

UNIVERZITET U BEOGRADU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET
NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata **Nemanje Baraća**, master inženjera tehnologije.

Odlukom br. 35/98 Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, od 20. 04. 2017. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata **Nemanje Baraća**, master inženjera tehnologije, pod naslovom:

“Mobilnost i biodostupnost odabranih elemenata u poljoprivrednom zemljištu aluviona reke Ibar”

Posle pregleda dostavljene Disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa Kandidatom, Komisija je sačinila sledeći

R E F E R A T

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

2009/2010. – Kandidat Nemanja Barać upisao je doktorske akademske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, studijski program Inženjerstvo zaštite životne sredine.

27.09.2012. – Kandidat Nemanja Barać odbranio je Završni ispit – pristupni rad za izradu doktorske disertacije, pod nazivom: „Statistička analiza sadržaja teških metala u životnoj sredini u oblasti srednjeg i donjeg toka reke Ibar“, sa ocenom 10, pred komisijom u sastavu: prof. dr Rada Petrović, prof. dr Mirjana Ristić, prof. dr Željko Kamberović.

29.06.2015. – Kandidat Nemanja Barać predložio je temu doktorske disertacije, pod nazivom: „Mobilnost i biodostupnost odabranih elemenata u poljoprivrednom zemljištu aluviona reke Ibar“.

09.07.2015. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka br. 35/313 o imenovanju Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Nemanje Baraća, za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme: „Mobilnost i biodostupnost odabranih elemenata u poljoprivrednom zemljištu aluviona reke Ibar“.

17.09.2015. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka br. 35/422 kojom se usvaja zahtev Nemanje Baraća, studenta doktorskih akademskih studija, br. indeksa 4043/2009 i odobrava produženje roka za završetak studija za još dva semestra školske 2015/2016. godine.

22.10.2015. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka br. 35/501 o prihvatanju Referata Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata i odobravanju izrade doktorske disertacije kandidata Nemanje Baraća, pod nazivom: „Mobilnost i biodostupnost odabranih elemenata u poljoprivrednom zemljištu aluviona reke Ibar”, a za mentora je imenovana dr Rada Petrović, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

23.11.2015. – Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije kandidata Nemanje Baraća pod nazivom: „Mobilnost i biodostupnost odabranih elemenata u poljoprivrednom zemljištu aluviona reke Ibar” (Odluka br. 61206-5056/2-15).

29.09.2016. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka br. 35/484 kojom se usvaja zahtev Nemanje Baraća, studenta doktorskih akademskih studija, br. indeksa 4043/2009 i odobrava produženje roka za završetak studija za još dva semestra školske 2016/2017. godine.

20.04.2017. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka br. 35/98 o imenovanju Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Nemanje Baraća sa temom: „Mobilnost i biodostupnost odabranih elemenata u poljoprivrednom zemljištu aluviona reke Ibar”.

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Inženjerstvo zaštite životne sredine, za koju je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu matična ustanova. Za mentora je izabrana dr Rada Petrović, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta, Univerziteta u Beogradu. Mentor dr Rada Petrović je do sada publikovala preko 70 radova u naučnim časopisima sa SCI liste i rukovodila izradom 13 odbranih doktorskih disertacija, što govori o kompetentnosti da rukovodi izradom ove doktorske disertacije.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Nemanja Barać je rođen 22.07.1985. godine u Smederevu. Gimnaziju, prirodno-matematičkog smera, završio je 2004. godine u Kosovskoj Mitrovici. Iste godine upisao je Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici na studijskom programu „Tehnologija“, smer „Inženjerstvo zaštite životne sredine“. Osnovne akademske studije završio je 2008. godine, odbranivši završni rad “Teški metali u vazduhu na području severnog dela Kosova i Metohije”, sa ocenom 10. Diplomске akademske studije završio je na istom fakultetu,

odbranivši master rad pod nazivom: "Karakterizacija flotacijske deponije Bostanište i njen uticaj na životnu sredinu" 2009. godine, sa ocenom 10. Školske 2009/2010. godine upisao je doktorske akademske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na studijskom programu Inženjerstvo zaštite životne sredine. U okviru doktorskih studija položio je sve ispite predviđene planom i programom, uključujući i završni ispit pod nazivom „Statistička analiza sadržaja teških metala u životnoj sredini u oblasti srednjeg i donjeg toka reke Ibar“.

