

Pregled hidrogeoloških istraživanja novootkrivenih ležišta metaličnih mineralnih sirovina na prostoru Srbije

Nebojša Atanacković, Vladimir Živanović, Veselin Dragišić, Sava Magazinović, Jakov Andrijašević



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Pregled hidrogeoloških istraživanja novootkrivenih ležišta metaličnih mineralnih sirovina na prostoru Srbije | Nebojša Atanacković, Vladimir Živanović, Veselin Dragišić, Sava Magazinović, Jakov Andrijašević | Zbornik radova XVI srpskog Simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem | 2022 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007024>

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

XVI SRPSKI SIMPOZIJUM
O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem
ZBORNİK RADOVA



ZLATIBOR
28. septembar - 02. oktobar
2022. godine



XVI SRPSKI SIMPOZIJUM O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem
ZBORNİK RADOVA

IZDAVAČ:

Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet
Đušina 7

ZA IZDAVAČA:

Prof. dr Biljana Abolmasov, dekan
Rudarsko-geološki fakultet

UREDNIK:

Doc. dr Ana Vranješ

TIRAŽ:

100 primeraka

ŠTAMPA:

Štamparija Grafolik, Beograd

GODINA IZDANJA: 2022.

Na 12/19-oj. sednici Departmana za hidrogeologiju doneta je odluka o organizaciji XVI srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, koja je utvrđena saglasnošću Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta od 30.12.2019.

Naslovna strana: Sušičko vrelo, Zlatibor

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије, Београд

556(082)
628.1(082)

СРПСКИ симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем (16 ; 2022 ; Златибор)
Зборник радова / XVI Српски симпозијум о хидрогеологији са међународним
учешћем, Златибор 28. септембар - 02. октобар 2022. године ; [уредник Ана
Вранјеш]. - Београд : Универзитет, Рударско-геолошки факултет, 2022
(Београд : Графолік). - [18], 514 стр. : илустр. ; 30 cm

Na врху насл. стр.: Департаман за хидрогеологију. - Радови ћир.и лат. -
Тираж 100. - Стр. [5-6]: Уводна рећ / Дејан Миленић. - Abstracts. -
Библиографија уз сваки рад.

ISBN 978-86-7352-380-4

а) Хидрогеологија - Зборници б) Снабдевање водом - Зборници

COBISS.SR-ID 74364937

ORGANIZACIONI ODBOR:

Predsednik:

Doc. dr Ana Vranješ, dipl. inž.

Članovi:

Prof. dr Petar Dokmanović, dipl. inž.

Doc. dr Ljiljana Vasić, dipl. inž.

Dr Tanja Petrović Pantić, dipl. inž.

Natalija Radosavljević, mast. inž.

Velizar Nikolić, dipl. inž.

Vukašin Vučević dipl.inž.

Andrej Pavlović, dipl. inž.

Dejan Drašković, dipl. inž.

Branko Ivanković, dipl. inž.

Nenad Toholj, dipl. inž.

Boban Jolović, dipl. inž.

Uroš Jurošević, dipl. inž.

NAUČNI ODBOR:

Predsednik:

Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.

Članovi:

Prof. dr Zoran Stevanović, dipl. inž.

Prof. dr Dušan Polomčić, dipl. inž.

Prof. dr Vesna Ristić Vakanjac, dipl. inž.

Prof. dr Igor Jemcov, dipl. inž.

Prof. dr Vladimir Živanović, dipl.inž.

Prof. dr Dragoljub Bajić, dipl. inž.

Doc. dr Jana Štrbački, dipl.inž

Doc. dr Saša Milanović, dipl. inž.

Prof. dr Veselin Dragišić, dipl. inž.

Prof. dr Milan Radulović, dipl. inž.

Prof. dr Zoran Nikić, dipl. inž

Doc. dr Nenad Marić, dipl. inž.

Prof. dr Petar Milanović, dipl. inž.

PROGRAMSKO-UREĐIVAČKI ODBOR:

Predsednik:

Prof. dr Dušan Polomčić, dipl. inž.

Članovi:

Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.

Prof. dr Nevenka Đerić, dipl. inž.

Doc. dr Ana Vranješ, dipl. inž.

ORGANIZATOR SIMPOZIJUMA:

UNIVERZITET U BEOGRADU

RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

u saradnji sa

DRUŠTVOM GEOLOŠKIH INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

SRPSKIM GEOLOŠKIM DRUŠTVOM

NACIONALNIM KOMITETOM IAH

POKROVITELJ:

REHAU d.o.o.

SPONZORI:

Departman za hidrogeologiju, Rudarsko-geološki fakultet

Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

BeoGeoAqua d.o.o.

Opština Čajetina

Turistička organizacija Opštine Brus

Hotel Zlatibor Mountain Resort&Spa

Knjaz Miloš

DONATOR:

Gold Gondola

Ibis-Inženjering

SADRŽAJ

PLENARNA PREDAVANJA

Ljiljana Vasić, Dušan Polomčić, Saša Milanović, Vesna Ristić Vakanjac, Branislav Petrović, Veljko Marinović, Dragoljub Bajić, Bojan Hajdin, Marina Čokorilo-Ilić, Jelena Ratković

Vodosnabdevanje podzemnim vodama - pregled aktuelnog stanja i mogućnosti održivog korišćenja..... 1

Dejan Milenić, Ana Vranješ

Stanje i perspektive geotermalne energije u Republici Srbiji..... 11

Vladimir Živanović

Postojeće stanje i budući trendovi u preventivnoj zaštiti podzemnih voda Srbije..... 29

Tanja Petrović Pantić, Zoran Popović, Ljiljana Popović, Mihajlo Mandić, Katarina Atanasković Samolov

Dinamika izrade Osnovne hidrogeološke karte (OHGK) 1:100.000 na teritoriji Srbije..... 47

VODOSNABDEVANJE I UPRAVLJANJE PODZEMNIM VODNIM RESURSIMA

Dušan Polomčić, Dragoljub Bajić, Jelena Ratković, Đoržije Božović

Šematizacija hidrograma i nivograma radnog nivoa kod bunara sa horizontalnim drenovima..... 57

Petar Begović, Branko Ivanković

Hidrogeološki potencijal aluvijalnih naslaga rijeke Bosne sa aspekta vodosnabdevanja u Doboju, Republika Srpska..... 63

Ivica Nikolić, Milan Tripković i Jovana Nikolić

Stanje monitoringa i određivanje kvantitativnog statusa vodnih tela podzemnih voda u Srbiji.....	69
---	----

