

Хидрогеолошка истраживања за потребе израде тунела: случај дела аутопута на паневропском коридору Vc кроз Босну и Херцеговину - Републику Српску

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



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Хидрогеолошка истраживања за потребе израде тунела: случај дела аутопута на паневропском коридору Vc кроз Босну и Херцеговину - Републику Српску | Dragoljub Bajić, Dušan Polomčić, Vesna Ristić Vakanjac, Milica Stepanović, Jelena Ratković | 17. Српски симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем, Пирот, 2-6 октобар 2024 | 2024 | |

10.5281/zenodo.13740168

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0009229>

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

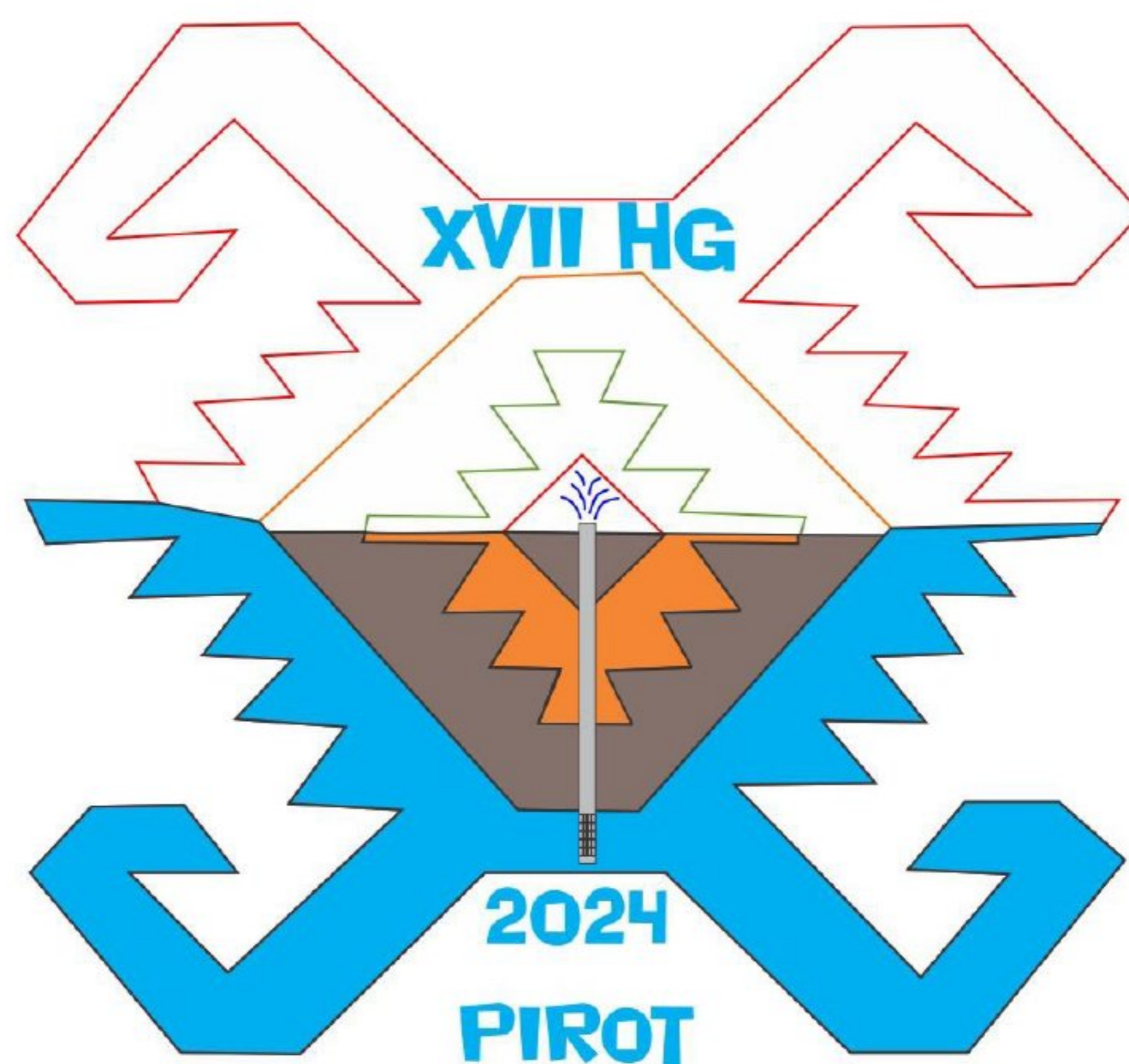
The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs

