

UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XIV SRPSKI SIMPOZIJUM
O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem
ZBORNİK RADOVA



ZLATIBOR
17-20. maj 2012. godine



XIV SRPSKI SIMPOZIJUM O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem
ZBORNİK RADOVA

IZDAVAČ:

Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet
Đušina 7

ZA IZDAVAČA:

Prof. dr Vladica Cvetković, dekan
Rudarsko-geološki fakultet

TEHNIČKI UREDNICI:

Nevena Savić, dipl. inž.
Marina Jovanović, dipl. inž.

TIRAŽ:

150 primeraka

ŠTAMPA:

Štamparija Grafik Centar

Na 123. sednici Nastavno-naučnog veća Departmana za hidrogeologiju doneta je odluka o organizaciji XIV srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, koja je utvrđena saglasnošću Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta od 24.05.2011.

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd
556.3(082)

SRPSKI simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem (14 ; 2012 ; Zlatibor)
Zbornik radova XIV srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem,
Zlatibor, 17-20. maj 2012. godine /
[organizator Rudarsko-geološki fakultet ... et al.]. - Beograd : #Univerzitet,
#Rudarsko-geološki fakultet, 2012 (Beograd : Grafik centar).
- [18], 642 str. : ilustr. ; 30 cm

Na vrhu nasl. str.: Departman za hidrogeologiju. - Tiraž 150. - Str. [7-8]:
Uvodna reč organizatora / Dejan Milenić, Zoran Stevanović. - Abstracts. -
Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7352-236-4

a) Hidrogeologija - Zbornici
COBISS.SR-ID 190619660

SADRŽAJ

UVODNA PREDAVANJA

Petar Dokmanović, Zoran Nikić

Resursi podzemnih voda i hidrogeološka istraživanja u kontekstu aktuelne zakonske regulative u Srbiji.....	1
---	---

Milan Dimkić

Procesi u aluvijalnim podzemnim vodama i njihov značaj.....	5
---	---

Zoran Stevanović

Izazovi edukacije hidrogeologa u 21. veku – domaći i internacionalni kontekst.....	11
--	----

1. VODOSNABDEVANJE I MENADŽMENT PODZEMNIH VODA

Dušan Polomčić, Zoran Stevanović, Petar Dokmanović, Vesna Ristić Vakanjac, Bojan Hajdin, Saša Milanović, Dragoljub Bajić

Optimizacija vodosnabdevanja podzemnim vodama u Srbiji.....	15
---	----

Milenko Pušić, Milan Dimkić, Dragan Vidović, Milan Dotlić, Ilija Oparušić

Hidrodinamička analiza kapaciteta bunara sa horizontalnim drenovima na primeru beogradskog izvorišta.....	21
--	----

Ivana Obradović, Ranko Vukićević, Ljupka Mrkonja, Ivana Špadijer, Benno Grassl, Milan Lazarević, Dejan Drašković

Proširenje kapaciteta izvorišta utiskivanjem horizontalnih drenova-primer novosadskog izvorišta.....	27
---	----

Igor Jemcov, Dušan Polomčić, Rastko Petrović, Marina Ćuk

Prilog poznavanju režima rada i uslova eksploatacije neogene izdani na području Centralnog Pomoravlja – izvorište Ribare.....	33
--	----

Nenad Toholj, Spasoje Glavaš, Boban Jolović

Pitka voda kao značajan obnovljivi mineralni resurs Republike Srpske.....	39
--	----

Ivica Nikolić, Vladan Kocić, Vesna Ristić-Vakanjac

Monitoring podzemnih voda u državnoj mreži Stanica Srbije.....	45
---	----

Brankica Majkić-Dursun, Stevan Prohaska, Anđelija Koprivica, Vanja Vukelić

Uloga baznog oticaja na ključnim profilima vodomernih stanica reke Dunav i njenih pritoka u Srbiji.....	51
--	----

Miloš Zorić, Tibor Slimak, Nenad Vrvic

Metodologija izrade hidrogeološkog modela na primeru bunara sa horizontalnim drenovima RB-16 na Adi Ciganliji.....	57
---	----

Dušan Đurić, Vladimir Lukić, Anđelko Soro

Mogućnost proširenja izvorišta „Petrovaradinska Ada“ izgradnjom vodozahvata pored reke.....	63
--	----

Neda Dević, Dragan Radojević, Stanka Filipović, Veselin Blečić

Prilog poznavanju veze između voda sliva Gornje Morače i vodozahvata Mareza.....	69
--	----

Ilija Oparušić, Đorđije Božović

Definisanje devijacije drenova na bunarima beogradskog izvorišta podzemnih voda.....	75
--	----

Dušan Đurić, Tibor Slimak, Anđelka Petković

Ocena statusa podzemnih voda na primeru vodnog tela Pančevački rit.....	81
---	----

Brankica Majkić-Dursun, Ljiljana Popović, Dušan Miolski, Oliver Anđelković

Efekti promene režima podzemnih voda na izvorištu „Trnovče“ u periodu 2010-2011.....	87
--	----

Branko Hlevnjak, Željko Duić

Prilagođavanje konstrukcije i održavanje zdenaca u vodonosnicima s povišenim sadržajem željeza.....	93
--	----

Vladimir Filipović, Milenko Vasiljević, Goran Rašula, Budimir Filipović, Srđan Filipović

Hidrogeološke osnove održivog razvoja eksploatacije podzemnih voda Severnog Srema.....	101
---	-----

Bojan Hajdin, Dušan Polomčić, Zoran Stevanović, Dragoljub Bajić, Katarina Hajdin

Ocena perspektivnosti izvorišta “Vić bare” za vodosnabdevanje Obrenovca.....	107
--	-----

