



**Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду**

**[ДР РГФ]**

|||||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0009501>

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](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

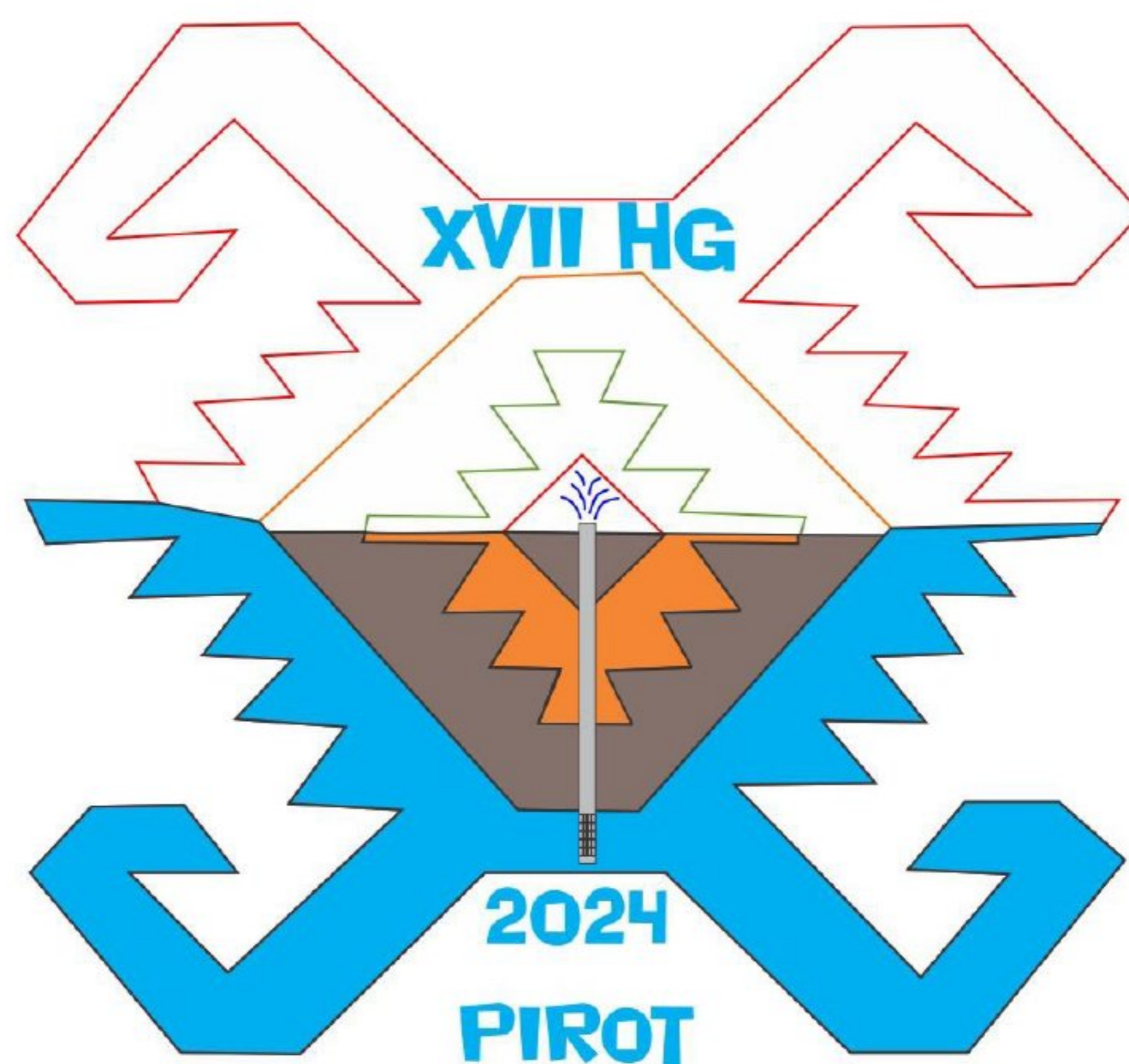
The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

