep boravak u Pirotu.

U Pirotu, oktobar 2024. godine.

Predsednik Organizacionog odbora
Prof. dr Saša Milanović



Predsednik Naučnog odbora
Prof. dr Dušan Polomčić



SADRŽAJ

PLENARNA PREDAVANJA

Saša Milanović, Ljiljana Vasić STANJE I PERSPEKTIVE HIDROGEOLOGIJE U REPUBLICI SRBIJI	1
Josip Terzić HIDROGEOLOGIJA U REPUBLICI HRVATSKOJ – TRENUTNO STANJE I PERSPEKTIVE.....	15
Zlatko Ilijovski HIDROGEOLOGIJA KAO STRUKA I NAUKA U R. S. MAKEDONIJI.....	23
Mihael Brenčič HIDROGEOLOGIJA SLOVENIJE - Pregled razvoja hidrogeološke struke od 1990. godine.....	33
Uroš Jurošević, Petar Begović, Ferid Skopljak STANJE HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA NA TERITORIJI BOSNE I HERCEGOVINE.....	39
Milan Radulović STANJE HIDROGEOLOGIJE U CRNOJ GORI	49

1. Vodosnabdevanje i upravljanje vodnim resursima

Aglaida Toteva and Emanuela Malinkova HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS IN THE BOTEVGRAD BASIN, BUGARIA.....	57
Aleksey Benderev, Boyka Mihaylova, Konstantin Kostov ENVIROMENTAL STATUS OF SIGNIFICANT KARST SPRINGS IN BULGARIA.....	63
Boyka Mihaylova PECULIARITIES OF CHANGES IN GROUNDWATER LEVELS ON THE TERRITORY OF "AURUBIS BULGARIA" AD.....	69
Dunja Josipović, Nikola Milovanović, Branko Ivanković, Petar Begović UTICAJ PROSTORNE DISTRIBUCIJE MN I FE U PODZEMNIM VODAMA NA ODABIR LOKACIJE NOVOG EKSPLOATACIONOG BUNARA, PRIMJER IZVORIŠTA „ŽERAVICA“ U GRADIŠCI (RS-BIH)	75
Dušan Polomčić, Jelena Ratković, Dragoljub Bajić, Milica Stepanović DETALJAN 3D HIDRODINAMIČKI MODEL SLOŽENIH USLOVA STRUJANJA PODZEMNIH VODA DELA BEOGRADSKOG IZVORIŠTA PODZEMNIH VODA.....	81
Dušan Polomčić, Jelena Ratković, Vesna Ristić Vakanjac, Dejan Tadić, Bojan Hajdin KVANTITATIVNE KARAKTERISTRIKE EKSPLOATACIONOG REŽIMA PODZEMNIH VODA NA IZVORIŠTU „JAROŠ“ –SOMBOR	87
Dušan Polomčić, Jelena Ratković, Vesna Ristić Vakanjac, Dejan Drašković, Slavko Špadijer HIDRODINAMIČKE KARAKTERISTIKE IZVORIŠTA „PAVLIŠ“ ZA VODOSNABDEVANJE VRŠCA	93

Dušan Polomčić, Jelena Ratković, Vesna Ristić Vakanjac, Dejan Drašković, Slavko Špadijer HIDRODINAMIČKE KARAKTERISTIKE IZVORIŠTA „NEPRIČAVA“ ZA VODOSNABDEVANJE LAZAREVCA.....	99
Dušan Stojadinović HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA PLANINE RADOČELO	105
Golub Lj. Čulafić, Jelena Krstajić, Jana Vukotić ULOGA HIDROMETRIJSKIH MJERENJA PRILIKOM VRŠENJA KOMPLEKSNIH HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA – PRIMJER DONJEG TOKA RIJEKE MORAČE U ZETSKOJ RAVNICI, CRNA GORA	109
Goran Marinković, Marina Magazinović, Nataša Obradović, Darko Spahić, Maja Poznanović Spahić, Bogdan Kuzmanović AKVIFERI GRANITNOG MASIVA GORNJANA (ISTOČNA SRBIJA)	113
Matko Patekar, Staša Borović, Josip Terzić, Marco Pola, Maja Briški, Ivan Kosović FIVE YEARS OF INTERDISCIPLINARY RESEARCH ON A SMALL KARST ISLAND OF VIS (CROATIA)	119
Miljan Kovačević, Tina Dašić, Nenad Ivanišević PRIMENA ADAPTIVNIH NEURO-FAZI SISTEMA (ANFIS) ZA KRATKOROČNU PROGNOZU PROTOKA KARSTNIH IZVORA	129
Nikola Krstić, Tanja Pajčić HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE OPLENCA.....	135
Nikola Milovanović, Mr Petar Begović, Dunja Josipović, Branko Ivanković PRIMJENA IZOTOPSKIH I HIDROHEMIJSKIH METODA ISTRAŽIVANJA ZA POTREBE DEFINISANJA SLIVNIH PODRUČJA NA PRIMJERU KARSTNOG VRELA „IZRON-SUHA“ (BIH)	141
Nikola Nikolić, Vaso Novaković HIDROHEMIJSKE KARAKTERISTIKE PODZEMNIH VODA IZDANI SA INTERGRANULARNIM TIPOM POROZNOSTI U SEVERNOM DELU REPUBLIKE SRPSKE	147
Petar Dokmanović, Mihajlo Djordjević ARTESKE IZDANI NEOGENOG SEDIMENTNOG KOMPLEKSA NA PODRUČJU GRADA ZAJEČARA	153
Petar Milanović HIDROGEOLOŠKA FUNKCIJA DOLOMITA U KARSTU ISTOČNE HERCEGOVINE.....	159
Petar Vojnović, Saša Milanović ULOGA ESTAVELA U FUNKCIONISANJU KARSTNIH SISTEMA.....	165
Peter Gerginov, Tatyana Orehova, Aglaida Toteva, Aleksey Benderev OVERVIEW OF GROUNDWATER RESOURCES IN BULGARIA.....	171
Tanja Pajčić, Nikola Krstić HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA PIROTSKE KOTLINE PRIMENOM GEOFIZIČKIH METODA	177

- Uroš Jurošević, Tamara Marković, Zoran Kovač, Marija Milanović, Spasoje Glavaš**
HIDROHEMIJSKA I IZOTOPSKA KARAKTERIZACIJA IZVORA U SLIVU RIJEKE SUŠICE..... 185
- Aleksandar Avramović, Aleksandra Pešić**
PRIMENJENA HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA NEOGENE IZDANI ZA POTREBE
VODOSNABDEVANJA STANOVNIŠTVA GRADA POŽAREVCA
..... 193
- Aleksandra Pešić, Aleksandar Avramović, Đurđa Milojković**
REZULTATI PRIMENJENIH HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA ZA POTREBE OTVARANJA NOVOG
IZVORIŠTA „JAGODICA“ ZA POTREBE VODOSNABDEVANJA KOSTOLCA..... 199
- Zoran Nikić, Nenad Marić, Vukašin Milčanović**
DOPRINOS NEOTEKTONSKE ANALIZE U FORMIRANJU HIDROGEOLOŠKOG MODELA KARSTNE
IZVORSKE ZONE VISOK – STARA PLANINA 205
- Nikola Nenadić, Miroslav Radić, Dragan Grujić, Željko Ćirić**
HIDRODINAMIČKE KARAKTERISTIKE IZVORIŠTA PODZEMNIH VODA ZA VODOSNABDEVANJE
STARE PAZOVA..... 211
- Mila Trayanova-Koleva, Sava Kolev, Aleksey Benderev**
GEOLOGICAL FACTORS FOR THE FORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF
GROUNDWATER IN THE CATCHMENT AREA OF THE PCHELINA RESERVOIR, BULGARIA
..... 217
- Veljko Marinović**
KARAKTERIZACIJA I KLASIFIKACIJA KARSTNIH HIDROGEOLOŠKIH SISTEMA POMOĆU
STATISTIČKE ANALIZE I KRIVE TRAJANJA PROTOKA: PRIMERI IZ DINARIDA 223
- Boris Vakanjac, Dejan Đorđević, Saša Bakrač, Radoje Banković, Siniša Mil. Stanković**
PRIKAZ VODOOBJEKATA U VOJNOJ KARTOGRAFIJI SRBIJE OD 1876 DO DANAS (2024. GODINE)
..... 229
- Milan Kresojević, Vesna Ristić Vakanjac, Dušan Polomčić, Boris Vakanjac, Jugoslav Nikolić**
KROSKORELACIONE ANALIZE NIVOA PODZEMNIH VODA I NIVOA VELIKE MORAVE,
VODOMERNI PROFIL LJUBIČEVSKI MOST 237
- Saša T. Bakrač, Boris Vakanjac, Nikola Stamenković, Jovana Mladenović**
UPOREĐIVANJE POSTOJEĆIH I ISTORIJSKI ZABELEŽENIH HIDROGEOLOŠKIH OBJEKATA
KORIŠĆENJEM GIS TEHNOLOGIJE NA PODRUČJU MANASTIRA PIVA..... 243
- László Palcsu**
TRITIUM: AN EXCELLENT TRACER IN HYDROLOGY 249
- Ljiljana Vasić, Saša Milanović, Laszlo Palcsu**
DEFINISANJE GENEZE KARSTNIH VODA SEVERNOG DELA BELJANIČKOG MASIVA PRIMENOM
IZOTOPSKIH METODA ISTRAŽIVANJA 251
-

