

НАСТАВНО–НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Ане Радојевић,
дипл.инж. технолошког инжењерства – мастер

Одлуком Научно–наставног већа Техничког факултета у Бору, бр. VI/4–1–5 од 23.04.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Ане Радојевић под називом „Биомониторинг ваздуха и фиторемедијација земљишта употребом храста, смреке и лешника”. Након прегледа достављене дисертације, пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија подноси следећи:

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Хронологија одобравања и израде дисертације одвијала се следећом динамиком:

✓ **14.11.2016.год.** Кандидат Ана Радојевић, дипл. инж. технолошког инжењерства – мастер, пријавила је тему за докторску дисертацију Катедри за Хемију и хемијску технологију Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду. Наставно–научном већу Техничког факултета у Бору предложена је Комисија за давање мишљења о научној заснованости предложене теме докторске дисертације.

✓ **01.12.2016.год.** Одлуком бр. VI/4–17–7.1. Наставно–научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, именована је Комисија за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације Кандидата.

✓ **22.12.2016.год.** Одлуком бр. VI/4–18–10.1. Наставно–научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, прихваћен је предлог Комисије о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације, а за ментора је именована др Снежана Шербула, редовни професор Техничког факултета у Бору.

✓ **31.01.2017.год.** Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду прихватило је извештај Комисије за оцену научне заснованости теме и донело је одлуку (бр. 61206–75/2–17) о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације.

✓ **14.03.2017.год.** На седници Већа катедре за Хемију и хемијску технологију Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, потврђено је да је Кандидат завршио израду докторске дисертације и Наставно–научном већу Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду је предложена Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације.

✓ **23.04.2017.год.** Одлуком бр. VI/4–1–5 Наставно–научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, именована је Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације Кандидата Ане Радојевић, у саставу: проф. др Снежана Шербула, Технички факултет у Бору (*ментор*); проф. др Миле Димитријевић, Технички факултет у Бору (*члан*); научни саветник др Јасмина Стевановић, Институт за Хемију, Технологију и Металургију, Београд (*члан*); виши научни сарадник др Бранака Калуђеровић, Институт за нуклеарне науке „Винча” Београд (*члан*); научни сарадник др Мирослав Павловић, Институт за Хемију, Технологију и Металургију, Београд (*члан*).

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом „Биомониторинг ваздуха и фиторемедијација земљишта употребом храста, смреке и лешника” по свом предмету истраживања припада научној области **техничко–технолошких наука**, а ужој научној области **технолошког инжењерства**, за коју је Технички факултет у Бору Универзитета у Београду акредитован.

За ментора одређена је др Снежана Шербула, редовни професор Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду. На основу досад објављених радова др Снежана Шербула је компетентна да руководи израдом докторске дисертације Кандидата. Као аутор или коаутор, публиковала је 26 радова у часописима са JCR листе, који су цитирани 331 пут (подаци према SCOPUS–у од 30.03.2017.год.), од којих је 23 рада категорије M20.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Ана Радојевић (девојачко Илић) рођена је 06.09.1983. године у Бору, где је завршила основну и средњу Техничку школу. Основне академске студије на Техничком факултету у Бору уписала је 2002. године на смеру Инжењерство за заштиту животне средине. Студије је завршила 2008. са просечном оценом 8,68 и оценом 10 на завршном раду. Исте године, на матичном факултету, уписала је дипломске академске студије на студијском програму Технолошко инжењерство, које је завршила 2010. године са просечном оценом 9,83 и оценом 10 на дипломском раду, чиме је стекла академски назив дипломирани инжењер технолошког инжењерства –

мастер. Докторске академске студије, уписала је 2010.год. на Техничком факултету у Бору, одсек Технолошко инжењерство.

Од 01.10.2008. године ради на Техничком факултету у Бору као универзитетски сарадник у звању сарадника у настави, а од 2010. године у звању асистента на основним академским студијама.

У досадашњем раду, Кандидат Ана Радојевић, ангажована је на два пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, у пројектном циклусу од 2011. године, под називима:

1) „Развој нових инкапсулационих и ензимских технологија за производњу биокатализатора и биолошки активних компонената хране у циљу повећања њене конкурентности, квалитета и безбедности” (бр. пројекта ИИИ46010);

2) „Усавршавање технологија експлоатације и прераде руде бакра са мониторингом животне и радне средине у РТБ Бор група” (бр. пројекта ТР33038).

