

UNIVERZITET U BEOGRADU

Rudarsko-geološki fakultet

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidatkinje Maje Todorović

Odlukom Nastavno-naučnog Veća Rudarsko-geološkog fakulteta na sednici održanoj 17.09.2020. (rešenje br. 1/339 od 18.09.2020.), određeni smo za članove Komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije kandidatkinje Maje Todorović, master inž. geologije, pod naslovom

„Hidrogeohemija elemenata retkih zemalja u podzemnim vodama Srbije”

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

R E F E R A T

1. UVOD

1.1. Naslov i obim disertacije

Naslov doktorske disertacije kandidatkinje Maje Todorović, master inženjera geologije je: „Hidrogeohemija elemenata retkih zemalja u podzemnim vodama Srbije”.

Disertacija sadrži:

- 163 strane računarski obrađenog teksta A4 formata,
- 36 tabela u tekstu,
- 89 grafičkih ilustracija, karata, dijagrama, fotografija i shema,
- 201 bibliografsku jedinicu u spisku literature.

1.2. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

Naučno-nastavno veće Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na sednici održanoj dana 20.02.2014. pod br. 1/75, donelo je Odluku o Imenovanju komisije za ocenu podobnosti teme, kandidata i određivanju mentora predložene teme doktorske disertacije Maje Todorović, master inženjera geologije, pod naslovom: „Hidrogeohemija elemenata retkih zemalja u podzemnim vodama Srbije“.

Naučno-nastavno veće Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na sednici održanoj 17.04.2014. godine shodno članu 175. stav 4. Statuta Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, donelo je odluku o usvajanju Izveštaja Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata predložene teme doktorske disertacije pod istim naslovom. Za mentora se imenuje dr Petar Papić, red. prof. u penziji (Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet). Na osnovu člana 47. stav 5. tačka. 3. Statuta Univerziteta u Beogradu ("Glasnik Univerziteta u Beogradu", broj 162/11 prečišćeni tekst, 167/12 i 172/13) i čl. 14. – 21. Pravilnika o većima naučnih oblasti na Univerzitetu u Beogradu ("Glasnik Univerziteta u Beogradu", broj 134/07, 150/09, 158/11, 164/11 i 165/11), a na zahtev Rudarsko-geološkog fakulteta, broj: 1/145 od 25.04.2014. godine, Veće naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu, na sednici održanoj 12.05.2014. godine, donelo je Odluku kojom se daje Saglasnost na predlog teme doktorske disertacije kandidatkinje Maje Todorović, master inženjera geologije, pod naslovom: „Hidrogeohemija elemenata retkih zemalja u podzemnim vodama Srbije“ (02 broj: 61206-2091/2014).

Kandidatkinja Maja Todorović, master inž. geologije, 03.09.2020. godine podnela je Molbu za imenovanje komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije Nastavno-naučnom veću Rudarsko-geološkog fakulteta. Katedra za hidrogeologiju uputila je dopis Naučno-nastavnom veću Rudarsko-geološkog fakulteta sa predlogom članova Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije u sastavu: dr Petar Papić, redovni profesor u penziji Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, dr Igor Jemcov, redovni profesor Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, dr Vladica Cvetković, redovni profesor Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, dr Marina Ćuk Đurović, naučni saradnik Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu i dr Jovan Kovačević, viši naučni saradnik Geološkog zavoda Srbije.

Naučno-nastavno veće Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na sednici održanoj 17.09.2020. godine imenovalo je Komisiju za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Maje Todorović, pod nazivom „Hidrogeohemija elemenata retkih zemalja u podzemnim vodama Srbije“ (rešenje 1/339 od 18.09.2020. godine). Članovi Komisije su potpisnici ovog izveštaja.

1.3. Naučna oblast disertacije

Doktorska disertacija kandidatkinje Maje Todorović pod naslovom: „Hidrogeohemija elemenata retkih zemalja u podzemnim vodama Srbije“, pripada oblasti tehničkih nauka, naučnoj oblasti „Geološko inženjerstvo“, odnosno užoj naučnoj oblasti „Hidrogeologija“, za koju je Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet matičan. Specijalistički segment koji obuhvata doktorska disertacija jeste hidrogeohemija i istraživanje elemenata retkih zemalja u podzemnim vodama.

Za mentora doktorske disertacije imenovan je dr Petar Papić, redovni profesor u penziji Univerziteta u Beogradu, Rudarsko-geološkog fakulteta, koji ispunjava sve zakonske uslove za mentorstvo, zbog istaknutih naučnih doprinosa iz uže naučne oblasti, tj. Hidrogeologije, a posebno u oblasti Hidrogeohemije, kojom se i bavi predmetna disertacija.

1.4. Biografski podaci o kandidatu

Maja Todorović rođena je 09.12.1987. godine u Metkoviću. Pohađala je JUSMŠ "Danilo Kiš" (gimnazija opšti smer) u Budvi (2002-2005), i XV Beogradsku gimnaziju u Beogradu, prirodno-matematički smer, koju je završila 2006. godine. Iste godine upisala je Rudarsko-geološki fakultet, Univerziteta u Beogradu, smer za hidrogeologiju. Osnovne akademske studije završila je u roku, sa prosečnom ocenom 9.27 i u septembru 2010. godine odbranila je završni rad pod nazivom „Nitrati u podzemnim vodama“, sa ocenom 10. Školske 2010/2011. godine upisala je master akademske studije na Rudarsko-geološkom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, na smeru za hidrogeologiju. Master akademske studije je završila u roku, sa prosečnom ocenom 9.91 i u septembru 2011. godine je odbranila završni master rad pod nazivom „Nitrati u podzemnim vodama Srbije“, sa ocenom 10. Školske 2011/2012. upisala je akreditovane doktorske studije na Rudarsko-geološkom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, naučna oblast Hidrogeologija na Departmanu za hidrogeologiju i opredelila se za izučavanje hidrogeohemije podzemnih voda.

Od oktobra 2011. godine stekla je zvanje istraživač-pripravnik, a naredne godine birana je u zvanje istraživač saradnik na Departmanu za hidrogeologiju, Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu. Od oktobra 2011. zaposlena je na projektu koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja (ranije Ministarstvo nauke i tehnološki razvoja) – Projekat III 43004 (Integralna Interdisciplinarna Istraživanja) – Simultana bioremedijacija i soilifikacija degradiranih prostora, za očuvanje prirodnih resursa biološki aktivnih supstanci i razvoj i proizvodnju biomaterijala i dijetetskih proizvoda (Projekat III 43004/2: Zaštita geo i bio sredina kao prirodnih resursa i izvora biološki aktivnih supstanci).

Na Rudarsko-geološkom fakultetu učestvuje u pripremi i održavanju studentskih vežbi na predmetima Hidrogeohemija i Osnovi ekohidrogeologije, na Departmanu za hidrogeologiju. Učestvovala je u pripremi i realizaciji nekoliko naučno-istraživačkih studija i projekata o hidrogeološkim istraživanjima.

U svom naučno-istraživačkom radu bavi se istraživanjem podzemnih voda sa posebnim akcentom na problematiku uslova i faktora formiranja hemijskog sastava i hidrogeohemijskih karakteristika. Autor i koautor je više naučnih radova objavljenih u časopisima sa SCI liste, poglavlja u monografijama i zbornicima radova sa domaćih i međunarodnih naučnih skupova.

Član je Srpskog geološkog društva (SGD) i međunarodne asocijacije hidrogeologa (IAH).

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Struktura i sadržaj disertacije

Doktorska disertacija Maje Todorović pod nazivom „Hidrogeohemija elemenata retkih zemalja u podzemnim vodama Srbije" napisana je na 163 strane (format A4, prored 1) u skladu sa uputstvom za oblikovanje doktorske disertacije od strane Univerziteta u Beogradu, i sadrži 89 ilustracija i 36 tabela.