**Gardijan Sunčica, Živanović Vladimir, Magazinović Sava, Mandić Đorđe,
Stojadinović Saša**

Režim izvorskih voda iz kristalastih stena u planinskim područjima na primeru Toplog Dola na Vlasini (Jugoistočna Srbija).....	77
---	----

Dragoljub Bajić, Bojan Hajdin, Dušan Polomčić, Vesna Ristić Vakanjac

Analiza hidrauličke veze između reke Save i podzemnih voda na izvoristu za vodosnabdevanje Obrenovca.....	85
--	----

**Dejan Drašković, Tijana Vinčić, Sonja Drobac, Ljupka Mrkonja,
Ivana Đinđić, Ivana Obradović**

Primena nove metode u sanaciji bunara sa horizontalnim drenovima kroz uporednu analizu dobijenih rezultata.....	91
--	----

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

Novi prilozi poznavanju režima podzemnih voda na izvoristu „Petrovaradinska ada“ u Novom Sadu na primerima rada bunara BHD-5, BHD-6, BHD-7 i BHD-8.....	99
---	----

**Maksim Matović, Milan Radulović, Ana Vojinović, Marina Međedović
i Marija Matović**

Rezultati hidrogeoloških istraživanja aluvijalne izdani rijeke Tare (Mateševo, Kolašin).....	105
---	-----

Milan Radulović

Hidrogeološke karakteristike i stanje monitoringa podzemnih voda u Crnoj Gori.....	113
---	-----

Ermedin Halilbegović

Dugoročno rješenje problema vodosnadbjevanja grada Sarajevo iz akumulacije Crna Rijeka.....	115
--	-----

Ermedin Halilbegović

Hidrogeološka istraživanja terena za izgradnju brane Crna Rijeka..... 121

Dragan Despotović

Režim voda karstnog hidrogeološkog sistema Ribnik
sa prijedlogom mjera zaštite..... 127

Romeo Eftimi, Kastriot Shehu, Aferdita Mamaj

Hydrogeological aspects of water supply of the settlements of Albania;
Experience and problems..... 133

**Milica Stepanović, Dragoljub Bajić, Dušan Polomčić, Aleksandar Avramović,
Branko Mijatović**

Kvalitativne karakteristike podzemnih voda izvorišta „Ključ“ u Požarevcu..... 139

**Ivana Obradović, Ivana Đinđić, Dejan Drašković, Slavko Špadijer,
Tijana Vinčić, Ljupka Mrkonja, Sonja Drobac**

Rezultati analize monitoringa režima podzemnih voda priobalja Save u
"Severozapadnoj radnoj zoni" Šapca..... 147

Nataša Biočanin, Aleksandar Šmit

Eksploatacija i prerada vode - sistem javnog vodosnabdevanja grada Vršca..... 155

GEOTERMALNA ENERGIJA I TERMOMINERALNE VODE**Ana Vranješ, Dejan Milenić**

Održiva proizvodnja električne energije iz geotermalnih resursa na osnovu
proračuna bilansnih troškova..... 159

Ana Vranješ, Dejan Milenić

Doprinos poznavanju distribucije geotermalnih rezervoara na delu
Panonskog basena, Srbija – DARLINGE projekat..... 165

**Ivana Đinđić, Dejan Drašković, Slavko Špadijer, Sonja Drobac,
Tijana Vinčić, Ljupka Mrkonja**

- Analiza režima termomineralnih voda "Nove obrenovačke banje"
i mogućnost njihove upotrebe..... 171

Boban Jolović, Andrijana Stevanović i Nenad Toholj

- Povećan sadržaj fluorida u podzemnim vodama opštine Srebrenica
– uzroci i moguće posledice dugotrajnog konzumiranja..... 179

Tena Bilić, Sanja Živković, Slobodan Kolbah, Mladen Škrlec i Dražen Tumara

- Trenutno stanje korišćenja geotermalne energije u Republici Hrvatskoj..... 187

Ćazim Šarić, Ferid Skopljak, Izet Žigić i Dinka Pašić - Škripić

- Fizičko-hemijske i izotopske karakteristike termalnih voda
u slivu rijeke Krivaje..... 195

Dejan Milenić, Petar Dokmanović, Ana Vranješ, Milan Vukićević

- Podzemna voda kao subgeotermalni resurs na primeru klimatizacije
prodajnog kompleksa "Ikea" u Beogradu 205

Nebojša Stanić

- Primena petrogeotermalne energije za grejanje i hladjenje industrijskih
objekata velikih kapaciteta..... 211

Ana Vranješ, Dejan Milenić

- Perspektive eksploatacije litijuma iz geotermalnih voda na
području Republike Srbije..... 213

**Ana Vranješ, Nebojša Atanacković, Vladimir Živanović, Marinko Toljić,
Veselin Dragišić, Sava Magazinović**

- Metodološki pristup oceni mogućnosti eksploatacije geotermalnih voda
na delu Valjevsko – mioničkog basena..... 221

Nenad Toholj, Boban Jolović I Uroš Jurošević

- Termalne vode područja Višegrada – trenutno stanje I perspektive..... 227

**Vladimir Živanović, Veselin Dragišić, Sava Magazinović,
Jakov Andrijašević, Nebojša Atanacković**

Održiva eksploatacija izvorišta mineralnih voda na
primeru Vrnjačke banje..... 233

Tanja Petrović Pantić, Milan Tomić, Jovan Kovačević

Radioaktivnost podzemnih voda na južnoj padini Cera..... 239

Jana Štrbački

Litijum u mineralnim vodama Srbije – potencijalna lekovita svojstva..... 245

Spasoje Glavaš i Uroš Jurošević

Pojave termomineralnih voda u području Kakmuž - Petrovo..... 251

**Mihail Tarassov, Eugenia Tarassova, Milen Stavrev, Aleksei Benderev,
Mila Trayanova**

Seasonal variations in chemical compositions of mine drainage waters and
precipitates in the grantcharitsa tungsten deposit,
Western Rhodopes, Bulgaria..... 257

Dejan Milenić, Ana Vranješ

Integracija geotermalne energije u daljinske sisteme grejanja
i hlađenja (COST CA18219) 259

HIDROGEOLOGIJA I ŽIVOTNA SREDINA**Milan Tomić, Tanja Petrović Pantić, Katarina Atanasković Samolov i
Žarko Veljković**

Uticaj klimatskih promena na podzemne vode u Posavini..... 263

Milovan Rakijaš

Hidrogeološka istraživanja sa izradom mreže pijezometara u zoni
„Regionalne sanitarne komunalne deponije Piroć“, u cilju vršenja monitoringa
podzemnih voda..... 267