Ангажована на међународном пројекту „JST SATREPS Research on the Integration System of Spatial Environment Analyses and Advanced Metal Recovery to Ensure Sustainable Resource Development” (пројектни циклус 2014–2019.год.) који се спроводи између научно–образовних установа из Републике Србије и Јапана.

Била је учесница фестивала „Научни торнадо” у склопу обележавања Светског дана науке 2011. године, и каравана науке „Тимочки Научни Торнадо – ТНТ“ одржаног 2012. (у организацији Техничког факултета у Бору, Друштва младих истраживача Бор и ОШ „Душан Радовић”) и 2013. године (пројекат Центра за промоцију науке у Бору).

У периоду од 24.05.2011. до 27.11.2012. године била је члан Савета за екологију у оквиру Рударско–топионичарског Басена Бор.

Истраживачка интересовања Кандидата припадају областима загађења животне средине, мониторинга аерозагађења и биомониторинга. Ана Радојевић је аутор или коаутор 11 рада публикованих у водећим међународним часописима из категорије М20 цитираних 136 пута (подаци према SCOPUS–у од 30.03.2017.год.), 7 радова публикованих у часописима националног значаја из категорије М50, бројних саопштења са конференција националног и међународног значаја, 6 поглавља у страним књигама која припадају наведеним научним областима.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Кандидата, под називом „Биомониторинг ваздуха и фиторемедијација земљишта употребом храста, смреке и лешника“, написана је на 222 стране (без прилога), у којима су приказани подаци у 55 табела, на 55 слика, и садржи 164 литературних цитата. Дисертација је састављена од 9 поглавља:

1. Увод
2. Теоријски део
3. Литературни преглед досадашњих истраживања
4. Основне хипотезе и циљ рада

5. Материјали и методе рада
6. Резултати и дискусија
7. Закључак
8. Литература
9. Прилози

На самом почетку дисертације дата је кратка захвалница, приказани подаци о ментору и члановима комисије, дат Сажетак на српском и енглеском језику. На крају дисертације дати су прилози који се састоје од потписаних изјава Кандидата о ауторству (*Прилог 1*), истоветности штампане и електронске верзије докторског рада (*Прилог 2*) и начину коришћења докторске дисертације (*Прилог 3*), као и кратка Биографија кандидата и Списак радова проистеклих из дисертације.

По својој форми, садржају, добијеним резултатима, докторска дисертација у потпуности задовољава критеријуме и стандарде Универзитета у Београду.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу – **Увод**, дат је кратак осврт на утицај антропогених активности на животну средину. Укратко је указано на значај мониторинга емитованих загађујућих супстанци у животну средину, првенствено метала и металоида, и употребу биолошког материјала у циљу процене загађења одређеног подручја. Назначене су главне предности биомониторинга и фиторемедијације употребом виших биљака у условима повећаног загађења ваздуха и земљишта.

У другом поглављу – **Теоријски део**, дати су основни принципи на којима се заснивају биомониторинг и фиторемедијација загађујућих супстанци кроз шест потпоглавља. Укратко је објашњена разлика употребе биолошког материјала у сврхе биомониторинга и/или биоиндикације метала и металоида пореклом из ваздуха, коришћењем пасивних или активних биоиндикатора. Објашњен је негативан утицај атмосферског загађења на вегетацију процесима суве и мокре депозиције. Указано је да подобност биљака као индикатора зависи од њихове осетљивости према загађењу на основу чега се разликују осетљиве и релативно резистентне биљне врсте. Дат је кратак осврт на процесе усвајања метала и металоида кореновим системом из земљишта, и транслокације истих до надземних делова биљака дефинисањем 13 најзначајнијих биогеохемијских параметара. У четвртом потпоглављу, дата је подела, значај, функција и концентрације испитиваних метала и металоида садржаних у биљкама. Табеларним приказом, наведене су дефицитарне, нормалне и токсичне концентрације анализираних елемената у биљкама. Указано је на поделу и особине биљака које се заснивају на ефикасном усвајању метала и металоида, на основу чега су дефинисани критеријуми акумулације метала и металоида у фолијарним деловима и изданцима. Дефинисана је подела биљака, према механизму на основу ког биљке рефлектују концентрацију метала и металоида из земљишта у надземним деловима, на (хипер)акумулаторе, индикаторе и ексклудере. Принцип фиторемедијације земљишта загађеног металима и металоидима, методама фитостабилизације и/или фитоекстракције, разматран је са еколошког и економског аспекта. Укратко су описане предности дрвенастих биљака за коришћење у фиторемедијацији загађеног земљишта. На крају теоријског дела,

табеларно су приказане светске просечне концентрације анализираних метала и металоида у земљишту, као и концентрације које указују на загађење земљишта на основу граничних и ремедијационих вредности дефинисаних правилником у Републици Србији.

