

**РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ  
ДЕПАРТАМАН ЗА ХИДРОГЕОЛОГИЈУ**

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ  
БЕОГРАД, БУЛЕВАР 7

|                      |       |        |          |
|----------------------|-------|--------|----------|
| ПРИМЉЕНО: 13.06.2016 |       |        |          |
| Орг. јед.            | Број  | Прилог | Вредност |
|                      | 1/299 |        |          |

На 06/16-ој седници Департамана за хидрогеологију одржаној дана 09.06.2016. године једногласно је донета

**О Д Л У К А**

да се предложи Већу Геолошког одсека да усвоји Извештај комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата, мр Драгослава Бањка, дипл. инж. геологије, под називом

**“ХИДРОГЕОХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ И КВАЛИТЕТ ВОДА СЛИВА  
ТРЕБИШЊИЦЕ, РЕПУБЛИКА СРПСКА, БОСНА И ХЕРЦЕГОВИНА“**

Комисија је у следећем саставу:

*др Петар Папић, ред. проф. Рударско-геолошког факултета у Београду*  
*др Зоран Стевановић, ред. проф. Рударско-геолошког факултета у Београду*  
*др Јана Штрбачки, научни сарадник Рударско-геолошког факултета у Београду*  
*др Саша Милановић, научни сарадник Рударско-геолошког факултета у Београду*  
*др Југослав Николић, виши научни сарадник Републичког хидрометеоролошког завода у Београду*

*Шеф Департамана за хидрогеологију*

  
*проф. др Петар Докмановић*

|                      |       |        |          |
|----------------------|-------|--------|----------|
| ПРИМЉЕНО: 08.06.2016 |       |        |          |
| Орг. јед.            | Број  | Прилог | Вредност |
|                      | 1/289 |        |          |

UNIVERZITET U BEOGRADU  
Rudarsko-geološki fakultet

## NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

**Predmet:** Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata  
Dragoslava Banjka, magistra geografije

Odlukom Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, od 20.5.2016. godine (br. 1/251), određeni smo za članove komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije kandidata **Dragoslava Banjka**, profesora istorije i geografije i magistra geografije, pod nazivom

**Hidrogeohemijske karakteristike i kvalitet voda sliva Trebišnjice, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina**

Na osnovu pregleda doktorske disertacije komisija podnosi Nastavno-naučnom veću Rudarsko-geološkog fakulteta sledeći

## REFERAT

### 1. UVOD

#### 1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

- Doktorand Dragoslav Banjak magistrirao je 16.01.2008. godine na Geografskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, odsek fizičke geografije, smer hidrologije. Prethodno je položio sve ispite na posle diplomskim studijama, sa prosečnom ocenom 10.
- U maju 2015. godine kandidat je podneo zvanični predlog teme za izradu doktorske disertacije pod nazivom „Hidrogeohemijske karakteristike i kvalitet voda sliva Trebišnjice, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina“.

- 21.5.2015. Nastavno-naučno veće Rudarsko-geološkog fakulteta (br. odluke 1/206) imenovalo je petočlanu Komisiju za ocenu podobnosti teme, kandidata i mentora doktorske disertacije, u sledećem sastavu: dr Petar Papić, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet (mentor); dr Zoran Stevanović, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet; dr Jana Štrbački, naučni saradnik, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet; dr Saša Milanović, naučni saradnik, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet i dr Jugoslav Nikolić, viši naučni saradnik, Republički hidrometeorološki zavod Srbije.
- 18.6.2015. Nastavno-naučno veće Rudarsko-geološkog fakulteta (br. odluke 1/261) usvojilo je izveštaj Komisije za ocenu podobnosti teme, kandidata i mentora doktorske disertacije. Prema ovoj odluci, doktorandu se odobrava izrada doktorske disertacije pod nazivom „Hidrogeohemijske karakteristike i kvalitet voda sliva Trebišnjice, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina“, a za mentora se imenuje dr Petar Papić, redovni profesor Univerziteta u Beogradu, Rudarsko-geološkog fakulteta.
- 6.7.2015. Veće naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu (br. odluke 61206-2941/2-15) daje saglasnost na predlog teme doktorske disertacije Dragoslava Banjka, pod nazivom „Hidrogeohemijske karakteristike i kvalitet voda sliva Trebišnjice, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina“.
- U maju 2016. godine kandidat je okončao izradu disertacije, kada je i podneta molba za imenovanje Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije.
- 19.5.2016. na Nastavno-naučnom veću Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu (br. odluke 1/251) imenovana je Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata mr Dragoslava Banjka, i to u sledećem sastavu: dr Petar Papić, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet (mentor); dr Zoran Stevanović, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet; dr Jana Štrbački, naučni saradnik, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet; dr Saša Milanović, naučni saradnik, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet i dr Jugoslav Nikolić, viši naučni saradnik, Republički hidrometeorološki zavod Srbije.

## **1.2. Naučna oblast disertacije**

Doktorska disertacija Dragoslava Banjka pod nazivom „Hidrogeohemijske karakteristike i kvalitet voda sliva Trebišnjice, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina“, po svom sadržaju pripada tehničkim naukama i naučnoj oblasti geološko inženjerstvo, u širem smislu, dok je uža tematska oblast hidrogeologija. Specijalistički segment kojim se ova disertacija bavi jeste hidrogeohemija i kvalitet voda. Za mentora doktorske disertacije imenovan je dr Petar Papić,

redovni profesor Univerziteta u Beogradu, Rudarsko-geološkog fakulteta, zbog istaknutih naučnih doprinosa u hidrogeologiji, a posebno u užoj naučnoj oblasti Hidrohemija i kvalitet voda, kojom se i bavi predmetna disertacija.

