

Факултет Технички факултет у Бору

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука
(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуке о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и о именовању комисије за одбрану

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације:

КАНДИДАТ ЈЕЛЕНА (Велибор) ПЕТРОВИЋ
(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму **Технолошко инжењерство**

пријавио је докторску дисертацију под називом:

Хеометријска карактеризација тешких метала у земљишту и изданцима пионирских врста које расту у близини загађених вода у непосредној околини рударско-металуршког комплекса у Бору: Аспекти фитоекстракције и биомониторинга

из научне области: **Технолошко инжењерство**

Универзитет је дана 13.02.2023. својим актом под бр. 61206-444/2-23 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

Хеометријска карактеризација тешких метала у земљишту и изданцима пионирских врста које расту у близини загађених вода у непосредној околини рударско-металуршког комплекса у Бору: Аспекти фитоекстракције и биомониторинга

Име и презиме ментора: **Др Слађана Алагић,**
редовни професор, Технички факултет у Бору

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној **27.04.2023.** године одлуком факултета под бр. VI/4-7-7, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Снежана Милић	ред. професор	Хемија, хемијска технологија и хемијско инжењерство	Технички факултет у Бору
2.	Др Снежана Тошић	ред. професор	Физичка хемија	Природно математички факултет у Нишу
3.	Др Зоран Стевановић	виши научни сарадник	Екологија и третман воде	Институт за рударство и металургију у Бору

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности 11.05.2023.године

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној 29.06.2023. године

Комисија за одбрану докторске дисертације именована на седници одржаној 29.06.2023. године

одлуком факултета под бр. VI/4-9-126, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Снежана Милић	ред. професор	Хемија, хемијска технологија и хемијско инжењерство	Технички факултет у Бору
2.	Др Снежана Тошић	ред. професор	Физичка хемија	Природно математички факултет у Нишу
3.	Др Зоран Стевановић	виши научни сарадник	Екологија и третман воде	Институт за рударство и металургију у Бору

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

- Прилози:
1. Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације
 2. Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
 3. Примедбе на извештај Комисије о оцени докторске дисертације (уколико их је било) и мишљење Комисије о примедбама

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

Универзитет у Београду
Технички факултет у Бору
Број: VI/4-9-12a
Бор, 29. 06. 2023. године

На основу чл. 49. Статута Техничког факултета у Бору и чл. 44. Правилника о докторским студијама на Техничком факултету у Бору, Наставно-научно веће Факултета на седници одржаној 29. 06. 2023. године, донело је

О Д Л У К У

I Усваја се Извештај Комисије за оцену докторске дисертације кандидата **Јелене Петровић**, студента докторских академских студија студијског програма Технолошко инжењерство, под називом: „**Хеометријска карактеризација тешких метала у земљишту и изданима пионирских врста које расту у близини загађених вода у непосредној околини рударско-металуршког комплекса у Бору: Аспекти фитоекстракције и биомониторинга**”.

II Универзитет у Београду је дана **13. 02. 2023. године** дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

III Радови из научних часописа са листе која је утврђена као релевантна за вредновање научне компетенције у одређеном научном пољу:

Категорија M21

Jelena V. Petrović, Slađana Č. Alagić, Snežana M. Milić, Snežana B. Tošić, Mile M. Bugarin, Chemometric characterization of heavy metals in soils and shoots of the two pioneer species sampled near the polluted water bodies in the close vicinity of the copper mining and metallurgical complex in Bor(Serbia): Phytoextraction and biomonitoring contexts, ***Chemosphere***, 262 (2021) 127808, **M21**
ISSN: 0045 – 6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127808>, IF(2021) = 8,943

IV Одлуку доставити надлежном Већу научних области Универзитета у Београду, ради давања сагласности. Докторска дисертација из става 1. ове одлуке подобна је за одбрану након добијања сагласности именованог Већа Универзитета.

Доставити:

- именованом
- Већу научних области Универзитета у Београду
- студентској служби
- архиви

ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА

ДЕКАН

Проф. др Дејан Таникић

Универзитет у Београду
Технички факултет у Бору
Број: VI/4-9-126
Бор, 29. 06. 2023. године

На основу чл. 49. Статута Техничког факултета у Бору и чл. 45. Правилника о докторским студијама на Техничком факултету у Бору, Наставно-научно веће Факултета на седници одржаној 29. 06. 2023. године, донело је

О Д Л У К У

I Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације кандидата **Јелене Петровић**, студента докторских академских студија студијског програма Технолошко инжењерство, под називом: **„Хеометријска карактеризација тешких метала у земљишту и изданима пионирских врста које расту у близини загађених вода у непосредној околини рударско-металуршког комплекса у Бору: Аспекти фитоекстракције и биомониторинга”**, у саставу:

1. др Снежана Милић, редовни професор, Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору - председница комисије;
2. др Снежана Тошић, редовни професор, Универзитет у Нишу, Природно-математички факултет у Нишу - чланица комисије;
3. др Зоран Стевановић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију у Бору - члан комисије.

II Одлуку доставити надлежном Већу научних области Универзитета у Београду, ради давања сагласности. Докторска дисертација из става 1. ове одлуке подобна је за одбрану након добијања сагласности именованог Већа Универзитета.

Доставити:

- именованој
- Већу научних области Универзитета у Београду
- студентској служби
- архиви

ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА

ДЕКАН

Проф. др Дејан Таникић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат комисије о оцени докторске дисертације кандидаткиње Јелене В. Петровић, мастер - хемичара

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, бр. VI/4–7–7 од 27.04.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње Јелене В. Петровић, под називом: „Хеометријска карактеризација тешких метала у земљишту и изданцима пионирских врста које расту у близини загађених вода у непосредној околини рударско-металуршког комплекса у Бору: Аспекти фитоекстракције и биомониторинга”. 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:

✓ **30.11.2022.** – На састанку Већа катедре за Хемију и хемијску технологију Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, разматрана је пријава теме за докторску дисертацију кандидаткиње Јелене В. Петровић (мастер-хемичар), која је заведена под ознаком VI-1/15-251 (предата на дан 29.11.2022.). На истој седници Већа катедре, Наставно–научном већу Техничког факултета у Бору, предложена је и Комисија за давање мишљења о научној заснованости и подобности предложене теме докторске дисертације у саставу: др Снежана Милић, ред. проф., др Снежана Тошић, ред. проф. и др Зоран Стевановић, виши научни сарадник. Такође, Веће катедре за хемију и хемијску технологију, једногласно је за ментора предложило др Слађану Алагић, редовног професора Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, која има значајан број публикованих радова у часописима са СЦИ листе. Предлог теме дисертације: „Хеометријска карактеризација тешких метала у земљишту и

изданица пионирских врста које расту у близини загађених вода у непосредној околини рударско-металуршког комплекса у Бору: Аспекти фитоекстракције и биомониторинга”, састав Комисије, као и предлог ментора, прослеђени су Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду на даље разматрање и усвајање.