На почетку трећег поглавља – **Литературни преглед досадашњих истраживања**, према подацима научне базе Scopus, графички је приказан број објављених научних радова према кључним речима претраге из области науке о загађењу животне средине („*air pollution*” и „*soil pollution*” у оквиру главне претраге „*biomonitoring*”). Треће поглавље дисертације подељено је на пет потпоглавља, од којих је у три појединачно дат преглед литературних података о анализираним биљним врстама храста, смреке и лешника. У сваком од потпоглавља, приказана је анализа утицаја, првенствено антропогених активности, на садржај метала и металоида у земљишту и деловима храста, смреке и лешника. У зависности од доступности података, табеларно је дат преглед концентрација Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb и Zn у земљишту, корену, грани, неопраном и опраном лишћу/иглицама испитиваних биљних врста. Дата је предност научним публикацијама у којима је предмет истраживања био утврђивање нивоа загађења у биљном материјалу и земљишту узоркованим у индустријским подручјима са рударско–металуршким карактером, у зонама саобраћаја и загађеним подручјима. Наведени су кључни закључци о погодностима или недостацима коришћења храста, смреке и лешника у сврхе биомониторинга и фиторемедијације. У оквиру два преостала потпоглавља, укратко је указано на уопштено загађење животне средине услед емисије загађујућих супстанци пореклом из рударско–металуршке производње у свету и пореклом из саобраћаја.

У наредном поглављу дисертације – **Основне хипотезе и циљ рада**, јасно је дефинисан главни предмет истраживања дисертације који је потребно остварити кроз задате циљеве. Како је наведено, дрвенасте биљне врсте заузимају значајан део простора у коме расту (јер поседују широку крошњу и разгранат коренов систем), те је посебна пажња усмерена на могућност утврђивања нивоа метала и металоида на одређеном подручју. Такође, услед истовременог одвијања природних путева усвајања материја из два медијума – земљишта и ваздуха, истраживања у оквиру дисертације су усмерена на испитивање порекла метала и металоида.

У петом поглављу – **Материјали и методе рада**, дат је детаљан опис испитиваног подручја Бора и околине са нагласком на рударске и металуршке активности. Као доминантни извори загађења, поред топионице бакра, идентификовани су копови, одлагалишта рудничког отпада и флотацијска јаловишта. Приказани су вишегодишњи подаци за подручје испитивања који се тичу метеоролошких осматрања, и загађења ваздуха сумпор–диоксидом, суспендованим и таложним материјама које садрже метале и металоиде. Такође, дат је кратак литературни преглед досадашњих студија биомониторинга на истом подручју испитивања. Описане су анализирание биљне врсте, места и зоне узорковања, процедуре узорковања биљног материјала и земљишта, припреме узорака за физичко–хемијску анализу, методе одређивања садржаја органске материје у земљишту, одређивања активне и потенцијалне киселости земљишта, дигестије и начина одређивања

концентрација испитиваних метала и металоида у свим узорцима. На крају поглавља дате су статистичке методе обраде података, и дефинисана је анализа биолошких фактора.

Шесто поглавље – **Резултати и дискусија**, састоји се од пет потпоглавља у којима је детаљно извршена анализа експериментално утврђених концентрација метала и металоида у узорцима земљишта и биљног материјала. На почетку, засебно је разматрано узорковано земљиште кореновог система анализираних врста са аспекта киселости и садржаја органске материје. Садржај појединачних елемената у земљишту са испитиваног подручја упоређен је са светским просеком у земљиној кори и површинском слоју земљишта, критичним концентрацијама из литературног прегледа, као и са важећим правилником у Републици Србији, где је на основу дефинисаних граничних и ремедијационих вредности, узорковано земљиште категорисано као незагађено, потенцијално или алармантно загађено. Вредности фактора обogaћења земљишта за анализираних метала и металоиде указале су на места узорковања са повећаним загађењем. Фактор обogaћења земљишта добијен нормализацијом података са одговарајућом концентрацијом Al у земљишту је такође приказан. На основу резултата Спирманове корелационе матрице, утврђена је зависност између параметара земљишта (рН вредности и садржаја органске материје) и концентрација анализираних елемената, као и између самих места узорковања земљишта на испитиваном подручју. Збирном хијерархијском кластер анализом указано је на сличан ниво загађења земљишта на местима узорковања све три биљне врсте на испитиваном подручју, као и на међусобну везу анализираних метала и металоида.