2. Zaštita podzemnih voda

- Branislav Petrović, Živojin Smiljković, Veljko Marinović**
UTICAJ ZEMLJIŠTA I EPIKARSTA NA KVALITET PODZEMNIH VODA KARSTNE IZDANI NA PRIMERU KARSTNE IZDANI SUVE PLANINE..... 257
- Irina Galitskaya, Elena Solomatina, Yurii Trofimov, Tatiana Morosova**
STUDY OF GROUNDWATER PROTECTION AND CONTAMINATION IN THE TERRITORIES OF THE MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS AFTER RECULTIVATION..... 263
- Krzysztof Dragon, Marcin Siepak, Magdalena Matusiak, Roksana Kruć-Fijałkowska, Dariusz Drożdżyński, Marek Szczepański, Józef Górski**
THE PHARMACEUTICAL COMPOUNDS INVESTIGATION AT THE RIVER BANK FILTRATION SITE LOCATED IN THE WARTA RIVER VALLEY (POLAND) – PRELIMINARY RESULTS..... 269
- Milorad Kličković**
SNEŽNO – LEDNI MARKER PONORSKE ZONE TUBIĆA PEĆINE 271
- Nenad Marić, Jason Polk, Zoran Nikić**
KONTAMINACIJA KARSTNIH IZDANI UGLJOVODONICIMA: PRELIMINARNA ISTRAŽIVANJA NA BUNARU LYDA-1 (BOWLING GREEN, KENTUCKY)..... 275
- Nikolay G. Makisomovch, Vadim T. Khmurchik, Artem D. Demenev, Olga A. Berezina, Olga Yu. Meshcheriakova**
REAL-TIME MONITORING OF GROUNDWATER TREATMENT IN AN AREA WITH HYDROCARBON POLLUTION 281
- Olga Eremina, Irina Kozliakova, Elizaveta Romanova, Aleksandra Khairedinova, Elena Chutkerashvili**
ASSESSMENT OF GEOENVIRONMENT PROTECTION FROM CONTAMINATION UPON MSW DISPOSAL IN PLATFORM AREAS (BY THE EXAMPLE OF THE MOSCOW REGION)..... 285
- Vladimir Živanović, Slavko Špadijer**
ANALIZA USLOVA ZAŠTITE UŽIČKIH VRELA PRIMENOM TDM METODE ZA OCENU RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA 291
- Zlatko Ilijovski, Mihail Kočubovski, Silvana Pešovska**
ISKUSTVA PRILIKOM PRIPREME ELABORATA ZA UTVRĐIVANJE ZAŠTITNIH ZONA IZVORIŠTA ZA JAVNO VODOSNABDEVANJE U R. S. MAKEDONIJI 297
- Simeon Valtchev, Aglaida Toteva, Alexander Grigorov and Aleksey Benderev**
CADMIUM IN BULGARIAN GROUNDWATER: AN OVERVIEW 303
- Saša Milanović, Ljiljana Vasić, Milorad Kličković, Srđan Stefanović**
PRILOG POZNAVANJU ULOGE KARSTNIH IZDANSKIH VODA U FORMIRANJU JEZERA “KRUPAČKO BLATO” U FUNKCIJI NJEGOVOG OČUVANJA, UREĐENJA I TURISTIČKE VALORIZACIJE.....309
-

3. Mineralne vode i njihovo iskorišćavanje

- Ana Milićević, Olga Jakovljević, Jelena Krizmanić, Ana Knežević, Sanja Šovran**
DIVERZITET ALGI U TERMO-MINERALNOM IZVORU MONARH (BOGATIĆ, SRBIJA) 315
- Ferid Skopljak**
DESTRUKCIJA ZAŠTITNE KOLONE KOD IZVOĐENJA BUŠOTINE MINERALNE VODE SA CO₂
..... 321
- Goran Milanović i Dragan Stanković**
NOVI REZULTATI HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA TERMOMINERALNIH VODA IZVORIŠTA
LUKOVSKA BANJA 327
- Jana Štrbački, Vladimir Živanović, Nebojša Atanacković, Snežana Kretić**
PRIMENA KLASIFIKACIJE METODOM K-SREDNJIH VREDNOSTI ZA ISPITIVANJE
HIDROHEMIJSKOG DIVERZITETA PODZEMNIH VODA 333
- Marija Milanović, Uroš Jurošević, Spasoje Glavaš**
MINERALNE VODE VITINIČKOG KISELJAKA I KOZLUKA 339
- Milan Tomić, Miloško Lazić, Natalija Tatić**
HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE LEKOVITIH VODA BANATA 347
- Veselin Dragišić, Vladimir Živanović, Nebojša Atanacković, Sava Magazinović, Saša
Stojadinović, Sunčica Ninković**
HIDROGEOLOGIJA KALKŠISTA I MERMERA BOŽIČKE I LISINSKE SERIJE VLASINSKOG
KRISTALASTOG KOMPLEKSA 353
- Yavor Ivanov, Aglaida Toteva**
MINERAL WATERS SUITABLE FOR BALNEOTHERAPY OF DERMATOLOGICAL PROBLEMS IN
BULGARIA 361
- Tanja Petrović Pantić**
HIDROGEOTERMALNI SISTEM BUJANOVAČKE BANJE 367
- Snežana Kretić, Nebojša Atanacković, Jana Štrbački**
MODELIRANJE KINETIKE RASTVARANJA PIRITA U PHREEQC PROGRAMU NA PRIMERU
SULFIDNOG LEŽIŠTA RUDNIKA GROTA 373

4. Geotermalna energija

- Dejan Milenić, Ana Vranješ, Marinko Toljić, Ivana Vasiljević, Natalija Radosavljević, Matija
Ognjanović**
KONCEPTUALNI MODEL HIDROGEOTERMALNOG SISTEMA ŠIRE OKOLINE BRUSA - GEOLOŠKI,
GEOFIZIČKI I HIDROGEOLOŠKI USLOVI 381
- Dejan Milenić, Ana Vranješ, Marinko Toljić, Ivana Vasiljević, Natalija Radosavljević, Matija
Ognjanović**
KONCEPTUALNI MODEL HIDROGEOTERMALNOG SISTEMA ŠIRE OKOLINE BRUSA -
GEOTERMALNA KARAKTERIZACIJA SISTEMA 389
-

Goran Marinković, Marina Magazinović, Nataša Obradović, Darko Spahić, Maja Poznanović Spahić, Bogdan Kuzmanović

SUBTERMALNE VODE LEŽIŠTA UGLJA ZABELA U DESPOTOVAČKOM NEOGENOM BASENU
..... 395

Slobodan Kolbah, Tena Bilić, Mladen Škrlec & Branimir Cvetković

ISTRAŽIVANJE I KORIŠTENJE GEOTERMALNE ENERGIJE U REPUBLICI HRVATSKOJ 401

Staša Borović, Ivan Kosović, Mirja Pavić, Marco Pola, and Kosta Urumović

ULOGA STRUKTURNO-GEOLOŠKIH ANALIZA U ISTRAŽIVANJU HIDROTERMALNIH SUSTAVA –
PRIMJERI IZ HRVATSKE..... 407

Zsolt Pinjung, Viktória Mikita, Balázs Kovács and János Szanyi

IMPACT OF HYDROCARBON PRODUCTION ON THE PRESSURE REGIME OF GEOTHERMAL
RESERVOIRS IN THE SOUTHERN HUNGARIAN GREAT PLAIN 413