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

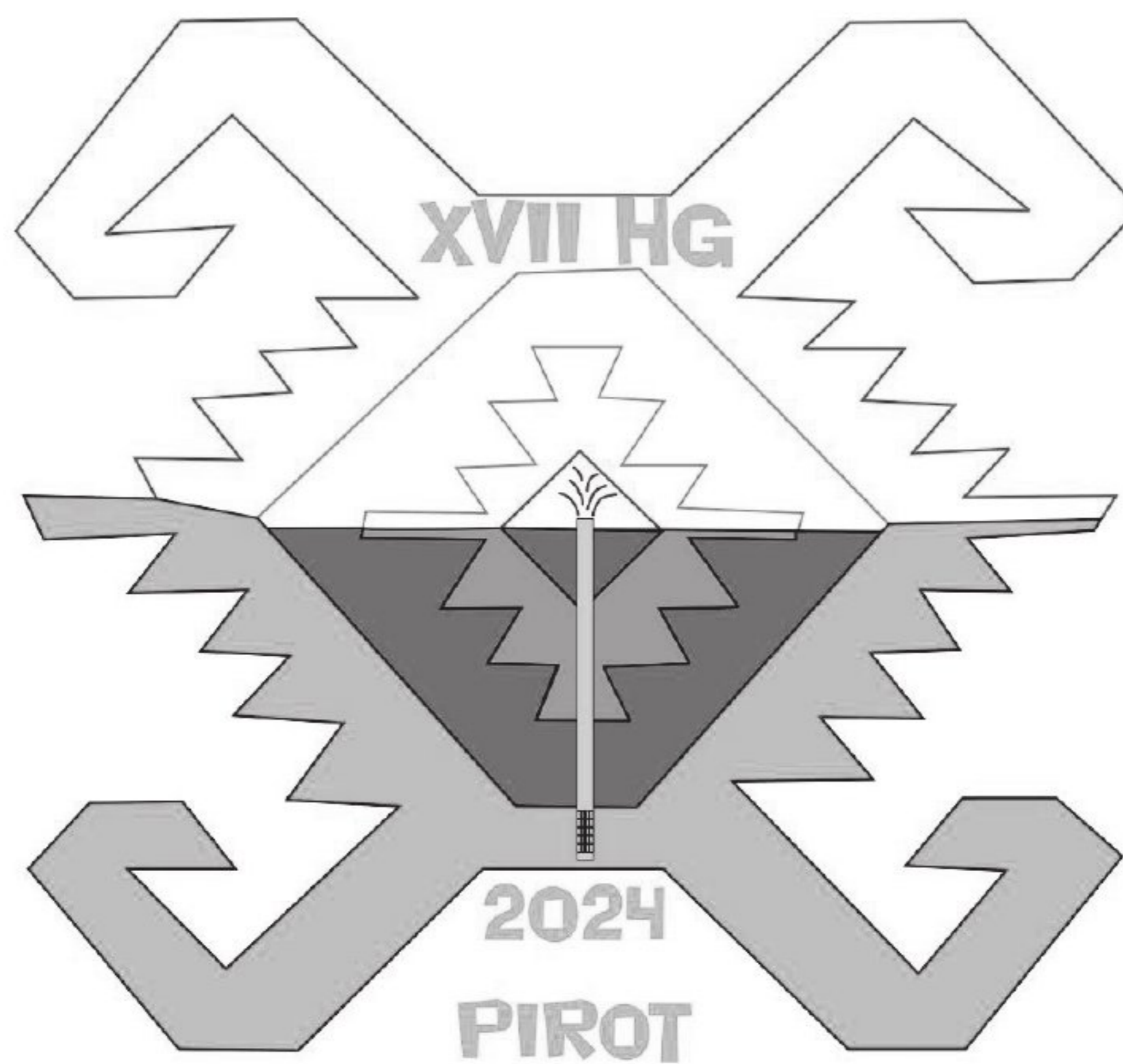


UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XVII SRPSKI SIMPOZIJUM
O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem

ZBORNİK 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 GROT 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 TREBESOM, 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

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

**HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATIONS FOR TUNNELING PROJECTS:
CASE STUDY OF A MOTORWAY SECTION OF PAN-EUROPEAN
CORRIDOR VC THROUGH BOSNIA AND HERZEGOVINA/REPUBLIKA
SRPSKA**