✓ **22.12.2022.** - На седници Наставно–научног већа Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, прихваћен је предлог Већа катедре за хемију и хемијску технологију, тако да је Одлуком бр. VI/4–3–14, од 23.12.2022. год. именована Комисија за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације кандидаткиње Јелене В. Петровић, у саставу:

- др Снежана Милић, редовни професор, Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору,
- др Снежана Тошић, редовни професор, Универзитет у Нишу, Природно-математички факултет у Нишу и
- др Зоран Стевановић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију у Бору.

✓ **26.1.2023.** – На седници Наставно–научног већа Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, једногласно је прихваћен Извештај и предлог Комисије о научној заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње Јелене В. Петровић и за ментора предложена др Слађана Ч. Алагић, редовни професор Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, што је потврђено и одговарајућом Одлуком бр.: VI/4-4-11 од 27.1.2023_(достављена и Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду).

✓ **13.02.2023.** - Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду прихватило је Захтев Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору: I/2-88 од 30.1.2023., донет на основу Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме, и донело решење, тј., Одлуку бр.: 61206-444/2-23 о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације кандидаткиње Јелене В. Петровић, као и на предлог др. Слађане Ч. Алагић, за ментора кандидаткиње.

✓ **11.04.2023.** - На седици Већа катедре за Хемију и хемијску технологију, Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, потврђено је да је кандидаткиња Јелена В. Петровић завршила израду докторске дисертације (која је 5.4.2023. год. проверена и на оригиналност) и разматран је захтев кандидаткиње (бр.: VI-1/10-48 од 10.04.2023. год.) за формирање Комисије за оцену докторске дисертације под називом: „Хеометријска карактеризација тешких метала у земљишту и изданица пионирских врста које расту у близини загађених вода у непосредној околини рударско-металуршког комплекса у Бору: Аспекти фитоекстракције и биомониторинга”. Веће катедре за хемију и хемијску технологију једногласно је прихватило захтев Јелене В. Петровић, студента докторских академских студија на Технолошком инжењерству (бр. индекса 10/16), за формирање Комисије за оцену докторске дисертације: „Хеометријска карактеризација тешких метала у земљишту и изданица пионирских врста које расту у близини загађених вода у непосредној околини рударско-металуршког комплекса у Бору: Аспекти фитоекстракције и биомониторинга” и предложило Наставно-научном већу факултета Комисију за оцену докторске дисертације у саставу:

1. др Снежана Милић, ред. проф., Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору;

2. др Снежана Тошић, ред. проф., Универзитет у Нишу, Природно-математички факултет у Нишу и

3. др Зоран Стевановић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију у Бору.

✓ **27.04.2023.** – Одржана је седница Наставно–научног већа Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, на којој је именована Комисија за оцену докторске дисертације кандидаткиње Јелене В. Петровић, у саставу (Одлука бр. VI/4–7–7 од 27.04.2023.): проф. др Снежана Милић, Технички факултет у Бору, Универзитет у Београду (председница); проф. др Снежана Тошић, Природно-математички факултет, Универзитет у Нишу (члан) и др Зоран Стевановић, виши научни сарадник Института за рударство и металургију у Бору (члан).

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом: „Хеометријска карактеризација тешких метала у земљишту и издацима пионирских врста које расту у близини загађених вода у непосредној околини рударско-металуршког комплекса у Бору: Аспекти фитоекстракције и биомониторинга” по предмету истраживања припада научној области **технолошко инжењерство** и ужој научној области **хемија, хемијска технологија и хемијско инжењерство**, за које је Технички факултет у Бору Универзитета у Београду акредитован. За ментора докторске дисертације одређена је др Слађана Ч. Алагић, редовни професор Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду. Досадашње искуство и објављени радови др Слађана Ч. Алагић, указују на њену компетентност у поступку руковођења израде докторске дисертације кандидаткиње Јелене В. Петровић. Као аутор или коаутор, објавила је 120 радова са рецензијом, од којих је 38 из категорије M20, h-index - 14, укупна цитираност - 586 за 38 документа (Scopus база од 7.5.2023.год.). Аутор је и 1 поглавља у монографији водећег међународног значаја категорије M15, 1 поглавља у научној монографији водећег међународног значаја категорије M13, као и 1 монографије националног значаја категорије M42.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Јелена В. Петровић, рођена је Бору 24.01.1973. год. Основну школу "Бранко Радичевић" и гимназију "Бора Станковић" завршила је у Бору. Природно-математички факултет, Одсек хемија завршила је у Крагујевцу 2005. године и стекла звање дипломирани хемичар за истраживање и развој, што је изједначено са академским називом: мастер – хемичар. Докторске академске студије уписала је школске 2016/17. године на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду, студијски програм Технолошко инжењерство. Говори и пише енглески језик.

Од марта 2006. године почиње да ради као волонтер у Институту за рударство и металургију у Бору и за годину дана волонтирања прошла обуку на свим методама које се примењују у хемијској лабораторији Института.

Од 10.04.2007. године запослена је у хемијској лабораторији Института за рударство и металургију, у звању истраживач-сарадник. Радила је анализе на рентгенско флуоресцентном анализатору, јон-селективној (флуоридној) електроди, на развијању метода разарања тешко

растворних узорака у микроталасној пећници, анализама на термогравиметријском анализатору, анализама на оптичком емисионом спектрометру са варницом, као и многим другим техникама које поседује лабораторија Института.

Од 01.01.2015. године, па до данас, ради на месту главног координатора у хемијској лабораторији Института за рударство и металургију у Бору.

Кандидаткиња Јелена В. Петровић, аутор је или коаутор бројних радова публикованих у међународним часописима (категорије M21a – 2 рада, M21 – 3 рада, M22 – 3 рада, M23 – 6 радова), часописима националног значаја (категорије M51 – 2 рада, M52 – 4 рада), као и саопштења са конференција међународног и националног значаја (категорије M33 – 23 рада, M34 – 6 радова, M63 – 4 рада) и 2 експертизе. Била је и учесник 7 међународних пројеката

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1 Обим дисертације

Докторска дисертација садржи 44598 речи на 92 стране рачунарски обрађеног текста (од Увода па закључно са поглављем: Литература и насловом: Прилози), 12 почетних страна (Насловна страна на српском и енглеском језику, Сажетак на српском и енглеском језику, Захвалница и Садржај), 8 страна прилога, тј. завршних страна (биографија аутора и изјаве о ауторству).

Укупан број страна дисертације је 112 и све су формата задатог по упутству за израду докторских дисертација на факултетима Београдског Универзитета. Дисертација садржи:

- 17 табела (све у текстуалном делу);
- 40 слика (све у у текстуалном делу дисертације) и
- 149 литературних извора коришћених у дисертацији (заједно са коришћеним линковима).