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



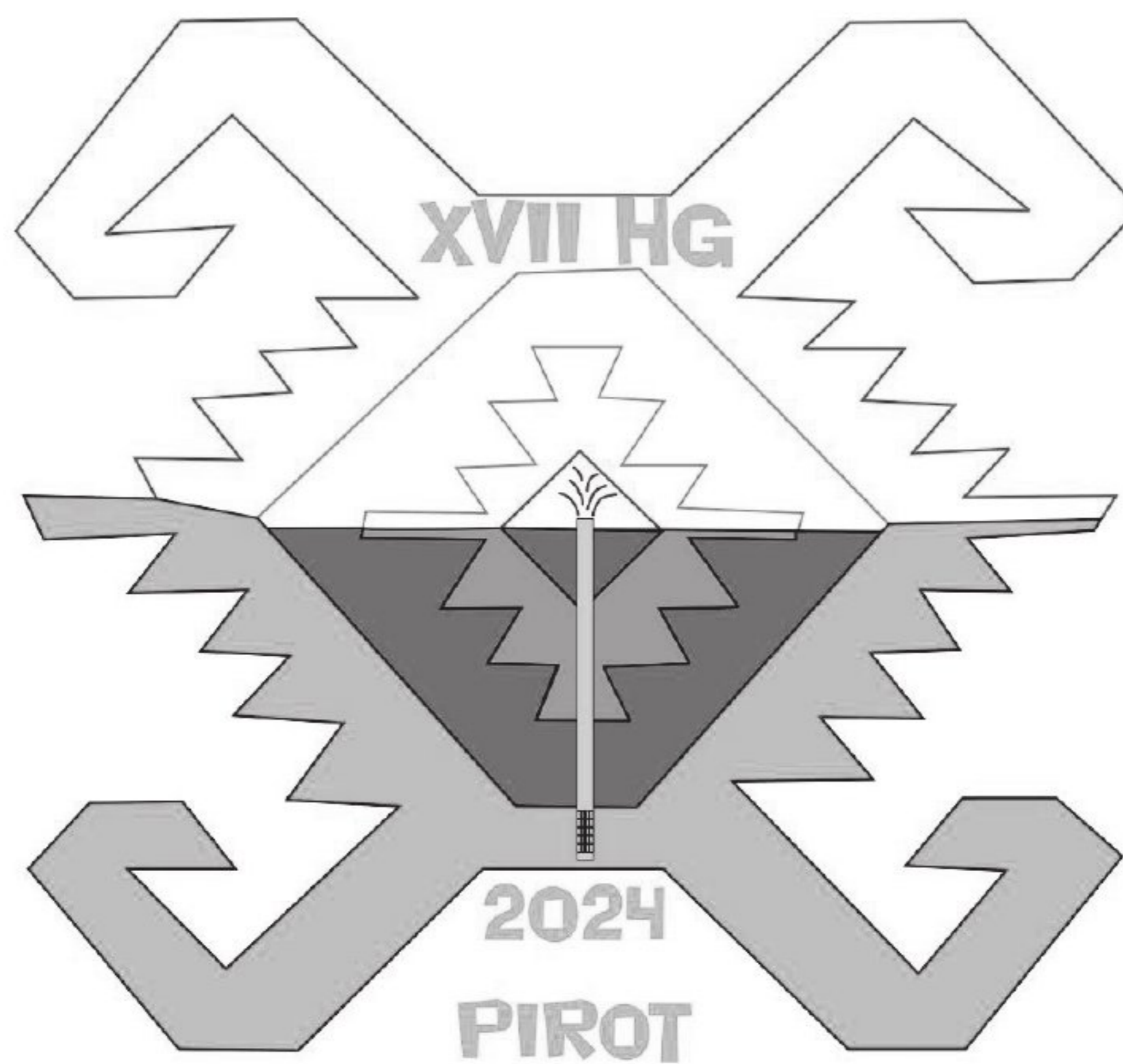


UNIVERZITET U BEOGRADU  
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET  
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

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 sponzorisale 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