Kao stipendista-doktorand istraživač bio je angažovan na projektu tehnološkog razvoja, ev. br. TR-21025 Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u periodu od 2009-2010. god. Od 2011. godine zaposlen je u Inovacionom centru Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu i angažovan na projektu Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije, program tehnološkog razvoja, iz oblasti uređenja, zaštite i korišćenja voda, zemljišta i vazduha, ev. broj TR-37016.

2.OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija Nemanje Baraća, master inženjera tehnologije, pod nazivom: „Mobilnost i biodostupnost odabranih elemenata u poljoprivrednom zemljištu aluviona reke Ibar” napisana je na ukupno 209 strana. U okviru doktorske disertacije se nalaze 32 slike, 31 tabela, 236 literaturnih navoda i sledeća poglavlja: Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija, Zaključak, Literatura i Prilozi. Na početku disertacije, pored podataka o mentoru i članovima komisije, nalazi se Zahvalnica, kratak Rezime na srpskom i engleskom jeziku i Sadržaj, nakon kojeg slede Spisak skraćena i simbola, Spisak slika, Spisak tabela, dok su prilozi i biografija kandidata dati na kraju. Nakon biografije autora priložene su i izjave o autorstvu, istovetnosti štampane i elektronske verzije rada i izjava o korišćenju.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U *Uvodu* je obrazložen predmet istraživanja i istaknuti su ciljevi ove doktorske disertacije. U ovom poglavlju je kao osnovni cilj istraživanja definisano određivanje sadržaja odabranih hemijskih elemenata (Pb, Zn, Cd, As, Cu, Sb, Hg, Ni i Cr) u poljoprivrednom zemljištu aluviona reke Ibar na širem području, koje obuhvata njegov srednji i donji tok, i određivanje sadržaja ovih elemenata u biljnim vrstama uzgajanim na tom zemljištu. Pored toga, posebna pažnja je usmerena na primenu sekvencijalne ekstrakcione procedure za određivanje mobilnosti i potencijalne biodostupnosti odabranih hemijskih elemenata iz zemljišnih supstrata. Kao ciljevi ove doktorske disertacije, u uvodnom delu, navedeni su i određivanje porekla elemenata u poljoprivrednom zemljištu primenom multivarijacione analize, analiza povezanosti između sadržaja elemenata u različitim frakcijama zemljišta i akumulacije u biljkama uzgajanim na području istraživanja. Kao biljke biomonitori u ovom istraživanju

izabrane su krompir (*Solanum tuberosum L.*) i kukuruz (*Zea mays L.*), povrtarske vrste koje se široko uzgajaju i konzumiraju na području istraživanja i čijom analizom se mogu dobiti informacije o doprinosu unosa toksičnih elemenata i riziku po zdravlje konzumenata.

Poglavlje *Teorijski deo* se sastoji od ukupno pet potpoglavlja: *Kratak istorijat razvoja industrijske proizvodnje na području istraživanja i literaturni pregled dosadašnjih istraživanja; Zemljište, koncept i definicija; Analiza hemijskih elemenata u zemljištu; Induktivno spregnuta plazma sa optičkom emisijom spektrometrijom (ICP-OES) i Hemometrijski pristup obradi podataka.* U delu koji se odnosi na kratak istorijat razvoja industrijske proizvodnje na području istraživanja prikazan je razvoj proizvodnje olova i cinka u jednom delu područja istraživanja, zatim je dat literaturni pregled u kome su opisana dosadašnja istraživanja koja su imala za cilj analizu zagađenja životne sredine na području severnog dela Kosova i Metohije. U teorijskom delu, takođe su opisani faktori koji utiču na nastajanje zemljišta, opisan je sastav i profili zemljišta, definisani tekstura i klasifikacija zemljišta. Pored toga, opisani su različiti pristupi u analizi hemijskih elemenata u zemljištu i prikazane su različite procedure određivanja elemenata u zemljištu, sa posebnim osvrtom na BCR (*Bureau Communautaire de Référence*) sekvencijalnu ekstrakciju. Takođe, objašnjeni su osnovni principi indukovano spregnute plazme – optičke emisije spektrometrije (ICP-OES) i opisane su hemometrijske metode, sa osvrtom na primenu u analizi zemljišta.