Disertacija sadrži sledeće delove: naslovnu stranu na srpskom i engleskom jeziku, stranu sa podacima o mentoru i članovima komisije, rezime na srpskom i engleskom jeziku sa ključnim rečima, uvod, osam poglavlja, spisak korišćene literature, biografiju kandidata, izjavu o autorstvu, izjavu o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada i izjavu o korišćenju.

Doktorska disertacija stukturirana je u devet celina (poglavljia): Uvod: naučni doprinos i cilj istraživanja doktorske disertacije, 1. Teorijske postavke, 2. Metode istraživanja, 3. Područje istraživanja, 4. Rezultati analize osnovnog hemijskog sastava, 5. Osnovna statistička analiza elemenata retkih zemalja u ispitivanim podzemnim vodama, 6. Osnovni hidrogeohemijski indikatori elemenata retkih zemalja, 7. Hidrogeohemijski indikatori porekla podzemnih voda na osnovu analize elemenata retkih zemalja sa izdvojenim hidrogeološkim sistemima i 8. Zaključak.

UVOD: NAUČNI DOPRINOS I CILJ ISTRAŽIVANJA DOKTORSKE DISERTACIJE

1. TEORIJSKE POSTAVKE

- 1.1. Osnovne hemijske i geohemijske osobine elemenata retkih zemalja
- 1.2. Princip upotrebe podataka o REE koncentracijama u geološkim istraživanjima
- 1.3. Hidrogeohemijski ciklus REE
- 1.4. Savremeni pristup korišćenja podataka o sadržaju hidrohemijjskih komponenti: normalizacija REE sa analizom frakcionacije
- 1.5. Značaj poznavanja hidrogeoloških sistema sa aspekta migracije REE u podzemnim vodama

2. METODE ISTRAŽIVANJA

- 2.1. Koncept hidrogeohemijskog istraživanja REE u podzemnim vodama Srbije
- 2.2. Istraživačka faza - Prikupljanje podataka
 - 2.2.1. Terenska istraživanja podzemnih voda
 - 2.2.2. Laboratorijske metode
- 2.3. Metode analize podataka
 - 2.3.1. Sistematizacija i izrada baze podataka
 - 2.3.2. Vrednosti ispod granice detekcije – osnovni pojmovi
 - 2.3.3. Statističke metode za analizu hidrohemijjskih podataka
Osnovna statistička analiza hidrohemijjskih podataka
Određivanje osnovnih parametara distribucije cenzurisanih podataka
Modeliranje vrednosti ispod granice detekcije
Određivanje osnovnih koncentracija
Multivarijantna statistička analiza hidrohemijjskih podataka
Hijerarhijska klaster analiza
Određivanje ekstremnih vrednosti
Neparametarska statistička analiza
Neparametarska korelaciona analiza
Analiza varijanse primenom Kruskal-Wallis testa
 - 2.3.4. Normalizacija REE – Analiza frakcionacije
 - 2.3.5. Hidrogeohemijska analiza elemenata retkih zemalja
Hidrohemijjsko modeliranje
3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA
4. REZULTATI ANALIZE OSNOVNOG HEMIJSKOG SASTAVA
 - 4.1. Rezultati laboratorijskih i terenskih istraživanja sa osnovnom statističkom analizom

- 4.2. Korelaciona analiza fizičko-hemijskih parametara, osnovnih i specifičnih komponenti hemijskog sastava u ispitivanim podzemnim vodama
- 4.3. Interpretacija osnovnog hemijskog sastava voda – osnovne hidrohemijske facije
 - 4.3.1. Izdvajanje regionalnih hidrogeohemijskih facija
 - 4.3.2. Osnovne hidrogeohemijske facije
 - 4.3.3. Pregled osnovnih hidrogeohemijskih procesa koji utiču na hemijski sastav podzemnih voda
5. OSNOVNA STATISTIČKA ANALIZA ELEMENATA RETKIH ZEMALJA U ISPITIVANIM PODZEMNIM VODAMA
 - 5.1. Modeliranje vrednosti ispod granice detekcije
 - 5.2. Analiza sumarnih koncentracija
 - 5.3. Osnovne koncentracije REE u podzemnim vodama Srbije
6. OSNOVNI HIDROGEOHEMIJSKI INDIKATORI ELEMENATA RETKIH ZEMALJA
 - 6.1. Analiza frakcionacije - normalizacija elemenata retkih zemalja – osnovni pojmovi
 - 6.2. Hidrogeohemijsko modeliranje – osnovni jonski oblici elemenata retkih zemalja
 - 6.3. Uslovi migracije elemenata retkih zemalja– mehanizmi i procesi koji utiču na retke zemlje i frakcionaciju
7. HIDROGEOHEMIJSKI INDIKATORI POREKLA PODZEMNIH VODA NA OSNOVU ANALIZE ELEMENATA RETKIH ZEMALJA SA IZDVOJENIM HIDROGEOLOŠKIM SISTEMIMA
 - 7.1. Izdvajanje grupa podzemnih voda sa sličnim REE potpisima primenom Q-mode HCA
 - 7.1.1. Analiza varijanse osnovnih fizičko-hemijskih parametara, hidrohemijskih komponenti i REE koncentracija u izdvojenim grupama podzemnih voda
 - 7.2. Izdvajanje dominantnih hidrogeohemijskih REE faktora u podzemnim vodama Srbije primenom R-mode HCA
 - 7.2.1. Analiza varijanse izdvojenih REE faktora, karakterističnih interelementnih odnosa i anomalija u okviru izdvojenih hidrogeohemijskih klastera
 - 7.3. Izdvajanje regionalnih hidrogeoloških sistema sa karakterističnim REE potpisima podzemnih voda Srbije
 - C1 – Hidrogeološki sistemi južnog oboda Panonskog basena (graniti S-tipa Miocenske starosti)
 - C2 – Hidrogeološki sistemi u vulkanitima Oligocensko-miocenskog plutonsko-vulkanskog pojasa
 - C3 – Duboki hidrogeološki baseni
 - C4 – Hidrogeološki sistemi u neogenim intrakontinentalnim basenima
 - C5 – Hidrogeološki sistemi sa uslovima formiranja hemijskog sastava lokalnog karaktera
 - C6 – Hidrogeološki baseni sa termalnim podzemnim vodama (Mačva i Panonski basena)
 - C7 – Hidrogeološki sistemi u metamorfitima i starijim granitima
 - C8 – Hidrogeološki sistemi Karpato-balkanida
 - 7.3.1. Interpretacija REE obrasca – Hidrogeohemijski Indikatori
8. ZAKLJUČAK
- LITERATURA

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U poglavljima *Uvod: naučni doprinos i cilj istraživanja doktorske disertacije* i *Teorijske postavke* prikazani su predmet istraživanja doktorske disertacije, obrazloženje teme, osnovni ciljevi i ostvareni naučni doprinos. U ovim poglavljima kandidatkinja ističe opšti značaj razumevanja i neophodnost adekvatne interpretacije hemijskog sastava podzemnih voda, sa akcentom na poznavanje sadržaja ultramikrokomponenti u vodi, a posebnu pažnju pridaje hidrogeološki indikativnim elementima retkih zemalja (engl. *rare earth elements*, skraćeno REE) koji predstavljaju predmet doktorske disertacije. Kandidatkinja u svom radu implementira koncept hidrogeohemijskih potpisa (engl. *hydrogeochemical signature*) i naglašava njihov značaj u izučavanju geneze hemijskog sastava podzemnih vodnih resursa u Srbiji. U okviru odgovarajućih potpoglavlja daje hronološki prikaz izučavanja REE u podzemnim vodama, od osnovnih hemijskih, geohemijskih i hidrogeohemijskih osobina, preko principa upotrebe podataka o REE koncentracijama, kako u geološkim tako i u hidrogeološkim istraživanjima, naglašavajući neophodnost savremenog pristupa korišćenja podataka koji sadrže informacije o sadržaju hidrohemijjskih komponenti (normalizacija REE i analiza frakcionacije). Kandidatkinja objašnjava princip normalizacije kroz istovremenu analizu cele grupe REE (14 elemenata) u odnosu na referentni standardni materijal, čime se kvantifikuje i grafički prikazuje REE obrazac odnosno engl. *pattern* razmatranog uzorka podzemne vode, koji u sebi sadrži hidrogeološku informaciju značajnu za razumevanje porekla hemijskog sastava i uticaja litološkog sastava u složenom sistemu podzemna voda-stena. Kroz literaturni prikaz različitih savremenih hidrogeoloških istraživanja koja obuhvataju primenu REE, istaknut je značaj poznavanja hidrogeoloških sistema u cilju razumevanja migracije REE u podzemnim vodama. Poseban fokus kandidatkinja je dala na razmatranje formiranja hemijskog sastava podzemnih voda u regionalnim hidrogeološkim sistemima, u kojima je formiran najveći broj pojava podzemnih voda koje su bile predmet proučavanja disertacije, gde za polaznu pretpostavku uzima da slični REE obrasci i potpisi ukazuju na sličnu hidrogeohemijsku istoriju analiziranih podzemnih voda.