2.2. Структура и садржај дисертације

Структура и садржај дисертације су такви да после краћег увода у тему следе поглавља и потпоглавља која логичним редоследом објашњавају тематику којом се кандидаткиња бавила (како у поглављу: "Теоријске основе са литературним прегледом података", тако и у поглављу: "Основне полазне хипотезе и циљ рада"), а затим се излажу и експериментална истраживања и резултати, као и закључци предметне дисертације. Коначно, на крају дисертације су представљени и списак коришћене литературе, као и прилози. Нека од најважнијих поглавља и потпоглавља у дисертацији су:

1. Увод: Хемометријско одређивање тешких метала у биљном и земљишном материјалу са посебним акцентом на аспекте биомониторинга и фиторемедијације
2. Теоријске основе са литературним прегледом података
 - 2.1. Фиторемедијација и биомониторинг – две еколошке методе у контроли и заштити животне средине у односу на тешке метале

- 2.2. Хеометрија у анализи метала из земљишних и биљних узорака са акцентом на значај за фиторемедијацију и биомониторинг
- 2.3. Примери хеометријског приступа у анализи метала земљишних и биљних узорака са посебним акцентом на фиторемедијацију и биомониторинг
- 3. Основне полазне хипотезе и циљ рада
- 4. Експериментални део
 - 4.1. Опис места истраживања
 - 4.2. Опис испитиваних биљних врста
 - 4.3. Узорковање, припрема и анализа биљног и земљишног материјала
 - 4.4. Процесуирање резултата добијених хемијском анализом
- 5. Резултати и дискусија
 - 5.1. Резултати за млечнику и коприву из Оштреља са краћом дискусијом
- 6. Закључак
- Литература
- Прилози

По својој форми, садржају, добијеним резултатима, њиховој применљивости, ова докторска дисертација у потпуности задовољава критеријуме и стандарде како Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, тако и самог Универзитета у Београду.

2.3. Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу **Увод** указано је на проблем загађења животне средине тешким металима који се емитују услед антропогених активности, а нарочито рударских и металуршких. Указано је на значај примене фиторемедијације и биомониторинга као две еколошки и економски крајње прихватљиве методе у контроли квалитета животне средине у односу на ове опасне загађујуће материје. При томе, биљни биомониторинг, пружа корисне и поуздане информације о нивоу загађења области од интереса, док се загађене сфере животне средине могу потпуно, или бар делимично рехабилитовати различитим методама фиторемедијације. Укратко је указано и на токсичност и потенцијалну токсичност појединих метала према биљкама, а посебно оних који су испитивани у конкретној дисертацији: Cu, Zn, Pb, Cd, као и металоида As (због своје високе токсичности и As се често убраја у тешке метале).

Поглавље **Теоријске основе са литературним прегледом података** садржи бројна потпоглавља у којима су дата детаљнија објашњења о фиторемедијацији и биомониторингу, о њиховим разним методама које се могу употребити, али су дата и објашњења о начинима како биљке (као специфично организовани, стационирани организми) усвајају метале преко корена, а како преко листа, као и који земљишни параметри могу да утичу на ове процесе (pH, EC, OM), а затим и како даље ови организми могу да поступају са металима у својим ћелијама, ткивима, али и у земљишту у непосредној близини самог корена. Објашњени су и неки важни појмови као што су фитотоксичност, толерантност према металима, стратегије биљака у борби против токсичних концентрација метала, способности за излучивање коренских екскудата, али и

могућности акумулације (до хиперакумулације) у биљним ткивима, као и значај ових механизма за фиторемедијацију и биомониторинг. Оно што је такође веома важно, указано је и на значај хеометријског приступа резултатима који се добијају хемијском анализом података "забележених" у биљном материјалу, што значи да су описане не само најсавременије методе хемијске квалитативне и квантитативне детекције елемената (са посебним акцентом на спектроскопске методе и масену спектрометрију са индуктивно спрегнутом плазмом, ICP-MS, као аналитичке методе која је коришћена у овој дисертацији), већ су укратко описане и најчешће коришћене методе статистичке обраде резултата добијених хемијском анализом. У посебном, последњем потпоглављу, наведени су и бројни примери студија из целог света, које су користиле различите хеометријске приступе за објашњење добијених резултата и извлачење правилних закључака.

Основне полазне хипотезе и циљ рада је поглавље у којем су приказане не само постављене полазне хипотезе, већ су дефинисани и предмет и циљ предметне дисертације. Наиме, у овој докторској дисертацији, кренуло се од неколико основних хипотеза и то:

- да непосредна околина рударско-металуршког комплекса у Бору представља изразито адекватну локацију за истраживање, а посебно оне тачке које се налазе у близини тешко загађених вода, јер све оне представљају места која су годинама била изложена загађењима пореклом од рударско-металуршких активности и то не само од оних која долазе из ваздуха засићеног честицама прашине са значајним садржајем тешких метала, већ и од повремених изливања природних мањих, или већих водотокова оптерећених разним метал(оид)има, као и изузетно киселим рудничким водама (позната је чињеница да је, услед дугогодишњег загађења токсичним металима, околина многих река и речица у борском региону потпуно измењена у односу на првобитно стање, тотално нарушена и претворена у огољени предео, без вегетације);
- претпостављено је такође да, без обзира на овако тешко стање, постоје и неке биљке, а пре свега из категорије пионирских врста (врсте које прве насељавају подручја опустошена и огољена услед различитих разлога), а које би се могле наћи на изабраним местима Бора и његове непосредне околине, тј. у близини појединих локалних река, потока, али и језера Робуле на напуштеном флотацијском јаловишту (као вештачког резервоара киселих рудничких вода) и које би даље могле послужити као одлични кандидати за испитивање аутентичних биљних фиторемедијационих и биомониторинг потенцијала. Наиме, уколико би се на више ових критичних места пронашли примерци појединих биљних пионирских врста, које као изузетно отпорне и жилаве врсте могу да преживљавају на тешко оштећеним теренима (у условима фитотоксичних концентрација), онда би било могуће и спровести једно интердисциплинарно истраживање које би указало да ли одабране биљне врсте поседују и добре способности за ефективно усвајање и акумулацију тешких метала (нарочито у својим надземним деловима, али без испољавања штетних ефеката) и да као такве буду лако примењиве не само за ревегетацију и спречавање ерозије проблематичних терена, већ и за фиторемедијацију (практично - фитоекстракцију) и биомониторинг загађених подручја;
- главна претпоставка, тј. очекивање, било је да је могуће и уочавање, идентификација и анализа неке до сада неиспитане биљне врсте са израженим акумулаторским капацитетима, а што би

било од великог доприноса за фиторемедијацију (фитоекстракцију) и биомониторинг, као две релативно нове и веома обећавајуће методе из области технолошких наука;

- постојало је очекивање да ће одабир метода истраживања, а пре свега најсавременијег хеометријског приступа, омогућити добијање прецизних и поузданих података који ће даље обезбедити доношење недвосмислених и поузданих закључака.

На основу свега изложеног, предмет и циљ ове докторске дисертације, у најширем смислу, дефинисан је као хеометријски приступ у испитивању аутентичних потенцијала пионирских биљних врста из екстремно загађеног региона Бора (источна Србија), за усвајање и акумулацију тешких метала, а ради потенцијалне примене пронађених биљака у сврхе биомониторинга и фиторемедијације (нарочито фитоекстракције као најефектније методе фиторемедијације).