<i>Violeta Čolaković, Vladan Čanović i Aleksandar Avramović</i>	
Hidrodinamički model površinskog kopa gline “Garajevac istok”.....	273
<i>Đorđije Božović, Dušan Polomčić i Dragoljub Bajić</i>	
Metodologija izrade 3D konceptualnog hidrogeološkog modela za potrebe hidrodinamičkog modeliranja bunara sa horizontalnim drenovima.....	279
<i>Zlatko Ilijovski i Vojo Mirchovski</i>	
Metodologija ocene kvantitativnog stanja podzemnih voda.....	285
<i>Mihajlo Mandić i Tanja Petrović Pantić</i>	
Sažetak rezultata dobijenih izradom Osnovne hidrogeološke karte 1:100.000, list Pirot.....	291
<i>Vojislav Tomić</i>	
Rezerve podzemnih voda u većim intruzivnim masivima Srbije sa pukotinskom strukturom poroznosti.....	297
<i>Katarina Atanasković Samolov, Milan Tomić, Tanja Petrović Pantić, Saša Todorović</i>	
Primena AQUIMOD-a pri oceni uticaja klimatskih promena na podzemne vode.....	299
<i>Vaso Mrvaljević i Milan Radulović</i>	
Podzemni karstni oblici duž trase autoputa Smokovac– Mateševo (Crna Gora).....	305
<i>Milan Vlahović, Gojko Nikolić i Vaso Mrvaljević</i>	
Negativni aspekt antifiltracionih radova na akumulaciji Slano.....	311
<i>Petar Milanović</i>	
Vodni režim karsta jugoistočnih Dinarida.....	319

Nebojša Atanacković, Veselin Dragišić, Vladimir Živanović, Ivana Cvejić, Saša Stojadinović, Ivana Jocić

Rudničke vode olovo-cinkovih ležišta u rudnom polju „Blagodat“ u jugoistočnoj Srbiji.....	325
---	-----

Zoran Popović i Ljiljana Popović

Hidrogeološke karakteristike Poljaničkog tercijarnog basena.....	331
--	-----

Igor Jemcov, Zoran Stevanović, Vladimir Živanović, Saša Milanović, Dušan Polomčić, Veselin Dragišić

Novi koncept izrade Osnovne hidrogeološke karte Srbije.....	337
---	-----

Stojan Mihailovski, Zlatko Ilijovski, Marija Makešoska, Ivica Andov

Hidrogeološke karakteristike prostora industrijske deponije „Jugohrom“ i rizici od zagađenja izvora Rašče.....	345
--	-----

Petar Dokmanović, Milan Vukićević, Dejan Milenić

Prilog poznavanju hidrogeoloških svojstava ultramafitskog kompleksa Maljena u zoni Divčibara.....	347
---	-----

Petar Dokmanović, Milan Vukićević, Dejan Milenić

Stanje resursa podzemnih voda u sklopu komunalnog vodosnabdevanja Valjeva (Zapadna Srbija)	349
--	-----

Saša Milanović i Ljiljana Vasić

Prikaz ponašanja karstne izdani uslovljene funkcionisanjem površinske akumulacije u karstu na primeru akumulacije Bileća (Istočna Hercegovina).....	355
---	-----

Milan Vukićević, Marija Milanović, Marina Popovac, Miloš Pavlović, Ivana Levajić

Prilog novog poznavanja kvantitativnih i kvalitativnih karakteristika podzemnih voda formiranih u okviru krečnjaka tortonsko-sarmatske starosti u oblasti Umke.....	359
---	-----

Branislav Petrović, Zoran Stevanović, Veljko Marinović i Snežana Ignjatović

Prostorna analiza epikarsta u okviru karstnog sistema istočnog dela Suve planine.....	365
---	-----

Milenko Pušić, Goran Jevtić, Vladimir Lukić i Vesna Tripković

Predlog standardizacije hidrogeološkog kartiranja bušotina u nevezanim sedimentima.....	371
---	-----

Zoran Stevanović

Kompleksno alogeno prihranjivanje karstne izdani aluvijalnim i rečnim vodama – tri primera sa Balkana.....	377
--	-----

Marijana Petrović, Dušan Polomčić, Dragoljub Bajić

Osnove nove litostratigrafske sistematizacije zapadnog dela Kolubarskog basena.....	383
---	-----

Branislav Petrović

Model migracije nitrata u epikarstu: laboratorijski eksperiment.....	389
--	-----

Đorđe Momirov, Vesna Ristić Vakanjac, Dušan Polomčić, Dragoljub Bajić, Bojan Hajdin, Marina Čokorilo

Prilog poznavanju režima podzemnih voda leve obale reke Save na potezu Obrenovac - Beograd.....	395
---	-----

**MULTIDISCIPLINARNOST U
HIDROGEOLOŠKIM ISTRAŽIVANJIMA****Nebojša Atanacković, Vladimir Živanović, Veselin Dragišić, Sava Magazinović, Jakov Andrijašević**

Pregled hidrogeoloških istraživanja novootkrivenih ležišta metalčnih mineralnih sirovina na prostoru Srbije.....	403
--	-----

Predrag Pajić, Uroš Urošević, Dušan Polomčić, Dragoljub Bajić

Primena hidrodinamičkog modeliranja u rešavanju problema zaštite građevinskih objekata od podzemnih voda na primeru višenamenske sportske hale u Indiji.....	409
--	-----

Zoran Nikić i Nenad Marić

Potencijal multidisciplinarnog pristupa u hidrogeološkim istraživanjima - primer izvorište "Kraljeva voda", Zlatibor.....	411
---	-----

Marina Ćuk Đurović, Igor Jemcov, Maja Todorović

Primena hidrodinamičkih i hidrohemijskih metoda istraživanja na primeru brane Lazići (RHE Bajina Bašta) 417

Nikola Nikolić, Vaso Novaković, Ferid Skopljak, Dejan Petrović, Miroslav Radić

Izbor metode i trajanje razrade bunara..... 423

Amela Greksa i Jasna Grabić

Povećanje dopune podzemnih voda u urbanim sredinama primenom bioinfiltracionih–bioretencionih sistema..... 429

Nataša Ćuković Ignjatović i Dušan Ignjatović

Principi projektovanja održivih objekata za korišćenje balneološkog potencijala na području Vojvodine..... 435

Milica Simonović, Gordana Šekularac, Dragica Stojiljković

Trend uticaja parametara vodnog bilansa zemljišta različitih područja Srbije..... 441

Vladimir Beličević i Zlatko Ilijovski

Kompleksna hidrogeološka istraživanja uzroka procurivanja u zoni brane Uvac..... 443