5. Hidrogeološka istraživanja u hidrotehnici, rudarstvu i građevini

Vladimir Beličević

ULOGA I MESTO GEOLOŠKIH I HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA ZA POTREBE PROJEKTOVANJA
HIDROTEHNIČKIH OBJEKATA 419

Dragoljub Bajić, Dušan Polomčić, Vesna Ristić Vakanjac, Milica Stepanović, Jelena Ratković

HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA ZA POTREBE IZRADE TUNELA: SLUČAJ DELA AUTOPUTA NA
PANEVROPSKOM KORIDORU VC KROZ BOSNU I HERCEGOVINU - REPUBLIKU SRPSKU..... 425

Dragoslav Banjak, Saša Milanović

IDENTIFIKACIJA GEOHEMIJSKIH PROCESA U AKUMULACIJI GORICA PRIMJENOM INVERZNOG
MODELOVANJA..... 431

**Eugenia Tarassova, Aleksey Benderev, Elena Tacheva, Milen Stavrev, Valentina
Lyubomirova and Mihail Tarassov**

GENERAL CHARACTERISTICS OF DRAINAGE WATERS IN THE GRANTCHARITSA TUNGSTEN
DEPOSIT, BULGARIA 437

Filip Stanić, Željko Vasilić, Anja Randelović

PRORAČUN TRENUTNOG SLEGANJA TLA USLED SNIŽENJA NIVOVA PODZEMNE VODE U FAZI
GRADNJE PRIMENOM SOFTVERA WELL-DRAIN 441

Gleb Zarnitsyn

ANALYSIS OF CHANGES IN HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS AT DIFFERENT STAGES OF SOLID
MINERAL MINING USING STOCHASTIC MODELING..... 447

Maja Todorović, Marina Ćuk Đurović, Igor Jemcov

MONITORING HIDRAULIČKIH TRANZIJEKATA U TUNELIMA POD PRITISKOM (HE PIROT)
..... 453

Maria V. Vilkina, Anton M. Nikulenkov, Vyacheslav G. Rumynin

FIELD AND MODEL INVESTIGATION OF THE CLAY LAYER'S PERMEABILITY IN THE FAULT ZONE
NEAR THE PAKS II NPP 459

Marko Belotić, Milan Brkić i Aleksandar Miladinović HIDROGEOLOŠKI USLOVI IZGRADNJE BRANE I AKUMULACIJE „KLAK“ U OKVIRU SISTEMA RHE „BISTRICA“	465
P. A. Rybnikov, L. S. Rybnikova HYDROGEOLOGICAL RESEARCH FOR POST-MINING OF THE KIZEL COAL BASIN (THE URALS, RUSSIA).....	472
Sava Kolev MODEL BASED ASSESSMENT OF URANIUM MIGRATION IN THE REGION OF VULCHE DERE CREEK, DOWNSTREAM OF “ELESHNITSA” TAILINGS POND, SW BULGARIA.....	479
Tanja Adamović DUBINSKO ODVODNJAVANJE I DALJINSKO UPRAVLJANJE NA POVRŠINSKOM OTKOPU DRMNO	483
Vesna Tripković, Vladimir Lukić, Goran Jevtić i Milenko Pušić SOFTVERSKA KOMPONENTE ZA PRE I POST PROCESING PODATAKA MATEMATIČKOG MODELIRANJA STRUJANJA PODZEMNIH VODA	489
Violeta Čolaković, Vladan Čanović, Sanja Grujičić „IN SITU“ HIDROGEOLOŠKA MERENJA NA PK „GARAJEVAC ISTOK“	495
Vladan Čanović, Violeta Čolaković PROCENA UTICAJA PROJEKTOVANE PODVODNE EKSPLOATACIJE UGLJA NA RUDNIKU NOVI KOVIN NA NIVO PODZEMNIH VODA I RAD CRPNIH STANICA U ZONI KOVINSKE DEPRESIJE PRIMENOM HIDRODINAMIČKOG MODELOVANJA STRUJANJA PODZEMNIH VODA.....	499
Vladimir Lukić, Goran Jevtić, Milenko Pušić, Vesna Tripković PRIMENA MATEMATIČKOG MODELIRANJA STRUJANJA PODZEMNIH VODA U HIDROTEHNIČKOM UREĐENJU PROSTORA-PRIMER KAMENIČKE ADE I RIBARSKOG OSTRVA U NOVOM SADU	505
Rastko Petrović, Petar Škrbić ULOGA HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA U PRIMENI PODLOGA ZA PROJEKTOVANJE RAZVODNOG GASOVOSA RG 05-06 BEOGRAD-VALJEVO-LOZNICA – PRIMER: ZBIJENI TIP IZDANI VEĆE IZDAŠNOSTI ALUVIJALNIH NASLAGA KOLUBARE.....	511
6. Studentski radovi	
Ognjen Ivić PRIMENA MAŠINSKOG UČENJA ZA PREDVIĐANJE NIVOVA VODE U BUNARU: LINEARNA REGRESIJA KROZ ANALIZU ISTORIJSKIH PODATAKA.....	521
Pyabalo Eugène Katansao, Dao Sama, Ljiljana Vasic, Kodjovi Zondokpo, Mohamede Alassani Bang’na ENGINEERING SOLUTIONS AGAINST POLLUTIONS OF BOREHOLE FOR WATER SUPPLY CLOSE FROM ATLANTIC SEA IN SOUTHERN TOGO: CASE OF THE BÈ AND BOKA BOREHOLES.....	527
Aleksandar Tanasković, Vesna Ristić Vakanjac, Veljko Marinović, Saša Milanović, Dušan Polomčić, Ljiljana Vasić, Branislav Petrović PRILOG POZNAVANJU REŽIMA ISTICANJA VRELA GORNJI DUŠNIK (SUVA PLANINA)	533

Hristina Petrova, Katarzyna Wątor, Ewa Kmiecik , Piotr Rusiniak, Boris Vakanjac, Vesna Ristić Vakanjac, Dimitar Petrov

HIDROGEOLOŠKE I HIDROHEMIJSKE KARAKTERISTIKE POJAVE TERMOMINERALNIH VODA U REONU VOLKOVO (SKOPLJE – REPUBLIKA SEVERNA MAKEDONIJA) 539

Igor Glavaš

GEOTERMALNE KARAKTERISTIKE PODRUČJA SEMBERIJE, REPUBLIKA SRPSKA..... 545

Ivan Drakulić, Dušan Polomčić, Jelena Ratković, Dragoljub Bajić

TEHNIKE MEKOG RAČUNARSTVA U HIDROGEOLOGIJI SOFT COMPUTING IN HYDROGEOLOGY 551

Jovana Lončar, Maša Vulović, Veljko Marinović, Branislav Petrović, Radisav Golubović, Vesna Ristić Vakanjac

PRILOG POZNAVANJU PROMENA KVALITATIVNIH PARAMETARA VODA VRELA BANJE KOD VALJEVA..... 557

Kodjovi Zondokpo, Mahaman Sani Tairou, Branislav Petrović, Eugène Pyabalo Katansao, Jana Štrbački

BASIC HYDROGEOCHEMICAL PROCESSES OF GROUNDWATER FROM GNEISSO-MIGMATITIC FORMATION IN SOUTHWEST TOGO 565

Martina Anđić, Dijana Vušović, Ksenija Bojović, Nemanja Zeković, Matija Aleksić

DEFINISANJE PH VRIJEDNOSTI I ELEKTROLITIČKE PROVODLJIVOSTI VODE IZVORA POD TREBJESOM, NIKŠIČKO POLJE, CRNA GORA..... 571

Maša Vulović

Analiza pojave mutnoće na karstnom vrelu Krupac (Piroć) u zavisnosti od padavina i izdašnosti 575