У поглављу **Експериментални део**, описани су и објашњени материјали, методе и фазе рада, тако да је детаљно приказано подручје испитивања (са мапом комплетног подручја, али и сликама сваке поједине од укупно 5 локација, а дати су и доступни подаци о загађењу њихових вода, ваздуха и земљишта/седимента из ранијих периода); затим су описане и испитиване биљне врсте са селектованих локација (на свих 5 локација нађене су 2 биљне врсте које се понављају: млечика сунцоглед, *Euphorbia helioscopia* L. и обична коприва, *Urtica dioica* L.). Посебно потпоглавље посвећено је детаљном опису узорковања, припреме и методама хемијске анализе биљног и одговарајућег земљишног/седиментног материјала, а последње потпоглавље објашњава начине процесуирања добијених резултата, тј. примењене методе статистичке анализе (Pearson-ова корелациона студија, једносмерна анализа варијансе, One-way ANOVA и хијерархијска кластер анализа, НСА), као и обрачун одговарајућих биоакумулационих фактора који указују на моћ одређене биљне врсте да акумулира одређени тешки метал.

Поглавље **Резултати и дискусија** садржи резултате хемијске и статистичке анализе, као и израчунавања одговарајућих биоакумулационих фактора приказане у бројним табелама, хистограмима и дендрограмима. Резултати су дискутовани са више аспеката: детектоване концентрације испитиваних тешких метала у земљишту/седименту упоређене су са просечним концентрацијама у свету, затим са одговарајућим српским и европским законским ограничењима, али и са фитотоксичним концентрацијама установљеним од стране различитих аутора. Такође су и концентрације детектоване у биљном материјалу (надземни делови, тј. изданци обе сакупљене биљне врсте) упоређене са фитотоксичним, али и нормалним концентрацијама у биљкама. Статистичка метода: One-way ANOVA, примењена је и на биљне и на земљишне/седиментне концентрације ради уочавања статистички значајних разлика између концентрација у одговарајућим матриксама (земљиште/седимент и изданци обе биљне врсте). Pearson-ова корелациона студија је искоришћена на више начина: ради утврђивања значајности и природе (позитивна, или негативна) корелација, тј. односа између испитиваних параметара, као што су на пример: 1) детектоване концентрације у изданима са концентрацијама у земљишту/седименту, али и другим мереним земљишним параметрима (рН, ЕС, ОМ, укупни N и P), 2) између самих концентрација метал(оид)а у земљишту/седименту и 3) између детектованих концентрација метал(оид)а у земљишту/седименту, као и у изданима обе биљне врсте са удаљеношћу места узорковања од рударско-металуршког комплекса, тј. од топионице у

Бору, као главног извора загађења тешким металима у целом региону. Адекватна илустрација дела ових резултата приказана је и на хијерархијским дендрограмима добијеним методом повезивања просечних вредности између група уз Pearson-ову корелацију као мерни интервал. Друга врста хијерархијских дендрограма, на којој се уочава јасна класификација локација по загађености, добијена је Ward-овом методом са коришћењем квадрата Euclidean удаљености као мерним интервалом. И једна и друга метода НСА примењене су на све испитиване матриксе (земљиште/седимент и појединачно - издanci обе сакупљене биљне врсте). Такође, преко одговарајућег хистограма, приказани су резултати израчунавања одговарајућих биоакумулационих фактора за сваки метал(оид) у одговарајућим издancима за сваку локацију. Комбинација примењених метода и тумачење њихових резултата развијено је кроз ширу дискусију и усмерено у правцу добијања одговарајућих, прецизних, тачних закључака.

У оквиру поглавља **Закључак**, изведени су најважнији закључци проистекли на основу резултата и дискусије истраживања из докторске дисертације, са посебним акцентом на значај примене хеометрије у одређивању биљних фиторемедијационих и биомониторинг потенцијала.

У поглављу **Литература** дат је абecedни преглед коришћене литературе – 149 референци које су цитиране кроз целокупни текст докторске дисертације.

На крају дисертације, дати су **Прилози**, у виду завршних страна (биографија аутора и изјаве о ауторству).

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост, оригиналност и значај

Савременост, оригиналност и значај ове дисертације огледа се не само у испитивању аутентичних потенцијала пионирских биљних врста из Бора и његове непосредне околине (пре свега са места покрај тешко загађених вода) за примену у релативно новим, еколошким методама контроле и заштите животне средине, тј., за фиторемедијацију и биомониторинг, већ и у умећу одабира најадекватнијих и најсавременијих метода хемијске и статистичке анализе, тј. у одабраном хеометријском приступу у тумачењу добијених резултата.

Наиме, проблеми узроковани тешким металима антропогеног порекла, а нарочито оних пореклом од рударских и металуршких активности присутни су широм света. Они обично производе јаке негативне ефекте кроз масивне емисије отпадних гасова, или кроз неадекватно одлагање великих количина чврстог, или течног отпада обогаћеног металима и то како у најближем локалном окружењу, тако и у комплетној биосфери. Зато и менаџмент загађених сфера животне средине представља тему од глобалног интереса, а посебно у односу на земљиште као добро познати (природни) резервоар различитих полутантата, тј. загађујућих материја.

Међутим, често, не постоје једноставна решења за ефективно "излечење" контаминираних медијума, или за контролу негативног утицаја тешких метала на живе организме. Бројне технологије базиране на различитим физичким, електричним, термалним, хемијским, или биолошким процесима биле су тестиране у циљу добијања поузданих и тачних података у односу на њихову ефективност при редукацији, или тоталном уклањању тешких метала са контаминираних места. Изведени тестови показали су многе афирмативне, али у исто време и бројне негативне резултате за сваки поједини, или комбиновани приступ. Потенцијали различитих технологија били су разматрани на бази њихове ефикасности, трајања, коштања и евентуалним (додатним) поремећајима третираних матрикса. Током последњих деценија, једна нова "зелена" технологија, позната као фиторемедијација, презентована је и уведена у праксу као релативно једноставна, јефтина и еколошка метода, како у односу на загађену воду и ваздух, тако и на земљиште, као веома важан, али и екстремно слабо обновљиви (практично - необновљиви) природни ресурс. У случају земљишта, било је показано да фиторемедијација, иако дуготрајни процес (базиран на специфичним биљним капацитетима за толеранцију метала), може потпуно да уклони, или бар да имобилише метале на великим контаминираним површинама и то на врло ефикасан и безбедан начин, поправљајући истовремено физичке, хемијске и биолошке карактеристике третиране подлоге.

Осим тога, како биљке, осим преко корена, могу усвајати тешке метале и преко листова (из контаминираних честица прашине), то се ова појава може искористити не само за (делимично) уклањање метала из атмосфере, већ и у различитим процедурама биомониторинга, као још једне еколошке и економски исплативе методе за контролу и заштиту животне средине. Поред тога, неусвојени део атмосферске прашине, може бити задржан на горњој површини лишћа, што даје могућност процене једног истинског профила атмосферског загађења у контаминираној области, тако да су многи аутори у својим биомониторинг тестовима користили неопрано лишће. Поједини аутори су у ове сврхе користили и корење биљака, али, у овом случају, резултати нису били на задовољавајућем нивоу.