Poglavlje *Eksperimentalni deo* je podeljeno na ukupno jedanaest potpoglavlja: *Plan rada, Uzorkovanje poljoprivrednog zemljišta i uzgajanih biljaka, Priprema uzoraka za analizu, Priprema laboratorijskog materijala i reagenasa, Postupak BCR sekvencijalne ekstrakcije, Mikrotalasna digestija uzoraka krompira i kukuruza, Uređaji i oprema korišćeni u eksperimentalnom radu, Kontrola kvaliteta, Fizičko-hemijska karakterizacija uzoraka zemljišta, Procena zagađenja i rizika i Statistička obrada podataka.* U eksperimentalnom delu predstavljen je plan rada i prikazano je i opisano područje istraživanja, dat je opis metodologije uzorkovanja poljoprivrednog zemljišta i uzgajanih biljaka. Opisana je priprema uzoraka za analizu, priprema materijala, kao i prikaz eksperimentalnih uslova metode hemijske analize primenom ICP-OES. Detaljno je opisan postupak modifikovane BCR sekvencijalne ekstrakcije uzoraka zemljišta i prikazana sprovedena kontrola kvaliteta. Takođe u ovom delu je opisan postupak mikrotalasne digestije biljnih uzoraka i fizičko-hemijska karakterizacija uzoraka zemljišta. Dat je opis određivanja indeksa zagađenja u cilju procene zagađenja i rizika. U eksperimentalnom delu opisna je i statistička obrada podataka i definisane su metode i testovi koji su primenjeni u obradi i analizi dobijenih rezultata.

U poglavlju *Rezultati i diskusija* prikazani su rezultati istraživanja, njihova analiza i diskusija. U ovom poglavlju su prvo prikazani rezultati provere tačnosti i preciznosti metode analize zemljišta. Zatim, predstavljeni su rezultati fizičko-hemijske karakterizacije uzoraka zemljišta i prikazane su i vrednosti sadržaja organske materije, pH vrednosti, kapaciteta izmene katjona i teksturna analiza zemljišta i izvršena korelaciona analiza određivanih parametara.

Zatim, prikazani su rezultati pseudo-ukupnog sadržaja odabranih elemenata u zemljištu i izvršeno je njihovo poređenje u odnosu na važeću zakonsku regulativu. Hemometrijskom analizom pseudo-ukupnog sadržaja odabranih elemenata u zemljištu izvršeno je poređenje lokacija uzorkovanja koje pripadaju srednjem i donjem toku reke Ibar. Izvršena je

korelaciona analiza seta podataka, analiza glavnih komponenti (PCA) i hijerarhijska klaster analiza (HCA). Analizom glavnih komponenti definisana su dva faktora, "antropogeni faktor" i "faktor primarnih minerala zemljišta", čime je identifikovano poreklo analiziranih elemenata u poljoprivrednom zemljištu. Primena HCA potvrdila je rezultate PCA, izdvajajući nikal i hrom u poseban klaster. Pored toga, primenom HCA, lokacije uzorkovanja zemljišta razdvojene su po pripadnosti određenom rečnom toku. Prvi klaster je uglavnom obuhvatio merna mesta u kojima je izmerena niža koncentracija elemenata u zemljištu koji imaju antropogeno poreklo, koja uglavnom pripadaju donjem toku reke, definisanom kao post-industrijska zona. Drugi klaster je takođe okarakterisan mernim mestima koja imaju nižu koncentraciju elemenata antropogenog porekla i mernim mestima koja su okarakterisana najvišim koncentracijama nikla i hroma, kao dva elementa litogenog porekla. Treći klaster je obuhvatio ukupno 34 merna mesta, koja se prostorno uglavnom nalaze u srednjem toku reke, koji je definisan kao industrijski, i na početku donjeg toka (merna mesta nizvodno od flotacijskih deponija u Rudnici). Na ovim mernim mestima izmerene su generalno najviše pseudo-ukupne koncentracije elemenata koji imaju antropogeno poreklo. Takođe, izvršena je procena zagađenja i kvaliteta zemljišta na osnovu dobijenih pseudo-ukupnih koncentracija elemenata i lokalnih prirodnih nivoa (*background* koncentracija), primenom indeksa zagađenja kao što su: indeks geoakumulacije (I_{geo}), faktor zagađenja (C_f^i) odabranih elemenata, stepen zagađenja (C_d) mernih mesta uzorkovanja zemljišta, faktor potencijalnog ekološkog rizika odabranih elemenata (E_r^i), indeks potencijalnog ekološkog rizika (*Potential Ecological Risk Index, RI*) po mernom mestu uzorkovanog zemljišta u odnosu na tok reke, kao i indeks zagađenja zemljišta analiziranim elementima (*Pollution Load Index, PLI*). Nakon što su u prethodnom poglavlju navedeni indeksi i faktori matematički definisani, dobijene vrednosti su prikazane grafički i tabelarno.