### **1.3. Biografski podaci o kandidatu**

Dragoslav Banjak je rođen 28.09.1973. godine u Trebinju. Tu je završio osnovnu i srednju Prosvetno i kulturološko-prevodilačku školu, čime je stekao zvanje pomoćnika prevodioca za francuski jezik. U Vojsku Republike Srpske odlazi 01.06.1992. godine, a nakon dobijanja dozvole od Ministarstva odbrane upisuje 1993. godine Filozofski fakultet u Nikšiću-Odsek istorije i geografije. Fakultet je završio 1998. godine, kao jedan od najboljih studenata, sa srednjom ocenom 9,18.

Neposredno po završetku Filozofskog fakulteta, dobio je od Ministarstva prosvete Crne Gore stipendiju za nastavak obrazovanja. Upisao je postdiplomske studije na Geografskom Fakultetu Univerziteta u Beogradu, Odsek fizičke geografije, smer Hidrologije. Nakon svih položenih ispita, sa srednjom ocenom 10 odbranio je 16.01.2008. godine magistarski rad na temu „Rijeka Mušnica-hidrološka svojstva i vodoprivredni problemi“, kod prof. dr Ljiljane Gavrilović.

Prva veća iskustva u primeni znanja iz oblasti fizičke geografije stekao je 2001. godine, učešćem u projektu „Valorizacija prirodnog nasleđa opštine Trebinje“, gdje je angažovan od strane Zavoda za zaštitu kulturno-istorijskog i prirodnog nasleđa Republike Srpske iz Banjaluke.

U okviru ovih aktivnosti počeo je da se bavi speleologijom u klubu „Zelena brda“ iz Trebinja. Ovde je proširio znanja iz oblasti podzemne morfologije i hidrologije karsta, a otvorene su mu i mogućnosti saradnje sa inostranim organizacijama koje se bave proučavanjem prirode. Tako je već iste godine ušao u projekat pod nazivom „Zajednička strategija za zaštitu ugroženog podzemnog endema čovječije ribice i njegovog prirodnog kraškog staništa u dolini reke Trebišnjice“, koji je finansirao UNESKO, preko Istraživačkog udruženja „Devonski karst“ iz Londona. 2001. godine postaje član Međunarodnog udruženja hidrogeologa (*IAH*).

Tokom dosadašnjeg rada posebnu pažnju posvećuje sticanju informatičkih znanja iz oblasti hidrologije i geomorfologije. Značaj informacione tehnologije u hidrološkim istraživanjima prepoznali su u Elektroprivredi Republike Srpske. U julu 2006. godine, za potrebe njihovog Razvojnog odeljenja, obavlja obuku zaposlenih u primeni programa *Surfer 8* (Golden Software, 2002), pogodnog za izradu trodimenzionalnih modela reljefa i različitih tipova karata.

Zajedno sa Miodragom Samardžićem, stručnim savetnikom za geografiju u Pedagoškom zavodu, napisao je udžbenik geografije i radnu svesku za 6. razred osnovne škole, koji se od školske 2007/2008. godine koriste u Republici Srpskoj.

U toku 2009. godine učestvuje u izradi razvojne strategije opštine Berkovići, pri čemu obrađuje teme iz oblasti geologije, geomorfologije, hidrogeologije, klimatologije, hidrologije, pedologije, kao i zaštite geo-nasleđa. U 2012. godini, učestvuje u projektu izrade „Enciklopedije Republike Srpske“, a paralelno s tim nastaje i „Almanah Trebinja“, kao svojevrsna informativna i dokumentaciona podrška projektima razvoja na jugu Hercegovine. Iste godine objavljuje rad iz oblasti hidrohemije u *Hydrological Sciences Journal* (M23), a učestvuje i na XIV Srpskom simpozijumu o hidrogeologiji, sa inostranim učešćem, koji je održan na Zlatiboru. Godine 2014. uzima učešće na Trećem međunarodnom simpozijumu agronoma u Trebinju, koji je organizovao Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Banjaluci, u saradnji sa Biotehničkim fakultetom Univerziteta u Ljubljani.

Od 01.10.1999. godine Dragoslav Banjak je zaposlen na mestu nastavnika geografije u Gimnaziji „Jovan Dučić“ u Trebinju. Stručni ispit za ovaj posao položio je 09.12.2000. godine. U periodu 2005-2009. godine nalazi se na mestu zamenika predsednika Školskog odbora Gimnazije, a od 01.02.2010. godine obavlja funkciju direktora ove vaspitno-obrazovne ustanove.

Dragoslav Banjak je oženjen i otac je dvoje dece.

## **2. OPIS DISERTACIJE**

### **2.1. Sadržaj disertacije**

Doktorska disertacija je napisana na srpskom jeziku, na 176 strana formata A4, u okviru kojih je prikazana 71 tabela i 38 slika. Tekst disertacije podeljen je u osam poglavlja. Literatura sadrži ukupno 79 bibliografskih jedinica. Priložen je i sažetak rada na srpskom, odnosno engleskom jeziku, kao i šest ključnih pojmova. Na kraju rada data je i biografija autora, za kojom sledi potpisana izjava o autorstvu, zatim o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada, kao i izjava o korišćenju. Doktorska disertacija sastoji se od osnovnog teksta, uvodnih i zaključnih razmatranja sa preporukama. Osnovni tekst disertacije obuhvata pet poglavlja, i to:

1. PRETHODNI RADOVI I STUDIJE;
2. OPŠTI PODACI O SLIVU TREBIŠNJICE;
3. PRIKUPLJANJE PODATAKA;
4. METODE;
5. REZULTATI I DISKUSIJA.