Dragoljub Bajić¹, Dušan Polomčić, Vesna Ristić Vakanjac, Milica Stepanović, Jelena Ratković

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

APSTRAKT: Rad prikazuje analizu hidrogeoloških podataka u zoni oko trase tunela „Putnikovo brdo 2“, koji se nalazi na deonici Johovac - Doboju jug u okviru Panevropskog koridora Vc kroz Bosnu i Hercegovinu, na autoputu Budimpešta-Osijek-Sarajevo-Ploče. U okviru sprovedenih istraživanja, izvršeno je rekognosciranje istražnog područja, a zatim i određivanje hidrauličkih parametara porozne sredine, izrada hidrogeološkog modela, određivanje propusnosti stena, procena očekivanih dotoka vode, procena pritiska vode na nivou tunela, kao i procena hidrogeoloških rizika.

Ključne reči: rekognosciranje, hidrogeološki model, procena rizika

ABSTRACT: The paper presents the analysis of hydrogeological data in the zone around the route of the "Putnikovo brdo 2" tunnel, which is located on the section Johovac - Doboju south within the Pan-European Corridor Vc through Bosnia and Herzegovina, on the highway Budapest-Osijek-Sarajevo-Ploče. As part of the conducted research, a reconnaissance of the research area was carried out, followed by the determination of the hydraulic parameters of the porous medium, the creation of a hydrogeological model, the determination of rock permeability, the assessment of expected water inflows, the assessment of water pressure at the tunnel, as well as the assessment of hydrogeological risks.

Key words: reconnaissance, hydrogeological model, risk assessment

UVOD

Uže područje istraživanja predstavlja deo oko tunela „Putnikovo brdo 2“ u Bosni i Hercegovini i u Republici Srpskoj. Tunel je sastavni deo transevropskog koridora Vc, koji predstavlja glavnu saobraćajnu rutu u zemlji, povezujući Budimpeštu sa jadranskom lukom Ploče u Hrvatskoj. Lokalno, tunel „Putnikovo brdo 2“ se nalazi u delu obilaznice oko grada Doboja, tačnije na deonici Johovac-Doboju. Ukupna dužina tunela je 680 m, dok dužina unutar granica Republike Srpske iznosi 580 m.

U radu su prikazani rezultati sprovedenih osnovnih i primenjenih hidrogeoloških istraživanja za potrebe izgradnje tunela. Pomenuta istraživanja su započela rekognosciranjem terena, u cilju analize i tumačenja hidrogeoloških podataka. Obavljena su detaljno od početne do krajnje trase tunela „Putnikovo brdo 2“. Na prostoru istražnog područja postoji 8 istražnih bušotina, ravnomerno raspoređenih u užoj zoni oko trase tunela, različitih dubina. Tokom obilaska terena, u toku je bilo bušenje i analiza jezgra za neke od bušotina. Na osnovu kartiranja jezgra bušotina, utvrđene su litološke karakteristike stenskih masa. U nešto široj zoni trase tunela, nisu uočene hidrogeološke pojave (izvori, difuzno isticanje i sl.). Na osmatračkom objektu, merena je dubina do nivoa podzemnih voda. Takođe, vršena su merenja vodostaja i proticaja na obližnjim manjim površinskim tokovima, a koji su povremenog karaktera. Dobijeni podaci predstavljali su ulaznu osnovu za izradu modela, što je dalje implementirano prilikom formiranja 3D konceptualnog hidrogeološkog modela.

METODOLOGIJA

Hidrogeološka istraživanja na području šire zone tunela „Putnikovo brdo 2“, sprovedena su u skladu sa osnovnim etapama koje važe u ovoj oblasti (Filipović, 1980; Stevanović, 2017). U okviru etape osnovnih hidrogeoloških istraživanja, vršeno je rekognosciranje sa ciljem upoznavanja terena i prikupljanja

osnovnih informacija o karakteristikama istog, o podzemnim vodama, odnosno, načinima njihovog isticanja ili zahvatanja. Ovo poslednje podrazumeva identifikovanje i tačno lociranje hidrogeoloških pojava i objekata (ukoliko postoje).

Tokom i nakon izvođenja osnovnih hidrogeoloških istraživanja, vršena su i druga geološka terenska istraživanja, koja su obuhvatila izvođenje plitkih istražnih bušotina, a potom i kartiranje njihovih jezgra, sa ciljem detaljnog utvrđivanja litološkog sastava slojeva na lokaciji tunela.