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

### 1. Vodosnabdevanje i upravljanje vodnim resursima

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

---



<b>Dušan Polomčić, Jelena Ratković, Vesna Ristić Vakanjac, Dejan Drašković, Slavko Špadijer</b> HIDRODINAMIČKE KARAKTERISTIKE IZVORIŠTA „NEPRIČAVA“ ZA VODOSNABDEVANJE LAZAREVCA.....	99
<b>Dušan Stojadinović</b> HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE TERENA PLANINE RADOČELO .....	105
<b>Golub Lj. Čulafić, Jelena Krstajić, Jana Vukotić</b> ULOGA HIDROMETRIJSKIH MJERENJA PRILIKOM VRŠENJA KOMPLEKSNIH HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA – PRIMJER DONJEG TOKA RIJEKE MORAČE U ZETSKOJ RAVNICI, CRNA GORA .....	109
<b>Goran Marinković, Marina Magazinović, Nataša Obradović, Darko Spahić, Maja Poznanović Spahić, Bogdan Kuzmanović</b> AKVIFERI GRANITNOG MASIVA GORNJANA (ISTOČNA SRBIJA) .....	113
<b>Matko Patekar, Staša Borović, Josip Terzić, Marco Pola, Maja Briški, Ivan Kosović</b> FIVE YEARS OF INTERDISCIPLINARY RESEARCH ON A SMALL KARST ISLAND OF VIS (CROATIA) .....	119
<b>Miljan Kovačević, Tina Dašić, Nenad Ivanišević</b> PRIMENA ADAPTIVNIH NEURO-FAZI SISTEMA (ANFIS) ZA KRATKOROČNU PROGNOZU PROTOKA KARSTNIH IZVORA .....	129
<b>Nikola Krstić, Tanja Pajčić</b> HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE OPLENCA.....	135
<b>Nikola Milovanović, Mr Petar Begović, Dunja Josipović, Branko Ivanković</b> PRIMJENA IZOTOPSKIH I HIDROHEMIJSKIH METODA ISTRAŽIVANJA ZA POTREBE DEFINISANJA SLIVNIH PODRUČJA NA PRIMJERU KARSTNOG VRELA „IZRON-SUHA“ (BIH) .....	141
<b>Nikola Nikolić, Vaso Novaković</b> HIDROHEMIJSKE KARAKTERISTIKE PODZEMNIH VODA IZDANI SA INTERGRANULARNIM TIPOM POROZNOSTI U SEVERNOM DELU REPUBLIKE SRPSKE .....	147
<b>Petar Dokmanović, Mihajlo Djordjević</b> ARTESKE IZDANI NEOGENOG SEDIMENTNOG KOMPLEKSA NA PODRUČJU GRADA ZAJEČARA .....	153
<b>Petar Milanović</b> HIDROGEOLOŠKA FUNKCIJA DOLOMITA U KARSTU ISTOČNE HERCEGOVINE.....	159
<b>Petar Vojnović, Saša Milanović</b> ULOGA ESTAVELA U FUNKCIONISANJU KARSTNIH SISTEMA.....	165
<b>Peter Gerginov, Tatyana Orehova, Aglaida Toteva, Aleksey Benderev</b> OVERVIEW OF GROUNDWATER RESOURCES IN BULGARIA.....	171
<b>Tanja Pajčić, Nikola Krstić</b> 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 CO<sub>2</sub>  
..... 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 TRANZIJENATA U TUNELIMA POD PRITISKOM (HE PIROT)  
..... 453

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

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

---



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



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

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

**Igor Glavaš**

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

**Ivan Drakulić, Dušan Polomčić, Jelena Ratković, Dragoljub Bajić**

TEHNIKE MEKOG RAČUNARSTVA U HIDROGEOLOGIJI SOFT COMPUTING IN HYDROGEOLOGY ..... 551

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

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

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

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

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

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

**Maša Vulović**

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

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

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

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

UTICAJ KLIMATSKIH PROMENA NA REŽIM VODA SLIVA REKE CRNICE ..... 587

## **Indeks autora**

## **PROSTOR ZA SPONZORE**

---



## PRIMENA KLASTERIZACIJE METODOM *K*-SREDNJIH VREDNOSTI ZA ISPITIVANJE HIDROHEMIJSKOG DIVERZITETA PODZEMNIH VODA NA LOKACIJI VRNJAČKE BANJE

### THE APPLICATION OF *K*-MEANS CLUSTERING FOR TESTING THE HYDROCHEMICAL DIVERSITY OF GROUNDWATER FROM THE VRNJAČKA BANJA

Jana Štrbački<sup>1</sup>, Vladimir Živanović<sup>1</sup>, Nebojša Atanacković<sup>1</sup>, Snežana Kretić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd, E-mail:

[jana.strbacki@rgf.bg.ac.rs](mailto:jana.strbacki@rgf.bg.ac.rs)

**APSTRAKT:** Klasterizacija metodom *k*-srednjih vrednosti koristi se za razvrstavanje podataka u homogene grupe, tj. klasterne, na osnovu odabranih varijabli i unapred zadatog broja klastera. Algoritam iterativnim postupkom određuje centre klastera i dodeljuje uzorke u klasterne čijem su centru najbliži. Ovaj postupak pogodan je za raščlanjivanje i, samim tim, pojednostavljivanje obimnih skupova hidrohemijjskih podataka, što je pokazano na primeru termo-mineralnih voda sa šireg područja Vrnjačke Banje. Pored same klasifikacije, opisana metoda pruža mogućnost proveriti hipotezu o strukturi podataka, npr. o postojanju zavisnosti između fizičkih osobina i hemijskog sastava podzemnih voda i litoloških karakteristika izdani.