Појединачна анализа биљног материјала према врстама извршена је у другом потпоглављу. Концентрације метала и металоида у деловима анализираних биљних врста (корен, грана, опрано лишће/иглице и просте цвасти у случају лешника) анализирани су са аспекта највећих концентрација у односу на места узорковања. Такође, добијене концентрације су упоређиване са дефицитарним, нормалним и токсичним опсезима датим за биљке из литературног прегледа. Фактор обogaћења биљног материјала био је одређен на два начина, и у оба случаја добијене вредности су указале на места узорковања са повећаним степеном загађења као и на делове биљака у којима је садржај метала и металоида био резултат антропогених активности. У оквиру овог потпоглавља дата је и анализа која се односи на ефекат прања фолијарних делова, у циљу утврђивања удела аеродепозиције и дефинисања места узорковања која су под већим утицајем аерозагађења. У том циљу указано је на биљне врсте које се могу користити у сврхе мониторинга одређених метала и металоида пореклом из аеродепозиције. На основу резултата Спирманове корелационе матрице, утврђена је зависност између концентрација анализираних елемената у опраним и неопраним деловима храста, смреке и лешника. Резултати анализе концентрација метала и металоида у земљишту и биљном материјалу храста, смреке и лешника указали су на одређене међусобне повезаности. Анализом биолошких фактора појединачно су дефинисани путеви усвајања и транслокације анализираних метала и металоида, пореклом из земљишта, преко корена до надземних делова (опраног лишћа/иглица) анализираних биљних врста. Приказана је и зависности биолошких фактора од концентрација метала и металоида у земљишту и корену. На основу вредности

биоакумулационог, биоконцентрационог и транслокационог фактора утврђена је могућност коришћења храста, смреке и лешника у срхе фиторемедијације (фитоекстракције и/или фитостабилизације) земљишта.

У оквиру поглавља – **Закључак**, на шест страна, Кандидат је извео најважније закључке проистекле из приказаних анализа и дискусије резултата.

У осмом поглављу дисертације – **Литература** дат је абецедни преглед коришћене научне (и друге) литературе, у виду 168 референци које су цитиране кроз текст докторске дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Бројни метали и металоиди, због своје научно доказане мутагености и канцерогености, представљају групу супстанци чији садржај је неопходно пратити у основним животним ресурсима. Када се проблем загађења посматра са аспекта уласка токсичних елемената у ланац исхране људи, потребно је применити интердисциплинарни приступ овој проблематици. Ефекти загађења животне средине временом постају кумулативни, при чему долази нарушавања природне равнотеже у животној средини, директно или индиректно. Експлоатација рудних налазишта и топионице обојених метала чине значајне антропогене изворе метала и металоида, јер из бројних процеса долази до испуштања великих количина отпадних гасова и вода, као и стварања великих количина рудничког отпада (коповска јаловина, флотацијска јаловина, топионичка шљака). Суспендоване и таложне честице у којима су садржани бројни метали и металоиди, најчешће малог пречника, из атмосфере се уклањају сувом и мокром депозицијом, а крајњи рецептори у оба случаја су површински слој земљишта и вегетација. Мониторинг квалитета ваздуха потребно је континуално спроводити како би се обезбедио увид у изворе, дистрибуцију и токове загађујућих супстанци кроз животну средину. Наиме, обезбедити континуалан мониторинг ваздуха на одређеном подручју у дужем временском периоду захтева инсталирање скупе мерне опреме, због чега је последњих година дошло до наглог развоја метода и техника које укључују употребу различитог биолошког материјала за добијање информација о квалитету и загађењу ваздуха и животне средине. Биомониторинг пружа једноставно узорковање на великој површини, на основу успостављања зависности између осетљивости биомонитора и концентрације загађујуће супстанце, због чега ова метода представља еколошку алтернативу класичном мониторингу. Употреба биљних врста у сврхе фиторемедијације загађеног земљишта такође се уклапа у принцип „зелених технологија”. Садња биљних врста има вишеструки позитиван ефекат, поред стварања зеленог појаса вегетације, загађеном земљишту се враћа функција, зауставља процес ерозије ветром и водом, док постоји могућност да се истовремено врши фитостабилизација или фитоекстракција загађујућих супстанци унапређујући квалитет, не само земљишта већ и осталих сфера животне средине. Биомониторинг и фиторемедијација заснивају се на обновљивим, еколошким и економски исплативим