Bojan Nikolić, Sibela Nuhović, Gordana Letić, Vlade Čanić

Potencijalnost Ribarskog neogenog basena sa aspekta vodosnabdevanja naselja u opštini Kruševac.....	113
--	-----

Risto Milošević, Boško Vuković

Mogućnost zahvatanja podzemnih voda iz karstne izdani ispod neogenih naslaga u gatačkom ugljenom basenu za vodosnabdevanje Gacka.....	119
--	-----

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

Izrada hidrogeoloških dubleta kao optimalnog načina eksploatacije i korišćenja subhidrogeotermalnih resursa.....	125
---	-----

Neven Miošić, Natalija Samardžić, Hazim Hrvatović

Stanje istraživanja i korišćenja geotermalne energije Bosne i Hercegovine.....	131
---	-----

Boban Jolović, Spasoje Glavaš, Nenad Toholj

Geotermalni potencijali Republike Srpske.....	137
---	-----

Ivan Matić, Slobodan Vujasinović, Stanko Sorajić, Nenad Marić, Dejan Drašković, Slobodan Ćurčić, Nikola Vulić

Očuvanje podzemnih vodnih resursa kod korišćenja subgeotermalne energije na Novom Beogradu..... 145

Ana Vranješ

Procena hidrogeotermalnog potencijala uže teritorije grada Beograda..... 149

Ana Vranješ, Bojan Dončev

Uticao efekta toplotnog ostrva na podzemne vode Novog Beograda..... 157

Vladimir Vuličević

Primer dobre prakse: pasivno hlađenje i aktivno grejanje Viessmann toplotnom pumpom..... 163

Nebojša Stanić

Korišćenje hidrogeotermalne energije u sistemima instalacija grejanja i hlađenja sa Rehau toplotnim pumpama..... 167

Josip Papeš, Josip Bać, Dragoslav Đorđević, Natalija Samardžić, Neven Miošić

Višegradska banja – determinacija geologije ofiolitske zone Bosne i Hercegovine..... 175

Ferid Skopljak

Prvo otkriće mineralne vode na Ilidži kod Sarajeva..... 181

Tamara Marković, Ozren Larva

Hidrokemijska obilježja termalne vode na području Daruvara..... 187

Tamara Marković, Josip Terzić, Jasmina Lukač-Reberski

Određivanje trendova kakvoće vode pomoću geokemijskih pokazatelja u krškom vodonosniku Blatskog polja na otoku Korčuli..... 193

Irena Grujić, Vladimir Stojadinović, Dušan Stojadinović

Termalne vode Ribarske banje i njihova svojstva..... 199

Mića Martinović, Sava Magazinović, Dragana Dimitrijević, Dragana Đurđanović

Mogućnost proizvodnje električne energije iz hidrogeotermalnih resursa na području surduličkog granitoidnog masiva..... 203

Mihailo Milivojević, Mića Martinović, Nenad Malović, Sava Magazinović

Problematika bušenja dubokih hidrotermalnih bušotina na području Semberije na primeru bušotine GD-2 u Slobomiru (Bijeljina)..... 209

Vojislav Tomić, Predrag Milanović, Dragan Simić

Geotermalni potencijal bunara PK-1/H u Smederevskoj Palanci..... 215

Vlade Čanić, Ivan Đokić, Mirko Čekić, Marina Stojić

Novi prilog poznavanju hidrogeotermalne potencijalnosti područja grada Bečeja..... 221

Željko Kljajić, Vladimir Lazić, Miloško Lazić, Daniela Radoš

Energetski potencijal termalnih voda specijalne bolnice "Termal" iz Vrdnika..... 227

Saša Milanović, Ljiljana Vasić, Dragan Milovanović, Stefan Stratimirović

Prilog poznavanju termomineralnih voda Sijarinske banje..... 233

Goran Marinković, Petar Papić, Jana Stojković, Veselin Dragišić

Faktori formiranja sistema ugljikiselih mineralnih voda Srbije..... 239

Olivera Krunić, Srđan Parlić, Marina Jovanović

Geneza ugljikiselih voda Kučevskog neogenog basena..... 245

Ivana Demić

Detaljna hidrogeološka istraživanja termalnih voda na području Bačkog Petrovca 253

Žarko Veljković

Potencijalnost grada Kruševca sa aspekta korišćenja mineralnih i termomineralnih voda..... 259

3. HIDROGEOLOGIJA LEŽIŠTA MINERALNIH SIROVINA**Veselin Dragišić, Gordana Milentijević, Vladimir Živanović, Nebojša Atanacković, Dejan Nešković**

Rudničke vode napuštenih rudarskih radova i životna sredina u području Srbije..... 265

Goran Jevtić, Miloš Zorić

Hidrogeološki model prostora projektovanog podvodnog rudnika uglja Kovin..... 271

Aleksandar Avramović, Vladislav Marinković

Hidrodinamički model površinskog rudnika uglja „Drmno“ – Srbija..... 277

Aleksandar Avramović, Vladislav Marinković

Hidrodinamičke karakteristike zapadnog kostolačkog ugljonosnog basena, sa konceptom otvaranja rudnika i ocenom uticaja na režim podzemnih voda..... 283

Dušan Mikavica

Vodni bilans akumulacije Kladnica u sistemu zaštite PK „Tamnava – Zapadno Polje“ od podzemnih voda..... 289

Ivana Demić, Rastko Pešalj

Mogućnost otkrivanja ležišta visoko temperaturnih voda u Vojvodini, za potrebe proizvodnje električne energije..... 295