Nenad Janačković, Vesna Ristić Vakanjac, Veljko Marinović, Jugoslav Nikolić, Boris Vakanjac, Zoran Nikić

REŽIM KAMENIČKE REKE (SLIV REKE VISOČICE)..... 581

Anđelija Glogovac, Vesna Ristić Vakanjac, Veljko Marinović, Saša Milanović, Ljiljana Vasić

UTICAJ KLIMATSKIH PROMENA NA REŽIM VODA SLIVA REKE CRNICE 587

Indeks autora

PROSTOR ZA SPONZORE

ANALIZA USLOVA ZAŠTITE UŽIČKIH VRELA PRIMENOM TDM METODE ZA OCENU RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA

ANALYSIS OF PROTECTION CONDITIONS OF UŽICE KARST SPRINGS USING TDM GROUNDWATER VULNERABILITY ASSESSMENT METHOD

Vladimir Živanović¹, Slavko Špadijer²

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

²BEOGEOAQUA d.o.o., Bulevar Arsenija Čarnojevića 96, 11000 Beograd. E-mail: slavko.spadijer@beogeoqua.com

APSTRAKT: *Definisanje uslova zaštite podzemnih voda u karstnim terenima predstavlja kompleksan i multidisciplinarni zadatak koji zahteva upotrebu savremenih hidrogeoloških metoda. Metode za ocenu ranjivosti podzemnih voda kod kojih se ranjivost definiše na bazi vremena kretanja podzemnih voda mogu značajno da pomognu u delinaciji sanitarnih zona. Primenom ovih metoda se detaljno analiza zaštitna uloga nadizdanske zone tako se preventivne mere mogu usmeriti ka područjima gde su podzemne vode najranjivije i gde najlakše može doći do kontaminacije. Metode za ocenu ranjivosti podzemnih voda imaju široku primenu u karstnim terenima gde postoje specifični uslovi prihranjivanja, kretanja i isticanja, što se posledično odražava i na uslove zaštite podzemnih voda.*

U radu je prikaza primena TDM metode za ocenu ranjivosti podzemnih voda u slivu karstnih izvora „Živkovića vrelo“, „Čebića vrelo“ i „Potočanje“ koja se koriste za vodosnabdevanje Užica i okolnih naselja. Slivovi ovih vrela predstavljaju klasične binarne karstne sisteme gde se prihranjivanje vrši i difuzno i koncentrisano. Primenom TDM metode je dobijena karta ranjivosti podzemnih voda gde je ranjivost izražena preko vremena kretanja podzemnih voda. Dobijena karta je upotrebljena za definisanje zona sanitarne zaštite karstnih izvorišta.

Ključne reči: *Uslovi zaštite podzemnih voda, TDM metoda, Ranjivost izvorišta podzemnih voda, karstna izdan, Užička vrela*

ABSTRACT: *Analysis of groundwater protection conditions in karst terrains is a complex and multidisciplinary task that requires modern hydrogeological methods. Methods for groundwater vulnerability assessment based on the groundwater travel time can significantly help delineate sanitary protection zones. The protective role of the unsaturated zone is analysed in detail using these methods so preventive measures can be directed to the areas where groundwater is most vulnerable and where contamination can most easily occur. Methods for assessing groundwater vulnerability are widely used in karst terrains where specific recharge, movement and discharge conditions exist, consequently affecting groundwater protection conditions.*

The paper presents the application of the TDM method for assessing the vulnerability of karst springs "Živkovića vrelo", "Čebića vrelo" and "Potočanje", which are used for the water supply of Užice and surrounding settlements. The catchments of these springs represent classic binary karst systems where recharge is diffuse and concentrated. Applying the TDM method, a groundwater vulnerability map was obtained, where vulnerability is expressed over the time of groundwater travel. The resulting map was used to delineate the sanitary protection zones of the karst groundwater sources.

Key words: *Groundwater protection conditions, TDM method, Vulnerability of groundwater sources, Karst aquifer, Užice karst springs*

UVOD

Zaštita izvorišta podzemnih voda u karstu predstavlja kompleksan zadatak koji zahteva detaljnu analizu karstnog sistema. Kako bi se obezbedio dobar kvalitet podzemnih voda neophodno je dobro definisati slivnu površinu izvorišta i uspostaviti konkretne mere preventivne zaštite. Određivanje slivne površine obično obuhvata detaljnu analizu geoloških, tektonskih, geomorfoloških, hidrogeoloških, hidroloških i drugih faktora koji utiču na uslove prihranjivanja, kretanja, zadržavanja i isticanja karstnih voda (Goldscheider, 2010).

Savremene metode za ocenu ranjivosti podzemnih voda mogu značajno da pomognu u određivanju uslova zaštite podzemnih voda jednog izvorišta (Vrba & Zaporozec, 1994, Chave *et al.* 2006). Pored toga što pokazuju delove terena gde su podzemne vode najranjivije, ove metode se mogu iskoristiti u cilju verifikacije veličine sliva izvora sa obzirom da se tokom ocene ranjivosti vrši i prostorna analiza veličine prihranjivanja. Dobijene karte predstavljaju neizostavne podloge kod definisanja veličina sanitarnih zona i pri implementaciji različitih restriktivnih mera (Živanović, 2016a).

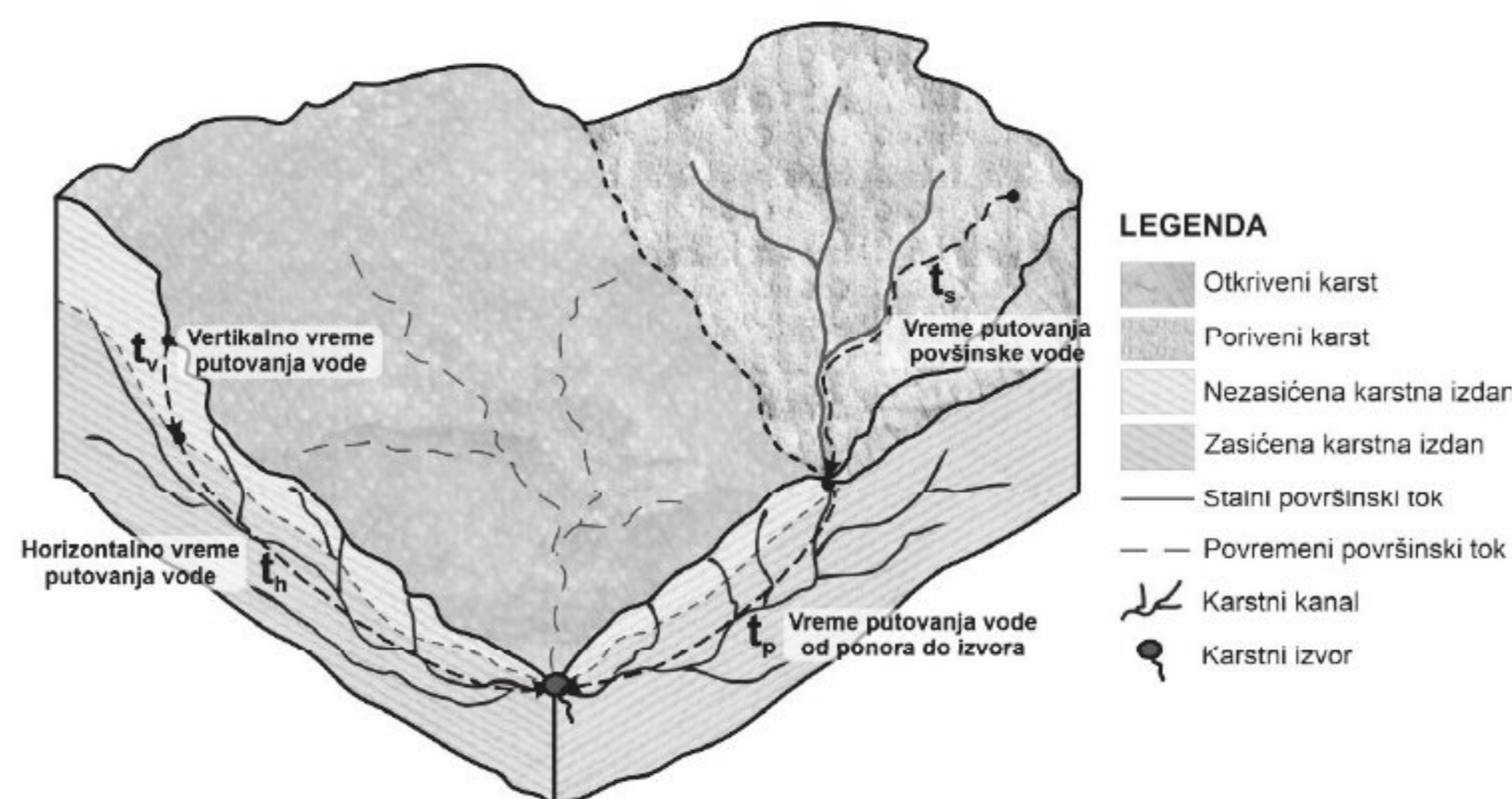
U radu je prikazana primena TDM metode (Živanović, *et al.* 2016b, Živanović, *et al.* 2021) za analizu uslova zaštite karstnih izvorišta „Živkovića vrelo“, „Čebića vrelo“ i „Potočanje“ koja se koriste za vodosnabdevanje Užica i okolnih naselja. Ovom metodom su uspešno simulirani binarni uslovi prihranjivanja, dok su zone sanitarne zaštite definisane na bazi vremena kretanja karstnih podzemnih voda ka izvorima.