U okviru poglavlja *Metode istraživanja* prikazan je osnovni metodološki okvir primenjen tokom izrade doktorske disertacije. Kandidatkinja je koncept istraživanja zasnovala na principu regionalnih istraživanja širih razmera. Izbor ove vrste istraživanja prilagođen je hidrogediverzitetu Srbije kojeg odlikuje velika raznolikost u pogledu podzemnih voda specifičnih karakteristika. Metodološki okvir bio je usmeren u tri glavna pravca, dok je redosled istraživačkih aktivnosti bio usklađen sa prirodom podataka i hidrogeohemijskim karakteristikama REE. U okviru ovog poglavlja kandidatkinja daje detaljan opis terenskih postupaka prilikom uzorkovanja 190 pojava podzemnih voda i određivanja fizičko-hemijskih parametara *in-situ*, kao i primenjenih laboratorijskih metoda za određivanje hemijskog sastava podzemnih voda.

U okviru istog poglavlja detaljno su prikazane primenjene statističke analize (prilagođene obradi hidrohemijjskih podataka, posebno u slučajevima kada su prisutne koncentracije ispod granice detekcije instrumenta), analiza frakcionacije REE sa normalizacijom i kvantifikacijom REE hidrogeohemijskih parametara, kao i hidrogeohemijsko modeliranje REE. Primenom navedenih postupaka formirana je obimna baza podataka na osnovu koje je bilo moguće izvršiti sagledavanje osnovnih mehanizama i procesa koji utiču na migraciju REE u ispitivanim podzemnim vodama.

U trećem poglavlju, *Područje istraživanja*, dat je prikaz osnovnih regionalnih geoloških i hidrogeoloških karakteristika, uz osvrt na geodinamičku evoluciju centralne ose Balkanskog poluostrva, kenozojski magmatizam i nastanak neogenih basena na području Srbije.

Deo od četvrtog do sedmog poglavlja doktorske disertacije predstavlja rezultate istraživanja sa diskusijom koji je podeljen u odgovarajuće tematske celine i ujedno predstavlja najznačajniji deo disertacije.

Četvrto poglavlje (pod nazivom *Rezultati analize osnovnog hemijskog sastava*) pruža prikaz osnovnih hidrogeohemijskih facija i procesa koji utiču na hemijski sastav podzemnih voda, na osnovu analize makrokomponenti hemijskog sastava i fizičko-hemijskih parametara ispitivanih podzemnih voda.

U okviru petog poglavlja, *Osnovna statistička analiza elemenata retkih zemalja u ispitivanim podzemnim vodama*, prikazana je metodologija za analizu cenzuriranih podataka (rezultati hemijskih analiza koji su prikazani kao vrednosti ispod granice detekcije instrumenta). U doktorskoj disertaciji prikazan je neparаметarski pristup statističke analize kojim su utvrđeni osnovni parametri distribucije REE u ispitivanim podzemnim vodama. Modeliranjem vrednosti ispod granice detekcije primenom specijalizovanih softvera ProUCL 5.0., Minitab 17 sa NADA paketom (Nondetects And Data Analysis) i JMP 13 kandidatkinja je sproveda potpunu hidrogeohemijsku analizu REE, budući da je na taj način omogućila da se razmatraju sumarne koncentracija REE kao cele grupe ali i kao podgrupe – laki (LREE), srednji (MREE) i teški (HREE) lantanidi.

Poglavlje šest (*Osnovni hidrogeohemijski indikatori elemenata retkih zemalja*) sadrži detaljan prikaz analize frakcionacije u ispitivanim uzorcima podzemnih i prikaz rezultata hidrogeohemijskog modeliranja, čime je postignuta interpretacija uslova migracije REE. Odnosno, objašnjeni su mehanizmi i procesi koji utiču na pojavu REE koncentracija i frakcionaciju u ispitivanim uzorcima podzemnih voda.

Završni deo doktorske disertacije predstavljen je *Hidrogeohemijskim indikatorima porekla podzemnih voda na osnovu analize elemenata retkih zemalja sa izdvojenim regionalnim hidrogeološkim sistemima*, u okviru kog je izvršena regionalna analiza REE oslanjajući se na rezultate dobijene u prethodnim poglavljima. Ovde je kandidatkinja izdvojila regionalne hidrogeološke sisteme sa karakterističnim REE potpisima, kao i dominantne REE faktore koji utiču na distribuciju i migraciju REE u podzemnim vodama Srbije. Na samom kraju sedmog poglavlja kandidatkinja daje sumarni tabelarni prikaz hidrogeoloških REE hidrogeohemijskih indikatora, na osnovu rezultata prethodnih istraživanja uz dodatne pokazatelje koji su rezultat izrade ove disertacije.

U *Zaključku* izneta su zaključna razmatranja i pregled ostvarenih rezultata sa preporukama za dalji rad i istraživanja.

U spisku literature naveden je skup od 201 bibliografske jedinice, koji obuhvata najznačajnije teorijske radove, studije i disertacije koje razmatraju oblast razmatrane problematike.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost, originalnost i značaj

Doktorska disertacija „Hidrogeohemija elemenata retkih zemalja u podzemnim vodama Srbije” kandidatkinje Maje Todorović, predstavlja savremeno i originalno naučno delo koje značajno doprinosi sagledavanju uloge REE kao ultramikrokomponenti u tumačenju geneze podzemnih

voda, i prvo je koje se bavi ovom problematikom u našoj zemlji. Kandidatkinja je uspešno istakla da specifična asocijacija REE u podzemnim vodama predstavlja svojevrsan potpis, koji sadrži „otiske“ brojnih faktora i procesa (geoloških, hidrogeoloških, hidrogeohemijskih i dr.) koji utiču na formiranje sastava podzemnih voda. Tumačenjem ovih potpisa ona je ukazala na hidrogeološke indikacije čijom se adekvatnom interpretacijom doprinosi rešavanju pitanja geneze hemijskog sastava podzemnih voda.

Analizom frakcionacije, hidrogeohemijskim modeliranjem kao i izučavanjem uslova i mehanizama pojave REE u podzemnim vodama, prvi put su ustanovljeni osnovni uslovi koji dovode do migracije REE u vodi i do definisanja karakterističnih REE obrazaca. Uključivanje REE u istraživanja regionalnih hidrogeoloških sistema na području Srbije u velikoj meri unapređuje hidrogeohemijsku interpretaciju uslova formiranja hemijskog sastava podzemnih voda, sa izdvajanjem regionalnih hidrogeohemijskih oblasti u kojima vladaju slični uslovi.