ресурсима, због чега је у интересу бројних научника проналазак нових биљних врста, карактеристичних за одређено географско и климатско подручје, за ефикасан мониторинг загађујућих супстанци.

У овој дисертацији приказане су концентрације 12 метала и металоида (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb и Zn) у земљишту и биљном материјалу храста, смреке и лешника са 12 места узорковања на којима је испитивано загађење које потиче од површинске експлоатације руде бакра, њене припреме и топионичке прераде, од експлоатације индустријских минерала, из саобраћаја, као и на загађеном (контролном) подручју. Биљни материјал се састојао од узорака корена, гране, опраног/неопраног лишћа и простих цвасти у случају лешника. Осим биомониторинга и фиторемедијације, у дисертацији је сагледан и аспект акумулације и транслокације метала и металоида у деловима биљака, као и ефекат прања лишћа/иглица у циљу утврђивања количине аеродепозиције. Потенцијал испитиваних биљних врста као монитора анализиран је и коришћењем статистичких метода.

Имајући у виду да истраживања у оквиру ове докторске дисертације представљају свеобухватни приступ проблематици детекције загађујућих супстанци пореклом из рударско–металуршких операција, као и да су истраживања у оквиру дисертације у складу са актуелним напорима унапређења метода ремедијације земљишта, добијени резултати дају значајан и оригиналан допринос испитивању загађења животне средине употребом биљака, њиховој ефикасности и могућностима примене у условима различитог загађења.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру докторске дисертације коришћена су 164 литературна навода, на основу којих се уочава добро познавање предметне области истраживања од стране Кандидата. Обимним табеларним приказом концентрација анализираних метала и металоида, из литературних навода, приказано је тренутно стање у свету у области биомониторинга метала и металоида, које је Кандидат упоредио са оствареним резултатима. Већина навода, новијег датума, објављена је у врхунским међународним часописима, што указује на актуелност спроведених истраживања. У наставку извештаја наведене су неке од најзначајнијих публикација које су коришћене у дисертацији:

1. Aboal J.R., Fernández J.A., Carballeira A., Oak Leaves and Pine Needles as Biomonitoring of Airborne Trace Elements Pollution, *Environmental and Experimental Botany*, 51 (2004) 215–225.
2. Ali H., Khan E., Sajad M.A., Phytoremediation of heavy metals – Concepts and Applications, *Chemosphere*, 91 (2013) 869–881.
3. Falla J., Laval–Gilly P., Henryon M., Morlot D., Ferard J.–F., Biological Air Quality Monitoring: A Review, *Environmental Monitoring and Assessment*, 64 (2000) 627–644.
4. Kabata–Pendias A., Soil–plant transfer of trace elements–An Environmental Issue, *Geoderma*, 122 (2004) 143–149.
5. Kabata–Pendias A., Trace Elements in Soils and Plants. fourth ed. Boca Raton, Florida, (2011).