METODOLOGIJA

Uslovi zaštite užičkih vrela „Živkovića vrelo“, „Čebića vrelo“ i „Potočanje“ su analizirani primenom TDM metoda (eng. *Time Dependant Method*) za ocenu ranjivosti izvorišta podzemnih voda. Primenom ove metode se određuje ranjivost izdani i izvorišta podzemnih voda na bazi kretanja vode sa površine terena do vodozahvatnog objekta. Za potrebe primene TDM metode analiziraju se različiti parametri kojima se vrši procena ključnih komponenti od kojih zavisi ukupno vreme kretanja vode: vreme kretanja površinskih voda (t_s) u slivu svakog ponora odnosno ponirućeg toka, vreme vertikalnog kretanja podzemne vode kroz nadizdanku zonu (t_v) i vreme horizontalnog kretanja podzemne vode (t_h) odnosno prostorno kretanje infiltrirane vode ka vodozahvatu. Ukupno vreme putovanja vode (t_{tot}), a samim tim i kontaminanata sa površine terena do vodozahvatnog objekta se može izračunati preko sledeće relacije (Živanović *et al.* 2021):

$$t_{tot} = t_v + t_h \text{ (za delove terena van sliva zona sa koncentrisanom infiltracijom)}$$

$$t_{tot} = t_s + t_p \text{ (za delove terena u slivu zona sa koncentrisanom infiltracijom)}$$



Slika 1. Konceptualni model određivanja vremena putovanja kontaminanta sa površine terena do vodozahvatnog objekta primenom TDM metode (Zivanovic *et al.* 2021, modifikovano)

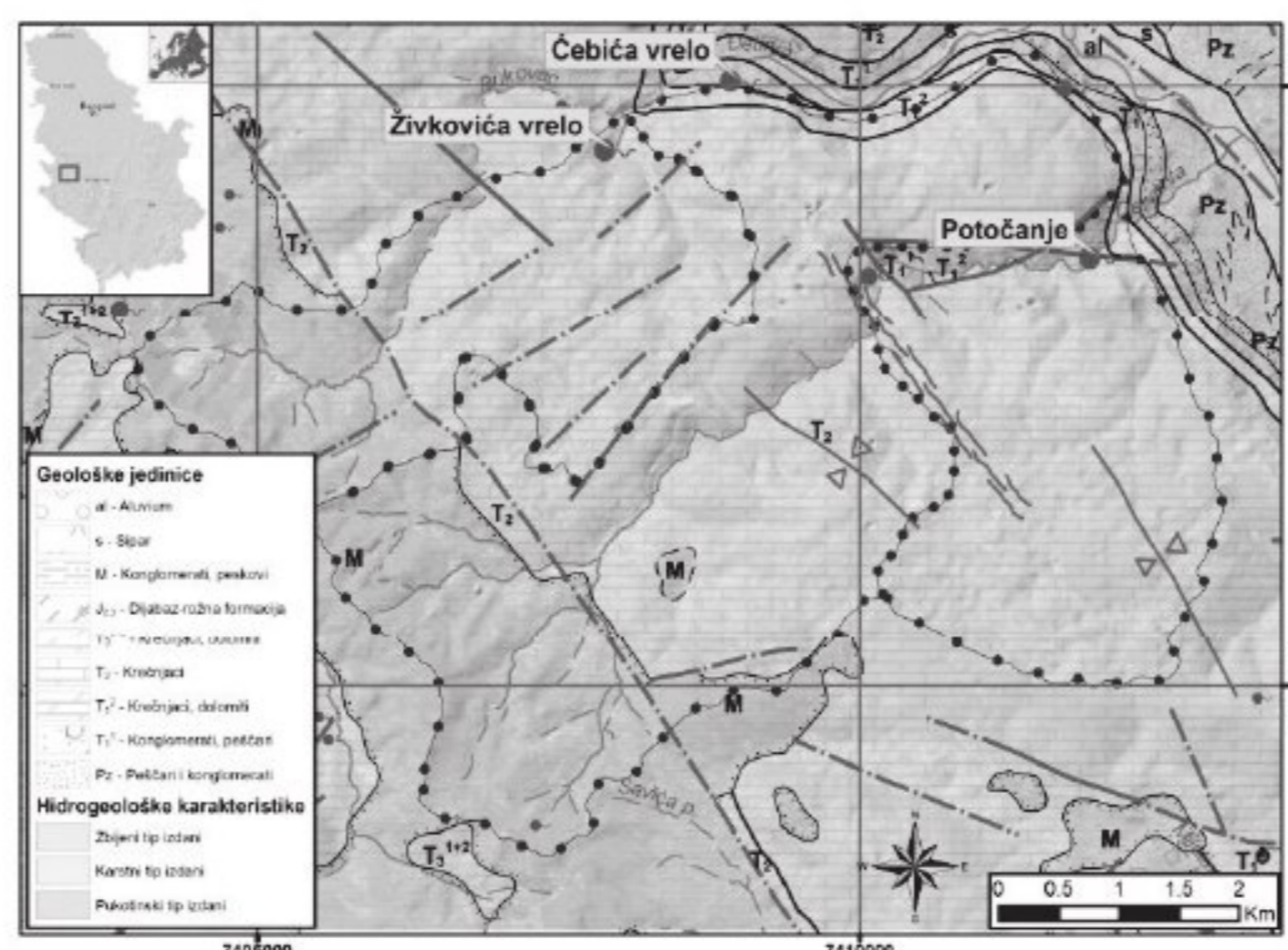
Figure 1. Conceptual time-dependent model (TDM) for karst source vulnerability (Zivanovic *et al.* 2021, modifikovano)

Primenom ovih proračuna dobija se karta ranjivosti izdani (klasifikovana karta na bazi vertikalnog vremena kretanja podzemnih voda) i karta ranjivosti izvorišta koja se dobija klasifikacijom ukupnog vremena kretanja vode (t_{tot}). Jedna od prednosti primene ove metode jeste i činjenica da se kod proračuna vertikalnog vremena kretanja podzemnih voda računa i prostorna infiltracija pa se samim tim dobija jedna od komponenti bilansa voda.

TEST PODRUČJE

Karstni izvori „Živkovića vrelo“, „Čebića vrelo“ i „Potočanje“ se koriste za snabdevanje vodom Užica, Sevojna i okolnih naselja. Istražno područje predstavlja tipičan binaran karstni hidrogeološki sistem. Karstni deo je najvećim delom razvijen u trijaskim krečnjacima i dolomitima (slika 2). Nekarstni deo obuhvata zapadni deo područja gde su trijasko tvorevine pokrivene miocenskim sedimentima (Mojsilović *et al.* 1971). Debljina karbonatnog kompleksa na ovim prostorima varira od 150-750 m. „Čebića vrelo“

nalazi se u lokalnosti Vrela u klisuri Đetinje, na njenoj desnoj strani u neposrednoj blizini Užica (atar Krčagova). Ovo vrelo drenira karstnu površ poznatu pod nazivom Gajevi. Izdašnost vrela u ekstremnom minimumu iznosi oko 10 -12 l/s, a najveća izmerena izdašnost je oko 250 l/s. „Živkovića vrelo“ izvire u potoku u naselju Bukovac ispod krečnjačke padine Ljubinske visoravni na odstojanju oko 3,3 km jugoistočno od grada Užica. Izvorište daje oko 20-70 l/s. Vrelo „Potočanje“ se nalazi u naselju Potočanje jugoistočno od Sevojna od koje je udaljeno oko 3 km. Minimalna izdašnost izvorišta „Potočanje“ se procenjuje na oko 20 l/s, a prosečna izdašnost iznosi oko 50 l/s (Špadijer *et al.* 2022).