Kandidatkinja je primenila savremene metodološke postupke za interpretaciju cenzurisanih rezultata hemijskih analiza (kroz primenu neparametarskog statističkog pristupa u obradi podataka), i na taj način približila postupke koji se primenjuju za tumačenja sadržaja elemenata u vodi koji se nalaze ispod granica detekcije analitičke metode. Ovim se ističe važnost primenjenog postupka, čime je omogućena adekvatna i naučno osnovana implementacija ovakve vrste podataka u hidrogeološkim istraživanjima. Kroz primenjene postupke ogleda se značajan doprinos metodici izučavanja kvaliteta podzemnih voda u Srbiji. Prihvatanje novih pristupa u analizi hidrohemijskih podataka, kao što je pokazala kandidatkinja Maja Todorović, doprineće budućim istraživanjima u domenu proučavanja kvalitativnih osobina podzemnih vodnih resursa.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U spisku literature ove disertacije, kandidatkinja navodi 201 bibliografsku jedinicu, najvećim delom publikovane inostrane literature. Pregled literature studiozno je realizovan i prikazuje aktuelno stanje u oblasti koja je bila predmet doktorske disertacije. U popisu literature nalaze se radovi koji tretiraju hidrogeohemijske osobine podzemnih voda, radovi koji razmatraju specifičnu problematiku elemenata retkih zemalja u podzemnim vodama gde su citirane neke od najpoznatijih i najviše korišćenih referenci vezanih za migraciju REE u podzemnim vodama i hidrogeološkim sistemima (npr. Wood 1990, Johannesson 1997, 1999, 2002, 2005). Detaljno su pregledani i korišćeni radovi iz oblasti teorijskih postavki primenjenih statističkih metoda, metoda hemijske termodinamike i hidrohemijskog modeliranja. Spisak literature sadrži i naučne radove u čijoj izradi je učestvovala i kandidatkinja, a koji su na određeni način verifikovali primenjene naučne metode u disertaciji kod međunarodne i domaće naučne i stručne javnosti.

3.3. Analiza primenjenih naučnih metoda i njihova adekvatnost za sprovedeno istraživanje

Metodologija izrade doktorske disertacije usmerena je ka spoznaji i definisanju glavnih hidrogeohemijskih faktora koji utiču na distribuciju REE u podzemnim vodama Srbije i njihovoj primeni u rešavanju pitanja porekla podzemnih voda. Kandidatkinja je koristila više metodoloških postupaka kroz kabinetska, terenska i laboratorijska istraživanja koja su se odvijala u više faza. U okviru posebnog poglavlja ove doktorske disertacije dat je prikaz svih upotrebljenih metoda.

U cilju saznanja hidrogeohemijskih osobina REE podzemnih voda Srbije, kandidatkinja je primenila koncept zasnovan na principu regionalnih istraživanja hemijskog sastava podzemnih voda širih razmera. Izbor ove vrste istraživanja odgovara hidrogeodiverzitetu Srbije kojeg odlikuje velika raznolikost u pogledu podzemnih voda specifičnih karakteristika (bilo da se radi o sadržajima pojedinih komponenti hemijskog sastava, temperaturi, gasnom sastavu ili mineralizaciji). Kandidatkinja je izradila plan uzorkovanja podzemnih voda i terenskih istraživanja sačinjen tako da dobijeni hidrohemijiski rezultati omogućće testiranje postavljene hipoteze o upotrebi REE kao značajnih hidrogeohemijskih indikatora u funkciji različitih geoloških, hidrogeoloških i hidrohemijiskih faktora na regionalnom nivou. Kandidatkinja je u okviru faze prikupljanja podataka za izradu doktorske disertacije primenila terenske metode za uzorkovanje podzemnih voda i *in situ* merenja fizičko-hemijskih parametara (temperature, oksido-redukcionog potencijala, pH vrednosti, elektroprovodljivosti) i gasnog sastava (ugljen-dioksida, kiseonika i vodonik-sulfida) u okviru 190 lokacija podzemnih voda na teritoriji Srbije. Primenom savremenih metoda (masena spektrometrija sa indukovanom kuplovanom plazmom visoke rezolucije HR-ICP-MS) određen je sadržaj elemenata retkih zemalja u uzorcima podzemnih voda u Actlabs laboratoriji u Kanadi.

U okviru poslednje faze istraživanja, ključne za interpretaciju u hidrogeološkom smislu, kandidatkinja je sprovedla metodološke postupke usmerene u tri glavna pravca: upoznavanje hidrogeohemije REE kroz primenu tri grupe metoda (statističke metode, analiza frakcionacije REE, hidrogeohemijska REE analiza), analiza prostorne distribucije ustanovljenih REE hidrogeohemijskih karakteristika i interpretacija hidrogeohemijskih rezultata u regionalnom geološkom/hidrogeološkom okviru. Redosled istraživačkih aktivnosti bio je usklađen sa prirodom podataka i hidrogeohemijskim karakteristikama elemenata retkih zemalja.

Kandidatkinja je u doktorskoj disertaciji prikazala savremen pristup u interpretaciji izazovnih skupova podataka, koji sadrže različite redove veličina, a posebno važno – sadrže podatke ispod granice detekcije. U ovoj doktorskoj disertaciji detaljno je prikazan skup statističkih metoda kojim je opisana osnovna hidrogeohemija elemenata retkih zemalja (osnovna statistička analiza). Pored toga, primenom multivarijantnih statističkih analiza, kandidatkinja je uspešno izdvojila osnovne hidrogeohemijske facije, REE hidrogeohemijske oblasti i faktore, kao i multivarijantne ekstremne vrednosti (multivarijantna statistička analiza).

Posebno je važno naglasiti, da je u ovoj doktorskoj disertaciji prvi put prikazana metodologija za određivanje osnovnih koncentracija (engl. *background values*, BV) REE u podzemnim vodama Srbije (na uzorku od 190 pojava mineralnih i termalnih voda). Metodologija određivanja BV koncentracija zasnovana je na primeni neparametarskih statističkih metoda i metoda modeliranja koncentracija koje nisu jednoznačno mogle biti određene analitičkim metodama (vrednosti ispod granice detekcije, <GD, cenzurisani podaci). Postupak kojim je kandidatkinja uspešno prevazišla problem prisustva cenzuriranih podataka sa različitim procentom nedetektovanih vrednosti i sa većim brojem granica detekcije prisutnih u okviru jednog elementa (tzv. višestruko cenzurisani set) može da posluži kao model za druga hidrogeološka istraživanja koja razmatraju kvalitet podzemnih voda. Kako se elementi retkih zemalja, pored individualnog razmatranja, sagledavaju i kroz sumarne koncentracije REE, LREE, MREE i HREE, modeliranjem vrednosti ispod granice detekcije primenom ROS metode, izvršeno je određivanje BV vrednosti za sumarne varijable, ali takođe i formiranje necenzurisanog seta podataka koji je kandidatkinji omogućio integralnu kvalitativnu hidrogeohemijsku analizu ovih elemenata u razmatranim podzemnim vodama.

Kandidatkinja je osim analiza koncentracija, koje u osnovi imaju uobičajeni pristup primenjivan u istraživanjima podzemnih voda, upotrebila netradicionalni pristup izučavanju specifičnih ultramikrokomponenti. Definisala je REE indikatore što je omogućilo sticanje novih saznanja o hidrogeohemijskom poreklu podzemnih voda sa pojedinih lokacija.