Дисертација указује да су више, тј. васкуларне, копнене, биљке врло специфично организовани живи организми са јединственим екобиолошким карактеристикама, које вреди испитивати у сврхе фиторемедијације и биомониторинга.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Када су у питању наведени потенцијали биљака за примену у ремедијацији и мониторингу животне средине, до данас је испитан велики број биљних врста, а такође и начини којима оне усвајају и акумулирају метале у својим ткивима. Студије објављене на ове теме у светској литератури су бројне, док је на српском језику публикован значајно мањи број радова и то пре свега аутора Алагих (2014) и Алагих и сар. (2014). Ови аутори су у својим истраживањима прегледног типа, пренели мноштво података објављених у иностраној литератури и приближили домаћој стручној и научној јавности проблематику о способностима биљака у успостављању различитих тактика у борби против токсичних концентрација метала, које имају кључну улогу у прилагођавању и опстанку у агресивном окружењу. Ова докторска дисертација се у свом теоретском и литературном делу ослања не само на поменуте домаће изворе, већ и на

водећу светску literaturu publikovanu pre svega u najnovijem vremenskom periodu, ali isto tako i u periodima samih početaka istraživanja metoda fitoremedijacije i biomonitoringa, kao i хеометрије, која се све више показује неопходном у овим истраживањима. Неке од коришћених референци су:

Alagić, S.Č. 2014. Strategije biljaka u borbi protiv fitotoksičnih koncentracija metala kao ključni preduslov uspešne fitoremedijacije: Ćelijski mehanizmi. deo I / Plants strategies against metal phytotoxicity as a key prerequisite for an effective phytoremediation: Cellular mechanisms. part I. *Zaštita materijala/Materials protection* 55(3):313-322.

Alagić, S.Č., Nujkić, M.M., Dimitrijević, D.M. 2014. Strategije biljaka u borbi protiv fitotoksičnih koncentracija metala kao ključni preduslov uspešne fitoremedijacije: Ekskluderi i hiperakumulatori, deo II / Plants strategies against metal phytotoxicity as a key prerequisite for an effective phytoremediation: Excluders and hyperaccumulators, part II. *Zaštita materijala/Materials protection* 55(4):435-440.

Alagić, S.Č., Tošić, S.B., Dimitrijević, M.D., Antonijević, M.M., Nujkić, M.M. 2015a. Assessment of the quality of polluted areas based on the content of heavy metals in different organs of the grapevine (*Vitis vinifera*) cv Tamjanika. *Environmental Science and Pollution Research* 22(9):7155-7175.

Alagić, S.Č., Tošić, S.B., Dimitrijević, M.D., Petrović, J.V., Medić, D.V. 2016. The characterization of heavy metals in the grapevine (*Vitis vinifera*) cultivar Rkatsiteli and wild blackberry (*Rubus fruticosus*) from East Serbia by ICP-OES, and BAFs. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 47(17):2034-2045.

Alagić, S.Č., Tošić, S.B., Dimitrijević, M.D., Petrović, J.V., Medić, D.V. 2017. Chemometric evaluation of trace metals in *Prunus persica* L. Batech and *Malus domestica* from Minićevo (Serbia). *Food Chemistry* 217:568-575.

Alagić, S.Č., Stević, Z.M., Jovanić, P.B., Morić, I., Jeremić, S., Popara, Lj.B. 2018a. The characterization of the selected trees damaged during severe weather episode on the mountain Avala (Serbia) using IR thermography, ICP-OES, and microbiological analysis. *International Journal of Environmental Research* 12(2):135-146.

Alagić, S.Č., Tošić, S.B., Dimitrijević, M.D., Nujkić, M.M., Papludis, A.D., Fogl, V.Z. 2018b. The content of the potentially toxic elements. iron and manganese in the grapevine cv Tamjanika growing near the biggest copper mining/metallurgical complex on the Balkan peninsula: Phytoremediation, biomonitoring, and some toxicological aspects. *Environmental Science and Pollution Research* 25(34):34139-34154.

Alagić, S.Č., Nujkić, M.M., Tošić, S.B., Milić, S.M., Dimitrijević, M.D. 2019. Heavy Metal Pollution in the Region of Bor (Serbia) Resulting from the Long-Term Copper Mining and Metallurgical Activities: The Evidence Recorded in Plant Organs and Implications for Biomonitoring and Phytoremediation as Two Prospective Environmentally-Friendly Methods of Pollution Control. in Serbia: Current Issues and Challenges in the Areas of Natural Resources. Agriculture and Environment. Ed. Janev, I., New York. Nova Science Publishers US. pp. 301-356.

Alagić, S.Č. 2022. Prisustvo potencijalno toksičnih metala u regionu Bora (istočna Srbija): Biljni zapis. Urednik: dr Milan Trumić; Tehnički fakultet u Boru. Univerziteta u Beogradu.

Alloway, B.J. 2013. Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. Environmental Pollution (22), third edition. Springer New York. doi: 10.1007/978-94-007-4470-7

Araujo, G.C.L., Gonzalez, M.H., Ferreira, A.G., Nogueira, A.R.A., Nobrega, J.A. 2002. Effect of acid concentration on closed-vessel microwave-assisted digestion of plant materials. *Spectrochimica Acta Part B* 57:2121–2132.

ASŽS Bor, 2006. Analiza stanja životne sredine od šteta nastalih kao posledica prethodnog rada RTB Bor. - Finalni izveštaj. Fideco d.o.o.. ERM's Milan Office. Dostupno na: http://www.digitalnizavicaj.org.rs/pdf/texts/170/Analiza_stanja_zivotne_sredine_Borpdf.pdf.

Bačeva, K., Stafilov, T., Šajn, R., Tănăsolia, C., Makreski, P. 2014. Distribution of chemical elements in soils and stream sediments in the area of abandoned Sb–As–Tl Allchar mine. Republic of Macedonia. *Environmental Research* 133:77–89.

Barbosa, J.T.P., Santos, C.M.M., Peralva, V.N., Flores, E.M.M., Korn, M., No'brega, J.A., Korn, M.G.A. 2015. Microwave-assisted diluted acid digestion for trace elements analysis of edible soybean products. *Food Chemistry* 175:212–217.

Bhaduri, A.M., and Fulekar, M.H. 2012. Antioxidant enzyme responses of plants to heavy metal stress. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 11:55–69.

Bhargava, A., Carmona, F.F., Bhargava, M., Srivastava, S. 2012. Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. Review. *Journal of Environmental Management* 105:103-120.

Boyd, R.S. 2007. The defense hypothesis of elemental hyperaccumulation: status, challenges and new directions. *Plant and Soil* 293:153-176.

Cunningham, S.D., and Ow, D.W. 1996. Promises and prospects of phytoremediation. *Plant Physiology* 110:715–19.