## 2.2 Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

**Prethodni radovi i studije** obuhvataju pregled istraživanja u slivu Trebišnjice, od perioda uspostavljanja austrougarske vlasti u Bosni i Hercegovini, do vremena izrade disertacije. U poglavlju su navedeni najvažniji istraživači i projekti iz oblasti geologije i geografije, ali i drugih nauka. Osim pojedinaca, pomenute su i najznačajnije privredne i naučne organizacije koje su učestvovala u istraživanjima i donošenju praktičnih inženjerskih rešenja.

**Opšti podaci o slivu Trebišnjice** predstavlja poglavlje u kojem su prikupljeni najvažniji podaci o proučavanom slivu. Ovim poglavljem je obuhvaćeno više odeljaka:

- *Geografski položaj*, koji uključuje fizičko-geografski položaj, kratak opis razvođa sa primerima odstupanja hidrološkog od topografskog razvođa i podatak o površini sliva.
- *Glavni zagađivači u slivu*, koji obuhvata kratku analizu zagađujućih uticaja naselja i pregled industrijskih zagađivača (Termoelektrana Gacko i Swisslion Industrija alata Trebinje).
- *Klima* je odeljak koji uključuje popunu i obradu podataka većine klimatskih elemenata, sa posebnim osvrtom na temperaturu, padavine, relativnu vlažnost vazduha i oblačnost. Deskriptivna analiza klime dopunjena je odgovarajućim dijagramima, tabelama i kartom izohijeta u slivu Trebišnjice.
- *Hidrografske i hidrološke karakteristike terena* podrazumevaju opis toka Trebišnjice, od izvora Dobra voda na Lebršniku do ponora u Popovom polju. Opisom su obuhvaćene i najznačajnije pritoke Trebišnjice, poput Sušice i Mušnice, ali i one manjeg značaja, kao što su Brova i Zmijinac. Sastavni deo ovoga odeljka su i podaci o „Hidrosistemu Trebišnjica“, kao i grafički prikazi krivih proticaja na profilima u donjem delu proučavanog sliva.
- *Geološka građa terena* uključuje pregled litostratigrafskih jedinica, počev od najstarijih sedimenata gornjeg trijasa, do kvartarnih tvorevina. Pregledom su obuhvaćene i tektonske karakteristike proučavanog prostora, pri čemu su izdvojeni diskontinuiteti različitog pravca pružanja, kao i regionalni strukturni blokovi. Razmotrene su i lokalne antiklinalne forme, sa posebnim naglaskom na Lastvanskoj antiklinali, izdvojenoj zbog njenog regionalnog hidrogeološkog značaja.
- *Geomorfološke karakteristike* obuhvataju pregled fizičko-geografskih celina u slivu Trebišnjice: humina, rudina i planinskog kraja. U okviru svake od celina obrađeni su najmarkantniji oblici reljefa, poput karstnih polja, planinskih venaca i rečnih dolina.
- *Hidrogeološka svojstva* su deo koji uključuje podelu stena proučavanog sliva prema njihovim hidrogeološkim funkcijama (kolektori, kompleksi i izolatori), pravce

kretanja podzemnih voda sa najznačajnijim hidrološkim vezama i brzinu cirkulacije podzemnih voda.

**Prikupljanje podataka** je poglavlje u kojem je dat pregled vrsta podataka koji su prikupljeni za potrebe kreiranja hidrogeohemijskih modela. To su podaci o litostratigrafskim jedinicama, hidrometeorološki podaci, hidrogeohemijski i podaci o kvalitetu voda. Zbog svog značaja, posebna pažnja je posvećena hidrogeohemijskim i podacima o kvalitetu voda, sa tabelarnim prikazom mesta, vremena i obima uzorkovanja, opštim pregledom analiziranih parametara i njihovih maksimalnih i minimalnih vrednosti. Osim navedenog, dat je i kartografski prikaz najvažnijih mesta uzimanja uzoraka voda za fizičko-hemijske i bakteriološke analize.

**Metode** su poglavlje koje obuhvata više odeljaka:

- *Provera pozdanosti hidrohemijskih podataka*, u kojem je razmatrana elektroneutralnost rastvora, pri čemu su isključeni svi uzorci kod kojih je razlika u električnom bilansu katjona i anjona bila veća od 5%.
- *Multivarijantna statistička analiza* predstavlja odeljak u kojem je objašnjen ROS metod, koji je upotrebljen za transformaciju cenzorisanih podataka, uz podršku statističkog softvera ProUCL 5.0. Nakon toga je predstavljen postupak opisne statističke analize i primene Kolmogorov-Smirnov testa, u cilju utvrđivanja normalnosti raspodele odabranih parametara hemijskog sastava. Na ovaj način su identifikovani parametri čiji su sadržaji zahtevali intervenciju, pri čemu je primenjena Boks-Koks transformacija, kao i izračunavanje standardnih vrednosti (z-vrednosti) promenljivih. Poseban akcenat je dat objašnjenjima statističkih tehnika hijerarhijske klaster analize, korišćene za ocenu kvaliteta voda i njihovo grupisanje u različite grupe-klastere, i faktorske analize, upotrebljene za utvrđivanje koje promenljive iz skupa formiraju koherentne, relativno nezavisne podskupove.
- *Uticaj matične stene na hemijski sastav vode* predstavlja tehniku koja je bazirana na pojednostavljenom masenom bilansu jona, sa ciljem sticanja uvida u moguće poreklo voda koje su predmet proučavanja. Ovde je dato skraćeno obrazloženje primene navedene tehnike, koje je poslužilo za njeno sprovođenje na odabranim lokacijama u slivu Trebišnjice.
- *Hidrogeohemijsko modelovanje* predstavlja odeljak u kojem su objašnjeni pojmovi matematičkog i geohemijskog modelovanja. Pažnja je posvećena opisu softverskih paketa AquaChem 2014.1 i PHREEQC-3 koji su korišćeni za izradu modela. Akcenat je stavljen na inverzno geohemijsko modelovanje, koje se koristi za određivanje geohemijskih reakcija koje kontrolišu hemijski sastav podzemnih voda i promena u hemijskom sastavu voda duž puta oticanja.