6. Lin V.S., Research Highlights: Natural Passive Samplers–Plants as Biomonitors, *Environmental Science Processes & Impacts*, 17 (2015) 1137–1140.
7. Madejón P., Marañón T., Murillo J.M., Biomonitoring of Trace Elements in the Leaves and Fruits of Wild Olive and Holm Oak Trees, *Science of Total Environment*, 355 (2006) 187–203.
8. Maré M., Tobiszewski M., Zabiegała B., de la Guardia M., Jacek N., Current air quality analytics and monitoring: A review, *Analytica Chimica Acta*, 853 (2015) 116–126.
9. Markert B., Definitions and principles for bioindication and biomonitoring of trace metals in the environment, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 21 (2007) 77–82.
10. Migeon A., Richaud P., Guinet F., Chalot M., Blaudez D., Metal Accumulation by Woody Species on Contaminated Sites in the North of France, *Water, Air and Soil Pollution*, 204 (2009) 89–101.
11. Padmavathiamma P. K., Li L. Y., Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants, *Water, Air and Soil Pollution*, 184 (2007) 105–126.
12. Pinto E., Aguiar A.A.R.M., Ferreira I.M.P.L.V.O., Influence of Soil Chemistry and Plant Physiology in the Phytoremediation of Cu, Mn, and Zn, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33 (2014) 351–373.
13. Pulford I.D., Watson C., Phytoremediation of heavy metal–contaminated land by trees – a review, *Environment International*, 29 (2003) 529–540.
14. Rothpfeffer C., Karlton E., Inorganic elements in tree compartments of *Picea abies* - Concentrations versus stem diameter in wood and bark and concentrations in needles and branches, *Biomass and Bioenergy*, 31 (2007) 717–725.
15. Tomašević M., Vukmirović Z., Rajšić S., Tasić M., Stevanović B., Contribution to biomonitoring of some trace metals by deciduous tree leaves in urban areas, *Environmental Monitoring and Assessment*, 137 (2008) 393–401.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Истраживања у оквиру докторске дисертације су изведена применом адекватних метода којима су остварени претходно постављени циљеви везани за: узорковање земљишта и биљног материјала на великом подручју, припрему узорака земљишта за физичко–хемијску анализу и припрему биљног материјала, одређивање концентрација метала и металоида у свим узорцима, као и циљева везаних за обраду експерименталних резултата.

Узорковање биљног материјала и земљишта кореновог система анализираних биљних врста спроведено је у складу са прописаним критеријумима (датих за избор локација узорковања, избор биљних врста, процедура узорковања и чувања узорака) наведеним у научним публикацијама. Избор елемената за анализу направљен је на основу састава загађујућих супстанци пореклом из доминантних извора загађења на подручју испитивања – топионице бакра и са техногених тла (флотацијска јаловишта и одлагалишта раскривке). Изабрано је 12 места за узорковање, у оквиру шест зона, укључујући и контролно место (одн. зону). Корен и земљиште око кореновог система биљака узорковани су са дубине од 20–30 см, гране су узорковане са висине од 1,5–2 м

изнад површине земљишта, док су лишће храста и лешника и једногодишње иглице смреке (као и просте цвасти) уклањане са грана *in situ*. На сваком месту узорковања композитни узорак биљног материјала и земљишта састојао се од минимално 3 до 5 подзорака. Величина узорка за анализу је одређена према препорукама из литературе у датој области истраживања, како би били задовољени минимални потребни услови за валидну статистичку обраду података.

Физичко–хемијској анализи земљишта претходило је сушење (на собној температури више од 30 дана), сејање (на ситима од нерђајућег челика отвора 2 mm, *Impact Test Equipment ltd.*) и млевење (у вибрационом млину са прстеновима *Siebtechnik*) класификованих узорака. Садржај органске материје у земљишту одређен је гравиметријском методом жарења (енгл. Loss-on-ignition, LOI) на температури од 450 °C у пећи за жарење (модел EDP-05, *Elektron*). Активна и потенцијална киселост земљишта одређене су према стандарду ISO 10390:2005, у суспензији земљишта и дестиловане воде, односно земљишта и раствора KCl концентрације 1 mol/dm³, у запреминском односу 1:5. pH вредност земљишта одређивана је pH-метром са комбинованом стакленом електродом (модел 700, *Eutech*) према стандарду ISO 10390:2005. Одређени делови биљног материјала (корен, подзорак лишћа/иглица) су опрани дестилованом водом у циљу уклањања аероседимената, док су грана, други подзорак лишћа/иглица и просте цвасти (у случају лешника) остали неопрани. Након периода сушења током 30 дана, уследило је млевење биљног материјала, које је спроведено у електричном млину са сечивима од нерђајућег челика. Како би се избегла контаминација узорака биљног порекла и земљишта приликом млевења, млинови су прани на одговарајући начин. Наведена припрема узорака обављена је на катедрама Техничког факултета у Бору. Микроталасна дигестија узорака биљног материјала и земљишта је спроведена према методи Америчке агенције за заштиту животне средине 3050B (US EPA). Дигестија узорака земљишта изведена је у микроталасној пећници модел *Mars5* (SEM) у царској води, док је дигестија биљног материјала вршена у смеси HNO₃ и H₂O₂ у микроталасној пећници модел *Ethos One* (Milestone) у строго контролисаним условима. Узорци након растварања су комплетирани са ултрачистом дестилованом водом, и из датих раствора је вршено одређивање концентрација Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb и Zn, на атомском емисионом спектрометру са индуковано спрегнутом плазмом (ICP-AES) модел *Blue* (*Spectro*). Дигестија узорака и одређивање садржаја метала и металоида у истим изведена је у Институту за рударство и металургију у Бору у акредитованој лабораторији за хемијско–технолошка испитивања.