Boris Vakanjac, Vesna Ristić-Vakanjac

Uzorkovanje vode kod istraživanja urana u jugoistočnoj Mongoliji..... 301

Milovan RakijašHidrogeološke karakteristike šire zone ležišta krečnjaka površinskih kopova
"Beli kamen" i "Mutalj" kod Beočina..... 309**4. KVALITET I ZAŠTITA PODZEMNIH VODA****Olivera Krunić, Srdjan Parlić**

Mikrokomponente u mineralnim vodama Srbije..... 317

Adam Dangić, Jelena Dangić

Karsno izvorište Zeleni Vir kod Olova (Bosna): hidrogeohemija olova..... 323

Tanja Petrović-Pantić, Milena Zlokolica-Mandić

Kakvu vodu pijemo?..... 329

Vladimir Živanović, Veselin Dragišić, Nebojša AtanackovićPrimena metoda za ocenu ranjivosti podzemnih voda u zaštiti
vodnih resursa nacionalnih parkova i parkova prirode Srbije..... 335**Tibor Slimak, Uroš Urošević, Milan Dimkić, Đorđije Božović**

Analiza ranjivosti podzemnih voda na delu prostora beogradskog izvorišta..... 341

Spasoje Glavaš, Boban Jolović, Nenad ToholjZone sanitarne zaštite izvorišta vode za piće na karstnim područjima
Republike Srpske..... 347**Ivana Špadijer, Slavko Špadijer, Ivana Obradović, Dejan Drašković**Hidrogeološka istraživanja za potrebe zaštite izvorišta javnog vodosnabdevanja-
primer izvorišta za vodosnabdevanje opštine Lazarevac..... 353**Zoran Nikić, Petar Dokmanović**Kvalitet ujezerene vode sa aspekta geološke građe slivnog područja
na primeru akumulacije "Grište"..... 359**Zoran Radenković, Miloš Zorić**

Uticaj dugogodišnje eksploatacije na režim podzemnih voda na području Leskovca..... 365

Miroslav Krmpotić, Dejan Tadić, Dejan Nešković, Andrijana Grujić

Hidrohemijske karakteristike podzemnih voda vulkanogenih masiva Srbije..... 371

Vladan Kocić, Ivica Nikolić, Tatjana Dopuđa-Glišić, Dejan ĆosićRezultati monitoringa podzemnih voda u projektu DREPR
(smanjenje zagađenja u slivu reke Dunav)..... 377

Tanja Petrović-Pantić, Marina Jovanović, Milena Zlokolica-Mandić

Uporedni prikaz pravilnika o kvalitetu pijaćih voda Srbije sa propisima EU, WHO i FAO.....	383
--	-----

Dejan Milenić, Nevena Savić

Kvalitet podzemnih voda i zemljišta u zoni bombardovanih rezervoara 1999. godine na prostoru toplane Novi Beograd.....	389
--	-----

Nevena Savić, Đuro Milanković, Petar Papić

Analiza uticaja različitih vegetacionih pokrivača na režim i kvalitet podzemnih voda - primer Bojčinske šume.....	395
---	-----

Branislav Petrović, Stanko Sorajić

Mesto i uloga hidrogeologa u studijama procene uticaja na životnu sredinu.....	401
--	-----

Nevena Savić

Podloge za razmatranje mogućnosti uticaja klimatskih promena na podzemne vode.....	407
--	-----

Bojana Dabić, Marko Radaković, Mirjana Ristić

Kvalitet podzemnih voda koje se zahvataju na teritoriji grada Kragujevca.....	413
---	-----

Dragoslav Banjak

Hydrohemijski režim i kvalitet voda Dabarskog polja.....	419
--	-----

Milan Tomić, Miloško Lazić

Prilog poznavanju podzemnih lekovitih voda Vojvodine.....	425
---	-----

Zdravko Pantelić, Mithat Eminović

Kvalitet vode tutinskog vodovoda u period od 2007. do 2011 god.....	429
---	-----

5. RAZNOVRSNA HIDROGEOLOŠKA TEMATIKA (INFORMACIONE TEHNOLOGIJE, OSNOVNA HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA, SPECIFIČNE TEME)

Vasilije Radulović

Uticaj projektovanih, višenamjenskih akumulacija voda - jezera u kanjonu rijeke Morače na izmjenu režima voda u okolnim terenima.....	433
---	-----

Vladimir Beličević

Izrada karte resursa podzemnih voda Severnog Alžira.....	439
--	-----

Vojislav Tomić

Vodonosnost stena sa pukotinskom strukturom poroznosti i metodologija određivanja rezervi podzemnih voda u pukotinskim izdanima.....	447
--	-----

Igor Jemcov, Rastko Petrović

Režim i karakteristike karstnog vrela Perućac primenom analize vremenskih serija..... 453

Milenko Pušić, Ilija Oparušić, Dušan Đurić

Hidrodinamička analiza koegzistencije regionalnog izvorišta i rudnika uglja u Kovinskoj depresiji..... 459

Djulija Boreli-Zdravković, Goran Jevtić, Marina Babić-Mladenović

Istraživanje hidrauličkog kontakta reke Save i izdani u zoni beogradskog izvorišta..... 465

Dragan Kaluđerović

Uticaj neodređenosti parametara matematičkog modela na prognozni kapacitet izvorišta na potezu Trnovče-Miloševac-Lozovik..... 471

Saša Milanović, Ljiljana Vasić, Milorad Kličković

3D model karstnih kanala u zoni isticanja Malog vrela..... 477

Petar Papić, Jana Stojković

Primena multivarijantne statističke analize u hidrogeohemiji..... 483

Mirko Čekić, Ivan Đokić, Sibela Nuhović

Pukotinsko-karstna izdan u donjotrijaskim krečnjacima u Gostilju (Zlatibor)..... 489