- *Ocena kvaliteta vode* razmatrana je sa aspekta upotrebe u domaćinstvu i pogodnosti za navodnjavanje. Navedeni su kriterijumi na osnovu kojih je ocena izvedena, poput Uredbe o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka Vlade Republike Srpske (2001) i US Salinity Laboratory Staff (1954). Klasifikacija voda za potrebe navodnjavanja je obavljena na osnovu vrednosti specifične električne provodljivosti, relativne aktivnosti adsorpcije natrijuma (SAR) i opasnosti od magnezijuma (MH).

**Rezultati i diskusija** predstavljaju najvažniji deo rada, u kojem je u prvom planu autorov naučni doprinos hidrogeohemijskim istraživanjima u slivu Trebišnjice. Obuhvata više odeljaka, i to:

- *Opšte hidrogeohemijske karakteristike proučavanih voda*, u kome je dat pregled glavnih tipova voda koje se javljaju u slivu, kao i vremenska i prostorna raspodela vrednosti odabranih hidrogeohemijskih i parametara kvaliteta voda.
- *Hijerarhijska klaster analiza*, odnosno njen R i Q-tip, urađeni su za sliv Trebišnjice, ali i njene najvažnije podslivove, Mušnicu i Sušicu. Za svaki tip analize u slivu i podslivovima predstavljeni su dendogrami, sa detaljnim tekstualnim objašnjenjima izdvojenih klastera. Q-tip klaster analize iskorišćen je za klasifikaciju uzoraka na osnovu njihove međusobne sličnosti, dok je za razvrstavanje parametara upotrebljen R-tip klaster analize. U cilju utvrđivanja statističke značajnosti razlike između izdvojenih grupa, izvršena je jednofaktorska analiza varijanse (one-way ANOVA), u okviru koje su primenjeni Levenov, Velčov i Braun-Forsajtov test. Osim parametarskih, netransformisani podaci su podvrgnuti i neparametarskim testovima, Man-Vitnijevom i Kruskal-Volisovom. Gde se to pokazalo mogućim, primenjeni su i post-hoc testovi, koji pomažu u preciznoj identifikaciji razlika između grupa (u ovom slučaju između podgrupa).
- *Faktorska analiza* je takođe primenjena na podacima hemijskog sastava voda sliva Trebišnjice i podslivova Mušnice i Sušice. U svim slučajevima, prethodno je ocenjena prikladnost raspoloživih podataka za sprovođenje ove tehnike. Razmatrana je vrednost Kajzer-Mejer-Olkinovog (KMO) pokazatelja, a gde se to pokazalo nepodnošnim, u obzir su uzimani i podaci iz anti-slika korelacione matrice. Osim navedenog, primenjen je i Bartletov test sferičnosti, koji je u svim slučajevima pokazivao opravdanost primene faktorske analize. Faktori su izdvajani na osnovu kajezovog kriterijuma, Katelovog dijagrama prevoja i paralelne analize. Uvek je prvo sprovedena direktna oblimin kosa rotacija, a nakon odgovarajućih rezultata iz tabele koja sadrži komponente korelacione matrice, i varimaks ortogonalna rotacija. Dobijene faktorske težine, kao konačni proizvod primene faktorske analize, predstavljane su tabelarno i grafički, dijagramom sa 2 ili 3 faktora.
- *Uticaj matične stene na hemijski sastav vode*, predstavlja odeljak u kojem su prikazani rezultati primene tehnike izvođenja zaključka o vrsti matične stene nad 8 uzoraka



uzetih na različitim lokacijama u slivu. To su: Trebišnjica u Gorici, vrelo Omble, Mušnica u Srđevićima, akumulacija Bileća, reka Sušica, izvor u Lastvi, otoka akumulacije Bileća i akumulacija Gorica. Rezultati primene ove tehnike delom su iskorišćeni za izradu inverznih geohemijskih modela.