**Ključne reči:** multivarijantna statistička analiza, mašinsko učenje, termo-mineralne vode, Vrnjačka Banja

**ABSTRACT:** *K*-means clustering is used to classify data into homogeneous groups, i.e. clusters, based on selected variables and a predetermined number of clusters. The algorithm iteratively determines the centers of the clusters and assigns the samples to the nearest cluster. This procedure is suitable for subdividing large sets of hydrochemical data, which was demonstrated on the example of thermal and mineral waters from the extended area of the spa town of Vrnjačka Banja. In addition to the classification itself, the described method provides the possibility of checking hypotheses about the data structure, e.g. on the existence of correlation between the physical properties and chemical composition of groundwater and aquifer lithology.

**Key words:** multivariate statistical analysis, machine learning, thermal and mineral water, Vrnjačka Banja

#### UVOD

Klaster analiza je multivarijantna statistička metoda koja ima široku primenu u hidrogeohemijskim istraživanjima, uglavnom za klasifikovanje velikog broja uzoraka podzemnih voda, na osnovu sličnosti u fizičkim osobinama i hemijskom sastavu. Postoji više procedura za izdvajanje klastera, od kojih su najčešće: a) hijerarhijska klaster analiza, b) dvostepena klasterizacija i c) klasterizacija metodom *k*-srednjih vrednosti (Moss et al. 2023). Klasterizacija metodom *k*-srednjih vrednosti (eng. *K-means clustering*) predstavlja jedan od najjednostavnijih algoritama za nenadgledano mašinsko učenje (Jin & Han 2011, Youguo & Haiyan 2012, Vankayalapati et al. 2021). Algoritam iterativnim postupkom proračunava tzv. centre klastera ili centroide (eng. *cluster means*) i dodeljuje svaki od ispitivanih uzoraka u onaj klaster čijem je centroidu najbliži (u smislu euklidskog rastojanja), pri čemu se teži minimalizaciji varijanse u svakom od klastera. Preduslov za ovakav vid klasterizacije jeste unapred definisan broj klastera, ali ovo je ujedno i prednost metode, pošto omogućava proveru određenih hipoteza koje istraživač ima o analiziranom skupu podataka. Na primer, moguće je proveriti da li uzorci podzemnih voda sa određenog područja formiraju klasterne, bazirane na odabranim relevantnim hidrohemijjskim parametrima, i da li ti klasteri odgovaraju različitim tipovima izdani (u smislu litološkog sastava, dubine zaleganja i sl.). Po potrebi, klasterizacija se može ponoviti zadavanjem većeg ili manjeg broja klastera, ukoliko se analiziranjem dobijenih rezultata, tj. opisivanjem karakteristika klastera, ustanovi da određena grupa uzoraka nije izdvojena (potrebno je povećati broj klastera) ili da postoji klaster sa nesrazmerno malim brojem uzoraka, najčešće autlajera (potrebno je smanjiti broj klastera).

Algoritam klasterizacije metodom *k*-srednjih vrednosti sastoji se od sledećih koraka (Trupti & Prashant 2013):

- 1) definisati *k* centroida, po jedan za svaki klaster;
- 2) pridružiti svaki uzorak klasteru sa najbližim centroidom;
- 3) nakon razvrstavanja uzoraka, ponovo proračunati centroide, na bazi svih uzoraka trenutno prisutnih u klasterima;
- 4) ponavljati korake 2 i 3 sve dok promene centroida ne postanu neznatne.



Dakle, glavni zadatak algoritma jeste pronalaženje  $k$  centroida, pri čemu se jedan isti uzorak može premeštati iz jednog klastera u drugi tokom analize, sve do definisanja konačnih centroida, tj. klastera.

U ovom radu testirana je mogućnost primene klasterizacije metodom  $k$ -srednjih vrednosti na primeru termo-mineralnih voda sa šireg područja Vrnjačke Banje. S obzirom na složene hidrogeološke uslove i pojavu hidrohemijski različitih tipova voda (Štrbački et al. 2020), cilj je bio klasifikacija ispitivanih uzoraka podzemnih voda i dovođenje u vezu izdvojenih klastera sa litologijom izdani.

### PRIKAZ METODOLOGIJE I DISKUSIJA DOBIJENIH REZULTATA

Priprema podataka za klasterizaciju metodom  $k$ -srednjih vrednosti podrazumeva: standardizaciju varijabli na srednju vrednost 0 i standardnu devijaciju 1 (kako bi se izbegao uticaj različitih mernih jedinica), identifikaciju i uklanjanje autlajera, tj. ekstremnih vrednosti (kako ne bi bili izabrani za inicijalne centroide) i randomizaciju seta podataka (pošto rezultat analize može zavistiti od redosleda podataka). Prvi korak same klasterizacije jeste odlučivanje o broju klastera koje algoritam treba da proizvede, a u vezi s tim i pronalaženje onoliko centroida koliko se očekuje klastera. Ovo se može postići na dva načina: istraživač može sam odabrati  $k$  uzoraka podzemnih voda i označiti ih kao inicijalne centroide ili softver koji se koristi za analizu (u ovom radu – IBM SPSS Statistics), pronalazi  $k$  različitih uzoraka i njihove vrednosti koristi kao početne centre klastera.