Dimitrijevic, M., Nujkic, M., Alagic, S., Milic, S., Tosic, S. 2016. Heavy metal contamination of topsoil and parts of peach-tree growing at different distances from a smelting complex. *International Journal of Environmental Science and Technology* 13:615–630.

Dmuchowski, W., and Bytnerowicz, A. 2009. Long-term (1992–2004) record of lead, cadmium, and zinc air contamination in Warsaw. Poland: Determination by chemical analysis of moss bags and leaves of Crimean lime. *Environmental Pollution* 157:3413-3421.

Elshamy, M.M., Heikal, Y.M., Bonanomi, G. 2019. Phytoremediation efficiency of *Portulaca oleracea* L. naturally growing in some industrial sites, Dakahlia District, Egypt. *Chemosphere*. 225:678-687.

Esen, C., and Balci, A. 2008. Application of Microwave–Assisted Digestion to Trace Heavy Metal Determination in Sea Sediment Sample. *HACETTEPE JOURNAL OF BIOLOGY AND CHEMISTRY* 36(2):123-128.

European Communities Council (1986). Directive (86/278/EEC) on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. Off. J. Eur. Comm. L181/6 (1986). Dostupno na:
<http://eu-r-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31986L0278&from=EN>.

Fantozzi, F., Monaci, F., Blanus, T., Bargagli, R. 2013. Holm Oak (*Quercus ilex* L.) canopy as interceptor of airborne trace elements and their accumulation in the litter and topsoil. *Environmental Pollution* 183:89-95.

Gad, H.A., El-Ahmady, S.H., Abou-Shoer, M.I., Al-Azizi, M.M. 2013. Application of Chemometrics in Authentication of Herbal Medicines: A Review. *Phytochemical Analysis* 24:1–24.

Gallego, S.M., Pena, L.B., Barcia, R.A., Azpilicueta, C.E., Iannone, M.F., Rosales, E.P., Zawoznik, M.S., Groppa, M.D., Benavides, M.P. 2012. Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: Insight into regulatory mechanisms. *Environmental and Experimental Botany* 83:33-46.

Guarino, C., Zuzolo, D., Marziano, M., Baiamonte, G., Morra, L., Benotti, D., Gresia, D., Robortella Stacul, E., Cicchella, D., Sciarrillo, R. 2019. Identification of native-metal tolerant plant species in situ: Environmental implications and functional traits. *Science of the Total Environment* 650:156–3167.

Hall, J.L. 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany* 53(366):1-11.

Ho, R. 2006. HANDBOOK OF UNIVARIATE AND MULTIVARIATE DATA ANALYSIS AND INTERPRETATION WITH SPM. Taylor & Francis Group. LLC

Hofman, J., Stokkaer, I., Snauwaert, L., Samson, R. 2013. Spatial distribution assessment of particulate matter in an urban street canyon using biomagnetic leaf monitoring of tree crown deposited particles. *Environmental Pollution* 183:123-132.

Hussain, Z.S., and Maqbool, K. 2014. GC-MS: Principle, Technique and its application in Food Science. *International Journal of Current Science* 13:E116-126.

Jabłońska-Czapla, M., Zerzucha, P., Grygoyć, K. 2020. Impact of River Water and Bottom Sediment Pollution on Accumulation of Metal(loid)s and Arsenic Species in the Coastal Plants *Stuckenia pectinata* L., *Galium aparine* L., and *Urtica dioica* L.: A Chemometric and Environmental Study. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 79:60–79.

Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press LLC. Boca Raton. Florida. USA.

Kabata-Pendias, A. 2011. Trace elements in soils and plants. Fourth Edition. CRC Press. Taylor and Francis Group. LLC. Boca Raton. London. New York.

Khanoranga, S.K. 2019. Phytomonitoring of air pollution around brick kilns in Balochistan province Pakistan through air pollution index and metal accumulation index. *Journal of Cleaner Production* 229:727-738.

- Kramer, R. 1998. Chemometric techniques for quantitative analysis. Marcel Dekker. Inc.. New York. ISBN – 0-8247-0198-4
- Kvesitadze, G., Khatishashvili, G., Sadunishvili, T., Ramsden, J.J. 2006. Biochemical Mechanisms of Detoxification in Higher Plants. Basis of phytoremediation. Berlin. New York. Springer. 256
- Ličina, V., Fotirić Akšić, M., Tomić, Z., Trajković, I., Antić Mladenović, S., Marjanović, M., Rinklebe, J. 2017. Bioassessment of heavy metals in the surface soil layer of an opencast mine aimed for its rehabilitation. *Journal of Environmental Management* 186: 240-252.
- Lin, Y.-F., and Aarts, M.G.M. 2012. The molecular mechanism of zinc and cadmium stress response in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences* 69:3187–3206.
- Liu, L., Li, W., Song, W., Guo, M. 2018. Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. *Science of the Total Environment* 633:206–219.
- Lodenius, M. 2013. Use of plants for biomonitoring of airborne mercury in contaminated areas. *Environmental Research*. 125:113-123.
- Maric, M., Antonijevic, M., Alagic. S. 2013. The investigation of the possibility for using some wild and cultivated plants as hyperaccumulators of heavy metals from contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research* 20(2):1181-1188.
- Marques, A.P.G.C., Rangel, A.O.S.S., Castro, P.M.L. 2009. Remediation of Heavy Metal Contaminated Soils: Phytoremediation as a Potentially Promising Clean-Up Technology. *Critical Reviews in Environmental Sciences and Technology* 39:622–654.
- Masson, P., Dalix, T., Bussière, S. 2010. Determination of Major and Trace Elements in Plant Samples by Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41(3):231-243.
- Millaleo, R., Reyes-Díaz, M., Ivanov, A.G., Mora, M.L., Alberdi M. 2010. Manganese as essential and toxic element for plants: Transport, accumulation and resistance mechanisms. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 10(4):476–494.
- Miller, J.N., and Miller, J.C. 2005. Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry. Pearson Education Limited. London.
- Mingorance, M.D., Valdés, B., Oliva R.S. 2007. Strategies of heavy metal uptake by plants growing under industrial emissions. *Environment International* 33:514–520.
- Nagajyoti, P.C., Lee, K.D., Sreekanth, T.V.M. 2010. Heavy metals. occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters* 8:199–216.
- Oliva, S.R., and Mingorance, M.D. 2006. Assessment of airborne heavy metal pollution by aboveground plant parts. *Chemosphere* 65:177–82.
- Pallant, J. 2009. SPM priručnik za preživljavanje. Postupni vodič kroz analizu podataka pomoću SPSS-a za Windows (verzija 15). Prevod 3. Izdanje: Mikro knjiga. Beograd.

Palmer, C.M., and Guerinot, M.L. 2009. Facing the challenges of Cu, Fe and Zn homeostasis in plants. *Nature Chemical Biology* 5(5):333-340.

Pavoni, E., Petranich, E., Adami, G., Baracchini, E., Crosera, M., Emili, A., Lenaz, D., Higuera, P., Covelli, S. 2017. Bioaccumulation of thallium and other trace metals in *Biscutella laevigata* nearby a decommissioned zinc-lead mine (Northeastern Italian Alps). *Journal of Environmental Management* 186:214-224.