Milan Radulović

Mogućnosti prikazivanja stepena karstifikacije u visoko karstifikovanim terenima..... 493

Milan Radulović

Lociranje zona podvodnog isticanja izdanskih voda korišćenjem daljinske detekcije..... 499

Đuro Milanković

Osnovna hidrogeološka karakterizacija karstnih vrela planinskog masiva Zlatibora..... 505

Petar Begović, Branko Ivanković, Željko Zubac, Vladimir Petrović

Katastar vodnih pojava na području rijeke Trebišnjice..... 513

Dejan Milenić, Đuro Milanković

Novi osvrt na vodonosnost ultramafita zlatiborskog planinskog masiva..... 519

Milovan Rakijaš, Slobodan Vujasinović, Ivan Matić, Marija Đedović, Jelena Zarić

Hidrogeološka problematika kod zatvaranja postojećih i otvaranja novih sanitarnih komunalnih deponija u Srbiji..... 525

Milovan Rakijaš

Analiza povoljnih i nepovoljnih terena za izgradnju sanitarnih komunalnih deponija čvrstog otpada u Srbiji, sa hidrogeološkog aspekta..... 531

Goran Jevtić, Vladimir Lukić, Anđelko Soro

Uticaj režima u kanalu tehnološke vode na režim podzemnih voda u okruženju..... 539

Željko Kljajić, Vladimir Lazić, Miloško Lazić, Nestor Miković

Uslovi zahvatanja i flaširanja "Moja voda" kod Vršca i mogućnost proširenja kapaciteta... 545

Vesna Zuber-Radenković, Zoran Radenković

Hidrodinamička modelska ispitivanja u cilju određivanja zona zaštite izvorišta „Garevina“ u Lapovu..... 551

Vojislav Tomić, Milan Tomić

Predlog novog načina prikazivanja hidrogeoloških svojstava stena (terena) na osnovnoj hidrogeološkoj karti (OHGK)..... 557

Željko Zubac, Matko Uljarević, Željko Bošković

Sanacija problema procjednih voda iz akumulacije „Gorica“-HE Trebinje II..... 561

Nikola Elez

Prognozni proračun filtracije podzemnih voda oko tela brane MHE „Dub“ na reci Prači u Republici Srpskoj..... 567

Rastko Petrović

Određivanje kontura topografskih vododelnica analizom dem-a - primer izvorišta u Gornjoj Lisini..... 573

Milan Tomić, Vuk Kasalica

Ovodnjenost ležišta krečnjaka «Zborište» kod Guče..... 579

6. STUDENTSKI RADOVI**Nenad Doroslovac**

Primena softverskog paketa Aquachem u određivanju geneze termomineralnih voda Jošaničke Banje (Centralna Srbija)..... 585

Nela Petronijević, Ivan Matić, Slobodan Vujasinović

Određivanje zona sanitarne zaštite na primeru izvorišta Opštine Kikinde..... 591

Marina Jovanović, Bojan Dončev

Termomineralne vode Čačansko-kraljevačkog neogenog basena i terena oboda..... 597

Tijana Vinčić

Kvalitet flaširanih voda Srbije..... 603

Maja Todorović, Marina Ćuk

Nitrati u podzemnim vodama Srbije..... 607

Marina Ćuk, Maja Todorović, Jana Stojković

Arsen u podzemnim vodama za vodosnabdevanje Vojvodine..... 611

Darko Tonić

Mogućnost korišćenja geotermalne energije u Srbiji..... 617

Jovana Milosavljević

Ponašanje pesticida u intergranularnoj poroznoj sredini..... 621

Marina Čokorilo

Simulacija dnevnih isticanja iz karstnog vrela Vape (Jugozapadna Srbija)..... 627

Katarina Samolov, Vladimir NovakovićRudničke vode ležišta urana i kvalitet životne sredine
na području Stare planine (Istočna Srbija)..... 633**Strahinja Marković, Dragan Milovanović**Hemijske karakteristike podzemnih voda u ofiolitimskim masivima
Dinarida i Vardarske zone..... 637**PROSTOR ZA SPONZORE**

RUDNIČKE VODE NAPUŠTENIH RUDARSKIH RADOVA I ŽIVOTNA SREDINA U PODRUČJU SRBIJE MINE WATERS FROM ABANDONED MINES AND THEIR IMPACT ON THE ENVIRONMENT IN SERBIA

Veselin Dragišić¹, Gordana Milentijević², Vladimir Živanović¹, Nebojša Atanacković¹, Dejan Nešković¹

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

²Fakultet tehničkih nauka, 38220 Kosovska Mitrovica, E-mail: blagojenedeljko@yaho.com

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

¹Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd, E-mail: n.atanackovic@gmail.com

¹Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd, E-mail: neskovic.m.dejan@gmail.com

APSTRAKT: Eksploatacija i istraživanja ležišta mineralnih sirovina bili su veoma intenzivni na prostoru Srbije. Njihovim završetkom rudarski radovi su često ostajali napušteni, bez uspostavljanja odgovarajućih mera zaštite životne sredine. Iz ovih radova rudničke vode i sada nekontrolisano ističu u površinske tokove zagađujući ih, a indirektno i podzemne vode koje su u hidrauličkoj vezi sa njima. Tokom nekoliko prethodnih godina vršena su istraživanja rudničkih voda iz više desetina starih rudarskih radova u okviru različitih tipova rudnih ležišta širom Srbije. Na osnovu sprovedenih istraživanja konstatovano je da su rudničke vode koje ističu iz napuštenih rudarskih radova u okviru ležišta zlata i magnezita, po hemijskom sastavu slične sa podzemnim vodama u okruženju i da nemaju negativnog uticaja na životnu sredinu. Za razliku od prethodnih, rudničke vode koje ističu iz napuštenih rudarskih radova ležišta bakra, molibdena i polimetalčnih ležišta imaju povećanu mineralizaciju i niske vrednosti pH. Po hemijskom sastavu to su sulfatne vode sa povišenim sadržajem teških metala. Nekontrolisanim isticanjem ovih voda dolazi do degradacije kvaliteta površinskih tokova. Sličnih karakteristika su i rudničke vode koje ističu iz ležišta kamenih ugljeva, takođe sa negativnim uticajem na okolinu. Rudničke vode ležišta urana odlikuju se povećanim vrednostima α i β aktivnosti i koncentracije urana.