- *Inverzno geohemijsko modelovanje* u proučavanom slivu sprovedeno je između ponora reke Trebišnjice i vrela Omble, ponora Mušnice i izvora Trebišnjice i na akumulaciji Gorica, kao mestu mešanja voda koje dotiču iz akumulacije Bileća, reke Sušice i izvora u Lastvi. Izrada modela između navedenih ponora i izvora imala je za cilj utvrđivanje dominantnih geohemijskih procesa koji vladaju u podzemnim vodama sliva Trebišnjice. Izrada inverznog modela mešanja uzoraka poslužila je za utvrđivanje veličine uticaja voda koje dolaze iz različitih geoloških formacija, na fizičko-hemijske karakteristike voda akumulacije Gorica. Prilikom izrade modela, uzimani su u obzir odgovarajući rezultati fizičko-hemijskih analiza voda, primene tehnike izvođenja zaključka o vrsti matične stene, podzemnog trasiranja voda, merenja njihove brzine, rezultati geoloških istraživanja i sl. Najpre je izračunavan indeks zasićenosti uzoraka vode (SI) u odnosu na različite vrste minerala, u cilju eliminisanja nerealnih geohemijskih inverznih modela. Zatim su izdvajane glavne mineralne faze koje kontrolišu hemijski sastav proučavanih voda. Konačno, utvrđivana je vrednost prenosa molova odabranih mineralnih faza, uz objašnjenje njihovih uzroka i posledica.
- *Ocena kvaliteta voda*, obavljena je na osnovu rezultata fizičko-hemijskih, radioloških i bakterioloških analiza. Vode su podeljene u klase, sa naglaskom na parametre čije visoke vrednosti uzrokuju njihovo zagađenje. Pogodnost voda za navodnjavanje takođe je predstavljena kroz pripadnost pojedinim klasama, uz odgovarajući prikaz na Vilkoksovom dijagramu.

**Zaključci i preporuke** su poslednje poglavlje u disertaciji, izuzimajući spisak korišćene literature, u kojem je glavni akcenat dat na činjenicu da je konceptijsko opredeljenje za upravljanje vodama sliva Trebišnjice, na bazi principa održivog razvoja, u neskladu sa stepenom izučenosti predmetnog prostora, pogotovo u sferi poznavanja kvaliteta voda i identifikacije procesa koji na njega utiču. Zaključkom su obuhvaćene tri najvažnije cjeline u radu-analiza podataka, hidrogeohemijsko modelovanje i ocena kvaliteta voda. Preporuke su izvedene na osnovu iznesenih zaključaka, a u cilju stvaranja uslova za efikasnije upravljanje kvalitetom voda u slivu Trebišnjice.

### 3. OCENA DISERTACIJE

#### 3.1. Savremenost i originalnost

Uprkos nepovoljnom vremenskom i prostornom rasporedu, vode su najznačajniji prirodni resurs Istočne Hercegovine. Ova činjenica dovela je do realizacije projekta „Višenamjenskog hidrosistema Trebišnjica“, čija je prva koncepcija postavljena 1953. godine u vodoprivrednoj osnovi Zavoda za vodoprivredu u Sarajevu. Koncepcija je prerađena 1954. godine, modifikovana i usvojena 1956. godine, a zatim novelirana 1967. i 1977. godine. Prema P. Milanoviću (2006), „Višenamjenski hidrosistem Trebišnjica“ obuhvata: sedam hidroelektrana, šest akumulacija, šest brana, šest tunela ukupne dužine 59,7 km, nekoliko pristupnih tunela, 62,5 km betonskog kanala kroz Popovo polje, kanal kroz Dabarsko (6750 m) i Fatničko polje (2770 m) i sistem tunel-kanal ili cevovod prema Dubravama.

U početku sa dominantnim energetske predznakom, koncepcija je transformisana u integralno rešenje višenamenskog korišćenja i zaštite voda i životne sredine na prostoru Istočne Hercegovine i dubrovačkog priobalja. Time je u slivu Trebišnjice zaživio princip harmoničnog odnosa društva prema prirodnom okruženju.

Koncepcijsko opredeljenje za upravljanje vodama na bazi principa održivog razvoja, podrazumeva osmišljavanje kvalitetnih i usklađenih rešenja, prihvatljivih za sve delove vodnog sistema i sve delatnosti vodne i o vodi zavisne privrede. Kvalitet i usklađenost rešenja zavisi od ulaznih podataka i stepena izučenosti predmetnog prostora, što je značajan problem u slivu Trebišnjice, pogotovo kada je u pitanju poznavanje kvaliteta voda i identifikacija procesa koji na njega utiču.

U slivu Trebišnjice ne postoji baza podataka u digitalnom formatu, koja bi obuhvatila sve fizičko-hemijske, bakteriološke i analize radionuklida koje su na tom prostoru urađene. Nedostatak ovakve baze za posledicu ima skroman broj radova iz oblasti hidrogeohemije i kvaliteta voda, pri čemu su za analizu podataka najčešće korišćene metode deskriptivne statistike (Mrkonja, 2003, 2011). Pored njih, primenjivane su i statističke tehnike za istraživanje veza između promenljivih (Banjak, 2007, 2012, 2012b, 2012v, 2014), a samo u jednom slučaju upotrebljen je složeniji alat, MIKE BASIN, za modelovanje kvaliteta voda (Vukadinović, 2003). U takvim okolnostima, evidentno je da u slivu Trebišnjice nisu stvoreni optimalni uslovi za analize, prognoze, optimizaciju resursa i, uopšte, donošenje upravljačkih odluka u oblasti kvaliteta voda.

Glavni faktori koji određuju hemijski sastav voda i njihov kvalitet su odnos stena-voda, režim voda, padavine, antropogeni uticaji, geološke strukture, mineralni sastav vodonosnih sredina i geološki procesi u njima (Abreha, 2014). Međusobni uticaji navedenih faktora zavise od uslova u kojima se voda nalazi, i njihovo razumevanje ima presudnu ulogu u upravljanju kvalitetom voda. Stoga, predmet ove doktorske disertacije su hidrogeohemijski procesi i

evolucija voda u slivu Trebišnjice, utvrđivanje njihovog porekla i mešanja primenom geohemijskog modelovanja (PHREEQC), u kombinaciji sa multivarijantnim statističkim tehnikama i geoprostornom analizom podataka.