U narednom potpoglavlju prikazani su i analizirani rezultati frakcionisanja elemenata u poljoprivrednom zemljištu primenom BCR sekvencijalne ekstrakcije, u cilju evaluacije njihove mobilnosti i potencijalne biodostupnosti. Dobijeni rezultati prikazani su grafički u vidu prosečne procentualne raspodele elemenata u analiziranom zemljištu po fazama BCR sekvencijalne ekstrakcije. Na osnovu dobijenih vrednosti koda procene rizika (*Risk Assessment Code, RAC*) utvrđeno je da su Cd i Zn elementi koji su procentualno najviše izdvojeni nakon prvog koraka sekvencijalne ekstrakcije zemljišta. Objašnjeno je da je ova frakcija približno ekvivalentna sumi izmenjive, kiselo rastvorne frakcije i frakcije vezane za karbonate zemljišta i da su elementi u ovoj frakciji adsorbovani slabim elektrostatičkim interakcijama na površini zemljišta i da mogu biti lako oslobođeni jonoizmenjivačkim procesima pri maloj promeni (opadanju) pH vrednosti. Takođe je navedeno da zbir prve tri frakcije sekvencijalne ekstrakcije ($f_1 + f_2 + f_3$) može dati dobar uvid u mobilnost elemenata u zemljištu i što je on veći, povećava se potencijalna mobilnost i biodostupnost. Uočeno je da se potencijalna mobilnost elemenata, sagledana u količini ekstrahovanoj u prva tri koraka BCR sekvencijalne ekstrakcije, kretala u nizu $Pb (79,4\%) > Zn (44,9\%) > Cd (44,3\%) > Ni (25,1\%) \approx As (25,1\%) > Cu (7,00\%) > Sb (6,10\%) > Hg (5,90\%)$. Nakon tabelarnog prikaza deskriptivne i test statistike sadržaja odabranih elemenata u ekstraktima zemljišta sledi potpoglavlje u kome je izvršena hemometrijska analiza frakcionisanja elemenata u zemljištu. U ovom potpoglavlju je analizirana asocijacija svakog analiziranog elementa sa

određenim supstratima u zemljištu i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata dva seta podataka, odnosno lokacija koje pripadaju različitim tokovima reke Ibar. Na osnovu dobijenih rezultata utvrđeno je da je sadržaj Pb, Zn, Cd, As i Cu značajno viši u potencijalno mobilnim frakcijama u industrijskoj zoni područja istraživanja, odnosno da Pb/Zn industrijske aktivnosti koje se sprovode u delu srednjeg toka reke Ibar značajno utiču na mobilnost i potencijalnu biodostupnost ovih elemenata. Primenom PCA izdvojene su tri komponente koje su razdvojile elemente po frakcijama, u odnosu na njihove specifične karakteristike. U ovom delu su, u okviru PCA, grafički prikazane interpretacije faktorskih opterećenja, dok su tabelarno prikazane izdvojene glavne komponente (PC). Uočeno je da se PC1 koja objašnjava 32,9 % ukupne varijanse sastoji od koncentracija As izdvojenih nakon sva tri koraka BCR sekvencijalne ekstrakcije (f_1 , f_2 i f_3), zatim Zn (f_1 , f_2), Cu (f_2 , f_3), Pb f_2 i Cd f_2 sa visokim faktorskim opterećenjima i relativno niskim opterećenjima za Cd f_1 (0,413) i Zn f_3 (0,413). PC2, koja objašnjava 23,5 % varijanse, sadrži promenljive Cu f_1 , Pb f_3 , Pb f_1 , i Zn f_3 sa visokim pozitivnim opterećenjem i promenljivu Cr f_3 sa izrazito negativnim faktorskim opterećenjem, ukazujući na nezavisno poreklo u zemljištu područja istraživanja. PC3, koja objašnjava 12,6 % ukupne varijanse, sastojala se od Ni f_1 , f_2 i f_3 i Cr f_2 , ukazuje na nezavisan faktor koji utiče na njihovu potencijalnu mobilnost u odnosu na Pb/Zn industrijske aktivnosti. Naznačeno je da, kao i Cr, tako i Ni može biti dodat poljoprivrednom zemljištu upotrebom veštačkih đubriva i stajnjaka i time uticati na potencijalnu mobilizaciju. Napomenuto je da je antropogeno prisustvo Ni i Cr u zemljištu iz veštačkih i prirodnih đubriva generalno manje od koncentracija koje su već prisutne u zemljištu i da “mobilne” frakcije ovih elemenata mogu poticati iz primarnih i sekundarnih minerala zemljišta, s obzirom da su dobijene visoke pseudo-ukupne koncentracije, naročito u slučaju Ni. Na osnovu dendrograma koji je dobijen primenom HCA može se zaključiti da se koncentracije odabranih elemenata koje su ekstrahovane u prva tri koraka BCR sekvencijalne ekstrakcije grupišu u tri klastera i da su dobijeni rezultati primene HCA u saglasnosti sa rezultatima PCA.