Ključne reči: rudničke vode, napušteni rudnici, kvalitet voda, životna sredina

ABSTRACT: Exploration and exploitation of mineral deposits were very intensive in Serbia. With completion of exploitation, they were often abandoned, without appropriate environmental protection measures. Even today, mine waters from these mines are still uncontrollably discharged into surface streams, which causes their pollution. Mine waters indirectly pollute groundwaters too, since they are hydraulically connected with surface streams. During last few years, mine waters from dozens of old mines from different ore deposits all across Serbia were explored. On the basis of conducted research it was concluded that mine waters leaking from abandoned gold and magnesia mines, are similar to the groundwaters in the area according to their chemical composition, and they don't have negative impact on the environment. As opposed to the above mentioned mine waters, those leaking from abandoned copper, molybdenum and polymetallic deposits have increased mineralization and low pH values. According to their chemical composition these are sulfate class waters with increased concentration of heavy metals. Uncontrolled discharge of these waters causes degradation of surface waters quality. Mine waters from coal deposits have similar characteristics, with negative impact on the environment, too. Mine waters from uranium deposits are characterized by increased values of α and β activity and uranium concentration.

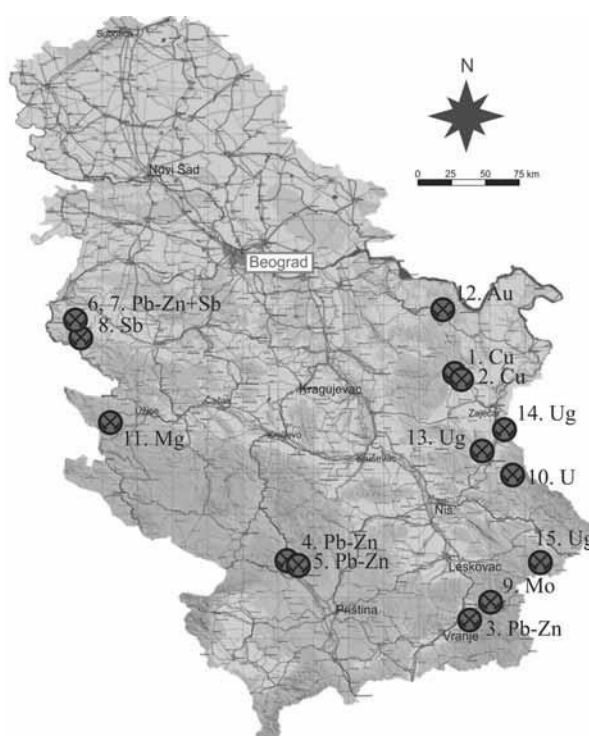
Key words: mine waters, abandoned mines, water quality, environment

Uvod

Procesi vezani za istraživanje, eksploataciju i preradu ruda, odlaganje rudne jalovine, odvodnjavanje rudarskih radova i njihovo „plavljenje“ nakon prestanka eksploatacije, kao i nekontrolisano isticanje obično kontaminiranih rudničkih voda, mogu imati negativan, često nesaglediv uticaj na životnu sredinu, Younger & Wolkersdorfer (2004). Za razliku od modernih, aktivnih rudnika u kojima se rudničke vode prikupljaju i tehnološki prerađuju, odnosno prečišćavaju, iz starih, napuštenih rudarskih radova vode uglavnom nekontrolisano otiču u najbliže recipijente, što je u suprotnosti sa načelima održivog razvoja i smernicama iz evropske direktive o vodama (WFD).

Tokom istraživačkog perioda (2009–2011), u području Srbije vršeno je ispitivanje rudničkih voda iz napuštenih rudarskih radova u okviru više desetina rudnih ležišta. Konkretno, ispitivane su rudničke vode ležišta metalnih mineralnih sirovina (Cu, Fe-Ni, Pb-Zn, Sb, Mo, Au, Bi, Hg), radioaktivnih elemenata (U), nemetala (Mg, F) i kamenog uglja. Da bi se ocenio uticaj rudničkih voda, na kvalitet okolnih površinskih voda, vršeno je i ispitivanje površinskih voda u području napuštenih rudarskih radova.