Iz svega navedenog očigledna je savremenost i aktuelnost predmetne problematike ove doktorske disertacije, kao i njen višestruki značaj, kako teorijski (doprinos poznavanju faktora hidrogeohemijskih karakteristika i kvaliteta voda u slivu Trebišnjice), tako i praktični (primena ostvarenih rezultata u različitim hidrogeohemijskim, odnosno hidrogeološkim istraživanjima).

Originalnost ove disertacije ogleda se u tome što su prvi put u slivu Trebišnjice, a po svemu i u Republici Srpskoj i Bosni i Hercegovini, primenjene savremene metode u hidrogeohemijskim istraživanjima, kako prilikom prikupljanja podataka, tako i prilikom njihove sistematizacije i obrade. Nad podacima 929 uzoraka, primenjena je multivarijantna statistička analiza (Q-tip i R-tip hijerarhijske klaster analize, faktorska analiza), u cilju istraživanja statističkih veza između rastvorenih materija u vodi i parametara životne sredine. Osim statističkih proračuna, izvedenih uz podršku softverskih paketa SPSS Statistics Version 20 (IBM, 2011) i Statistica 8 (StatSoft, 2007), nad odabranim uzorcima sprovedeno je i inverzno geohemijsko modelovanje, sa svrhom utvrđivanja geohemijskih reakcija koje kontrolišu hemijski sastav voda (softverski paket PHREEQC-3, USGS).

### **3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu**

U spisku upotrebljene literature autor disertacije navodi 79 bibliografskih jedinica, od fundamentalnih monografija i udžbenika, do aktuelnih naučnih radova. Veći deo literature čine inostrani radovi koji tretiraju teorijske postavke primenjenih statističkih metoda, metodu hemijske termodinamike i hidrogeohemijskog modelovanja. Pored toga, korišćena je i domaća literatura koja se odnosi na geološke i hidrogeološke karakteristike terena, kao i domaća i inostrana literatura u vidu pravilnika, smernica i različitih studija koje se odnose na kvalitet voda i njihovu pogodnost za navodnjavanje.

Spisak literature sadrži sve važnije i referentne bibliografske jedinice za tematiku koju obrađuje ova doktorska disertacija, pri čemu su navedeni i radovi u čijoj je izradi učestvovao i sam kandidat.

### **3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda**

Naučno-istraživačke aktivnosti predviđene u cilju rešavanja problema koji su predmet ove doktorske disertacije, odvijale su se u četiri faze: kabinetski radovi, terenski radovi, analiza i statistička obrada podataka i inverzno modelovanje. Istraživanjima je obuhvaćeno više od 50

lokacija u slivu sa kojih je u proteklih nekoliko decenija uzeto 1648 uzoraka vode za fizičko-hemijske, mikrobiološke i analize radionuklida.

U nastavku je dat uopšteni prikaz navedene četiri faze naučno-istraživačkog rada, kroz koje se odvijala izrada predmetne doktorske disertacije:

**Kabinetski radovi** – podrazumevaju prikupljanje, sistematizaciju i reinterpetaciju svih raspoloživih podataka koji se tiču geologije prostora istraživanja i hidrohemije analiziranih voda. Proučena je i literature i fondovske dokumentacije iz oblasti kvaliteta voda i geohemijskog modelovanja. Analizirana su kako domaća tako i strana iskustva i saznanja koja su u vezi sa postavljenim naučnim problemom.

Cilj ove faze bio je sagledavanje problematike kvaliteta voda i geohemijskog modelovanja, definisanje svega što je poznato u ovoj oblasti i isticanje onoga što je još uvek nepoznato ili nedovoljno objašnjeno.

U ovoj etapi obrađeni su i grafički prikazani postojeći podaci, a izrađivane su i specijalne karte i blok dijagrami, koje su predstavljali podlogu za sledeću fazu istraživanja.

**Terenski radovi** – podrazumevaju obilazak svih mesta na kojima su u prethodnom periodu uzimani uzorci voda za fizičko-hemijske, mikrobiološke i analize radionuklida, u cilju njihove registracije i izrade katastra. Na svim mestima gde je postojala sumnja u pouzdanost rezultata analiza voda, urađene su, u skladu sa mogućnostima, dodatne analize. U tu svhu, korišćena je terenska laboratorija za analizu voda firme „Palintest“, vlasništvo Speleološkog kluba „Zelena brda“ iz Trebinja. Navedena laboratorija je upotrebljena i na mestima gde do sada nisu uzimani uzorci voda za analizu, a procenjeno je da bi to bilo od koristi, poput deponije pepela u Dražljevu. Terenski rad je obuhvatio i opažanje svih pojava i procesa koji su od interesa za disertaciju, uz izradu foto-dokumentacije.

**Statistička obrada podataka** – obuhvata primenu multivarijantnih statističkih tehnika na prethodno sistematizovane podatke fizičko-hemijskih analiza uzoraka voda u slivu Trebišnjice. U toku izrade doktorske disertacije primenjene su dve multivarijantne statističke tehnike – hijerarhijska klaster analiza (HCA) i faktorska analiza-analiza glavnih komponenti (PCA).