Primenjena hidrogeološka istraživanja su obuhvatila izvođenje testova radi definisanja hidrogeoloških parametara sredine, i to: opit nalivanja vode u bušotinu i opit utiskivanja vode u bušotinu (VDP).

Opitom nalivanja je moguće odrediti filtracione karakteristike nadizdanske i izdanske zone. Za izvođenje testa je neophodno da se nivo vode u objektu ustali, tako da se uspostavi stacionarni režim filtracije. Potom se voda naliva u bušotinu, dok se ne dobije stabilizacija utroška vode za ustaljeni (dinamički) nivo. Tom prilikom se formira obrnuti depresioni levak (tzv. „levak razlivanja“; Stevanović, 2017). Vrednosti koeficijenta filtracije se nakon obrade podataka dobijenih ovim opitom proračunavaju na osnovu empirijskih formula, koje se razlikuju u zavisnosti od hidrodinamičkog stanja izdanskog toka, režima filtracije i sl.

Opit utiskivanja je naročito pouzdana metoda koja se izvodi radi definisanja hidrogeoloških parametara, na način da se voda utiskuje u stensku masu pod različitim pritiscima uz pomoć kompresora. Prema Milanoviću (1979), ovim testom je moguće odrediti prosečnu vodopropusnost koja se može značajno razlikovati na veoma malim rastojanjima.

Na kraju, rezultati terenskih istraživanja, upotpunjeni merenjima dubine do nivoa podzemnih voda u odabranom osmatračkom objektu, kao i vodostaja i proticaja povremenih tokova lociranih u blizini tunela, poslužili su kao podloga za formiranje 3D hidrogeološkog modela.

REZULTATI I DISKUSIJA

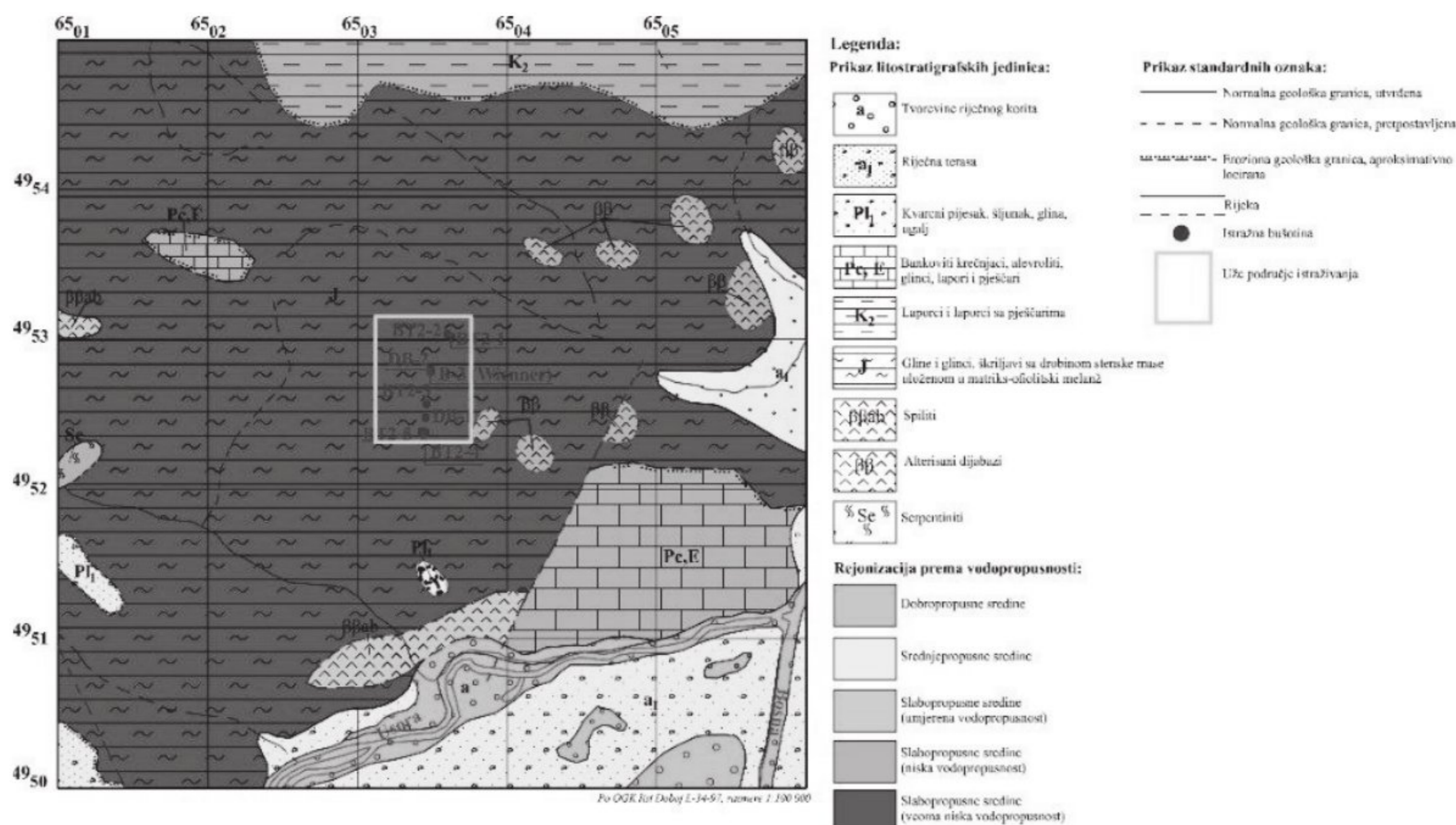
Na osnovu terenskih hidrogeoloških istraživanja i hidrogeološke rejonizacije Republike Srpske (Toholj et al., 2016), šire područje istraživanja predstavlja granicu između severnog hidrogeološkog rejona (južna granica) i banjalučko-višegradskog hidrogeološkog rejona (severna granica). U skladu sa tim, izrađena je hidrogeološka karta (slika 1), na osnovu OGK Doboj (Laušević & Jovanović, 1983). Izdvojeni su i opisani litološki članovi prema hidrogeološkoj funkciji dalje u tekstu.