Milorad Kličković

Grafički prilozi istorijatu Resavske pećine..... 449

Vladimir Lukić, Milenko Pušić, Vesna Tripković, Goran Jevtić, Boban Stojanović, Tomislav Mrđa, Vladimir Bačanin, Anđela Marinković

Softverska inovacija u prikuljanju, obradi i skladištenju hidrogeoloških podataka..... 455

Uroš Jurošević, Spasoje Glavaš

Projekat RER/7/013 procjena resursa podzemnih voda i interakcije podzemnih i površinskih voda u kontekstu adaptacije na klimatske promjene..... 461

STUDENTSKI RADOVI**Aleksandra Pešić**

Uslovi zaštite podzemnih voda izvorišta „Lovac“ u Kostolcu..... 465

Andrijana Drčelić

Analiza uslova zaštite karstnog vrela Perućac..... 471

Aleksandra Maksimović

Analiza režima izdašnosti karstnog vrela Perućac..... 473

**Nikola Milanović, Miloje Vacić, Jovana Nikolić, Vesna Ristić Vakanjac,
Boris Vakanjac**

Analiza režima i bilans voda reke Lužnice, Vlasine i Jerme..... 475

Aleksandra Purković

Hidrogeološke karakteristike aluvijalnog izvorišta „Bataković“ kod Medveđe..... 477

Ninoslava MirkovMogućnost poboljšanja vodosnabdevanja grada Zrenjanina na bazi
podzemnih voda aluvijona Tise..... 479**Snežana Kretić, Jana Štrbački**

Hidrohemijske karakteristike termomineralnih voda Mataruške banje..... 481

Stanisava Arsović

Ranjivost izvorišta mineralnih voda u Orašju kod Varvarina..... 485

Aleksandar Bižić

Mogućnosti višenamenskog korišćenja termomineralnih voda Niške Banje..... 489

**Jovana Mladenović, Vesna Ristić Vakanjac, Jugoslav Nikolić,
Dušan Polomčić, Dragoljub Bajić, Boris Vakanjac, Marina Čokorilo Ilić**

Analiza režima Velike Morave i podzemnih voda formiranih u njenom aluvijonu.....	495
---	-----

**Marina Mitrašinović, Vesna Ristić Vakanjac, Saša Milanović, Ljiljana Vasić
i Dušan Polomčić**

Prilog poznavanju režima i bilansa voda reke Resave.....	501
--	-----

Matija Ognjanović

Geotermalne karakteristike teritorije opštine Gornji Milanovac.....	507
---	-----

Ljuba Popović

Zastupljenost amonijum jona u podzemnim vodama Srbije i metode njegovog uklanjanja.....	509
--	-----

Marko Bogdanović

Određivanje režima i rezervi podzemnih voda na primeru izvorišta za flaširanje i rekreaciju.....	511
---	-----

Hristina Petrova

Hidrogeološke karakteristike šire okoline ležišta bakra „Borov dol“, Severna Makedonija.....	513
---	-----

Natalija Radosavljević

Geotermalni potencijal jugozapadnog oboda Kopaonika.....	515
--	-----

PROSTOR ZA SPONZORE

PREGLED HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA NOVOOTKRIVENIH LEŽIŠTA METALIČNIH MINERALNIH SIROVINA NA PROSTORU SRBIJE REVIEW OF HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION OF NEWLY DISCOVERED METALIC MINERAL DEPOSIT IN SERBIA

**Nebojša Atanacković¹, Vladimir Živanović², Veselin Dragišić³, Sava
Magazinović⁴, Jakov Andrijašević⁵**

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

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

3 Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd. E-mail: veselin.dragisic@rgf.bg.ac.rs

4 Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd. E-mail: sava.magazinovic@rgf.bg.ac.rs

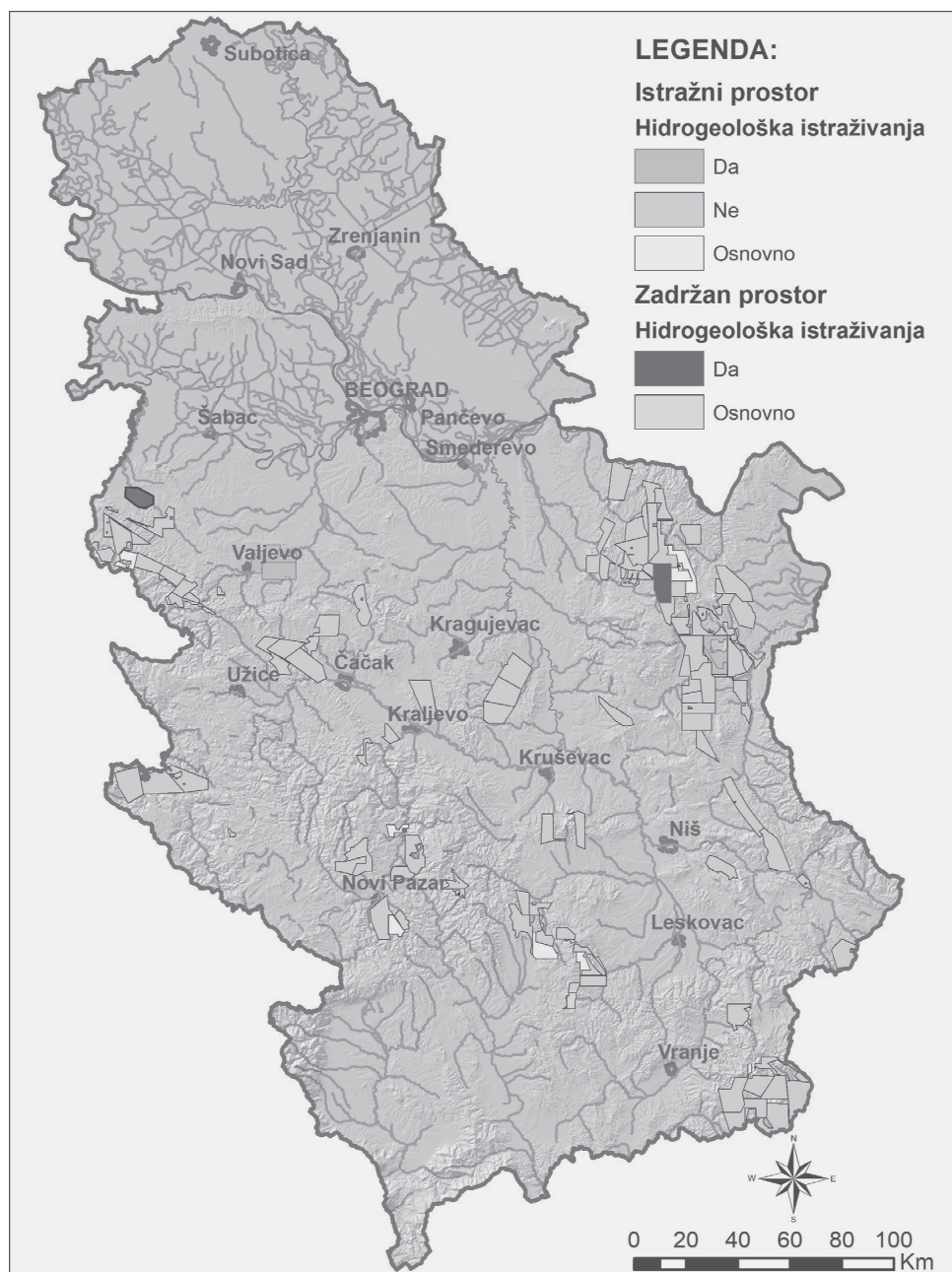
5 Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd. E-mail: jakov.andrijasevic@rgf.bg.ac.rs