Od velike naučne važnosti je analiza REE potpisa, koju je Maja Todorović uspešno primenila u istraživanju regionalne hidrogeologije Srbije i prezentovala u svojoj disertaciji, čime je doprinela naprednom pogledu u rešavanju pitanja geneze mineralnih i termalnih voda. Analiza REE potpisa izvršena je kroz analizu frakcionacije koja se zasniva na postupku normalizacije (istovremena analiza svih elemenata retkih zemalja poređenih u odnosu na isti referentni standardni materijal) čime se dobija jedinstven REE obrazac (engl. *pattern*) svakog uzorka. U okviru istraživanja kandidatkinja je koristila PAAS referentni materijal (Post-arhajski prosečni australijski škriljac). Na taj način, postignuto je jedinstveno sagledavanje i mogućnost upoređivanja podzemnih voda iz različitih izdani/hidrogeohemijskih sredina. Analizom normalizovanih podataka, Maja Todorović je prikazala tumačenje REE potpisa na osnovu analize oblika REE profila i izvedenih hidrogeohemijskih REE parametara predstavljenih međusobnim odnosima REE (LREE/MREE, MREE/HREE, LREE/HREE) i karakterističnim anomalijama europijuma (Eu), cerijuma (Ce) i itrijuma (Y). Primenom različitih softvera za hidrogeohemijsko modeliranje, kandidatkinja je u svojoj disertaciji prikazala osnovne jonske oblike u kojima se REE pojavljuju u podzemnim vodama. Rezultate statističkih analiza i rezultate hidrogeohemijskog modeliranja Maja Todorović je uspešno objedinila i prikazala uslove migracije REE u podzemnim vodama, a takođe, predočila mehanizme i procese koji utiču na retke zemlje i njihovu frakcionaciju.

Posebno treba istaći da je u doktorskoj disertaciji prikazana prostorna analiza hidrogeohemijskih REE karakteristika u odnosu na regionalni okvir prostora Srbije, uz razmatranje regionalne geologije kao neophodnog faktora za adekvatnu hidrogeohemijsku interpretaciju. Maja Todorović je u svojoj disertaciji istakla važnost primene REE u izučavanju porekla podzemnih voda i neophodnost razmatranja geološkog faktora za sveobuhvatnije razumevanje hidrogeoloških uslova. Upoznajući se sa opštim REE osobinama, jonskim oblicima u vodi i REE obrascima, kandidatkinja je uspešno prikazala hidrogeohemiju REE, a zatim je kroz primenu multivarijantnog statističkog pristupa uspela da izvrši pronalaženje tipskih (karakterističnih) REE potpisa za različite hidrogeološke sisteme, na regionalnom nivou.

3.4. Ocena primenjivosti i verifikacije ostvarenih rezultata

Kandidatkinja Maja Todorović, master inženjer geologije, je u doktorskoj disertaciji koristila metodološki okvir i ostvarila rezultate istraživanja koji mogu naći širu primenu prilikom rešavanja različitih problema u geološkim (geohemijskim) i hidrogeološkim istraživanjima. Postupak i metode zasnovane na neparametarskom pristupu, kojima je izvršila obradu cenzurisanih podataka, može poslužiti kao model prilikom rešavanja različitih multidisciplinarnih istraživanja u okviru kojih su ovakvi podaci prisutni, sa krajnjim ciljem adekvatne obrade i interpretacije dobijenih rezultata bez gubljenja značajnih informacija. Modeliranjem vrednosti ispod granice detekcije omogućen je razvoj sveobuhvatnog pristupa elementima retkih zemalja, kojim je obuhvaćena analiza individualnih elemenata i suma elemenata koji čine grupe lakih, srednjih i teških REE, kao i izračunavanje interelementnih odnosa i karakterističnih anomalija.

Primenjena metodologija zasnovana na regionalnom konceptu omogućila je dobijanje uvida u regionalnu distribuciju REE u podzemnim vodama, sa definisanjem osnovnih hidrogeohemijskih faktora, a primenjeni koncept može poslužiti u regionalnim istraživanjima drugih komponenti hemijskog sastava podzemnih voda.

Kandidatkinja je analizirala koncentracije REE u podzemnim vodama iz različitih regionalnih i intermedijarnih hidrogeoloških sistema u okviru kojih se javljaju vode specifičnih karakteristika i na taj način dala svojevrstan doprinos regionalnoj hidrogeologiji Srbije, imajući u vidu da je primenom multivarijantne statističke analize prilagođene cenzurisanim podacima obrađeno 190 pojava podzemnih voda širom Srbije. Kandidatkinja izdvaja osam regionalnih hidrogeoloških sistema, gde su se elementi retkih zemalja pokazali kao značajni litološki i hidrogeološki indikatori, čime se doprinelo nadgradnji saznanja o uslovima formiranja hemijskog sastava podzemnih voda, posebno mineralnih i termalnih, na regionalnom nivou.

Terenskim istraživanjima sprovedenim za potrebe ove doktorske disertacije formirana je obimna baza podataka o fizičko-hemijskim parametrima, gasnom i osnovnom hemijskom sastavu, čijom analizom je kandidatkinja definisala osnovne hidrogeohemijske facije. Detaljnom uporednom analizom REE hidrogeohemijskih potpisa i osnovnih facija podzemnih voda u okviru izdvojenih regionalnih hidrogeoloških sistema, kandidatkinja je pokazala da interpretacija osnovnog sastava samo generalno predstavlja indikator porekla, dok je za razumevanje karakterizacije i funkcionisanja regionalnih hidrogeoloških sistema neophodno razmotriti komponente koje nose značajne hidrogeološke informacije.

3.5. Ocena sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidatkinja Maja Todorović, master inženjer geologije, uspešno je odgovorila na ciljeve postavljene u predlogu za izradu ove doktorske disertacije, što ukazuje na njenu sposobnost da objektivno i u celini sagleda istraživački proces i uslove potrebne za njegovu realizaciju. U istraživačkom radu izvršila je odabir najpogodnijih “klasičnih” kabinetskih, laboratorijskih i terenskih metoda koje su doprinele definisanju hidrogeohemijskih karakteristika elemenata retkih zemalja u podzemnim vodama i upotrebi ovih elemenata u izučavanjima pitanja porekla podzemnih voda. Imajući u vidu prirodu podataka, kandidatkinja je uspešno prevazišla izazov prisustva cenzurisanih podataka, koji u određenoj meri otežavaju interpretaciju komponenti hemijskog sastava i dala doprinos regionalnom sagledavanju kvaliteta podzemnih voda kroz primenu elemenata retkih zemalja u izdvajanju i karakterizaciji hidrogeoloških sistema. Sposobnost za samostalni naučni rad pokazala je realizacijom planiranog istraživanja od početne ideje do završetka doktorske disertacije. Kandidatkinja je tokom izrade disertacije uspešno publikovala i prezentovala naučne radove na osnovu rezultata svojih istraživanja. Svojim učešćem na konferencijama i naučnim skupovima, Maja Todorović dala je doprinos implementaciji novih metoda i pristupa istraživanjima hemijskog sastava podzemnih voda sa isticanjem značaja poznavanja i adekvatnog korišćenja ultramikrokomponenti u interpretaciji geneze podzemnih voda.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenog naučnog doprinosa