Nakon opisane pripreme podataka raspolagalo se sa 83 uzorka termo-mineralnih voda sa područja Vrnjačke Banje i 11 fizičko-hemijskih parametara (temperatura, pH, sadržaji makro i mikro komponenata), a odlučeno je da se izdvoje tri klastera.

Pokretanjem algoritma  $k$ -srednjih vrednosti započinje iterativni postupak (istraživač zadaje maksimalni broj iteracija, u analiziranom primeru: 30), koji podrazumeva raspoređivanje uzoraka u najbliže klastere i ponovno proračunavanje centroida, sve do ustaljivanja njihovog položaja, kada se formiraju tzv. konačni centri klastera. Iz Tabele 1 vidi se da je za set podataka iz Vrnjačke Banje bilo dovoljno 14 iteracija da se dostigne ustaljenje centara klastera, pri čemu u prve tri iteracije dolazi do značajnijih pomeranja centroida, a preostale iteracije predstavljaju manja podešavanja.

**Tabela 1.** Pomeranja centroida tri klastera tokom 14 iteracija.

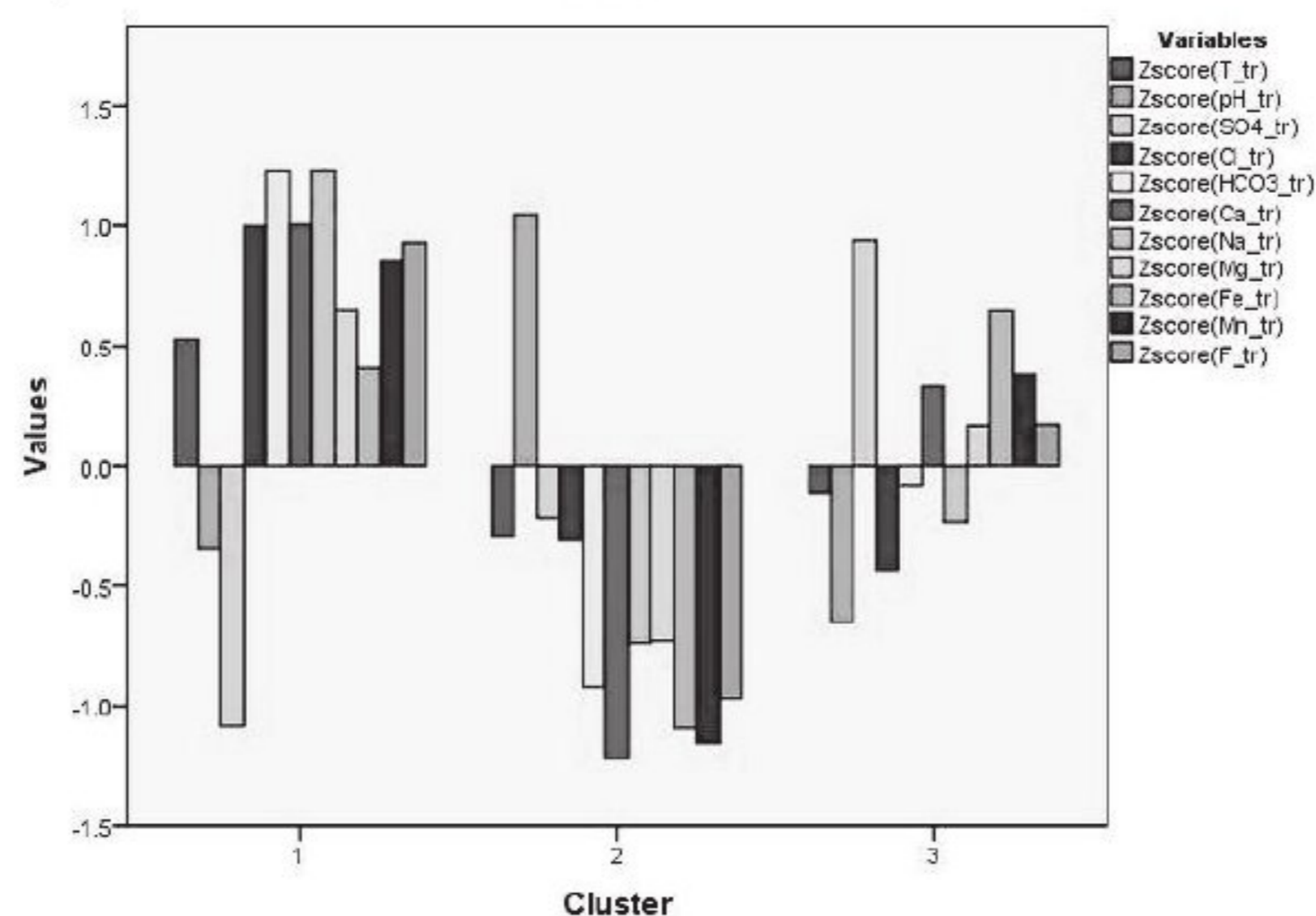
**Table 1.** Iteration history of three clusters for the total number of 14 iterations.