Dobrovodopropusne sredine - predstavljene su šljunkovima i peskovima aluvijalnih naslaga i u okviru njih je formirana značajna izdan sa vrednošću koeficijenta filtracije reda veličine 10^{-3} m/s.

Srednjepropusne sredine - predstavljene aluvijalnim peskovito-šljunkovitim naslagama (a_1) reke Bosne kod Doboja, u kojoj se uliva reka Usora (slika 1) i nizvodno od ovog grada, kao i pliocenskim sedimentima (kvarcni peskovi, šljunak, glina). U okviru prvih je formirana izdan koja se koristi za vodosnabdevanje mnogih okolnih naselja. Debljina šljunkova na užem području Doboja iznosi oko 10 m. Gornji deo ovog kompleksa je znatno peskovitiji, dok su u dubljim delovima krupnozrniji šljunkovi. Propusnost šljunkovito-peskovitih naslaga je različita u široj zoni istraživanja, te vrednosti koeficijenata filtracije mogu iznositi reda veličine od 10^{-3} m/s do 10^{-5} m/s. Na širem području istraživanja u okviru pliocenskih sedimenata je formirana arteska izdan, a vrednost koeficijenta filtracije je reda veličine 10^{-5} m/s.

Slabopropusne sredine (umerena vodopropusnost) - u ovu grupu ubrajaju se spiliti ($\beta\beta ab$) i dijabazi ($\beta\beta$). Prema tumaču za OHGK Republike Srpske, proslojci i sočiva glina u dolini reke Bosne imaju debljinu od oko 3 do 7 m, a procenjene vrednosti koeficijenata filtracije su reda veličine 10^{-7} - 10^{-8} m/s.

Slabopropusne sredine (niska vodopropusnost) - predstavljene su tvorevinama paleogene (Pc, E), kredne (K₂),jurske starosti (J) i serpentiniti (Se). Paleogeni sedimenti predstavljeni su bankovitim krečnjacima, kao i alevrolitima, glincima, laporima i peščarima. Na osnovu sprovedenih geoloških i hidrogeoloških istraživanja na datom istražnom terenu, izvršeno je detaljnije raščlanjavanje sedimenata gornje krede, te u ovu grupu spadaju raslabljeni supstrat krede, koga čine lapori i supstrat krede, koga čine sivi peskoviti laporci sa sa proslojcima peščara. Pored toga, izvršeno je i raščlanjavanje jurskih sedimenata, te se niskom vodopropusnošću karakteriše raslabljeni supstrat jure (vlažniji peskoviti glinci).