- Ova doktorska disertacija predstavlja prvo regionalno izučavanje elemenata retkih zemalja u podzemnim vodama (REE) u kojem su definisani hidrogeohemijski faktori koji utiču na distribuciju elemenata retkih zemalja (u podzemnim vodama na prostoru Srbije).
- Prilikom izrade doktorske disertacije izvršeno je uvođenje savremenih pristupa u hidrogeohemijska istraživanja, koji se bave problematikom prirode i mogućnosti upotrebe cenzuriranih podataka u hidrogeološkim analizama.
- Metodološki okvir razvijen je u pravcu izučavanja cenzuriranih vrednosti primenom neparametarskog statističkog pristupa, čime je omogućena adekvatna i naučno osnovana implementacija ovakve vrste podataka. Korišćenjem cenzuriranih vrednosti izbegnuto je stvaranje lažne slike o sadržaju elemenata u vodi, budući da vrednosti granice detekcije nose značajne informacije, i u ovom istraživanju omogućilo je relevantnu interpretaciju i donošenje važnih zaključaka. Primenjene su odgovarajuće statističke metode (neparametarske metode, zasnovane na analizi preživljavanja), koje su u skladu sa prirodom podataka predstavljale polaznu osnovu za definisanje osnovnih koncentracija REE u podzemnim vodama. Osnovne koncentracije (engl. *background values*) ustanovljene su za individualne elemente La-Lu i Y, kao i za sumarne koncentracije LREE, MREE, HREE i REE.
- Primenom koncepta REE potpisa, unapređen je tradicionalni/dosadašnji način sagledavanja, kako koncentracija, tako i hidrogeohemijskog značenja komponenti hemijskog sastava podzemnih voda. REE potpisi predstavljeni su kao skup hidrogeoloških informacija koje se stiču tokom toka podzemnih voda, i izraženi su kvantifikovanjem REE obrasca kroz interelementne odnose i karakteristične anomalije.
- Ustanovljeno je da posmatranje koncentracija elemenata retkih zemalja isključivo kao numeričkog pokazatelja sadržaja u podzemnoj vodi, dovodi do zanemarivanja značajnih hidrogeohemijskih, a potom i hidrogeoloških indikacija i zato su primenom metode normalizacije i analize frakcionacije omogućeni uslovi za razumevanje upotrebe REE u hidrogeohemijskim a potom i u hidrogeološkim istraživanjima.
- Normalizacijom, analizom frakcionacije, hidrogeohemijskim modeliranjem kao i izučavanjem uslova i mehanizama pojave REE u podzemnim vodama, omogućeno je sagledavanje REE potpisa individualnih uzoraka, uporedivost velikog broja uzoraka. Ustanovljeni su osnovni uslovi koji dovode do migracije REE u vodi i pojave karakterističnih REE obrazaca. Rezultati ovih analiza pokazali su da ustanovljena zavisnost od određenih fizičko-hemijskih parametara (oksidoredukциони uslovi, temperatura), ali i odsustvo teorijski očekivanih zavisnosti (pH), predstavljaju pokazatelj izuzetno složenih regionalnih hidrogeoloških uslova formiranja podzemnih voda.
- Primenom multivarijantne statističke analize (*Two way* hijerarhijska klaster analiza) omogućeno je izdvajanje grupa podzemnih voda sličnih REE osobina i definisani su osnovni REE faktori koji predstavljaju indikatore uslova formiranja hemijskog sastava na regionalnom nivou. Zajedničkom interpretacijom ostvarenih rezultata, kroz regionalno sagledavanje geoloških i hidrogeoloških karakteristika, izvršena je delineacija i karakterizacija osnovnih regionalnih hidrogeoloških sistema prema dominantnim REE faktorima. Razmatranja REE obrazaca, interelementnih odnosa i anomalija koji su sadržani u osnovnim REE faktorima doprinelo je razumevanju hidrogeoloških sistema.

- Faktor koji je predstavljen tzv. *hidrogeohemijskom mineralizacijom* izdvojio je vode sa povišenim koncentracijama REE, čime su istaknuti specifični hidrogeološki sistemi u okviru kojih se vrši obogaćivanje ovim elementima. Preostali faktori su nazvani *LREE, MREE i HREE obogaćenje* i oni kvantitativno interpretiraju ključne delove REE obrasca i predstavljaju važne hidrogeohemijske indikatore: (1) kvantifikacija LREE obogaćenja i anomalija cerijuma ukazuje na uticaj litogeohemijske sredine, na promene oksido-redukcionih uslova, i na prisustvo suspendovanih čestica duž toka podzemnih voda; (2) MREE obogaćenje i anomalija europijuma ukazuju na rastvaranje kiselih magmatskih stena, plagioklasa, fosfatnih minerala, minerala gvožđa i mangana, zatim ukazuje na izmenu pH uslova, kao i na redukcione i visokotemperaturne uslove u izdani; (3) značajni hidrohemijski proces stvaranja stabilnih hidrokarbonatnih jona sa HREE ukazuje na HREE obogaćenje, koje u osnovi predstavlja osnovni proces kontrole REE u malomineralizovanim vodama izdani bazičnih i karbonatnih stena, dok je u ovom istraživanju ukazao i na rastvaranje HREE obogaćenih minerala, kao i na dužu cirkulaciju podzemnih voda.
- Izdvojene su hidrogeohemijske oblasti sa karakterističnim REE potpisima, koje su ukazale na značajnost prostornog sagledavanja u geološkom i hidrogeološkom kontekstu i doprinele boljem razumevanju regionalnih hidrogeoloških uslova na teritoriji Srbije.
- Rezultati su pokazali da se regionalni hidrogeološki sistemi nalaze u funkciji značajnih tektonskih struktura, geotektonskih jedinica, litogeohemijskih sredina, ali i hidrogeoloških karakteristika i uslova cirkulacije.
- Značajni hidrogeološki sistemi razvijeni su u zoni južnog oboda Panonskog basena usled uticaja Miocenskih granita S-tipa, koji su uzrokovali pojavu visokih koncentracija REE i najmanje anomalije Eu. U okviru granita južno od ove zone (I-tip i stariji graniti) formirane su drugačije hidrogeološke strukture u kojima se pojavljuju podzemne vode povišenih HREE koncentracija i negativne anomalije cerijuma, ukazujući na dominantno hidrohemijsku kontrolu REE. Uticaj vulkanita oligo-miocenske starosti definisan je kroz LREE obogaćenje voda u okviru specifičnih hidrogeoloških struktura, ali i hidrogeoloških sistema formiranih u intrakontinentalnim dinaridskim neogenim depresijama gde su formirani baseni sa značajnim prisustvom vulkanogenog materijala. Specifičan hidrogeohemijski REE potpis izdvojio je basene sa dominantno morskim uslovima sedimentacije u zoni Panonskog basena gde se javljaju tzv. „hidrohemijski zrele vode“. Značaj regionalnih tektonskih sistema na formiranje hemijskog sastava u okviru karbonatnih stena ogleda se u pojavi karakteristične HREE frakcionacije odnosno obogaćenja.
- Izdvajanje regionalnih hidrogeoloških sistema analizom sadržaja REE u podzemnim vodama, prvenstveno se zasniva na različitim odnosima između LREE, MREE i HREE. U ovom smislu, koncentracije hidrohemijskih komponenti značajne su samo u smislu utvrđivanja interelementnih odnosa, jer se sličnost između REE obrazaca može uvideti i kod koncentracija koje se razlikuju i po nekoliko redova veličina. Na ovaj način REE potpis ukazuje na određene procese funkcionisanja hidrogeološkog sistema nezavisno od sadržaja elemenata i upravo je to ono što ovu grupu čini značajnom u istraživanju porekla podzemnih voda.
- U cilju objedinjavanja i jednostavnijeg prikaza osnovnih informacija sadržanih u REE profilu, sumirane su hidrogeohemijske i hidrogeološke indikacije osnovnih REE parametara. Na ovaj način se omogućava uspostavljanje osnovnih principa hidrogeohemijskog tumačenja individualnih REE potpisa. Vizuelna inspekcija multielementnih dijagrama kroz izvedene REE parametre, zajedno sa njihovim vrednostima, može da doprinese rešavanju pitanja geneze razmatranog uzorka podzemnih voda.

- Izrađena disertacija je u saglasnosti sa odobrenom prijavom u pogledu prethodno postavljenih ciljeva i predviđenog naučnog doprinosa, koji su njenom izradom i realizovani.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Prilikom terenskih istraživanja, laboratorijskih analiza i obrade rezultata u sklopu izrade ove doktorske disertacije primenjene su najsavremenije naučne metode i softverski paketi, kao i rezultati instrumenata visokog nivoa preciznosti. Uprkos tome, u rezultatima laboratorijskih analiza prisutan je određen procenat vrednosti ispod granice detekcije instrumenta (tzv. cenzurisane vrednosti). Kandidatkinja je u svom radu uspešno prevazišla navedeni problem i kroz posebno poglavlje predstavila pristup analizi cenzurisanih vrednosti primenivši ProUCL softver koji je našao veliku primenu u analiziranju hemijskog sastava voda, razvijen od strane Agencije za zaštitu životne sredine Sjedinjenih Američkih država (engl. Environmental Protection Agency-US EPA), i softver Minitab 17 sa posebno razvijenim NADA (engl. Nondetects And Data Analysis) paketom razvijenim od strane USGS (engl. United States Geological Survey) za analizu nedetektovanih vrednosti. Prilikom definisanja hidrohemijskih faktora sa uticajem na distribuciju elemenata elemenata retkih zemalja i izdvajanjem regionalnih hidrogeohemijskih klastera podzemnih voda, moguća su određena odstupanja upravo usled prisustva nedetektovanih vrednosti. Unapređenje regionalnog modela izdvojenih hidrogeoloških sistema ostvariće se kroz definisanje sadržaja rastvorenih koncentracija REE u odnosu na suspendovane i koloidne oblike, kako bi se detaljnije izučili hidrogeološki uslovi u izdani. 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 naučnog doprinosa

Naučni doprinos i rezultati istraživanja dobijeni tokom izrade ove disertacije verifikovani su radovima koji su objavljeni u nekoliko međunarodnih časopisa, a kandidatkinja je prvopotpisani autor na jednom radu kategorije M22. U nastavku su dati naslovi radovi koji verifikuju rad kandidatkinje na disertaciji.