APSTRAKT: Rastuća potražnja za mineralnim sirovinama, zavisnost evropske industrije od njihovog uvoza, kao i otvaranje tržišta u zadnjih 20-ak godina bili su pokretač intenzivnih istraživanja ležišta mineralnih sirovina na području Srbije. Ova istraživanja za rezultat su imala otkriće važnih ležišta bora i litijuma „Jadar“ i „Valjevo“, sedimentnih ležišta zlata „Bigar i Korkan“ i bakra i zlata „Čukaru Peki“. Sastavni deo ovih aktivnosti, posebno u okviru značajnijih novootkrivenih metaličnih ležišta, bila je hidrogeološka karakterizacija ležišta i okoludnih terena. U razmatranom periodu primenjena hidrogeološka istraživanja vršena su u okviru 10-ak istražnih prostora. Prema obimu i primenjenim metodama, ova istraživanja su obuhvatila hidrogeološko kartiranje terena i identifikaciju glavnih pojava i objekata, in-situ hidrogeološka ispitivanja u istražnim bušotinama, ugradnju istražnih bunara i pijezometara, uspostavljanje monitoringa pa do kompleksne interpretacije hidrogeoloških uslova i hidrodinamičkog modeliranja. U razmatranom periodu na značajnijim istražnim prostorima zbirno je izvedeno preko 2000 hidrauličkih testova uz upotrebu pakera i izvršena je ugradnja oko 430 pijezometara i bunara, među kojima su oko 150 dubine veće od 100 m. Prvi put u domaćoj hidrogeološkoj praksi izvedena je ugradnja baterija tzv. „vibrating-wire“ pijezometara, od kojih je najdublji izveden do dubine od 2000 m. Primenom navedenih metoda prikupljen je značajan obim podataka koji je poslužio za izradu konceptualnih i numeričkih modela strujanja podzemnih voda u širem prostoru ležišta. Ovim je omogućena kvantifikacija interakcije podzemnih voda i planiranih rudarskih radova kao i procena uticaja planirane eksploatacije na vodne resurse.

Ključne reči: rudnička hidrogeologija, rudničke vode, metalična ležišta, podzemne vode, Srbija

UVOD

Uporedo sa podsticanjem reciklaže i optimizacijom korišćenja sirovina, u Evropi su pokrenute inicijative za razvoj novih kao i ponovno aktiviranje nekih od napuštenih rudarskih lokacija. Ovaj trend je prisutan i u Srbiji, pa je tako u periodu od 2000-ih pa na dalje, sa otvaranjem tržišta za inostrane kompanije, došlo do značajnog porasta obima istraživanja ležišta mineralnih sirovina. Prema dostupnim podacima Ministarstva rudarstva i energetike trenutno je aktivno 167 istražnih prava (<https://gis.mre.gov.rs/smartPortal/Srbija>) koja su izdata na ukupnom prostoru od oko 6000 km² ili blizu 7% teritorije Srbije. Među navedenim istražnim pravima njih 132 se odnosi na ležišta metalčnih mineralnih sirovina i borata (slika 1). Najznačajniji rezultati ovih aktivnosti su otkrića ležišta bakra i zlata „Čukaru Peki“; bora i litijuma „Jadar“, „Piskanja“ i „Valjevo“; kao i ležišta zlata „Bigar-Korkan“ i „Tlamino“. Novootkrivena ležišta su značajnih razmera i uvećala su udeo Srbije u ukupnim raspoloživim količinama ovih sirovina (Knaak et al. 2016; Jelenković 2014 i 2018; Dragišić & Živanović 2013).



Slika 1. Istražni prostori za istraživanje metalčnih mineralnih sirovina na prostoru Srbije (podaci sa sajta Ministarstva) sa obimom izvedenih hidrogeoloških istraživanja (prema saznanjima autora)

Figure 1. Exploration licenses of metallic deposits (source: The Ministry web page) with status of hydrogeological investigations (as per authors best knowledge)

Među obimnim geološkim istražnim radovima, značajne aktivnosti su sprovedene na hidrogeološkoj karakterizaciji rudnih tela i okolorudnih stena. Sveobuhvatno istraživanje hidrogeoloških karakteristika ležišta neophodno je za razumevanje rizika i mogućnosti povezanih sa podzemnim vodama. Ovo se pre svega odnosi na procenu potreba za odvodnjavanjem rudarskih radova i tretmanom ovih voda, analizu potencijalnih uticaja na površinske i podzemne vode i postojeće korisnike, kao i identifikaciju odgovarajućih izvora vodosnabdevanja rudnika i pratećih postrojenja. Živanović & Atanacković (2022) detaljnije razmatraju aspekte uticaja geoloških istraživanja ležišta na podzemne vode. Pored navedenih osnovnih ciljeva hidrogeoloških istraživanja, problematika podzemnih voda prožima različite aspekte planiranja i razvoja ležišta, kao što su procene geotehničkih svojstava stenskog masiva i stabilnosti rudarskih radova, interakcije sa površinskim vodama i prognoza ukupnog bilansa voda u periodu eksploatacije.