Karakteristike ispitivanih rudničkih voda



Slika 1. Lokacije uzorkovanja
Figure 1. Sampling location

Rudničke vode koje cirkulišu kroz rudarske radove, dolaze u kontakt sa primarnim i sekundarnim mineralima u oksidacionim uslovima, pri čemu dolazi do njihovog rastavaranja. Oksidacijom vodećeg sulfida-pirita (FeS_2), kao i drugih sulfida, dolazi do oslobađanja vodonikovih jona koji uzrokuju sniženje pH vrednosti, kao i do povećanja sadržaja sulfata, teških metala (Fe, Cu, Pb, Zn, Cd, Co, Cr, Ni, Hg), metaloida (As, Sb) i drugih elemenata (Al, Mn, Si, B, Li) u rudničkim vodama, Lottermoser (2007). Zajedno sa ovim, aktivnost mikroorganizama pre svih bakterija iz vrste *Thiobacillus ferrooxidans* i *Thiobacillus thiooxidans* ubrzava procese koji dovode do pogoršanja kvaliteta rudničkih voda. U zavisnosti od pH - Eh uslova sredine i sastava rudničkih voda, dolazi do izdvajanja pojedinih sekundarnih minerala u vidu taloga i skrama na zidovima rudarskih radova, u čijem sastavu preovlađuju oksidi i hidrosidi gvožđa koji im daju karakterističnu crveno-narandžastu boju, a nekada u slučaju bakrovih ležišta i plavu. Slični procesi se dešavaju i u ležištima kamenog uglja. No, u nekim drugim ležištima, glavni proces razlaganja rudnih i okolrudnih minerala predstavlja hidrolitički proces, a formirane rudničke vode se ne razlikuju bitno od fonskih podzemnih voda.

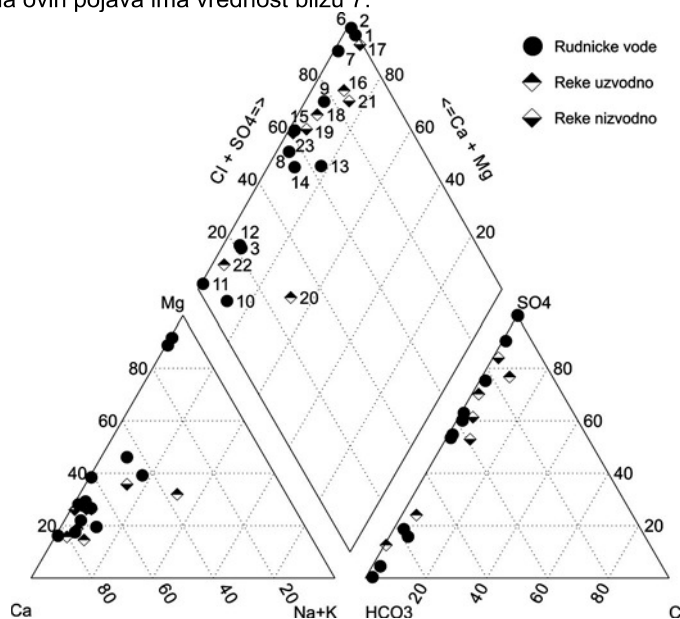
Konkretno, u ovom radu prikazane su karakteristike rudničkih voda različitih tipova metalnih ležišta (bakra, olovo-cinka, molibdena, antimona i zlata), ležišta kamenog uglja, magnezita i urana (slika 1).

Ispitivanjima su obuhvaćene rudničke vode ležišta na prostoru istočne, zapadne i južne Srbije, kao i na KiM (slika 1). Hemijska ispitivanja rudničkih voda i voda površinskih tokova vršena su u laboratoriji "Hemolab" u Beogradu.

Od makrokomponenti, analizama su obuhvaćeni glavni katjoni i anjoni (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-), a od mikrokomponeenti nemetali (NH_4^+ , NO_2^- , P, SiO_2) i metali (Fe uk., Mn uk., Sr, Li). U cilju ocene uticaja na životnu sredinu, analizama su su obuhvaćeni i toksični i teški metali (Zn, Cr, Cu, Pb, Cd, As, Ni). U zavisnosti od vrste mineralne sirovine analizirani su i dodatni parametri (Al, Sb, Mo i dr.).

Na osnovu rezultata ispitivanja (tabela 1), konstatovane su izrazite razlike u hemijskom sastavu analiziranih voda. One su posledica složenih uslova njihovog formiranja. Prema nekim autorima usled različitosti ležišta mineralnih sirovina, sastav rudničkih voda je jedinstven za svaki rudnik, Wolkersdorfer (2008). Potvrda ove teze ogleđa se u velikom rasponu vrednosti analiziranih parametara. Indeks pH od 1.95 (pov.kop "Lipa") ukazuje na izrazito kiselu sredinu, dok su rudničke vode iz potkopa "Liska" alkalne sa pH indeksom 8.3. Zajedno sa vrednostima pH, varira i sadržaj SO_4^{2-} . Ekstremno visoke vrednosti sadržaja SO_4^{2-} obično se javljaju u vodama sa izuzetno niskim pH vrednostima. No, i rudničke vode iz rudnika bakra "Cerova" i kamenog uglja "Dobra sreća" imaju povišen sadržaj sulfatnog jona, dok im je vrednost pH kao i kod većine uzoraka između 6 i 8. Ove vode ističu iz zarušenih radova u kojima vladaju redukcionni uslovi.

U odnosu na sulfidna ležišta Cu i Pb-Zn, rudničke vode ležišta ostalih ispitivanih ležišta odlikuju se znatno manjim oscilacijama u hemijskom sastavu. Vrednosti za mineralizaciju za većinu pojava rudničkih voda vezanih za ležišta kamenog uglja, Sb, Mo, U, Mg i Au se nalaze u intervalu oko i ispod 1000 mg/l, dok je opseg vrednosti mineralizacije za ležišta Cu i Pb-Zn sulfidnog tipa znatno veći. Slično sadržaju rastvorenih materija, vrednost pH indeksa sulfidnih ležišta znatno varira, dok se za rudničke vode ostalih analiziranih ležišta nalazi u intervalu 6.0 – 8.3, a većina ovih pojava ima vrednost blizu 7.