Spisak do sada objavljenih radova kandidata:

Radovi u SCI časopisima (M 20):

1. (M22) **Todorović M.**, Ćuk Đurović M., Štrbački J., Papić P. *Rare earth elements in mineral waters in Serbia*. *Environ Earth Sciences* 79, 290 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09029-9> IF 2.253
2. (M22) Ćuk Đurović M., Jemcov I., **Todorović M.**, Maldenović A., Papić P., Štrbački J. *Predictive modeling for U and Th concentrations in mineral and thermal waters, Serbia*. *Environ Earth Sci* 79, 456 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09204-y> IF 2.253
3. (M23) Stojković J., Marinković G., Papić P., Milivojević M., **Todorović M.**, Ćuk M.: *The analysis of the geothermal energy capacity for power generation in Serbia*, *Thermal Science*, Vol 21, No 6, 2013, pp 1783-1790. (IF 0.838, ISSN 0354-9836 printed edition).
4. (M23) Papić P., Ćuk M., **Todorović M.**, Stojković J., Hajdin B., Atanacković N., Polomčić D.: *Arsenic in Tap Water of Serbia's South Pannonian Basin and Arsenic Risk Assessment*,

Polish Journal of Environmental Studies, Vol 21, No 6, 2012, pp. 1783-1790. (IF 0.462, ISSN 1230-1485 printed edition) (IF 0.462, ISSN 1230-1485 printed edition).

5. (M23) Ćuk M., **Todorović M.**, Šišović J., Štrbački J., Andrijašević J., Papić P.: *Hydrogeochemical approach to estimate the quality of bottled waters in Serbia*, Hemijska industrija, 2015 OnLine-First Issue 00, Pages: 42-42; doi:10.2298/HEMIND150325042C; ISSN 2217-7426 (Online) (IF 0.51)
6. (M23) Papić P., Pušić M., **Todorović M.**: *Water quality as an indicator of hydrogeological conditions: a case study of the Belgrade Groundwater Source (Sava/Danube confluence area)*, Water Science and Technology, Vol 65, No 12, 2012, pp 2265 – 2271. (IF 1.1, ISSN0273-1223 printed edition).
7. (M23) Kovačević J., **Todorović M.**, Ćuk M., Papić P. *Geochemical study of U, Th and REE mineralizations in Jurassic sediments and hydrochemical characterization of groundwaters in Eastern Serbia – Case study: Plavna area*. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 2016, Vol. 11, No 2, p. 463 – 474 (IF 0.88)

Radovi u međunarodnim monografijama:

1. (M13) **Todorović M.**, Štrbački J., Ćuk M., Andrijašević J., Šišović J., Papić P.: *Mineral and Thermal Waters of Serbia: Multivariate Statistical Approach to Hydrochemical Characterization*, in Mineral and Thermal Waters of Southeastern Europe, Papić P. (ed). Springer International Publishing, 2016, pp 81-95.
2. (M13) Ćuk M., **Todorović M.**, Papić P., Kovačević J., Nikić Z.: *Hydrogeochemistry of Uranium in the Groundwaters of Serbia*, in Uranium - Past and Future Challenges, Merkel B.J., Arab A. (eds). Springer International Publishing Switzerland, 2015, pp 769-776.

Radovi objavljeni u nacionalnim naučnim i stručnim časopisima (M24 i M50)

1. (M24) **Todorović M.**, Papić P., Ćuk M., Stojković J.: *Rare earth elements in some bottled waters of Serbia*, Geološki anali Balkanskog poluostrva, Vol 74, 2013, pp 71-81.
2. (M24) Stojković J., Papić P., Ćuk M., **Todorović M.**: *Application of factor analysis in identification of dominant hydrogeochemical processes of some nitrogenous groundwater of Serbia*, Geološki anali Balkanskog poluostrva, Vol 74, 2013, pp 57-62.
3. (M24) Milosavljević J., Andrijašević J., **Todorović M.**: *Distribution of magnesium in groundwater of Serbia*, Geološki anali Balkanskog poluostrva, Vol 74, 2013, pp 83-90.
4. (M52) Papić P., Ćuk M., **Todorović M.**: *Arsen u podzemnim vodama Bačke*, Tehnika, Vol 6, Beograd, 2011, pp 939-947.

Radovi objavljeni na naučnim i stručnim skupovima (Nacionalnim M60 i međunarodnim M30):

5. (M33) Papić P., Milijić Z., Stojković J., Milosavljević J., **Todorović M.**, Ćuk M., Kamberović Ž.: *Geoenvironmental investigations at a smelter location in Bor (Serbia)*, International conference on land conservation – LANDCON 1209, Sustainable land management and climate changes, Conference Abstracts, Donji Milanovac 2012, pp 45.
6. (M33) **Todorović M.**, Ćuk M., Milosavljević J.: *Nitrates in groundwater of Serbia*, Proceedings of the 3rd International geosciences student conference, Belgrade 2012.

7. (M33) Ćuk M., **Todorović M.**, Milosavljević J.: *Arsenic occurrence in groundwater of Southern part of Pannonian basin (Serbia)*, Proceedings of the 3rd International geosciences student conference, Belgrade 2012.
8. (M33) Milosavljević J., **Todorović M.**, Ćuk M.: *Pesticides in geoenvironment and influential factors on health*, Proceedings of the 3rd International geosciences student conference, Belgrade 2012.
9. (M 34) Štrbački J., Papić P., Zupančič N., Ćuk M., **Todorović M** (2017): *Migration of essential microelements in different types of mineral waters: Examples from Serbia*, Book of Abstracts from 44th Annual Congress of the IAH – Groundwater Heritage and Sustainability, Dubrovnik, Croatia, September 25th to 29th 2017, ISBN 978-953-6907-61-8, Pp. 426
10. (M 34) Papić P., Milijić Z., Stojković J., Milosavljević J., **Todorović M.**, Ćuk M. and Kamberović Ž. (2012): *Geoenvironmental investigations at a smelter location in Bor (Serbia)*, Conference Abstracts of International conference on land conservation – LANDCON 1209, Sustainable land management and climate changes, 17-21. September 2012, Danube Region, Serbia, ISBN 978-86-7299-205-2, Pp. 45
11. (M 34) **Todorović M.**, Papić P, 2017. *The study of rare earth elements migration in different hydrogeochemical environments*. In: Groundwater Heritage and Sustainability, Posavec K, Marković T. (eds.), Book of Abstracts, ISBN: 978-953-6907-6 1 -8, IAH. pp. 426, Dubrovnik September 25th to 29th 2017, Croatia.
12. (M 34) Štrbački Jana, Papić Petar, Zupančič Nina, Ćuk Marina & **Todorović Maja** (2017): *Migration of essential microelements in different types of mineral waters: Examples from Serbia*, Book of Abstracts from 44th Annual Congress of the IAH – Groundwater Heritage and Sustainability, Dubrovnik, Croatia, September 25th to 29th 2017, ISBN 978-953-6907-61-8, Pp. 426
13. (M 34) **Todorović M.**, Ćuk M, Štrbački J, Papić P, Jemcov I. 2019. *Understanding and Importance of Rare Earth Elements in Hydrogeological Systems*. In: Proceedings of 4th Conference of the IAH CEG (Central European Group of IAH) and Guide of Geotrip of the IAH Karst Commission (eds. Stevanović Z, Živanović V, Milanović P.), pp. 93-94. ISBN 978-86-86053-22-0
14. (M 34) Ćuk M., Jemcov I., **Todorović M.**, Mladenović A. 2019. *Hydrogeochemical pathways of the karst-fissured aquifer system, Pirot (Serbia)*. In: Proceedings of 4th Conference of the IAH CEG (Central European Group of IAH) and Guide of Geotrip of the IAH Karst Commission (eds. Stevanović Z, Živanović V, Milaović P.), pp. 77-78. ISBN 978-86-86053-22-0
15. (M63) **Todorović M.**, Ćuk M.: *Nitrati u podzemnim vodama Srbije*, Zbornik radova sa XIV Srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Zlatibor 2012, , pp 607-610.
16. (M63) Ćuk M., **Todorović M.**, Stojković J.: *Arsen u podzemnim vodama za vodosnabdevanje Vojvodine*, Zbornik radova sa XIV Srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Zlatibor 2012, pp 611-615.
17. (M63) Papić P., Milijić Z., Stojković J., Milosavljević J., **Todorović M.**, Ćuk M.: *Ekogeochemijska ispitivanja za potrebe izgradnje nove fabrike sumporne kiseline u RTB Bor*, Zbornik radova sa III Simpozijuma sa međunarodnim učešćem „RUDARSTVO 2012”, Zlatibor 2012, pp 425-430.