Zatim, predstavljeni su rezultati analize plodova kukuruza (*Zea mays L.*) i krompira (*Solanum tuberosum L.*) prikupljenih na području istraživanja na sadržaj Pb, Zn, Cd, As, Cu, Sb, Hg, Ni i Cr. Koncentracija elemenata određivana je u zrnju i klipju (čoknju) kukuruza i krtoli (oljuštenom krompiru) i kori. Prikazani su i diskutovani rezultati dobijeni analizom transfera odabranih elemenata iz zemljišta do plodova biljaka. Zatim je izvršena analiza dobijenih koncentracija u odnosu na važeću regulativu. Utvrđeno je da koncentracija olova u plodovima analiziranih biljaka prekoračuje propisane domaće i EU maksimalno dozvoljene koncentracije u 74,5 % uzoraka zrna kukuruza i u 94,5 % uzoraka oljuštenog krompira. Izvršena je korelaciona analiza radi utvrđivanja povezanosti koncentracija različitih frakcija elemenata dobijenih sekvencijalnom ekstrakcijom zemljišta i koncentracija u plodovima biljaka. Ukoliko je određen element u biljci u značajnoj pozitivnoj korelaciji sa određenom frakcijom tog elementa u zemljištu, može se smatrati da ta frakcija predstavlja glavni izvor snabdevanja biljke datim elementom tokom perioda vegetacije. Napomenuto je da se ovako sprovedena korelaciona analiza zasniva na preuzimanju elemenata iz zemljišta preko korena, bez razmatranja taloženja iz vazduha i adsorpcije preko površine lista folijarnom ishranom. Na kraju ovog potpoglavlja analiziran je i zdravstveni aspekt konzumiranja plodova krompira i kukuruza gde su dobijeni rezultati ukazali da je za As vrednost količnika opasnosti (*Hazard*

Quotient, HQ) veća od jedinice kod hroničnog unosa krompira ukazujući na povećani rizik po zdravlje konzumenata ove povrtarske vrste na području istraživanja, u oba rečna toka. Ova vrednost značajno utiče na formiranje sveukupnog potencijalnog hroničnog indeksa opasnosti više elemenata (*Hazard Index, HI*), gde značajno učešće ima i Pb sa $HQ = 0,41$, ukazujući na mogućnost javljanja negativnih zdravstvenih efekata konzumacijom ploda krompira. Kod uzoraka kukuruza, u oba toka reke, *HI* vrednost je bila manja od jedinice, što znači da dnevni unos navedenih elemenata kroz konzumiranje kukuruza verovatno neće imati negativne zdravstvene efekte za stanovništvo područja istraživanja.

Na kraju, u *Zaključku* su ukratko predstavljeni rezultati koji odgovaraju ranije zadatim ciljevima istraživanja. U poslednjem poglavlju dat je spisak korišćene literature, prilozi koji idu uz rad, biografija autora i izjave o autorstvu, istovetnosti štampane i elektronske verzije rada i izjava o korišćenju.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Zemljište je prirodna tvorevina nastala hemijskim i fizičkim promenama geološke podloge, uz učešće živih organizama i klimatskih faktora. Kao takvo, zemljište predstavlja svojevrsan trofazni sistem koga čine čvrsta, tečna (zemljišni rastvor) i gasovita faza (zemljišni vazduh). U procesima koji se odvijaju u zemljištu, ove faze su u tesnoj međusobnoj vezi, kako direktno, tako i uz učešće živih organizama, koji uslovno predstavljaju četvrtu fazu zemljišta (živu fazu).

Zagađenje zemljišta toksičnim metalima i metaloidima predstavlja globalni problem, imajući u vidu mogućnost njihove mobilizacije u hidrosferu i biosferu, čime predstavljaju opasnost po živi svet i zdravlje ljudi. Akumulacija toksičnih hemijskih elemenata u poljoprivrednom zemljištu je od sve većeg interesa zbog pitanja bezbednosti hrane i potencijalnih zdravstvenih rizika, kao i zbog njihovog štetnog efekta na ekosistem. Ponašanje elemenata u zemljištu, bilo da vode poreklo iz procesa pedogeneze ili su pak antropogenog porekla, zavisi od brojnih fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta kao što su pH, sadržaj organske materije, kapacitet izmene katjona, redoks potencijal, tekstura zemljišta. U cilju procene mobilnosti i bioraspoloživosti određenih hemijskih elemenata u zemljištu, potrebno je da se pored ukupnog sadržaja, ustanovi i njihova asocijacija sa različitim supstratima u zemljištu, jer ukupni sadržaj pruža ograničene informacije o njihovoj mobilnosti i biodostupnosti.