Hijerarhijska klaster analiza je upotrebljena sa svrhom grupisanje uzoraka voda, na osnovu sličnosti u fizičkim osobinama i hemijskom sastavu. Ovakav pristup je pogodan za primenu u hidrohemijским istraživanjima, jer su retki slučajevi u kojima se samo na osnovu jednog parametra mogu izdvojiti različiti tipovi voda, a klaster analiza omogućava upravo podelu uzoraka na osnovu većeg broja promenljivih (Davis, 2002, Güler et al. 2002; Stojković, 2012).

Analiza glavnih komponenti je iskorišćena za otkrivanje interkorelacija unutar skupa podataka, odnosno grupisanje promenljivih koje su međusobno korelisane. Osnovni cilj ove tehnike bio je izdvajanje malog broja faktora, kojima se mogu objasniti varijacije velikog broja analitičkih podataka (Pallant, 2011; Papić, Stojković, 2012).

**Inverzno modelovanje** – upotrebljeno je za utvrđivanje količine i vrste čvrste faze (minerala) koja se prenosi u toku hemijske reakcije ili procesa (taloženje/rastvaranje) između dve tačke toka (Hounslow, 1995; Abreha 2014). Inverznim modelovanjem nisu razmatrani termodinamički i ravnotežni uslovi, s obzirom da se čitav postupak zasniva na principima ravnoteže masa (Zhu, Anderson, 2002). Međutim, s obzirom da se to pokazalo kao nephodno, ova faza naučno-istraživačkih aktivnosti je iskorišćena za modelovanje mešanja voda različitih fizičkih i hemijskih osobina.

### **3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata**

Rezultati sprovedenih istraživanja, odnosno zaključci izneti u ovoj doktorskoj disertaciji, direktno su primenljivi u hidrohemijским, tj. hidrogeološkim istraživanjima. To se u prvom redu odnosi na utvrđivanje geneze proučavanih voda, sa posebnim osvrtom na antropogene uticaje. U tom smislu poseban značaj imaju rezultati hijerarhijske klaster analize, faktorske analize i inverznog geohemijskog modelovanja. Ovo istraživanje je dalo podatke o ključnim faktorima formiranja međusobno različitih voda u slivu, o kvalitetu voda i njihovoj upotrebljivosti za navodnjavanje.

Rezultati ove doktorske disertacije već su prošli naučnu i stručnu verifikaciju objavljivanjem u naučnim radovima u domaćim i stranim časopisima, kao i na saopštenjima na kongresima.

### **3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad**

Kandidat mr Dragoslav Banjak je tokom izrade disertacije u potpunosti ovladao metodologijom naučno-istraživačkog rada, što je i pokazao uspešnom realizacijom planiranog istraživanja od početne ideje do završetka doktorske disertacije. Doktorand Dragoslav Banjak je perspektivan istraživač, sa širokim teorijskim i praktičnim znanjem iz oblasti hidrogeologije i hidrogeohemije. Ima predispozicije za dalje akademsko usavršavanje i bavljenje naučno-istraživačkim radom, naročito u smislu sticanja novih saznanja, njihove sistematizacije i interpretacije naučnim metodama.

## 4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

### 4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

U disertaciji je razmatran problem hidrogeohemijskih procesa u slivu Trebišnjice: evolucije, porekla i mešanja podzemnih voda. Primena multivarijantnih statističkih metoda, u kombinaciji sa grafičkom i numeričkom analizom podataka i inverznim modelovanjem, predstavlja temelj metodološkog pristupa istraživanju. Njegovi najvažniji naučni doprinosi su sledeći:

- Formiranje baze podataka hidrohemijskih karakteristika voda za sliv Trebišnjice. U bazi je pohranjeno 1646 rezultata fizičko-hemijskih analiza vode, koje potiču sa 50 različitih lokacija u slivu, a ukupan broj parametara sadržanih u bazi iznosi 56. U pitanju je prva baza podataka ovog tipa za istraživano područje, pa samim tim predstavlja unapređenje i sistematizaciju opšteg nivoa znanja.
- Identifikacija glavnog hidrogeohemijskog procesa u slivu Trebišnjice – rastvaranje minerala kalcita, pod uticajem ugljene kiseline. Pored pomenutog procesa, značajni su još i procesi rastvaranja dolomita, halita i sulfata, kao i antropogeni uticaji.
- Definisane faktora formiranja podzemnih voda u slivu Trebišnjice: kao ključni faktor izdvojen je mineraloški i petrološki sastav stena koje formiraju izdani, dok su kao sporedni faktori izdvojeni pluviometrijski režim i uticaj zagađujućih materija.
- Definisane hidrogeohemijske specifičnosti voda podslivova Mušnice i Sušice: kod Mušnice – natprosečno visok uticaj zagađivača, kod Sušice – dominacija procesa rastvaranja dolomita.
- Definisane stanja kvaliteta voda na proučavanom prostoru. Identifikacija najzastupljenijih zagađujućih materija (azotna jedinjenja i fosfati) i štetnih mikroorganizama.
- Definisane upotrebljivosti analiziranih voda za potrebe navodnjavanja.

### 4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Tokom izrade ove doktorske disertacije kandidat se suočavao sa mnogobrojnim izazovima. U početnoj fazi trebalo je sistematizovati raspoložive podatke ranijih istraživanja i oceniti njihovu upotrebljivost i merodavnost. Zatim je usledila generalizacija onoga što je već poznato i isticanje onoga što je još uvek nepoznato, tj. nedovoljno proučeno i objašnjeno. Kandidat je nakon ove faze definisao redosled neophodnih istraživačkih aktivnosti i strukturu samog dokorskog rada. Osmišljena je adekvatna metodologija i kreirana odgovarajuća baza podataka, tako da su, uz odgovarajuću softversku podršku, ostvareni svi zacrtani ciljevi istraživanja.