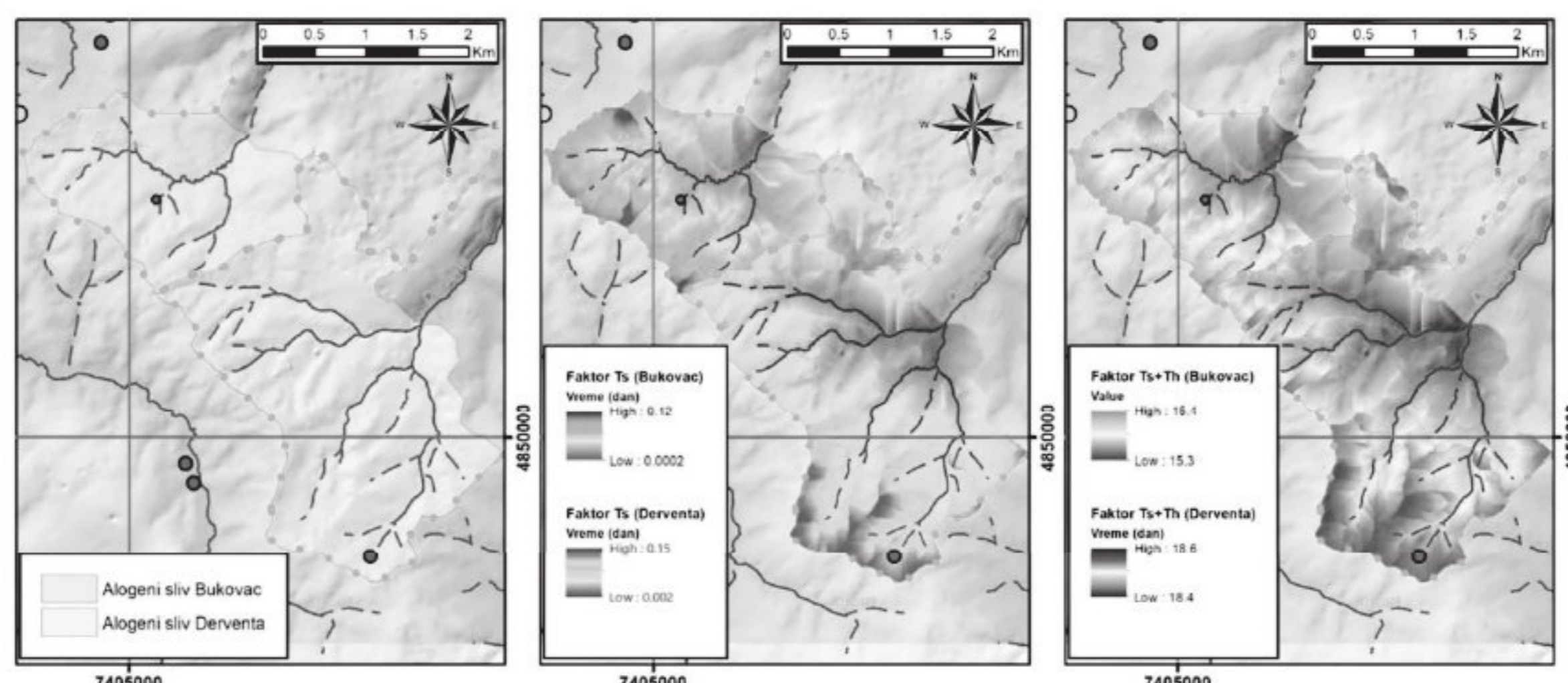


Slika 2. Hidrogeološka karta sliva užičkih vrela „Živkovića vrelo“, „Čebića vrelo“ i „Potočanje“
Figure 2. Hydrogeology map of the „Živkovića vrelo“, „Čebića vrelo“ and „Potočanje“ catchment areas

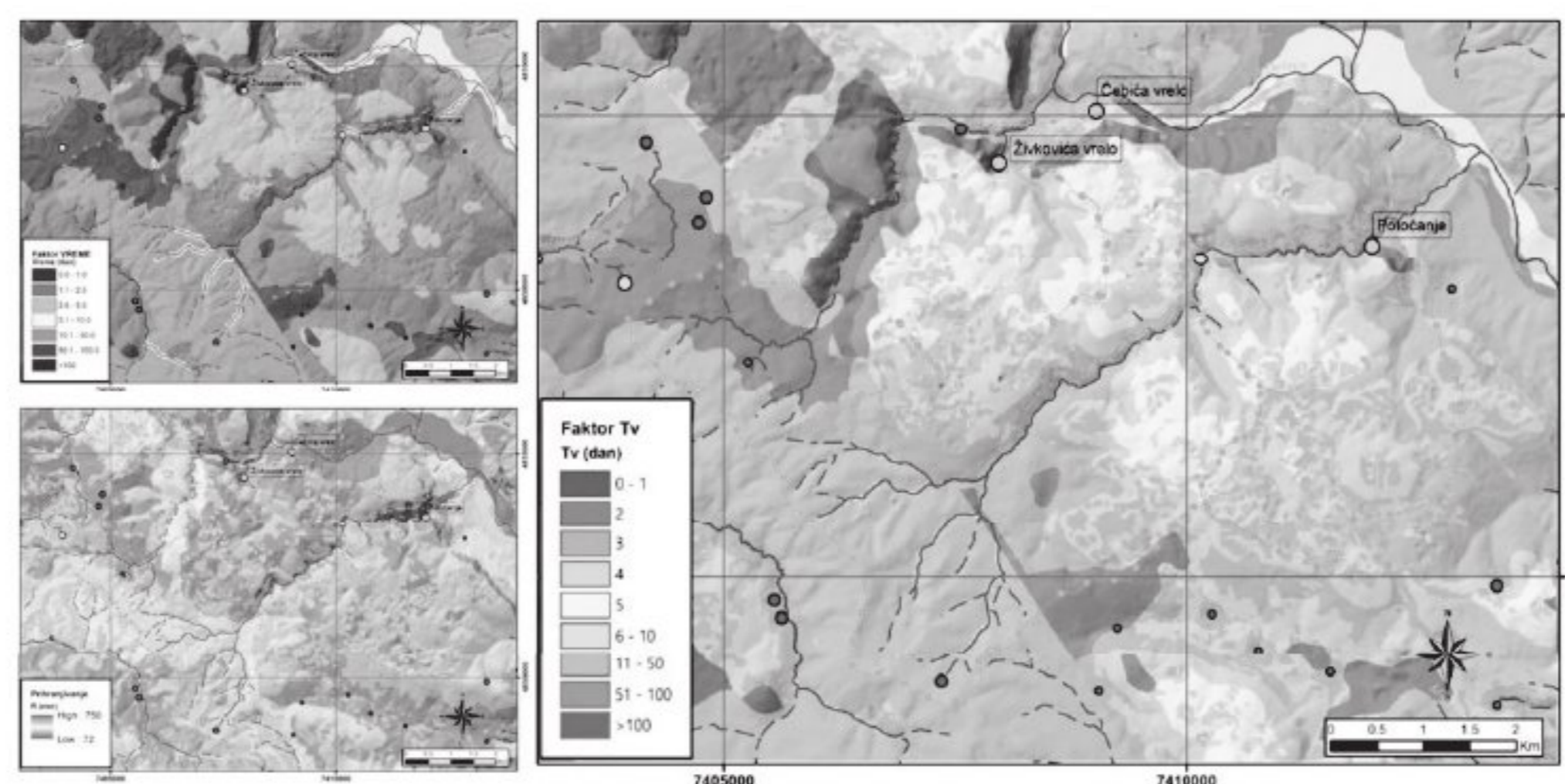
REZULTATI I DISKUSIJA

TDM metoda je primenjena za ocenu ranjivosti podzemnih voda u slivu sva tri vrela. Dobijeni rezultati su nakon toga iskorišćeni za delineaciju II i III zone sanitarne zaštite. U proračunu su posebno određene tri glavne komponente:

1. Vreme kretanja površinskih voda (t_s) je određivano za delove slivova „Čebića vrelo“ i „Živkovića vrelo“ gde postoji alogeno prihranjivanje (slika 3, levo) odnosno gde se formiraju površinski vodotoci na nekarstnoj podlozi koji se kasnije postepeno infiltriraju pri prelasku u karstn (gornji slivovi Dervente i Bukovca). Ova komponenta predstavlja sumu vremena tečenja površinskih voda nakon kiša: ravansko tečenje (*sheet flow*), plitko koncentrisano tečenje i kanalsko tečenje. Navedene komponente su izračunate na bazi Maningove jednačine za tečenje po ravni ili za kanalsko tečenje. U proračunu su uzete sledeće komponente vremena tečenja: dužina toka, nagib terena, hrapavost terena kao i intenzitet padavina (Conservation Engineering Division, 1986). Dobijena karta je pokazala da je potrebno manje od jednog dana da površinska voda dotekne iz bilo kog dela sliva do ponorske zone (slika 3, sredina). Ove vrednosti su očekivane sa obzirom na relativno malu veličinu slivova ovih ponirućih tokova. Ukupno vreme od oko 15 dana je dodato na svaku tačku sliva ovih ponirućih tokova kako bi se simuliralo ukupno vremena kretanja infiltrirajući voda do samih izvora.
2. Vreme vertikalnog kretanja podzemne vode kroz nadizdansku zonu (t_v) za slivnu površinu sva tri vrela je proračunato primenom Time-Input metode za ocenu ranjivosti podzemnih voda (Kralik and Keimel, 2003). Ovom metodom se procenjuje zaštitna funkcija nadizdanske zone. 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 nadizdanskoj zoni (slika 4, levo-gore). 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 vrela (slika 4, levo-dole). 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, desno).

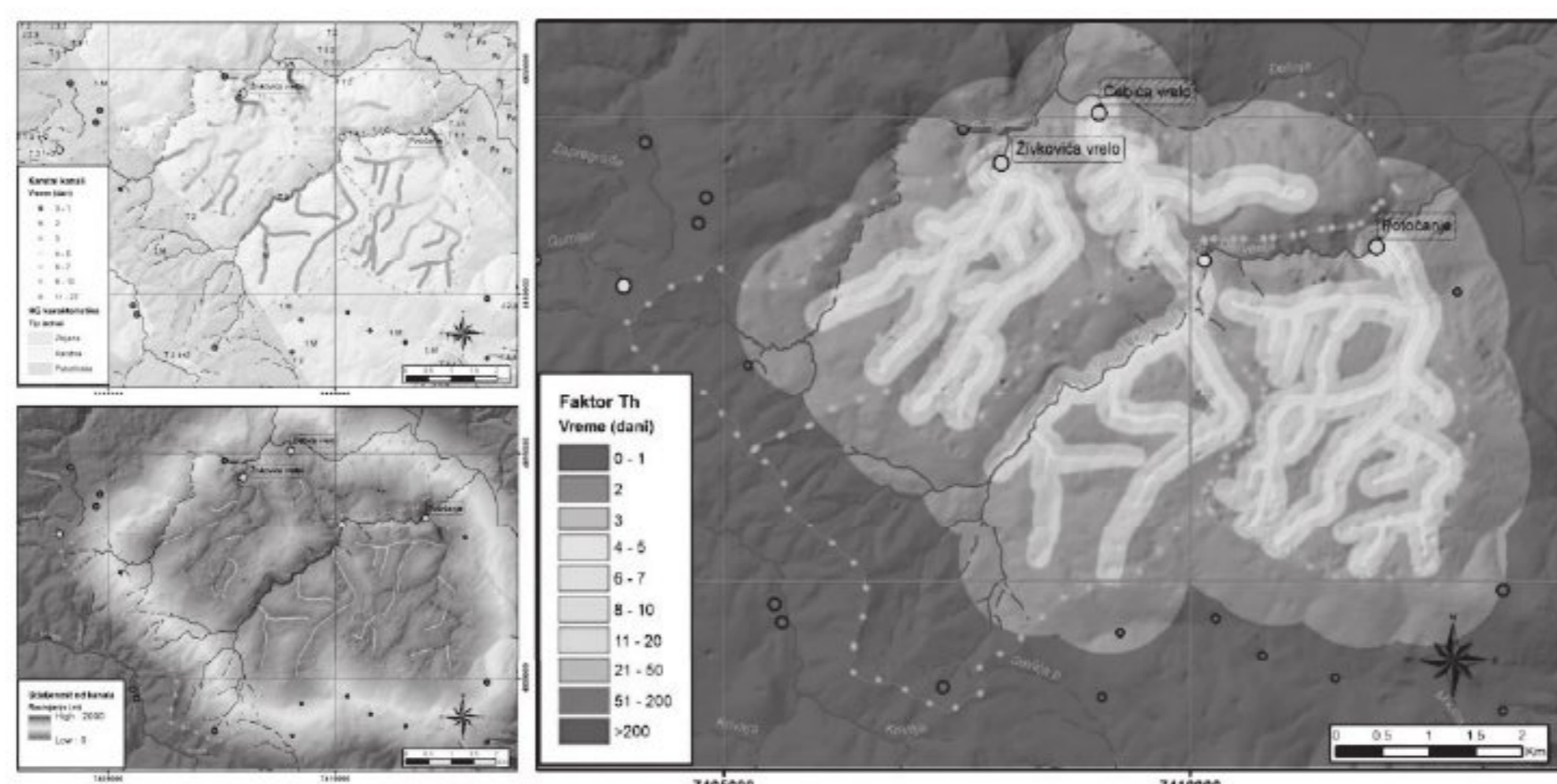


Slika 3. Delovi slivova sa alogenim prihranjivanjem (levo), karta vremena kretanja površinske vode u slivu ponora (sredina) i ukupno vreme kretanja vode do izvora (desno)
Figure 3. Subcatchments with allogenic recharge (left), surface travel time in the ponor's catchment area (middle) and total water travel time (right)



Slika 4. Karta faktora Vreme (levo-gore), veličine prostornog prihranjivanja (levo-dole) i vremena vertikalnog kretanja vode (t_v)
Figure 4. Factor Time map (left-up), recharge map (left-down) and vertical travel time (t_v) through the unsaturated zone