Slika 1. Hidrogeološka karta šireg područja istraživanja
Figure 1. Hydrogeological map of the wider research area

Zbog geološke specifičnosti većine litoloških članova, vršeno je terensko određivanje koeficijenta filtracije. Ovim postupkom omogućuje se kvalitetna podloga i za kvalitativnu i za kvantitativnu analizu hidrogeoloških uslova na terenu, a takođe i definisanje uslova odvodnjenosti terena kao i formiranje reprezentativnih podloga za hidrodinamičku analizu, odnosno najpouzdaniju metodu za procenu potencijalnih priliva voda u tunelu. Za te svrhe urađen je opit ispitivanja vodopropusnosti na bušotini na dva različita intervala: opit nalivanja vode za površinske slojeve i opit utiskivanja vode. U tabeli 1 je dat prikaz utvrđenih vrednosti koeficijenta filtracije prema izdvojenim litološkim članovima. Treba naglasiti da rezultati dosadašnjih terenskih hidrogeoloških istraživanja nisu omogućili određivanje vrednosti parametara uskladištenja porozne sredine za litološke članove. Prema vrednostima koeficijenta filtracije iz tabela 1, a shodno proceni vodopropusnosti stena na osnovu koeficijenta filtracije (Weight, 2004), umerenom do niskom vodopropusnošću se odlikuju svi litološki članovi sem jurskih sedimenata, za koji je karakteristična veoma niska vodopropusnost.

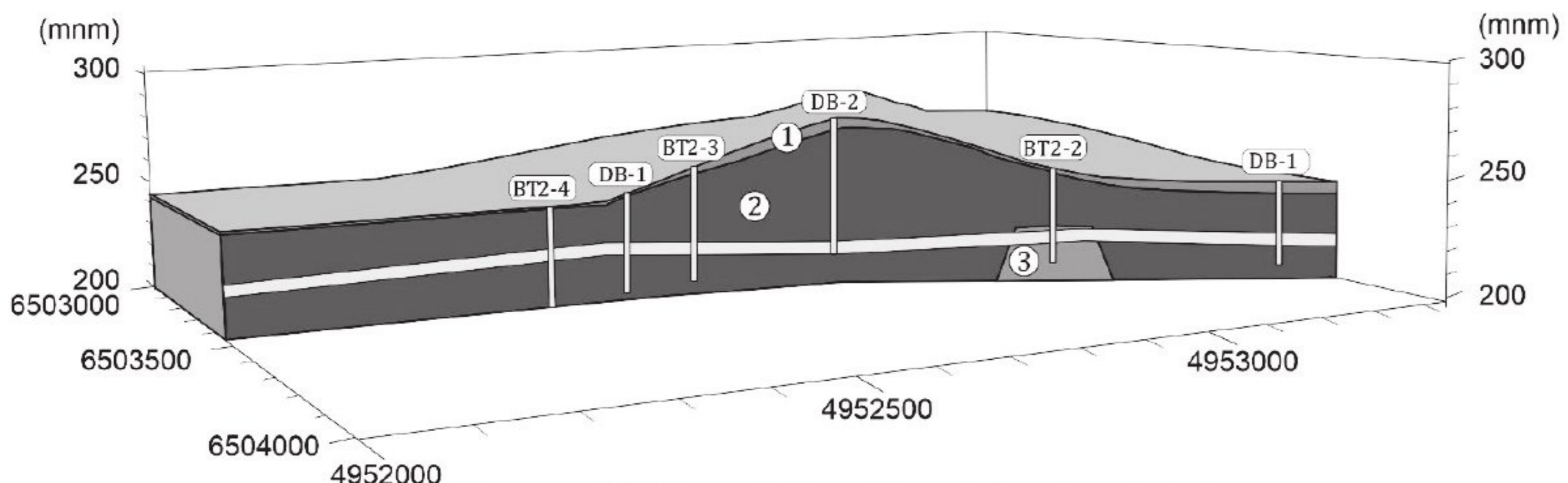
Tabela 1. Prikaz litoloških članova i vrednosti koeficijenta filtracije - K (m/s)

Table 1. Lithological units and values of the hydraulic conductivity - K (m/s)