Slika 2. Pajperov dijagram

Figure 2. Piper diagram

Prikazivanjem rezultata analiza preko trilinearnog dijagrama (slika 2), izdvajaju se dva tipa rudničkih voda. Od glavnih anjona, u sastavu rudničkih voda ležišta Cu, Pb-Zn, Mo, Sb, i kamenog uglja dominira sulfatni jon, dok u anjonskom sastavu voda ležišta Au, U i Pb-Zn (potkop "Pište") najveću zastupljenost ima HCO_3^- jon. U katjonskom sastavu kod svih analiziranih voda dominira jon Ca^{2+} , osim u rudničkim vodama vezanim za rudnik magnezita "Liska" i rudnik "Cerova", u kojima se zabeležene koncentracije magnezijuma preko 80 %ekv. Analizirane rudničke vode odlikuju se povišenim sadržajem Fe, Al, Mn i drugih metala.

Izrazito povišen sadržaj mikrokomponeenti utvrđen je u hemijskom sastavu rudničkih voda iz starih radova rudnika bakra "Cerova", gde je konstatovana povišena koncentracija Al - 1160 mg/l, Mn - 45 mg/l, Zn - 52.1 mg/l i Cu - 1120 mg/l. Rudničke vode iz površinskog kopa "Bobija" karakterišu se koncentracijama Al - 102 mg/l, Mn - 11.3 mg/l, Zn - 52.1 mg/l, Cu - 30 mg/l, kao i povišenim koncentracijama As (2.8 mg/l), Ni (3.4 mg/l), Sb (0.6 mg/l) itd.

Iz napuštenog rudnika urana "Gabrovnica" ističu rudničke vode povišene radioaktivnosti ($\alpha = 4.56 \pm 0.68$ Bq/l, $\beta = 6.62 \pm 0.99$ Bq/l), sa koncentracijom urana (50 $\mu\text{g/l}$).

Za razliku od ostalih metaličnih ležišta i ležišta kamenog uglja, u starim radovima kojima je eksploatisano ili istraživano zlato ("Sveta Barabara"-Blagojev Kamen), formirane su malo mineralizovane rudničke vode hidrokarbonatne klase, kalcijumske grupe, sa sadržajem teških metala u granicama fona. Po svojim karakteristikama ne razlikuju se mnogo od okolnih podzemnih voda. Sličnih karakteristika su i rudničke vode u starim radovima ležišta magnezita. To su malo mineralizovane rudničke vode hidrokarbonatne klase magnezijumske grupe, po sastavu bliske okolnim vodama formiranim u peridotiskim stenama. U nekim lokalnostima, rudničke vode iz magnezitskih ležišta su zahvaćene i koriste se za vodosnabdevanje.

Tabela 1. Hemijski sastav rudničkih voda i voda površinskih tokova (mg/l)*
Table 1. Chemical composition of mine and surface waters (mg/l)

Rb	Ležišta	Naziv	pH	Ep	Suvi ostatak	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	SiO ₂	Fe	Mn	Zn	Cu	As	
1	Cu-As	Pov. Kop Gornja lipa	1.95	8200	7200	300.2	78.4	9.4	12.1	<0.5	-	4950	-	1650	19.94	16	51.5	1.3	
2	Cu-Mo	Cerova jalovište	3.3	>4000	3500	287	1430	14.8	1.8	<0.1	22	13600	80.2	15.8	45	52.1	1120	0.0002	
3	Pb-Zn	Potkop Pište	6.4	210	170	31.2	7.5	2.6	1.3	114	5.2	18	19.3	6.2	1.45	5.6	0.005	0.1	
4	Pb-Zn	Žuta prlina	6.9	1538	1660	40	141.5	-	-	183	8	298.2	-	10.4	6	10	0.01	0.0054	
5	Pb-Zn	Koporčić	7.4	418	266	25.6	88.8	-	-	195.2	8	124.8	-	3.1	0.56	0.11	0.03	<0.002	
6	Pb-Zn + Sb	Pov. Kop Bobija	2.5	>4000	5800	371	141	3.5	0.8	<0.5	2	3900	65	780	11.3	142	30	2.8	
7	Pb-Zn + Sb	Potkop Bobija	6.0	1500	1300	316	37	2.1	1.3	104	6.8	850	12.8	11.3	1.6	38.7	0.004	0.022	
8	Sb	Potkop Stolice	6.8	1200	810	210	50.5	11.2	2.8	410	7	400	7.5	1.1	0.35	0.002	0.001	0.012	
9	Mo	Potkop Mačkalica	7.5	880	790	164.7	22.6	12.5	2.4	156	7.2	402	31.5	42.2	3.3	0.002	0.05	0.0003	
10	U	Potkop Gabrovica	6.7	603	420	100.6	17.2	18.3	2.1	427	7	16	26.7	0.07	0.34	0.006	0.002	0.0004	
11	Mg	Liska	8.3	420	260	8.2	57.1	0.5	0.2	280.3	3.5	<1	25.1	0.01	0.003	0.002	0.001	0.001	
12	Au	Sveta barbara	7.0	350	270	70.1	12.8	4.1	3	213.5	5.2	40	3.2	0.01	0.004	0.002	0.001	0.002	
13	Kameni uglj	Dobra sreća	6.9	>3000	2420	347	187.1	150	5.5	880	12.4	1200	32.2	4.76	0.53	0.004	0.001	0.0008	
14	Kameni uglj	Sveti đorđe	6.7	1800	1540	232	142	40.5	14.4	732	12.8	680	16.5	6.1	0.12	0.002	<0.001	0.0004	
15	Kameni uglj	Kozarnik	6.45	810	540	126.2	30.4	1.7	2.1	210.2	5.8	260	7.2	6.7	0.4	0.002	0.002	0.008	
Površinski tok																			
Mesto uzorkovanja																			
16	Lipa	Uzvodno	7.6	250	150	30	3.5	4	1	18.5	6.8	12.8	12.8	0.006	0.1	0.01	0.007	0.001	
17	Lipa	Nizvodno	3.7	520	360	42	10	4.4	0.8	<0.5	-	22	22	36	1.36	0.45	4	0.044	
18	Cerova	Uzvodno	7.7	850	730	168.8	25.6	13.8	2.1	195.2	8.8	15.3	15.3	0.54	0.22	0.015	0.002	0.0005	
19	Cerova	Nizvodno	6.8	1060	820	178.3	41.4	14	2	134.2	10.7	9.6	9.6	0.62	0.81	0.03	5	0.0005	
20	Kozarnički potok	Uzvodno	7.3	360	248	71.7	8.47	3.3	1.04	237.3	<1	7.94	7.94	0.009	0.0009	0.019	<0.001	<0.001	
21	Kozarnički potok	Nizvodno	7.5	680	490	116	25.2	1.8	1.4	212	25	7.2	7.2	11.2	0.2	0.003	0.002	0.008	
22	Vinska reka	Uzvodno	7.0	740	460	45.7	24.5	44.8	2.9	370.2	14.2	12.8	12.8	0.06	0.014	0.001	0.001	0.008	
23	Vinska reka	Nizvodno	7.3	3000	1650	422	180.6	126	9.7	366	21.3	18.4	18.4	19.4	1.5	0.02	0.001	0.0003	