Iteracija	Pomeranja centroida po klasterima		
	1	2	3
1	3,124	3,006	3,157
2	0,207	0,100	0,135
3	0,009	0,003	0,004
4	0,0004	0,0001	0,0001
5	1,50E-05	3,71E-06	3,77E-06
6	6,23E-07	1,24E-07	1,14E-07
7	2,60E-08	4,12E-09	3,46E-09
8	1,08E-09	1,37E-10	1,05E-10
9	4,51E-11	4,58E-12	3,18E-12
10	1,88E-12	1,53E-13	9,62E-14
11	7,81E-14	5,08E-15	2,93E-15
12	3,39E-15	1,57E-16	1,53E-16
13	4,71E-16	0	0
14	0	0	0

Konačni centri klastera koriste se za opisivanje hidrohemijskih karakteristika klastera, a radi preglednosti i lakše interpretacije, preporučuje se njihov grafički prikaz (Slika 1). Na primeru termo-mineralnih voda Vrnjačke Banje uočava se da klaster 1 čine termalne vode, niskih pH vrednosti, sa povišenim sadržajem većine makro i mikro komponenata, izuzev niskog sadržaja sulfata. U klaster 2 svrstane su neutralne do blago bazne malomineralizovane, hladne vode, dok se klaster 3 ističe naglašenim prisustvom sulfata, kalcijuma i gvožđa (Slika 1). Opisano karakterizaciju klastera upotpunjuje prikaz euklidskih rastojanja između konačnih centara klastera, koji u analiziranom primeru ukazuje na to da



najveće razlike postoje između klastera 1 i 2, dok klaster 3 pokazuje približno jednak stepen sličnosti sa druga dva kalstera (Tabela 2).



**Slika 1.** Konačni centri tri izdvojena klastera.  
**Figure 1.** Final cluster centers for three clusters.

**Tabela 2.** Euklidska rastojanja između konačnih centara tri klastera.

**Table 2.** Euclidean distances between three final cluster centers.

Klaster	1	2	3
1		5,515	3,473
2	5,515		3,894
3	3,473	3,894	

Unakrsni tabelarni prikaz lokacija i litoloških karakteristika izdani naspram klastera ispitivanih uzoraka termo-mineralnih voda Vrnjačke Banje, pruža odgovor na pitanje da li podzemne vode u istom klasteru imaju zajedničku genezu, tj. da li potiču iz izdani sličnog litološkog sastava? Analizom Tabele 3 uočava se da u prvom klasteru preovlađuju podzemne vode iz škriljaca, u trećem – vode iz serpentinita, dok su se u drugom klasteru našle vode iz različitih litoloških jedinica – zastupljeni su mermeri, miocenski peščari, ali u izvesnoj meri i škriljci i serpentiniti.