Litološki član	Vrednost koeficijenta filtracije (m/s)	Hidrogeološka funkcija
<i>dl-el(gl,dr) - deluvijalno-eluvijalna peskovita glina sa drobinom</i>	1.19×10^{-09}	1 - Slabopropusna sredina (umerena vodopropusnost)
<i>J(om): gline i glinci, škriljavi, sa drobinom stenske mase uloženom u matriks (ofiolitski melanž)</i>	$2,1 \times 10^{-09}$	2 - Veoma slabo propusna sredina (veoma niska vodopropusnost)
<i>ββ - alterisani dijabaz</i>	3×10^{-08}	3 - Slabopropusna sredina (umerena vodopropusnost)

Obzirom na prirodne uslove zaleganja geoloških članova, na modelu je zadato različito rasprostranjenje pojedinih slojeva u planu, sa njihovim različitim, realnim debljinama. "Geometrizacija" kontura slojeva, njihovo prenošenje u koordinatni sistem modela, izvršena je na osnovu podataka istražnih bušotina raspoređenih po trasi tunela „Putnikovo brdo 2“. Posmatrano od površine terena, slojevi geološkog i hidrogeološkog modela i terena dati su u tabeli 1. Tokom poslednjih godina je načinjen veliki napredak u razvoju softvera u kojima se izrađuju hidrogeološki modeli. Za analizu i pripremu ulaznih podataka, kao što

su koordinate položaja bušotina i kote izdvojenih slojeva, korišćen je program Microsoft Excel, dok je za izradu i prikaz samog 3D hidrogeološkog modela terena korišćen licencirani softver Visual Modflow Flex (Waterloo Hydrogeologic). Dakle, sprovedena šematizacija geološkog sklopa terena i hidrogeološke funkcije stena predstavlja rezultat generalnog sagledavanja problematike (slika 2). Prema tabeli 1, postojeća tri litološka člana na terenu se prema hidrogeološkoj funkciji mogu razvrstati na stene koje karakteriše umerena vodopropusnost i veoma niska vodopropusnost.



Slika 2. Konceptualni hidrogeološki model tunela Putnikovo brdo 2
Figure 2. Conceptual hydrogeological model of Putnikovo brdo 2 tunnel

Shodno hidrogeološkoj kategorizaciji zastupljenih litoloških članova, postojanje izdani na terenu obuhvaćenom istraživanjem (odnosno u užoj zoni oko trase tunela „Putnikovo brdo 2“) nije očekivano. Ovo je povoljna okolnost koja onemogućava konstantan veći priliv voda u radove i kasnije visoke hidrostatičke pritiske na podgradu/oblogu tunela. Međutim, odsustvo izdani ne umanjuje mogućnost nepovoljnog uticaja podzemnih voda. Podzemne vode, čije je poreklo infiltracijom od padavina i topljenja snega, mogu nepovoljno uticati na radove, ali se ne može precizno odrediti veličina njihovog uticaja na etaže tunela na osnovu postojećih istražnih radova. Infiltracija vode i njihove količine koje gravitiraju kroz sistem pukotina do etaže tunela zavisi od intenziteta i dužine trajanja padavina, dimenzija i povezanosti pukotina i stepena njihove zapunjenosti.

Podzemne vode nastale infiltracijom padavina mogu uticati na više načina tokom izgradnje tunela i nakon završetka radova. Prisustvo podzemnih voda u znatnoj količini može da oslabi stensku masu i izmeni njena svojstva, ili da u stenama sa glinovitom komponentom izazove bubrenje i pritiske na podgradu tunela. S hidrogeološkog aspekta, navedene pojave ne predstavljaju problem, jer bubrenje glinovitih komponenata sprečava filtraciju podzemnih voda gravitaciono naniže ka tunelu, ali predstavlja ozbiljan geotehnički problem i izazov. Takođe, ne treba očekivati veće hidrostatičke pritiske u visini etaže tunela.

Isticanje podzemnih voda po profilu tunela će verovatno biti konstantno, obzirom na činjenicu da tunel predstavlja mesto rasterećenja hidrostatičkog pritiska, odnosno lokalni erozioni bazis ka kome će gravitirati podzemne vode. Shodno napomeni dodaje se činjenica da konstatacija ne važi i za sušni period, jer analizom klimatoloških parametara za stanicu Doboj za 2022. godinu može se uočiti da u periodu od februara do oktobra nije bilo značajnih padavina. Na osnovu predhodnih detalja, ne treba očekivati konstantno isticanje, već samo tokom vlažnog perioda u godini i perioda dok se sredina ne ocedi. Povremeno, nešto jače isticanje može biti posledica intenzivnijih ili dugotrajnijih padavina i javljaće se kao spora propagacija izlučenih atmosferskih taloga na površinu terena. Međutim, obzirom na to da se izdan nalazi na većim dubinama, ne očekuju se značajnije količine vode koje će isticati u tunel. Izuzetak može biti kratkotrajno veće isticanje vode tokom izvođenja radova kroz delove terena gde postoje zarobljene akumulirane vode do njihovog potpunog isticanja, ali obzirom na sastav terena, ne očekuju se značajnije količine vode.