Резултати добијени на основу експерименталног рада и оквиру докторске дисертације систематизовани су и анализирани према моделима и критеријумима датим у публикацијама из области биомониторинга и фиторемедијације. Софтверски пакет IBM SPSS 17.0 коришћен је за обраду података методама непараметарске статистичке анализе. Анализа биолошких фактора укључивала је разматрање односа концентрација метала и металоида у одређеним узорцима (земљишту, корену и опраном лишћу, односно иглицама). Експерименталне, статистичке и методе калкулације коришћене у овој докторској дисертацији су у потпуности адекватне за

дату врсту истраживања и вишеструко су примењиване у публикацијама објављеним у међународним часописима са импакт фактором.

3.4. Применљивост остварених резултата

Прегледом доступне литературе утврђено је да постоји врло мало литературних података о употреби храста, смреке, а нарочито лешника, за индикацију метала и металоида у областима са рударско–металуршком активношћу.

На основу резултата дисертације може се закључити да је остварен значајан допринос у области биомониторинга животне средине и фиторемедијације земљишта на подручју под директним утицајем загађујућих суспензија пореклом из операција експлоатације и прераде руде бакра.

У оквиру дисертације приказане су концентрације метала и металоида у узорцима земљишта, корена, гране, опраног и неопраног лишћа, односно иглица, што је редак случај свеобухватне анализе у научним публикацијама, нарочито са подручја која се налазе у близини топионица бакра. Значајан број места узорковања око различитих извора загађења дистрибуираних у оквиру шест зона, представљају велику предност истраживања у оквиру дисертације у поређењу са литературним наводима. Анализиране су концентрације метала и металоида у узорцима опраног и неопраног лишћа/иглица, као и упоредно приказане концентрације у узорцима лишћа и једногодишњих иглица, што представља значајан допринос сазнањима о понашању листопадних и зимзелених врста у карактеристичним условима загађења. Испитиване врсте храст, смрека и лешник су показале различит одговор на загађење ваздуха и земљишта у зонама узорковања. Могућност индикације загађења употребом наведених врста било је најочигледније у случају садржаја бакра и арсена, поред осталих тешких метала. Резултати дисертације такође представљају потврду вишегодишњег кумулативног загађења животне средине Бора и околине. Како су резултати до којих је дошао Кандидат проистекли из реалних услова загађења, то указује на велику могућност практичне примене резултата у областима са сличним изворима загађења.

Такође, имајући у виду да је у међувремену почела са радом нова топионица бакра, наредним истраживањима постоји могућност потврде смањеног загађења животне средине Бора и околине. Фокус наредних истраживања може бити на елементима који су показали највеће обогаћење земљишта и биљног материјала. Потребно је радити и на побољшању могућности коришћења испитиваних биљних врста у сврхе фиторемедијације загађеног земљишта.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Урађена докторска дисертација, анализа добијених резултата, публикован научни рад, претходно учешће у реализацији научно–истраживачких пројеката и велики број досадашњих објављених радова указују на способност кандидата Ане Радојевић за самостални научни рад, као и за активно учешће у тимском раду. Кандидат је током израде дисертације у потпуности овладао методологијом научно–истраживачког рада.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Истраживања остварена у оквиру ове докторске дисертације дала су више значајних научних доприноса у области примене дрвенастих биљних врста у биомониторингу и фиторемедијацији, при чему се може издвојити следеће:

- ✓ Развијање методологије узорковања на великом броју локација на основу топографије подручја испитивања, података о загађењу ваздуха и просечних метеоролошких осматрања;
- ✓ Утврђивање садржаја 12 метала/металоида у узорцима земљишта и деловима храста, смреке и лешника (корену, грани, опраном и неопраном лишћу/иглицама, простим цвастима за лешник);
- ✓ Утврђивање обогаћења земљишта и биљног материјала испитиваним металима/металоидима упоређењем са контролном зоном узорковања и нормализацијом са алуминијумом у циљу елиминације утицаја ресуспендоване прашине;
- ✓ Дефинисање путева усвајања и транслокације метала/металоида на основу анализе биолошких фактора;
- ✓ Процена могућности употребе храста, смреке и лешника у биомониторингу аерозагађења и фиторемедијацији земљишта;
- ✓ Тумачење резулата о загађењу животне средине Бора и околине.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Постављене циљеве и задатке истраживања Кандидат је у току израде докторске дисертације остварио у потпуности. Резултати су указали да су одређени анализирани елементи били садржани у малим концентрацијама у узоркованом земљишту и биљном материјалу, за разлику од других чији је садржај био алармантно висок, на основу чега је могуће вршити усмеравање наредних истраживања из области биомониторинга и фиторемедијације. Подаци са места узорковања у руралној зони указали су на веома висок ниво загађења земљишта, на основу којих је могуће извршити едукацију локалног становништва, услед активне употребе земљишта у пољопривредне сврхе. Поред предвиђених циљева, остварени експериментални резултати могу допринети потпунијем разумевању понашања три биљне врсте у условима повећаног загађења ваздуха и земљишта.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос докторске дисертације је верификован кроз публикацију у научном часопису из категорије M20. Објављивање још два научна рада у часописима са импакт фактором и саопштења на конференцијама са међународним учешћем су у току.

Рад објављен у међународном часопису из категорије M21:

Radojevic A.A., Serbula S.M., Kalinovic T.S., Kalinovic J.V., Steharnik M.M., Petrovic J.V., Milosavljevic J.S. (2017) Metal/metalloid content in plant parts and soils of *Corylus* spp. influenced by mining–metallurgical production of copper. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–15 (DOI:10.1007/s11356-017-8520-9).

IF(2015) = 2,760 (Environmental Sciences)

ISSN:0944–1344


<http://link.springer.com/article/10.1007/s11356-017-8520-9/fulltext.html>

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

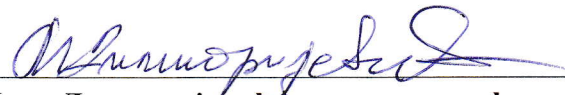
Докторска дисертација кандидата **АНЕ РАДОЈЕВИЋ**, дипл. инж. технолошког инжењерства – мастер, под називом „Биомониторинг ваздуха и фиторемедијација земљишта употребом храста, смреке и лешника”, представља савремен, оригиналан и значајан научни допринос у области заштите животне средине. Комисија закључује да је урађена дисертација написана према стандардима научно–истраживачког рада, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Стандардима за акредитацију, као и Статутом Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду. У дисертацији, предмет и циљеви истраживања су јасно наведени и остварени, а приказани резултати су применљиви у пракси. На основу прегледане докторске дисертације, Комисија за оцену и одбрану урађене докторске дисертације закључује, да Кандидат **АНА РАДОЈЕВИЋ**, дипл. инж. технолошког инжењерства – мастер, испуњава све законске и остале услове за одбрану докторске дисертације и предлаже Наставно–научном већу Техничког факултета у Бору, да се дисертација прихвати, изложи на увид јавности у законски предвиђеном року и упути на усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да након завршетка ове процедуре, позове Кандидата на усмену одбрану.

У Бору, 10.04.2017.год.

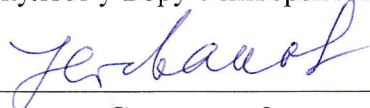
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



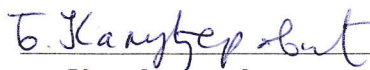
Др Снежана Шербула, редовни професор
Технички факултету Бору Универзитета у Београду



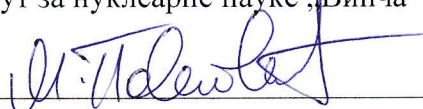
Др Миле Димитријевић, ванредни професор
Технички факултет у Бору Универзитета у Београду



Др Јасмина Стевановић, научни саветник
Институт за Хемију, Технологију и Металургију Београд



Др Бранка Калуђеровић, виши научни сарадник
Институт за нуклеарне науке „Винча” Београд



Др Мирослав Павловић, научни сарадник
Институт за Хемију, Технологију и Металургију Београд