**Tabela 3.** Lokacije izvorišta i preovlađujuća litologija izdani za svaki od tri izdvojena klastera.

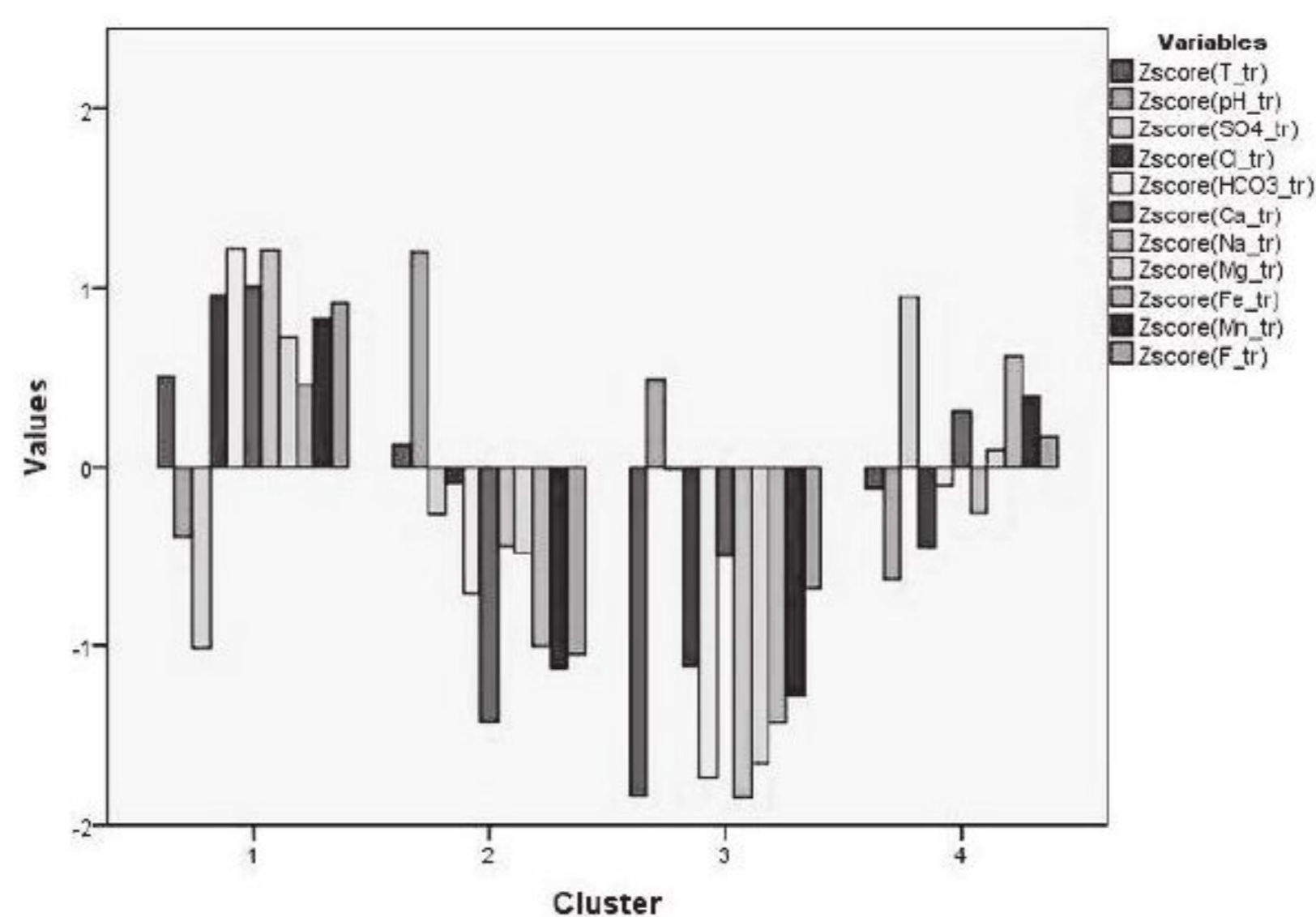
**Table 3.** Crosstabulation of clusters vs. groundwater sources and dominant aquifer rocks.

Klaster/Ukupan broj uzoraka	Lokacija izvorišta (Broj uzoraka)	Litologija izdani
Klaster 1 22 uzorka	Beli izvor (1)	škriljci
	Jezero (8)	mermeri/škriljci
	Slatina (7)	škriljci
	Topli izvor (6 od 7 uzoraka)	serpentiniti
Klaster 2 28 uzorka	Ligorex (4)	peščari
	Belimarkovac (5)	mermeri
	Izvorak (1 od 4 uzorka)	škriljci
	Vrnjačko vrelo (8)	serpentiniti/peščari
	Vitojevačko polje (10)	serpentiniti
Klaster 3 33 uzorka	Borjak (13)	serpentiniti
	Snežnik (16)	serpentiniti
	Izvorak (3 od 4 uzorka)	škriljci
	Topli izvor (1 od 7 uzoraka)	serpentiniti

Upravo je litološka heterogenost pojava svrstanih u drugi klaster nametnula sledeće pitanje: da li je moguće raščlaniti ovu grupu voda zadavanjem četiri klastera, umesto trenutna tri? Da bismo došli do odgovora, ponovo pokrećemo algoritam  $k$ -srednjih vrednosti, sa istim setom podataka, ali zahtevamo



izdvajanje četiri klastera. Do rešenja se ovaj put dolazi kroz 21 iteraciju, a konačni centri četiri klastera i njihova međusobna rastojanja prikazani su na Slici 2 i u Tabeli 4, redom.