U tom kontekstu predmet naučnog istraživanja doktorske disertacije kandidata Nemanje Baraća je analiza uzoraka poljoprivrednog zemljišta savremenim metodama hemijske analize i primena sekvencijalnog ekstrakcionog postupka radi utvrđivanja mobilizacije analiziranih elemenata odnosno mogućnost kontaminacije gajenih kultura.

Istraživanje u okviru ove doktorske disertacije sprovedeno je na području severnog dela AP Kosova i Metohije i južnog dela Srbije, koje obuhvata srednji i donji tok reke Ibar, između gradova Kosovske Mitrovice na jugu i Kraljeva na severu u dužini od 130 km. Dosadašnja

istraživanja koja su za temu imala životnu sredinu i ponašanje zagađujućih materija u njenim segmentima, kao i uticaj zagađenja na zdravlje ljudi, uglavnom su obuhvatala uže područje Kosovske Mitrovice i Zvečana, imajući u vidu da je u toj oblasti stacioniran najveći broj industrijskih postrojenja za proizvodnju olova i cinka. Iz tog razloga se javila potreba za proširenjem područja istraživanja u cilju stvaranje šire slike uticaja industrije na zagađenje životne sredine, prvenstveno poljoprivrednog zemljišta. Uzorkovanje zemljišta je prilagođeno morfologiji doline reke i razmatrane su samo poljoprivredne površine. Pored toga, u okviru istraživanja izvršena je analiza poljoprivrednih kultura krompira (*Solanum tuberosum* L.) i kukuruza (*Zea mays* L.) gajenih na istom zemljištu u cilju definisanja koeficijenta transfera analiziranih elemenata iz zemljišta u jestive delove ovih povrtarskih kultura koje se najviše gaje u području istraživanja. Primenom deskriptivnih, bivarijacionih i multivarijacionih metoda statističke analize podataka dobijena su i analizirana saznanja o međusobnoj interakciji analiziranih elemenata u uzorcima poljoprivrednog zemljišta i uzgajanim kulturama. Sistematskom analizom dobijenih podataka, primenom izabranih analitičkih metoda i hemometrijskih tehnika izdvojene su ključne varijable iz kompleksne matrice i izvršeno je modelovanje podataka. Samim tim definisane su grupe zavisnih promenljivih i prepoznati objekti po sličnosti u cilju razdvajanja uzoraka po lokacijama, stepenu zagađenja i po poreklu analiziranih elemenata. O aktuelnosti proučavane problematike i njenom širem značaju, kao i aktuelnosti u svetu govore tri naučna rada u međunarodnim časopisima koji su publikovani na osnovu rezultata istraživanja sprovedenih u okviru ove doktorske disertacije, kao i 2 saopštenja na međunarodnim skupovima.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U toku izrade doktorske disertacije kandidat je pregledao i istraživao literaturu koja se bavi problematikom zagađenja geološkog materijala, prvenstveno zemljišta, mikroelementima. Pregledana je obimna literatura koja se bavi frakcionisanjem hemijskih elemenata u zemljištu i sedimentu, kao i biomonitoringom i analizom sadržaja potencijalno toksičnih elemenata u različitim povrtarskim kulturama, kao i literatura koja se odnosi na primenu različitih hemometrijskih metoda koje su korišćene u analizi podataka u ovoj doktorskoj disertaciji. U literaturnom pregledu doktorske disertacije dato je ukupno 236 literaturnih navoda, od kojih približno 50 % čine radovi iz međunarodnih naučnih časopisa sa tematikom koja je značajna za doktorsku disertaciju, a koji su publikovani u poslednjih deset godina. Na osnovu obrazloženja predložene teme doktorske disertacije, objavljenih radova i pregleda korišćene literature, uočava se adekvatno poznavanje predmetne oblasti istraživanja, kao i poznavanje aktuelnog stanja istraživanja u ovoj oblasti u svetu.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