18. (M63) Štrbački J., Ćuk M., **Todorović M.**, Milosavljević J., Andrijašević J.: *Chemometric approach to data processing in hydrogeological research*, Proceedings of the XVI Serbian Geological Congress, Donji Milanovac 2014, pp 490-493.
19. (M63) Štrbački J., **Todorović M.**, Ćuk M., Andrijašević J., Papić P. 2016. *Hidrohemijska karakterizacija mineralnih voda Srbije primenom multivarijantne statističke analize*, Zbornik radova XV srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, 14-17.09.2016, Kopaonik, Srbija, ISBN 978-86-7352-316-3, Pp. 321-324
20. (M63) **Todorović M.**, Papić P. 2016. *Hidrohemijski podaci ispod granice detekcije u hidrogeološkim istraživanjima*, Zbornik radova XV srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, 14-17.09.2016, Kopaonik, Srbija, ISBN 978-86-7352-316-3, Pp. 375-380
21. (M64) Ćuk M, **Todorović M.**, Jemcov I. 2019 *Hidrohemijski odgovor karstne izdani u uslovima formirane hidruličke barijere – primer brane Lazići, Tara*. Knjiga apstarkata 9. Simpozijuma o zaštiti karsta (eds. Ćalić J, Mladenović A, Budinski I), Akademski speleološko – alpinistički klub (ASAK), pp. 26, ISBN 978-86-907923-4-4.

4.4. Provera originalnosti doktorske disertacije

Provera originalnosti doktorske disertacije „Hidrogeohemija elemenata retkih zemalja u podzemnim vodama Srbije”, kandidatkinje Maje Todorović urađena je u skladu sa Pravilnikom o postupku provere originalnosti doktorskih disertacija koje se brane na Univerzitetu u Beogradu (Glasnik Univerziteta u Beogradu, br. 204/22.06.2018). Prema programu *iThenticate*, konstatovano je da utvrđena količina podudaranja teksta po parametru Indeks sličnosti (Index Similarity) iznosi 6%. Analizom je ukupno obuhvaćeno 54901 reči od čega su 192 identične sa različitim izvorima, što iznosi manje od 1%. Preklapanja manja od 4% nađena su sa prethodno publikovanim rezultatima doktorandovih istraživanja, koji su proistekli iz rada na disertaciji, literaturnim navodima, bibliografskim podacima o korišćenoj literaturi, opštim pojmovima, skraćenicama ili formulama. S obzirom da je kandidatkinja dosledno poštovala sve akademske norme pri citiranju i parafraziranju literaturnih izvora, smatramo da je disertacija u potpunosti originalna i rezultat samostalnog rada.

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG KOMISIJE

Doktorska disertacija kandidatkinje Maje Todorović, master inženjera geologije, pod naslovom „Hidrogeohemija elemenata retkih zemalja u podzemnim vodama Srbije”, predstavlja obiman, sadržajan i originalni naučni rad iz uže naučne oblasti hidrogeologije, koji razmatra složenu problematiku definisanja hidrogeohemijskih karakteristika elemenata retkih zemalja sa aspekta upotrebe u hidrogeološkim istraživanjima.

Maja Todorović je afirmisani istraživač zaposlen na Departmanu za hidrogeologiju Rudarsko-geološkog fakulteta sa ukupno 30 publikovanih radova, od čega je 7 publikovano u vodećim međunarodnim časopisima (M20) i 2 u međunarodnoj monografiji (M13). Učestvovala je u više naučno-istraživačkih studija i sarađivala je na održavanju nastave na matičnom departmanu Rudarsko-geološkog fakulteta.

Prilikom izrade doktorske disertacije, primenjen je multidisciplinarni pristup sa upotrebom savremenih metoda što je hidrogeohemijska analiza kvalitativnih osobina podzemnih voda i geostatistika - analiza prostorne distribucije podataka sa neparаметarskim statističkim metodama.

Maja Todorović je za potrebe disertacije obavila terenska istraživanja, laboratorijska ispitivanja kao i potrebne kabinetske analize, čime je došla do relevantnih rezultata kojima je odgovorila na ciljeve postavljene pri odobravanju teme disertacije.

Ovom doktorskom disertacijom kandidatkinja je ostvarila značajan doprinos definisanju hidrogeohemijskih uslova koji utiču na distribuciju elemenata retkih zemalja u podzemnim vodama, a ovom disertacijom su prvi put uspostavljene prirodne koncentracije REE u podzemnim vodama Srbije. Kako je ovo prva disertacija koja se u našoj zemlji bavi ovom problematikom, kandidatkinja je sagledala dosadašnja inostrana naučna i stručna iskustva kroz publikovane radove, i sama razvila metodološki koncept istraživanja REE ultramikrokomponenti kroz regionalno sagledavanje REE potpisa podzemnih voda. Celokupna sprovedena metodologija rezultirala je karakterizacijom regionalnih hidrogeoloških sistema, kojom se naglašava neophodnost savremenog i sistematskog pristupa prilikom korišćenja hidrohemijskih podataka i rešavanja hidrogeohemijskih problema.

Ovom doktorskom disertacijom i publikovanim radovima sa ovom problematikom, dat je doprinos regionalnim hidrogeohemijskim istraživanjima u Srbiji.

Analizirajući doktorsku disertaciju kandidatkinje Maje Todorović komisija je zaključila da ova disertacija predstavlja značajan samostalni rad, i da nosi originalni naučni doprinos u oblasti geologije i hidrogeologije, da je u svemu izrađena u skladu sa standardima naučno-istraživačkog rada i prema propisima, i predlaže Naučno-nastavnom veću Rudarsko-geološkog fakulteta da disertaciju stavi na uvid javnosti, ovaj izveštaj prihvati i uputi Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu radi konačnog usvajanja nakon čega bi se pristupilo usmenoj odbrani disertacije pred komisijom u istom sastavu.

dr Petar Papić, redovni profesor u penziji, mentor
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

dr Igor Jemcov, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

dr Vladica Cvetković, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

dr Marina Ćuk Đurović, naučni saradnik
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

dr Jovan Kovačević, viši naučni saradnik
Geološki zavod Srbije