U fazi obrade prikupljenih podataka kandidat se opredelio za upotrebu multivarijantne statističke analize u cilju interpretacije hidrohemijskih podataka, kao i primene inverznog geohemijskog modelovanja. Rezultate dobijene primenom statističkih metoda i geohemijskog modelovanja kandidat je tumačio uverljivo, dosledno i smisljeno, kako sa statističkog, tako i sa geološkog, odnosno hidrogeološkog aspekta. U okviru zaključnih razmatranja prikazana je i praktična primenljivost ostvarenih rezultata.

Prilikom istraživanja u sklopu ovog doktorskog rada korišćene su savremene naučne metode i softverski paketi. Struktura samog rada je pregledna, razumljiva i logična. Dijagrami i slike su na adekvatnim mestima u tekstu i jasno su obeleženi, a literatura je navođena korektno i uniformnim stilom.

### **4.3. Verifikacija naučnih doprinosa**

Naučni doprinos doktorske disertacije „Hidrogeohemijske karakteristike i kvalitet voda sliva Trebišnjice, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina“, kandidata Dragoslava Banjka, verifikovan je sledećim publikacijama:

#### **Kategorija M23:**

- Banjak D., Nikolić J. (2012), Hydrochemical characteristics and water quality of the Mušnica River catchment, Bosnia and Herzegovina, Hydrological Sciences Journal, Volume 57, Issue 3, Pages 562-575, *SCI lista, IF (2012)=1,114*

#### **Ostale kategorije:**

- Petronić S., Kadić J., Brujić J., Banjak D. (2002), Valorizacija prirodnog nasleđa opštine Trebinje, Zavod za zaštitu kulturno-istorijskog i prirodnog nasleđa Republike Srpske
- Banjak, D.: Rijeka Mušnica-hidrološka svojstva i vodoprivredni problemi, magistarski rad, Univerzitet u Beogradu, Beograd
- Banjak D. (2012), Hidrohemijski režim i kvalitet voda Dabarskog polja, Zbornik radova XIV srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Zlatibor, str. 419-423.
- Banjak D. (2014), Assessment of irrigation water suitability of the Sušica River catchment, tributary of the Trebišnjica River, Book of abstracts of III International Symposium and XIX Scientific Conference of Agronomists of Republic of Srpska, Trebinje, pp. 392

## 5. ZAKLJUČAK I PREDLOG


Doktorska disertacija kandidata **Dragoslava Banjka**, pod nazivom „**Hidrogeohemijske karakteristike i kvalitet voda sliva Trebišnjice, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina**“ predstavlja dokumentovan, obiman i inovativan naučno-istraživački rad iz domena hidrogeohemije. Ovo je jedna od prvih doktorskih disertacija u oblasti hidrogeologije u Republici Srpskoj i Bosni i Hercegovini, u kojoj su primenjene savremene statističke metode i metode inverznog geohemijskog modelovanja zbog čega ima višestruki značaj, kako teorijski (doprinos poznavanju faktora hidrogeohemijskih karakteristika i kvaliteta voda u slivu Trebišnjice), tako i praktični (primena ostvarenih rezultata u različitim hidrogeohemijskim, odnosno hidrogeološkim istraživanjima).

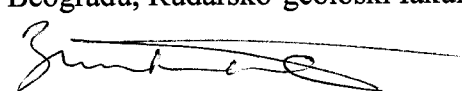
Kandidat Dragoslav Banjak je autor i koautor više naučnih i stručnih radova, objavljenih u domaćim i stranim časopisima, od čega jednog sa *SCI* liste, kao i dva saopštenja sa međunarodnih skupova i skupova nacionalnog značaja.


Komisija je sa zadovoljstvom zaključila da doktorska disertacija kandidata **Dragoslava Banjka** predstavlja značajan i originalan naučni doprinos u oblasti geologije, hidrogeologije i hidrogeohemije, da je u svemu izrađena u skladu sa standardima naučno-istraživačkog rada i važećim propisima, te stoga predlaže Nastavno-naučnom veću Rudarsko-geološkog fakulteta da ovaj izveštaj prihvati, disertaciju stavi na uvid javnosti i uputi izveštaj Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu radi konačnog usvajanja, nakon čega bi se pristupilo usmenoj odbrani pred komisijom u istom sastavu.

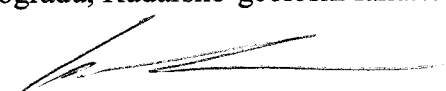
Beograd, 27. maj 2016. godine

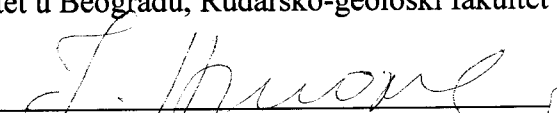
### ČLANOVI KOMISIJE

  
\_\_\_\_\_  
Dr Petar Papić, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

  
\_\_\_\_\_  
Dr Zoran Stevanović, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

  
\_\_\_\_\_  
Dr Jana Štrbački, naučni saradnik  
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

  
\_\_\_\_\_  
Dr Saša Milanović, naučni saradnik  
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

  
\_\_\_\_\_  
Dr Jugoslav Nikolić, viši naučni saradnik  
Republički hidrometeorološki zavod Srbije