U istraživanju sprovedenom u okviru ove doktorske disertacije određene su koncentracije odabranih elemenata u ekstraktima zemljišta i plodovima odabranih biljnih vrsta primenom induktivno spregnute plazme sa optičkom emisionom spektrometrijom (ICP–OES). Sekvencijalna ekstrakcija uzoraka poljoprivrednog zemljišta sprovedena je primenom modifikovane BCR sekvencijalne ekstrakcije, uz analizu sertifikovanog referentnog materijala BCR CRM-701. Priprema uzoraka plodova odabranih biljaka za analizu sadržaja praćenih elemenata je vršena mikrotalasnom digestijom. Pored toga, vršeno je poređenje, rangiranje, grupisanje analiziranih uzoraka na osnovu određenog sadržaja odabranih elemenata primenom hemometrijskih metoda analize eksperimentalnih podataka, čime je omogućena procena porekla, mobilnosti i potencijalne bioraspodivnosti analiziranih elemenata u zemljištu, identifikacija određenih zemljišnih supstrata kao izvora za snabdevanje biljaka mikronutrijentima i/ili potencijalno toksičnim elementima.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

U ovoj doktorskoj disertaciji je po prvi put sprovedeno ispitivanje mobilnosti i potencijalne biodostupnosti odabranih hemijskih elemenata, pre svega toksičnih metala, u poljoprivrednom zemljištu i određivan njihov sadržaj u najčešće uzgajanim biljnim vrstama na širem području aluviona reke Ibar, koje obuhvata njegov srednji i donji tok. U skladu sa tim, rezultati i izvedeni zaključci imaju kako naučni, tako i praktični značaj. Naučni, jer je osnova rada primena savremenih metoda u hemijskoj analizi poljoprivrednog zemljišta i proširenje znanja o mobilnosti hemijskih elemenata i njihovoj bioakumulaciji u oblasti u kojoj je bila zastupljena intenzivna prerada metala, sa posebnim akcentom na izbor i primenu hemometrijskih metoda za kompleksnu analizu podataka. Praktični, jer su analizirani realni uzorci poljoprivrednog zemljišta i gajenih kultura, pa se dobijeni rezultati mogu primeniti kao osnova za dalja istraživanja u ovoj oblasti u cilju unapređivanja procesa monitoringa.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

U svom dosadašnjem istraživačkom i stručnom radu **Nemanja Barać**, istraživač saradnik, pokazao je smisao za naučno-istraživački rad, samostalnost u pretraživanju literature i obradi relevantnih podataka, informacija i rezultata, kao i sposobnost logičkog i sistematičnog razmišljanja i zaključivanja. Na osnovu dosadašnjeg zalaganja i postignutih rezultata, Komisija je mišljenja da kandidat poseduje sve kvalitete neophodne za samostalan naučno-istraživački rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Dobijeni rezultati predstavljaju doprinos razumevanja sistema teški metali – zemljište – biljni svet – čovek, objedinjujući i proširujući saznanja o sadržaju odabranih elemenata, pre svega teških metala, u uzorcima poljoprivrednog zemljišta i biljnih vrsta srednjeg i donjeg toka reke Ibar. Naučni doprinosi ove doktorske disertacije su:

- Definisane porekla analiziranih elemenata u zemljištu i određivanje stepena zagađenja zemljišta područja istraživanja odabranim elementima;
- Utvrđivanje međusobnog odnosa odabranih elemenata u analiziranom zemljištu, kao i veze između ispitivanih elemenata i fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta, u cilju dobijanja novih saznanja o međusobnoj interakciji ovih elemenata i zemljišta i afinitetu vezivanja;
- Utvrđivanje uticaja industrijskih aktivnosti na području istraživanja na sadržaj odabranih elemenata u poljoprivrednom zemljištu u široj oblasti duž toka reke Ibar;
- Evaluacija mobilnosti i potencijalne biodostupnosti odabranih elemenata u analiziranom zemljištu indentifikacijom supstrata za koje su elementi vezani u zemljištu primenom sekvencijalne ekstrakcione procedure;
- Definisane mehanizma transfera odabranih elemenata iz zemljišta do plodova biljnih vrsta koje se široko uzgajaju na području istraživanja.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Istraživanja u okviru ove disertacije koncipirana su na osnovu definisanih ciljeva i detaljne analize literature iz oblasti ispitivanja frakcionisanja elemenata u zemljištu, odnosno praćenja i kontrole zagađenja geološkog materijala potencijalno toksičnim mikroelementima, kao i iz oblasti primene hemometrijskih metoda i biomonitoringa u analizi zagađenja životne sredine. Prilikom izrade ove doktorske disertacije vršena je sekvencijalna ekstrakcija uzoraka poljoprivrednog zemljišta u cilju procene mobilnosti i potencijalne biodostupnosti odabranih elemenata i definisanju kvaliteta poljoprivrednog zemljišta. Takođe, vršena je analiza sadržaja odabranih elemenata u plodovima krompira i kukuruza prikupljenih na području istraživanja. Poređenjem dobijenih rezultata i primenom hemometrijskih metoda utvrđene su razlike u sadržajima odabranih elemenata u analiziranim uzorcima i definisani su načini usvajanja mikronutrijenata i potencijalno toksičnih mikroelemenata od strane biljaka.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21)