Istraživanja ležišta predstavljaju dugotrajan proces i obavljaju se fazno. Vreme neophodno da se iz faze otkrića ležišta, preko njegove karakterizacije dođe do same eksploatacije kreće se između 7 i 20 godina. Tokom ovog perioda povećava se i obim istražnih geoloških radova, a time i prikupljenih podataka. Sa aspekta hidrogeologije, najintenzivnija istraživanja izvode se u fazi overe rezervi mineralnih sirovina i ocene izvodljivosti eksploatacije. Prema inostranim industrijskim standardima ovo odgovara fazama prethodne studije izvodljivosti (*Prefeasibility Study – PFS*) i studije izvodljivosti (*Feasibility Study – FS*). Nakon utvrđivanja izvodljivosti eksploatacije vrši se procena uticaja planiranih aktivnosti na životnu sredinu kroz izradu studije o proceni uticaja. Sastavni deo ove studije su i podaci o stanju podzemnih voda pre početka radova kao i procena uticaja planiranih aktivnosti na kvalitet i režim podzemnih voda. Tokom faze otvaranja ležišta i same eksploatacije problematika podzemnih voda se uglavnom vezuje za rešavanje specifičnih problema vezanih za prilive podzemnih voda kao i na monitoring promena kvaliteta i nivoa u zoni izvođenja radova. Prognoza hidrogeoloških uslova i brzine povrata nivoa ili plavljenja rudarskih radova je sastavni deo priprema planova za zatvaranje i rekultivaciju rudnika. Iz navedenog se uočava da je hidrogeologija i problematika podzemnih voda sastavni deo celokupnog procesa, od ranih faza ocene samog resursa, kroz aktivan radni vek rudnika pa do zatvaranja, kao i nakon rekultivacije u vidu praćenja efekata primenjenih mera.

PRIMENJENE METODE HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA

Među metodama primenjenim za potrebe hidrogeološke karakterizacije ležišta ovde će biti navede one koju su primenjene na teritoriji Srbije u poslednjih 15-ak godina, bez detaljnijeg razmatranja ove problematike u okviru faza eksploatacije i zatvaranja rudnika. U daljem tekstu biće prikazani hidrogeološki istražni radovi izvedeni u sklopu karakterizacije sledećih novootkrivenih ležišta:

- Ležište litijuma i bora „Jadar“ kod Loznice;
- Ležište bakra i zlata „Čukaru Peki“ kod Bora;
- Ležišta zlata „Bigar Hill“ i „Korkan“ kod Žagubice i
- Ležište litijuma i bora „Valjevo“ kod Valjeva

Hidrogeološki istražni radovi obuhvatili su terenska i kabinetska istraživanja. Među terenskim istražnim radovima u sklopu hidrogeološke karakterizacije navedenih ležišta primenjeni su sledeći:

- Hidrogeološko kartiranje i identifikacija pojava i objekata;
- Opiti utiskivanja i nalivanja vode u bušotinu uz upotrebu pakera;
- Specijalizovane metode karotaža (reometrija, „heat puls“ i „NMR“);
- Izrada osmatračkih bunara (pijezometara);
- Izrada i testiranje istražnih bunara;
- Bušenje i ugradnja „vibrating-wire“ pijezometara;
- Monitoring režima nivoa i kvaliteta površinskih i podzemnih voda.

Hidrogeološko rekognosciranje i kartiranje terena vršeno je u ranim fazama istraživanja ležišta. U okviru nekih istražnih prostora usvojena je praksa identifikacije izvora i bunara na prostoru u kom je predviđeno izvođenje istražnog geološkog bušenja. Ovo je vršeno u cilju prikupljanja podataka o postojećim korisnicima podzemnih voda kao i o njihovom kvalitetu i načinu upotrebe. Ovakav pristup pokazao se odgovarajućim za kasnije praćenje efekata geoloških istraživanja (pre svega istražnog bušenja) na postojeće izvore i bunare.

U cilju utvrđivanja hidrauličkih karakteristika zastupljenih litoloških članova, koje su od primarne važnosti za sagledavanje hidrogeoloških karakteristika ležišta, vršena su ispitivanja istražnih geoloških bušotina primenom opita utiskivanja i nalivanja vode uz upotrebu „wire-line“ pakera za izolaciju testiranih intervala. Tokom izvođenja „Ližon“ testova voda je utiskivana sa tri uzlazna i dva silazna pritiska. Količine vode i pritisci su mereni u pravilnim vremenskim intervalima. Radi veće preciznosti i provere rezultata, uz manometar, često je korišćena i sonda za merenja pritiska u intervalu testiranja. U slučaju slabije konsolidovanih stena umesto utiskivanja vršeno je nalivanje vode u istražne bušotine uz merenje promene nivoa podzemnih voda ručno i automatski. Povremeno, vršeno je opitno crpenje u istražnim bušotinama uz upotrebu pakera za izolaciju otvorenog (vodoprijemnog) dela bušotine.

Geofizička ispitivanja u istražnim bušotinama, pored standardnih metoda (otpornost, prirodna radioaktivnost, sopstveni potencijal, temperatura i provodljivost fluida) uključila su i merenja brzine prostiranja talasa (*full wave sonic*) kao i akustični i video karotaž sa identifikacijom i karakterizacijom pukotina. Takođe, primenjivane su i specifične metode, kao što je reometrija u prirodnim i u uslovima crpenja, i specijalizovana merenja za određivanje poroznosti, koeficijenta filtracije i sadržaja slobodne vode u steni (NMR).

Za potrebe osmatranja nivoa i kvaliteta podzemnih voda na istražnom području izvršeno je bušenje i ugradnja osmatračkih bunara (pijezometara). Pijeometri su uglavnom izrađeni od PVC-a ili cevi od nerđajućeg čelika, prečnika 2" sa mašinski perforiranim filterima. Pored tradicionalnih metoda zapune prostora između

pijezometarske konstrukcije i zida bušotine kvarcnim granulatom i cementno-bentonitskom tamponom, za izolaciju filterskog segmenta kod pijezometara dubljih od 150 m primjenjivane su i tehnike sa cementnom korpom.

Istražni bunari izvedeni su standardnim metodama bušenja i proširivanja bušotine i ugradnjom bunarske konstrukcije. U zavisnosti od projekta i dubine bunara ugrađivane su PVC ili čelične konstrukcije. Najdublji istražni bunar u okviru predmetnih istraživanja izveden je do dubine od 678 m.

U cilju praćena promena pornih pritisaka/nivoa podzemnih voda i njihove temperature instalirani su „vibrating wire“ pijezometri. Ovi pijezometri predstavljaju sondu koja se postavlja u bušotinu na željenu dubinu, koja je kablom povezana sa površinom terena gde se vrše očitavanja frekvencije. Ova očitavanja se u odnosu na podatke sa fabričke kalibracije i ugradnje preračunavaju u vrednosti pornih pritisaka i nivoa podzemnih voda. Nakon ugradnje na određenu dubinu vrši se kompletno zapunjavanje bušotine i sonde odgovarajućom cementno-bentonitskom ispunom. U sklopu predmetnih istraživanja u jednoj standardnoj istražnoj bušotini vršena je ugradnja do 6 „vibrating-wire“ pijezometara na različitim dubinama, a najviše do 2000 m.