Procena priliva voda u tunelu određena je na osnovu geomehaničke klasifikacije - RMR (Bieniawski, 1989). Na osnovu vrednovanja parametra RMR klasifikacije, koji se odnose na čvrstoću intaktnog materijala, kvalitet izvađenog jezgra, rastojanja između diskontinuiteta, stanja diskontinuiteta, određen je i parametar koji se odnosi na potencijalni priliv podzemnih voda, a njegova vrednost iznosi manje od 10 l/min na 10 m dužine tunela ($< 1 \text{ l/min/m}^2$). Takođe, na osnovu iste klasifikacije, potencijalno očekivani odnos pritisaka vode i napona iznosi do maksimalno 0.1.

Hidrogeološki rizici, kako po izvođenju radova, tako i kasnije tokom postojanja tunela mogu se javiti u uslovima dugotrajnih obilnih padavina. Pod ovim vidom rizika, za navedene uslove, može se očekivati porast hidrostatičkog pritiska na konstrukciju tunela, eventualno pucanje podgrade i značajnijih pojava

isticanja voda u tunel. Takođe i bubrenje glinovite komponente u stenama može negativno uicati na povećanje pritisaka na tunel.

ZAKLJUČAK

Sprovedena hidrogeološka istraživanja su igrala važnu ulogu u planiranju i izvođenju značajnog i skupog građevinskog objekta - tunela, na delu puta koji je sastavni deo jednog od evropskih koridora. Rezultati pokazuju da detaljna analiza hidrogeoloških karakteristika terena (tipovi izdani, režim podzemnih voda i sl.) može značajno unaprediti razumevanje geotehničkih izazova i rizika, ali i pružiti neophodne informacije za adekvatno planiranje, projektovanje i izgradnju infrastrukturnih objekata. Kroz integraciju hidrogeoloških podataka, potkrepljenih 3D hidrogeološkim modelima, moguće je dalje identifikovati potencijalne probleme poput infiltracije ili priliva voda u zonu tunela, stabilnost terena i slično, što omogućuje izbor adekvatne metode izgradnje, ali i preduzimanje adekvatnih preventivnih mera i odabir odgovarajućih načina za upravljanje rizicima. Zbog svega toga, od ključne je važnosti adekvatna saradnja stručnjaka iz oblasti hidrogeologije, geotehnike i građevinskog inženjerstva, što će svakako u budućnosti doprineti razvoju novih metoda i unapređenju performansi i dugovečnosti ovakvih i sličnih objekata.

ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije za pružanje podrške naučno-istraživačkoj delatnosti, neophodnoj za napredak društva zasnovanog na znanju.

LITERATURA:

- Bieniawski Z.T. (1989). Engineering rock mass classification. John Wiley & Sons, New York, 251 p.
- Filipović B. (1980). Metodika hidrogeoloških istraživanja. Univerzitetski udžbenik. Beograd: Rudarsko-geološki fakultet.
- Visual Modflow Pro, Waterloo Hydrogeologic: <https://www.waterloohydrogeologic.com>
- Laušević M. & Jovanović Č. (1983). Osnovna Geološka Karta sa tumačem, list Doboj. Geoinženjering, OOUR Institut za geologiju, Sarajevo.
- Milanović P (1979). Hidrogeologija karsta i metode istraživanja. HET, Trebinje, p. 302.
- Stevanović & Milanović Z. (2017). Metode hidrogeoloških istraživanja. Univerzitetski udžbenik. Beograd: Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Toholj N., Jolović B., Glavaš S. & Mitrović D. (2016). Tumač hidrogeološke karte Republike Srpske 1:300000. Republički zavod za geološka istraživanja Republike Srpske, Zvornik, 111 p.
- Weight D.W. (2004). Manual of applied field hydrogeology. McGraw-Hill, 551 p.