*Radi preglednosti u tabeli nisu prikazani svi analizirani parametri

Degradacija kvaliteta površinskih voda pod uticajem otpadnih rudničkih voda

Da bi se sagledao negativni uticaj rudničkih voda na okolnu životnu sredinu, konkretno na kvalitet okolnih površinskih voda, vršena su uporedna ispitivanja površinskih voda reka Lipe, Cerove, Vinske reke i Kozarničkog potoka, pre i posle mešanja sa rudničkim vodama (tabela 1).

Površinske vode svih ispitivanih vodotoka pre stupanja u zonu rudarskih radova su male mineralizacije obično hidrokarbonatne klase sa malim sadržajima metala. Nakon mešanja sa rudničkim vodama, dolazi do drastičnih izmena kvaliteta površinskih voda i to u meri da ove vode nisu pogodno za dalje korišćenje i da u njima osim pojedinih mikroorganizama, nema krupnije faune.

Površinske vode reke Lipe ispod rudnika i rudnog jalovišta karakterišu se jako sniženim vrednostima pH (sa 7.6 na 3.7), povećanim sadržajem teških i toksičnih metala (Fe – 36 mg/l, Cu – 4 mg/l, As – 0.044 mg/l, Ni – 0.18 mg/l). Pored toga, u podzemnim voda aluvijalnih nanosa Lipe, kao i nizvodno u nanosima Velikog Peka, sve do ušća u Dunav, konstatovani su povećani sadržaji sulfata, gvožđa i bakra, Dragišić (1995).. Površinske vode reke Cerove, u koju otiču rudničke vode iz starih radova rudnika bakra "Cerova", karakterišu se povišenom mineralizacijom i sadržajima gvožđa (0.62 mg/l), mangana (0.81 mg/l) i bakra (5 mg/l), itd.. Nizvodno od rudnika vode Cerove reke imaju plavičastu boju.

Ispitivanjem površinskih voda u području ležišta kamenih ugljeva; Kozarnički potok (ležište Jerma) i Vinska reka (ležište Dobra Sreća), pre i posle mešanja sa rudničkim vodama, utvrđeno je da se fizičke osobine i njihov hemijski sastav drastično menjaju pod uticajem rudničkih voda. Pored boje vode, koja je crveno-žuta, vode imaju povišen sadržaj sulfata i povišene koncentracije gvožđa (11.2 mg/l) i pojedinih metala.

Zaključak

Ispitivanja rudničkih voda iz napuštenih rudarskih radova, i okolnih površinskih voda, vršena su na više desetina pojava u ležištima Cu, Pb-Zn, Sb, Mo, Mg, F, U, Au i kamenog uglja. Rezultati ispitivanja kvaliteta rudničkih i površinskih voda u zoni napuštenih rudarskih radova, ukazuju da se u pojedinim lokalnostima drastično menja kvalitet površinskih voda pod uticajem nekontrolisanog mešanja sa otpadnim rudničkim vodama. U površinskim vodama kontaminiranih tokova javlja se povećan sadržaj sulfata, toksičnih i teških metala i metaloida (Fe, Mn, Al, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, As)..

Rudničke vode koje ističu iz napuštenih rudarskih radova u okviru orudnjenja zlata i magnezita, po hemijskom sastavu su identične sa podzemnim vodama u okruženju i nemaju negativnog uticaja na životnu sredinu.

Poseban tip rudničkih voda na teritoriji Srbije su vode ležišta urana koje se karakterišu povišenom radioaktivnošću.

Literatura

- DRAGIŠIĆ V., 1995: *Jedan primer zagađivanja površinskih voda pod uticajem otpadnih rudničkih voda - Zaštita voda 95, 130-134*, Tara.
- LOTTERMOSER B., 2007: *Mine Wastes Characterization, Treatment, Environmental Impact, second edition* – Springer Berlin Heidelberg, New York
- WOLKERSDORFER C., 2008: *Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines* – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Leipzig
- YOUNGER P., WOLKERSDORFER C., 2004: *Mining Impact on the Fresh Water Environment: Technical and Managerial Guidelines for Catchment Scale Management* – Mine Water and Environment, br. 23, str. 2 – 80.