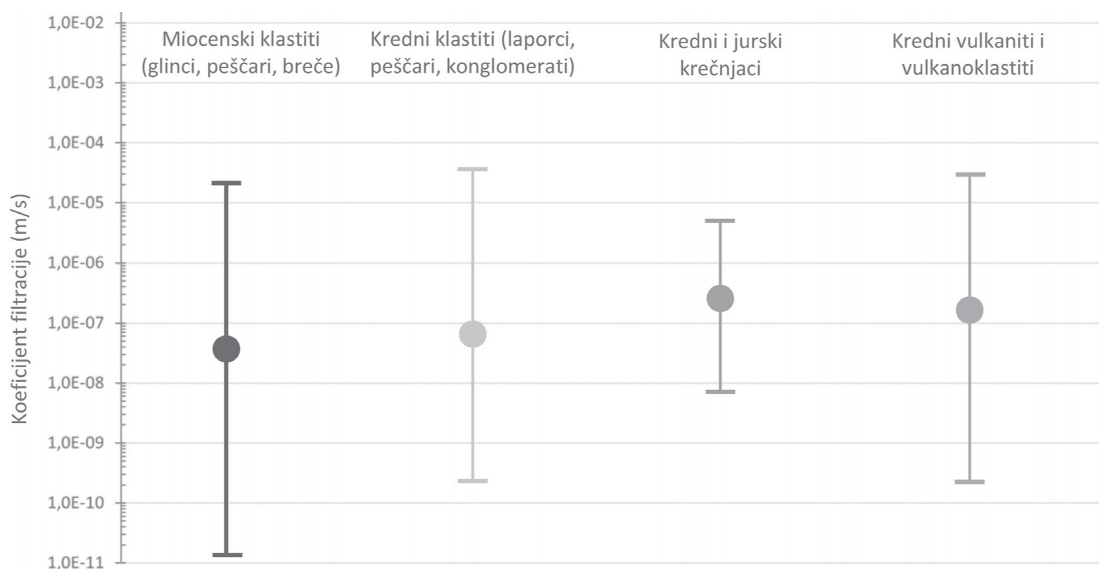
Na širem prostoru identifikovanih ležišta izvršena je izrada osmatračke mreže bunara i pijezometara na kojima je uspostavljen monitoring podzemnih voda. Od parametara vršeno je manuelno i automatsko praćenje režima nivoa podzemnih voda, kao i uzorkovanje i izrada hemijskih analiza. Za potrebe uzimanja reprezentativnih uzoraka primenjivane su metode pasivnog uzorkovanja iz filterskog segmenta na dubinama do oko 700 m. Na plićim pijezometrima uzorkovanje je vršeno i upotrebom peristaltičkih pumpi u režimu malog proticaja.

U okviru kabinetskih radova izvršena je obrada rezultata istraživanja, analiza prikupljenih podataka i izrada odgovarajućih hidrogeoloških izveštaja. Ovi podaci su dalje korišćeni u pripremi hidrogeoloških poglavlja elaborata o rezervama mineralnih sirovina. Prikupljeni hidrogeološki podaci su korišćeni za pripremu konceptualnih hidrogeoloških modela koji su poslužili kao osnova za razvoj hidrodinamičkih modela strujanja podzemnih voda u široj zoni ležišta. Modeli su dalje korišćeni za prognozu priliva podzemnih voda u kontekstu izvodljivosti eksploatacije kao i za potrebe procene uticaja planiranih aktivnosti na eksploataciji na vodne resurse.

REZULTATI I DISKUSIJA

Razmatrana ležišta većinski su formirana u konsolidovanim sedimentima miocenske i kredne starosti. Prema strukturnom tipu poroznosti za ova ležišta karakteristično je prisustvo pukotinskog tipa izdani. U podini predmetnih ležišta identifikovano je ili pretpostavljeno prisustvo mezozojskih karbonata. Za ležišta bora i litijuma koja su formirana u okviru miocenskih basena, u povlati ležišta prisutan je i zbijeni tip izdani

Istraživanjima hidrogeoloških karakteristika važnijih novootkrivenih ležišta prikupljeni su obimni podaci o filtracionim karakteristikama zastupljenih litoloških jedinica. Ukupno je na ležištima „Jadar“, „Čukaru Peki“, „Bigar-Korkan“ i „Valjevo“ izvedeno oko 2300 opita, uključujući utiskivanje ili nalivanje vode uz upotrebu pakera za izolaciju testiranog intervala. U odnosu na litologiju, oko 1500 testova izvedeno je u okvir miocenskih glinaca peščara i konglomerata, najvećim delom u zoni zapadne Srbije. Približno 300 testova izvedeno je u okviru klastičnih sedimenata (peščari, konglomerati i laporci) kredne starosti, dok su filtracione karakteristike krednih magmatskih i vulkanskih stena bile predmet oko 150 testova. Značajna istraživanja (oko 100 testova) izvršeno je i u okviru krednih i jurskih krečnjaka, dok je deo istraživanja bio usmeren i na karakterizaciju permskih i devon-karbonskih klastita i karbonata. Opseg vrednosti koeficijenata filtracije za slične litostratigrafske jedinice prikazan je na slici 2.



Slika 2. Opseg vrednosti (min, max i geometrijska sredina) koeficijenata filtracije zastupljenih litostratigrafskih jedinica

Figure 2. Range (min, max, geometric mean) of hydraulic conductivity values for represented lithostratigraphic units

Najlošijim filtracionim svojstvima odlikuju se ležišta i okolorudne stene bora i litijuma formirana u okviru sitnozrnih klastita miocenske starosti. Nešto više vrednosti koeficijena filtracije zabeležene su za slojeve breča koji se javljaju u okviru paketa neogenih sedimenata. Slične vrednosti vodopropusnosti zabeležene su i za kredne peščare, konglomerate i laporce. Najmanje oscilacije vrednosti koeficijena filtracije zabeležene su za krečnjake kredne i jurske starosti, dok su kod vulkanita pojedinim testovima utvrđene i zone visoke vodopropusnosti. Širok opseg vrednosti ukazuje na složene hidrogeološke uslove i preovlađujuću ulogu sekundarne poroznosti na filtracione karakteristike litoloških članova.