Peralta-Videa, J.R., Lopez, M.L., Narayan, M., Saupe, G., Gardea-Torresdey, J. 2009. The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology* 41:1665–1677.

Perlatti, F., Ferreira, T.O., Espíndola Romero, R., Gomes Costa, M.C., Otero, X.L. 2015. Copper accumulation and changes in soil physical–chemical properties promoted by native plants in an abandoned mine site in northeastern Brazil: Implications for restoration of mine sites. *Ecological Engineering* 82:103–111.

Petrović, J.V., Alagić, S.Č., Milić, S.M., Tošić, S.B., Bugarin, M.M. 2021. Chemometric characterization of heavy metals in soils and shoots of the two pioneer species sampled near the polluted water bodies in the close vicinity of the copper mining and metallurgical complex in Bor (Serbia): Phytoextraction and biomonitoring contexts. *Chemosphere* 262: article number 127808

Petrović, J.V., Alagić, S.Č., Tošić, S.B., Štehar, M.M., Bugarin, M.M., Stevanović, Z.O. 2019. Sadržaj teških metala u nadzemnim delovima koprive i mlečike iz Oštrelja (opština Bor): prilog ispitivanjima biljnih biomonitoring i fitoremedijacionih potencijala / THE CONTENT OF HEAVY METALS IN THE AERIAL PARTS OF THE COMMON NETTLE AND SUN SPURGE FROM OŠTRELJ (MUNICIPALITY OF BOR): A CONTRIBUTION TO THE EXAMINATIONS OF PLANT BIOMONITORING AND PHYTOREMEDIATION POTENTIALS. *Zaštita materijala/Materials protection*, 60(1):105-111.

Pripp, A.H. 2013. Statistics in Food Science and Nutrition. Editor-in-Chief Richard W. Hartel, Associate Editors, J. Peter Clark, David Rodriguez-Lazaro, David Topping. Springer New York Heidelberg Dordrecht London. ISBN 978-1-4614-5009-2 ISBN 978-1-4614-5010-8 (eBook). DOI 10.1007/978-1-4614-5010-8

Randelović, D., Jakovljević, K., Mihailović, N., Jovanović, S. 2018. Metal accumulation in populations of *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth from diverse anthropogenically degraded sites (SE Europe, Serbia). *Environmental Monitoring and Assessment* 190:183.

Rascio, N., and Navari-Izzo, F. 2011. Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science* 180:169-181.

Reinholds, I., Bartkevics, V., Silvis, I.C.J., van Ruth, S.M., Esslinger, S. 2015. Analytical techniques combined with chemometrics for authentication and determination of contaminants in condiments: A review. *Journal of Food Composition and Analysis* 44:56–72.

Rogan Šmuc, N., Dolenc, T., Serafimovski, T., Tasev, G., Dolenc, M., Vrhovnik, P. 2012. Heavy metal characteristics in Kočani Field plant system (Republic of Macedonia). *Environmental Geochemistry and Health* 34:513–526.

Rucandio, M.I., Petit-Domínguez, M.D., Fidalgo-Hijano, C., García-Giménez, R. 2011. Biomonitoring of chemical elements in an urban environment using arboreal and bush plant species. *Environmental Science and Pollution Research* 18:51–63.

Sarma, H. 2011. Metal Hyperaccumulation in Plants: A Review Focusing on Phytoremediation Technology. *Journal of Environmental and Science Technology* 4(2):118-138.

Savic, R., Ondrasek, G., Josimov-Dundjerski, J. 2015. Heavy metals in agricultural landscapes as hazards to human and ecosystem health: a case study on zinc and cadmium in drainage channel sediments. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95:466–470

Schnoor, J.L., Licht, L.A., Mc Cutcheon, S.C., Wolfe, N.L., Carreira, L.H. 1995. Phytoremediation of organic and nutrient contaminants. *Environmental Science and Technology* 29(7):318A–23A.

Schreck, E., Viers, J., Blondet, I., Auda, Y., Macouin, M., Zouiten, C., Freydier, R., Dufrechou, G., Chmeleff, J., Darrozes, J. 2020. *Tillandsia usneoides* as biomonitors of trace elements contents in the atmosphere of the mining district of Cartagena-La Union (Spain): New insights for element transfer and pollution source tracing. *Chemosphere* 241: article number 124955.

Serbula, S.M., Alagic, S.C., Ilic, A.A., Kalinovic, T.S., Strojic, J.V. 2012. Particulate Matter Originated From Mining-Metallurgical Processes. In *Particulate Matter: Sources. Emission Rates and Health Effects* edited by Henrik Knudsen, and Niels Rasmussen. 91-116. Nova Science Publishers US. New York.

Shutch, M.N., Faucon, M.-P., Kissi, C.K., Colinet, G., Mahy, G., Luhembwe, M.N., Visser, M., Meerts, P. 2015. Three years of phytostabilisation experiment of bare acidic soil extremely contaminated by copper smelting using plant biodiversity of metal-rich soils in tropical Africa (Katanga, DR Congo). *Ecological Engineering* 82:81–90.

da Silva, W.R., da Silva, F.B.V., Araújo, P.R.M., Araújo do Nascimento, C.W. 2017. Assessing human health risks and strategies for phytoremediation in soils contaminated with As, Cd, Pb, and Zn by slag disposal. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 144:522–530.

Simon, E., Braun, M., Vidic, A., Bogyó, D., Fábián, I., Tóthmérész, B. 2011. Air pollution assessment based on elemental concentration of leaves tissue and foliage dust along an urbanization gradient in Vienna. *Environmental Pollution* 159:1229-1233.

Simon, E., Baranyai, E., Braun, M., Cserhádi, C., Fábián, I., Tóthmérész, B. 2014. Elemental concentrations in deposited dust on leaves along an urbanization gradient. *Science of the Total Environment* 490:514–520.

Spanos, Th., Simeonov, V., Tsakovski, S., Thiokas, D. 2004. Chemometric study of soil analysis data. *Central European Journal of Chemistry* 2:402-416.