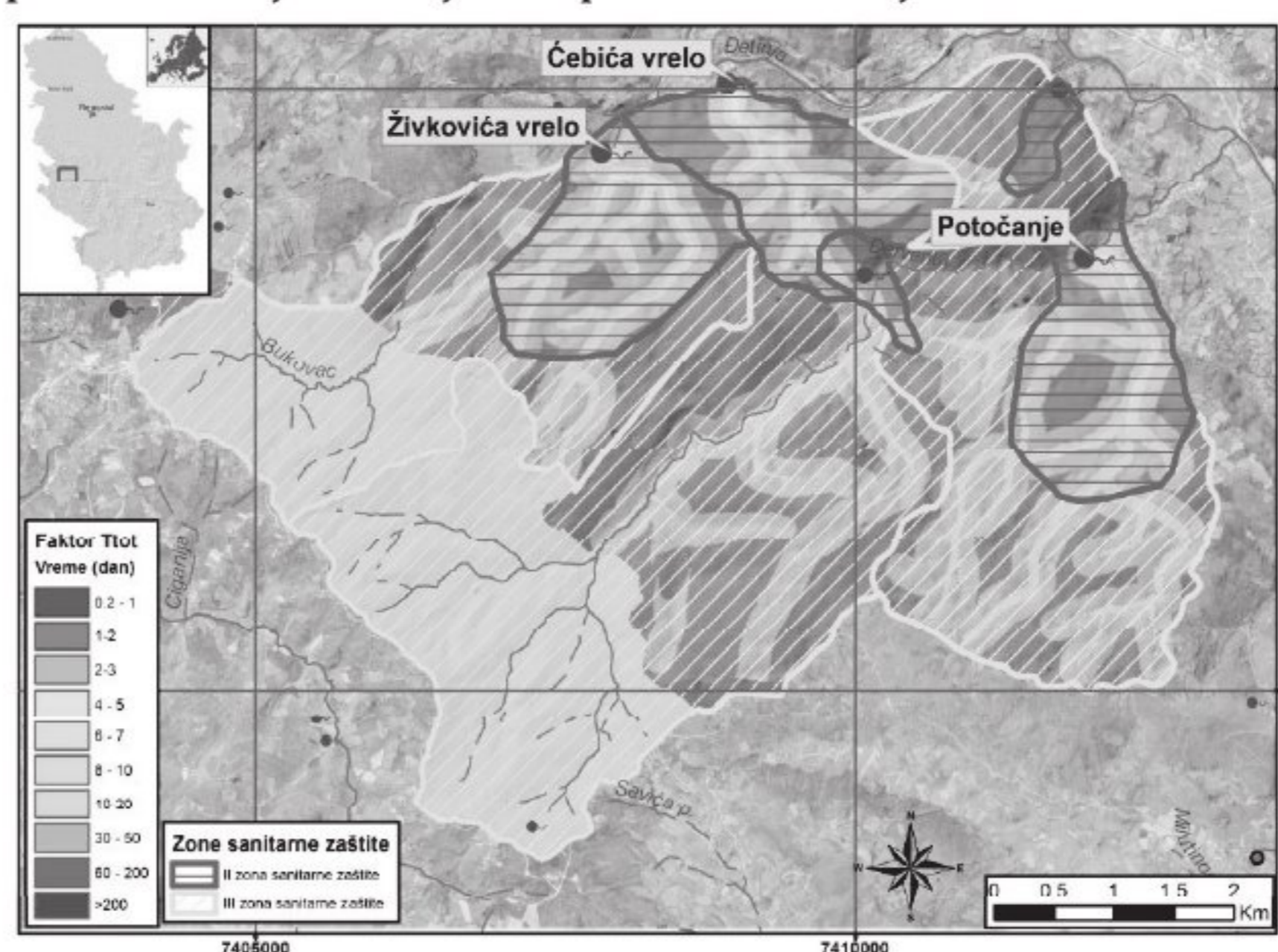
- U proračunu vremena horizontalnog kretanja podzemne vode (t_h) posebno je sračunata brzina filtracije vode kroz karstne kanale i kroz matriks stene. Za prostorni položaj glavnih karstnih kanala uzeti su u obzir rezultati analize karstnog sistema primenom BEKI-F modela (Špadijer i dr., 2022). Kanali su podeljeni u dve kategorije pri čemu je ukupna dužina glavnih kanala sa većom pouzdanošću određivanja iznosi oko 40 km. Značajni podaci su dobijeni i izvođenjem opita obeležavanja pri čemu su izračunate brzine kretanja karstnih voda od 0,0025 m/s do 0,0034 m/s (Špadijer i dr., 2022) i ove brzine su kasnije korišćene za proračun horizontalnih vremena kretanja podzemnih voda. Za sekundarne kanale koji gravitiraju ka glavnim kanalima uzete su manje brzine kretanja od 0,002 m/s i 0,001 m/s čime je simulirano kretanje karstnih voda kroz manje kanale (slika 5, levo-gore). Za simulaciju vremena kretanja kroz matriksnu poroznost prvo je za čitavo područje izvršen proračun udaljenosti svake tačke od najbližeg karstnog kanala (slika 5, levo-dole). 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 svim vrelima (slika 5, desno).



Slika 5. Karta vremena putovanja vode kroz karstne kanale (levo-gore), karta udaljenosti do najbližeg karstnog kanala (levo-dole) i karta vremena horizontalnog kretanja vode (t_h) (desno)

Figure 5. Map of water travel time through main karst conduits (left-up), distance to nearest conduit (left-down) and horizontal travel time (t_h) through the saturated zone (right)

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 užičkih vrela (slika 6) je pokazala da su najranjivija područja intenzive karstifikacije u severnom delu sliva. Ukupno vreme putovanja vode kroz nadizdansku i izdansku zonu kraće je od 5 dana za zone udaljene 800 m od „Živkovića vrela“, 500 m za „Čebića vrelo“ i oko 1000 m za vrelo „Potočanje“. Dobijena vremena putovanja su u saglasnosti sa rezultatima opita obeležavanja koji su izvedeni u slivu „Čebića vrela“. Ukupno vreme putovanja vode do 10 dana je karakteristično i za ostatak sliva gde su rasprostranjeni karstni tereni, ali samo za neposredni prostor rasprostranjenja karstnih kanala gde površinske vode nakon infiltracije relativno brzo mogu da oteknu do vrela. Za ostatak sliva gde su prisutne karbonatne stene ukupno vreme putovanja je većinom između 50 i 200 dana i podzemna voda koja se na ovaj način filtrira najviše doprinosi baznom oticaju. Na ukupno vreme kretanja vode na ovom prostoru u velikoj meri utiče spora filtracija podzemnih voda kroz matriks stene i manje pukotine, ali i debeo glinoviti zemljišni pokrivač koji značajno usporava kretanje vode kroz nadizdansku zonu.



Slika 6. Karta ukupnog vremena putovanja vode ka užičkim vreloma (t_{tot})

Figure 6. Map of total water travel time to Užice karst springs (t_{tot})

ZAKLJUČAK

Primenjena metoda za ocenu ranjivosti karstnih voda ukazuje na značaj analize specifičnih uslova karstnih hidrogeoloških sistema. Dobijena karta ranjivosti na bazi vremena kretanja površinskih i podzemnih voda lako može da se iskoristi za delineaciju zona sanitarne zaštite u skladu sa postojećom zakonskom regulativom. U konkretnom slučaju, za svaki karstno vrelo je na bazi kretanja vode ka izvorima izdvojena II zona sanitarne zaštite, dok je za III zonu uzeto celo slivno područje izvora koje uključuje i deo sliva sa alogenim prihranjivanjem. Poseban značaj dobijene karte ranjivosti je što pokazuje na kojim prostorima najviše treba voditi računa tokom primene restriktivnih mera u cilju očuvanja kvaliteta karstnih podzemnih voda.

ZAHVALNICA

Ova istraživanja su podržana od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija po osnovu ugovora br. 451-03-65/2024-03/200126.

LITERATURA

- Chave P., Howard G., Schijven J., Appleyard 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)
- Goldscheider, N., 2010: Delineation of spring protection zones. In: Groundwater Hydrology of Springs: Engineering, Theory, Management, and Sustainability (Editors: N. Kresic & Z. Stevanovic), Elsevier, B/H, 305-338.
- 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
- Mojsilović S. i dr., 1971: Karta i Tumač za OGK SFRJ, list "Titovo Užice" 1:100000, Savezni geološki zavod, Beograd
- Špadijer S., Milanović S., Živanović V., 2022: Elaborat o zonama sanitarne zaštite izvorišta „Čebića vrelo“, „Živkovića vrelo“, „Potočanje“, „Derventa“ i „Rujevac“. *Beogeoqua*.
- 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
- Vrba, J. and Zaporozec, A. (eds.), 1994: Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability, International Contributions to Hydrogeology (IAH), 16: 131 p.; Hannover.
- Živanović, V., 2016a: Razvoj metodologije zaštite izvorišta podzemnih voda primenom karata ranjivosti. Doktorska disertacija. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- Živanović, V.; Atanacković, N.; Stojadinović, S., 2021: Vulnerability Assessment as a Basis for Sanitary Zone Delineation of Karst Groundwater Sources—Blederiya Spring Case Study. *Water* 2021, 13, 2775. doi: 10.3390/w13192775 (IF=3.103)
- Živanović, V.; Jemcov, I.; Dragišić, V.; Atanacković, N.; Magazinović, S.. 2016b: Karst groundwater source protection based on the time-dependent vulnerability assessment model: Crnica springs case study, Eastern Serbia. *Environ. Earth Sci.* 2016, 75, 1224, doi:10.1007/s12665-016-6018-2.