Za potrebe monitoringa režima nivoa i kvaliteta podzemnih voda u zoni ležišta „Jadar“, „Čukaru Peki“ i „Bigar-Korkan“ ukupno je izvedeno bušenje i instalacija približno 430 hidrogeoloških objekata, od kojih oko 120 dubokih osmatračkih bunara (pijezometara), 41 bušotina opremljena je „vibrating-wire“ pijezometrima, ugrađeno je 45 istražnih bunara, kao i oko 220 plitkih (<30 m) pijezometara. Među osmatračkim bunarima za monitoring nivoa i kvaliteta podzemnih voda najdublji je izveden do dubine od 775 m u zoni ležišta „Jadar“, dok je najdublja „vibrating-wire“ sonda ugrađena na dubinu od 2000 m u donjoj zoni ležišta bakra i zlata „Čukaru Peki“. S obzirom da se rudna tela u okviru razmatranih ležišta nalaze na dubinama većim od 150 m, većina plitkih bunara izvedena je za potrebe karakterizacije prostora predviđenog za izradu prateće infrastrukture (jalovišta, flotacijska postrojenja itd.).

Među analiziranim ležištima u periodu pisanja rada samo je u rudnom telu gornja zona ležišta „Čukaru Peki“ započeta eksploatacija podzemnim metodama. Ležišta „Jadar“ i „Bigar-Korkan“ su u fazi ocene izvodljivosti eksploatacije i procene planiranih aktivnosti na životnu sredinu, a ležište „Valjevo“ se nalazi u fazi prethodne studije izvodljivosti. Izradom pomenute osmatračke mreže bunara i pijezometara stvoreni su uslovi za praćenje promena nivoa podzemnih voda i njihovog kvaliteta pre početka radova na eksploataciji ležišta, kao i u periodu aktivnog rada rudnika. Na području ležišta „Jadar“ i „Čukaru Peki“ monitoring površinskih i podzemnih voda sprovodi se od 2014/2015 godine. Učestalost uzorkovanja podzemnih voda je mesečno ili kvartalno. Na ostalim razmatranim ležištima praćenje kvaliteta i nivoa podzemnih voda je započeto ili planirano u skorijoj budućnosti.

Obimnim laboratorijskim ispitivanjima kvaliteta podzemnih voda (više hiljada analiza), utvrđene su značajne razlike u hemijskom sastavu i mineralizaciji podzemnih voda između pomenutih ležišta što je i očekivano s obzirom na razlike u geološkim formacijama i tipu orudnjenja. U zonama ležišta bora i litijuma u okviru jezerskih naslaga miocenske starosti formirane su vode visoke mineralizacije (elektroprovodljivost i do 25 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Veoma visoke koncentracije bora i litijuma u podzemnim vodama ovih ležišta (nekoliko stotina pa do više hiljada mg/l) dovode do formiranja atipičnih Na-(Li-B)-CO₃ voda koje su u Srbiji karakteristične za ležište „Jadar“.

ZAKLJUČAK

U poslednjih 10-ak godina na prostoru Srbije izvedena su veoma obimna hidrogeološka istraživanja novootkrivenih ležišta mineralnih sirovina. Dolaskom vodećih inostranih kompanija na domaće tržište izvršen je transfer najnovijih tehnologija i znanja koje predstavljaju najbolju dostupnu praksu u rudarskoj industriji. Primenjene su savremene metode opita utiskivanja uz upotrebu „wire-line“ pakera do dubina od 800 m, kao i ugradnja baterija „virating-wire“ pijezometara do dubine od 2000 m. Po prvi put u Srbiji primenjene su specijalizovane metode geofizičkog karotaža (NMR) kojima se određuje koeficijent filtracije po profilu bušotine kao i sadržaj slobodne i vezane vode. Izvedenim istražnim radovima prikupljen je značajan fond podataka koji su korišćeni najpre za razumevanje hidrogeološkog sistema, a onda i za prevođenje konceptualnih modela u numeričke modele strujanja podzemnih voda. S obzirom da istraživanje ležišta i ocena izvodljivosti eksploatacije predstavljaju multidisciplinarni zadatak, na predmetnim projektima neophodna je intenzivna saradnja među različitim disciplinama kako u okviru geologije i rudarstva, tako i u oblasti zaštite životne sredine i upravljanja vodama. Problematika zaštite podzemnih voda u sklopu istraživanja ležišta dobila je značajnu pažnju stručne i šire javnosti. Ovde je do izražaja došla evidentna potreba za većim brojem i boljim prostornim rasporedom pijezometara u okviru nacionalne mreže za monitoringa podzemnih voda. Takođe, nametnuo se značaj identifikacije prirodnog stanja podzemnih voda pre početka radova na istražnom bušenju, tačnije razdvajanje prirodnih anomalija od koncentracija pojedinih elemenata povišenih kao posledica istražnog bušenja.

Literatura:

<https://gis.mre.gov.rs/smartPortal/Srbija> - pristupljeno jun 2022.

Atanacković N., Živanović V., Dragišić V., Davidović J., 2022: *Hidrogeologija ležišta bakra i zlata Čukaru Peki – od istraživanja do eksploatacije*, 18. Kongres geologa Srbije – Geologija rešava probleme, Divčibare 2022, Srbija.

Dragišić V., Živanović V., 2013: Izveštaj o hidrogeološkim istraživanjima na lokalnosti Čukaru Peki kod Bora (istražno područje Brestovac-Metovnica), Fondovska dokumentacija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.

Knaak M., Márton I., Tosdal R., van der Toorn J., Davidović D., Strmbanović I., Zdravković M., Živanović J., Hasson S. 2016: *Geologic Setting and Tectonic Evolution of Porphyry Cu-Au, Polymetallic Replacement, and Sedimentary Rock-Hosted Au Deposits in the Northwestern Area of the Timok Magmatic Complex, Serbia*, Economic Geology, Special Publication 19, p.1-28.

Jelenković R., 2018: *Istraživanje metalnih mineralnih sirovina u Srbiji, zaštita životne sredine i prostorno planiranje*, 17. Kongres geologa Srbije, Vrnjačka Banja 2018, Srbija.

Jelenković R., 2014: *Stanje i potencijali mineralnih resursa istočne Srbije*, 16. Kongres geologa Srbije, Donji Milanovac 2014, Srbija.

Živanović V. i Atanacković N., 2022: *Zaštita podzemnih voda u različitim fazama istraživanja ležišta mineralnih sirovina*, 18. Kongres geologa Srbije – Geologija rešava probleme, Divčibare 2022, Srbija.