Barać N., Škrivanj S., Bukumirić Z., Živojinović D., Manojlović D., Barać M., Petrović R., Ćorac A.: *Distribution and mobility of heavy elements in floodplain agricultural soils along the Ibar River (Southern Serbia and Northern Kosovo). Chemometric investigation of pollutant sources and ecological risk assessment*, -Environmental Science and Pollution Research, Vol. 23, Iss. 9, 2016, pp. 9000-9011 (IF(2015) = 2,760; ISSN: 0944-1344).

Rad u istaknutom međunarodnom časopisu (M22)

Barać N., Škrivanj S., Mutić J., Manojlović D., Bukumirić Z., Živojinović D., Petrović R., Ćorac A.: *Heavy metals fractionation in agricultural soils of Pb/Zn mining region and their transfer to selected vegetables*, -Water Air and Soil Pollution, Vol. 227, Iss. 12, 2016, pp. (481) 1-13 (IF(2015) = 1,551; ISSN: 0049-6979)

Rad u međunarodnom časopisu (M23)

Barać N., Škrivanj S., Bukumirić Z., Barać M., Manojlović D., Petrović R., Ćorac A.: *Arsenic in Agricultural Soils of a Historically Mined and Industrial Region of Southern Serbia and Northern Kosovo: Bioavailability and Uptake by Plants Species Zea mays L. and Solanum tuberosum L.*, Soil and Sediment Contamination, Vol. 24, Iss. 6, 2015, pp. 655-674 (IF(2015) = 1.189; ISSN: 1532-0383)

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini (M33)

Barać N., Škrivanj S., Manojlović D., Bukumirić Z., Trajković G., Barać M., Petrović R., Ćorac A.: *Heavy Metals Fractionation in Agricultural Soils from the Ibar River Valley (Southern Serbia): Bioaccumulation by Solanum tuberosum L.*, Proceedings of XXIII International Conference „Ecological Truth – Eco-Ist'15“, Kopaonik, 2015., pp. 514-521. (ISBN 978-86-6305-032-7)

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu (M34)

Barać N., Ranković B., Škrivanj S., Bukumirić Z., Čičkarić-Živojinović D., Petrović R., Ćorac A.: *Investigation of heavy metals partitioning in the agricultural soils of the long term polluted Pb/Zn industrial region of southern Serbia: uptake and bioaccumulation by the cereal crop Zea mays L.* Book of abstracts of the 7th Symposium „Chemistry and Environmental Protection – EnviroChem 2015“, Palić, 2015., pp. 270-271. (ISBN 978-86-7132-058-0)

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG KOMISIJE

Na osnovu navedenog, Komisija smatra da doktorska disertacija kandidata Nemanje Baraća, master inženjera tehnologije, pod nazivom: „**Mobilnost i biodostupnost odabranih elemenata u poljoprivrednom zemljištu aluviona reke Ibar**”, predstavlja značajan originalan naučni doprinos u oblasti Inženjerstva zaštite životne sredine, što je potvrđeno objavljivanjem radova u relevantnim časopisima međunarodnog značaja i saopštenjima na međunarodnim konferencijama. Komisija smatra da je kandidat definisanjem teme, eksperimentalnim pristupom, kao i detaljnim razmatranjima dobijenih rezultata ostvario zadate ciljeve i da doktorska disertacija u potpunosti ispunjava sve zahtevane kriterijume.

Imajući u vidu kvalitet, obim i naučni doprinos postignutih rezultata, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta da se doktorska disertacija pod nazivom: „**Mobilnost i biodostupnost odabranih elemenata u poljoprivrednom zemljištu aluviona reke Ibar**” kandidata Nemanje Baraća izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 22. 05. 2017. godine

ČLANOVI KOMISIJE

Dr Rada Petrović, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Aleksandar Ćorac, vanredni profesor
Univerziteta u Prištini, Medicinski fakultet

Dr Mirjana Ristić, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Dragana Živojinović, docent
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Dragan Manojlović, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Hemijski fakultet