**Slika 2.** Konačni centri četiri izdvojena klastera.  
**Figure 2.** Final cluster centers for four clusters.

**Tabela 4.** Euklidska rastojanja između konačnih centara četiri klastera.

**Table 4.** Euclidean distances between four final cluster centers.

Klaster	1	2	3	4
1		5,278	6,925	3,446
2	5,278		3,319	3,889
3	6,925	3,319		4,696
4	3,446	3,889	4,696	

Identifikovanjem pojava termo-mineralnih voda svrstanih u novonastala četiri klastera, utvrđeno je da se iz malopredašnjeg klastera 2 (u varijanti rešenja sa ukupno tri klastera), zaista izdvojio novi klaster, označen kao klaster 3 (u varijanti rešenja sa ukupno četiri klastera), čije su karakteristike naglašeno različite u odnosu na klaster 1 i 4 (odnosno, 1 i 3, u varijanti rešenja sa ukupno tri klastera), što se vidi iz Tabele 4. Ovaj klaster sadrži ukupno šest uzoraka podzemnih voda, lociranih na samom južnom obodu istražnog područja – pet uzoraka sa izvorišta Belimarkovac (mermeri) i jedan sa izvorišta Izvorak (škriljci). Radi se o hladnim vodama, male mineralizacije, sa niskim koncentracijama natrijuma, hidrokarbonata i hlorida (Slika 2).

## ZAKLJUČAK

Klasterizacija termo-mineralnih voda Vrnjačke Banje metodom  $k$ -srednjih vrednosti potvrdila je polaznu pretpostavku o postojanju zavisnosti između hidrohemijskih karakteristika voda i litoloških karakteristika izdani. Dominantne grupe stena na istražnom području – paleozojski škriljci, serpentiniti i mermeri, kao i miocenski peščari, imaju direktan uticaj na formiranje izdvojenih grupa podzemnih voda – od hladnih, blago baznih, malomineralizovanih voda do termalnih, kiselih voda, sa povišenim sadržajem makro i mikro komponenata. Primer analiziran u ovom radu svedoči o pogodnosti algoritma  $k$ -srednjih vrednosti za klasifikaciju velikih skupova hidrohemijskih podataka, u situacijama kada postoji hipoteza o očekivanom broju klastera. Prednost metode  $k$ -srednjih vrednosti u odnosu na druge metode klaster analize, npr. hijerarhijsku klaster analizu, ogleda se u iterativnom postupku pridruživanja uzoraka klasterima, koji menjaju svoj oblik tokom analize, sve do postizanja najoptimalnijeg rešenja – minimalnih razlika u okviru istog klastera, a maksimalnih razlika među različitim klasterima. I konačno, mogućnost zadavanja većeg ili manjeg broja klastera i proračun više varijantnih rešenja za isti set hidrohemijskih podataka, pogoduje formiranju najpribližnijeg hidrogeološkog modela za dato istražno područje.

**Zahvalnica:** Ovaj rad je rezultat istraživanja finansiranih od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija, po osnovu sledećih Ugovora: br. 451-03-65/2024-03/ 200126 i br. 451-03-66/2024-03/200126.



**LITERATURA**

Jin X., Han J., 2011: *K-Means Clustering*, In: Sammut C., Webb G.I. (eds.) *Encyclopedia of Machine Learning*, Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8\\_425](https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8_425)

Moss M.A.N., Hughes D.D., Crawford I., Gallagher M.W., Flynn M.J., Topping D.O., 2023: *Comparative Analysis of Traditional and Advanced Clustering Techniques in Bioaerosol Data: Evaluating the Efficacy of K-Means, HCA, and GenieClust with and without Autoencoder Integration*, *Atmosphere*, 14 (9): 1416. <https://doi.org/10.3390/atmos14091416>

Štrbački J., Živanović V., Ćuk Đurović M., Atanacković N., Dragišić V., 2020: *Origin, diversity and geothermal potentiality of thermal and mineral waters in Vrnjačka Banja, Serbia*, *Environmental Earth Sciences*, 79: 309. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09050-y>

Trupti M.K., Prashant R.M., 2013: *Review on determining number of Cluster in K-Means Clustering*, *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, 1 (6): 90-95.

Vankayalapati R., Ghutugade K.B., Vannapuram R., Prasanna B.P.S., 2021: *K-means algorithm for clustering of learners performance levels using machine learning techniques*, *Revue d'Intelligence Artificielle*, 35 (1): 99-104. <https://doi.org/10.18280/ria.350112>

Youguo L., Haiyan W., 2012: *A Clustering Method Based on K-Means Algorithm*, *Physics Procedia*, 25: 1104-1109. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.03.206>