- Suman, J., Uhlik, O., Viktorova, J., Macek, T. 2018. Phytoextraction of Heavy Metals: A Promising Tool for Clean-Up of Polluted Environment? *Frontiers in Plant Science* 9: Article 1476
- Tošić, S., Alagić, S., Dimitrijević, M., Pavlović, A., Nujkić, M. 2016. Plant parts of the apple tree (*Malus spp.*) as possible indicators of heavy metal pollution. *AMBIO: a journal of the human environment* 45(4):501-512.
- Tőzsér, D., Tóthmérés, B., Harangi, S., Baranyai, E., Lakatos, G., Fülöp, Z., Simon, E. 2019. Remediation potential of early successional pioneer species *Chenopodium album* and *Tripleurospermum inodorum*. *Nature Conservation* 36:47–69.
- Unterbrunner, R., Puschenreiter, M., Sommer, P., Wieshammer, G., Tlustos, P., Zupan, M., Wenzel, W.W. 2007. Heavy metal accumulation in trees growing on contaminated sites in Central Europe. *Environmental Pollution* 148:107-114.
- Vamerali, T., Bandiera, M., Mosca, G. 2010. Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land. A review. *Environmental Chemistry Letters* 8:1-17.
- Velimirović, D. 2013. Optimizacija, validacija i primena ICP-OES metoda određivanja sadržaja metala u realnim uzorcima. Doktorska disertacija. Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Nišu. UDK: 543.42+005.591.1:543.632.495
- Verbruggen, N., Hermans, C., Schat, H. 2009. Molecular mechanisms of metal hyperaccumulation in plants. *New Phytologist* 181:759–776.
- Viktorova, J., Jandova, Z., Madlenakova, M., Prouzova, P., Bartunek, V., Vrchotova, B., Lovecka, P., Musilova, L., Macek, T. 2016. Native Phytoremediation Potential of *Urtica dioica* for Removal of PCBs and Heavy Metals Can Be Improved by Genetic Manipulations Using Constitutive CaMV 35S Promoter. *PLoS ONE* 11:e0167927.
- Walter, M., Oburger, E., Schindlegger, Y., Hann, S., Puschenreiter, M., Kraemer, S.M., Schenkeveld, W.D.C. 2016. Retention of phytosiderophores by the soil solid phase – adsorption and desorption. *Plant and Soil* 404:85–97.
- Weber, F., Kowarik, I., Säumel, I. 2014. Herbaceous plants as filters: Immobilization of particulates along urban street corridors. *Environmental Pollution* 186:234-240.
- Yoshida, T., Kawai, S., Takagi, S. 2004. Detection of the regions of phytosiderophore release from barley roots. *Soil Science and Plant Nutrition* 50(7):1111-1114.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У овој докторској дисертацији коришћене су хемијске и статистичке методе које су усвојене и у другим сличним областима истраживања, а које су детаљније објашњене у једном од потпоглавља дисертације ("Примери хеометријског приступа у анализи метала земљишних и биљних узорака са посебним акцентом на фиторемедијацију и биомониторинг"), тако да су

адекватне за истраживања која су била предузета и у оквиру ове дисертације. Методе које су биле искоришћене у циљу остваривања претходно постављених задатака су:

- снимање терена ради уочавања и одабира биљних врста које се понављају на местима од интереса,
- узорковање одабраног биљног и одговарајућег земљишног/седиментног материјала са 5 локација,
- припрема узоркованог материјала (прање, сушење на ваздуху и хомогенизовање - млевење, просејавање, уситњавање),
- одређивање концентрација елемената у биљном и земљишном/седиментном материјалу помоћу ICP-MS (на апарату Agilent 7700 ICP-MS), са претходним микроталасним растварањем припремљених узорака (у микроталасном систему Milestone ETHOS 1) и то по методама USEPA (United States Environmental Protection Agency): 3051A за земљишни/седиментни и 3052 за биљни материјал. Квантитативна анализа била је заснована на јонима квантификаторима испитиваних елемената: 63 за Cu, 66 за Zn, 111 за Cd, 75 за As и 208 за Pb. Обезбеђење и контрола квалитета остварени су коришћењем слепих проба и сертифицираних референтних материјала NCS DC 70311 (Тибет седимент) за земљиште и NIST SRM 1570a (лишће спанаћа) за узорке биљака,
- одређивање физичко-хемијских особина земљишта: земљишни P одређен је истом ICP-MS методом, док је земљишни N одређен методом сувог сагоревања (ISO 13878). Садржај OM одређен је методом губитка масе на температури од 550°C, а земљишни pH и EC су мерени у раствореним узорцима (осушеног) земљишта (земљиште/дестилована вода = 1:2,5 w/v), коришћењем pH- (3510 Jenway) и EC-метра (4510 Jenway), респективно и
- одговарајући хеометријски приступ у обради резултата добијених хемијском анализом, као и обрачун одговарајућих биоакумулационих фактора. Наиме, врло је важно да је, при избору адекватне статистичке методе (за процесуирање добијених резултата), неопходно тачно препознавање типова података, јер оно даље диктира одговарајући тип статистичке анализе и тестова које треба применити, тако да је веома значајно да истраживач буде добро упућен у саму методологију рада са различитим статистичким методама, а затим да добро одреди циљеве своје студије и да онда правилно примени одговарајуће методе. Посматрано са аспекта и потреба ове докторске дисертације, употребљене су статистичке методе: Pearson-ова корелациона студија, једносмерна анализа варијансе, One-way ANOVA и хијерархијска кластер анализа, HCA. Припрема узорака биљног и земљишног материјала, микроталасно растварање и хемијска анализа узорака урађени су у акредитованој лабораторији Института за рударство и металургију у Бору.

3.4. Применљивост остварених резултата

На основу проучене научне и стручне литературе утврђено је да не постоје литературни подаци о примени млечике сунцоглед у области заштите животне средине, а чак је и за обичну коприву дато врло мало података.

На основу резултата добијених у дисертацији, може се рећи да се дошло до важних закључака о потенцијалима обе сакупљене биљне врсте за примену у биомониторингу и фиторемедијацији (нарочито фитоекстракцији) и да је тиме остварен значајан допринос у области контроле и заштите пространих подручја која трпе директан утицај тешких метала, пореклом, пре свега, из рударско-металуршке производње и прераде бакра. Анализа надземних делова испитиваних биљних врста, представља велики допринос за фитоекстракцију као најефектнију фиторемедијациону методу. Показало се да је, у случају већине тешких метала, млечика сунцоглед била успешнија од коприве (нарочито када је у питању бакар у киселом земљишту). Ови делови су се такође показали изузетно корисним у праћењу сезонског и пре свега атмосферског загађења и успешно су указали на порекло (природно, или антропогено), као и на сам начин усвајања метал(оид)а (преко листа, или путем корена). Како су резултати до којих се дошло, проистекли из реалних услова једне веома загађене области, њихова практична примена у областима са сличним изворима загађења је крајње препоручљива. Добијени резултати су додатно указали и на ризике од одређених испитиваних метал(оид)а, што је од велике користи не само за локалну вегетацију, већ и људску популацију (због могућности уласка метал(оид)а у ланац исхране).

3.5. Оцена способности кандидата за самостални научни рад

Урађена докторска дисертација, анализа добијених резултата, публиковани научни радови проистекли из саме дисертације (један у интернационалном и један у домаћем часопису), али и значајан број претходно објављених научних радова, као и учешћа у реализацији интернационалних и домаћих научно–истраживачких пројеката, указују на способност кандидаткиње, Јелене В. Петровић, за самостални научни рад, али и за активно учешће у тимском раду. Кандидаткиња је током израде докторске дисертације у потпуности овладавала методологијом научно–истраживачког рада.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Овом докторском дисертацијом остварен је значајан научни допринос у апликацији пронађених пионирских биљних врста у биомониторингу и фитоекстракцији. Научни допринос дисертације огледа се у следећем:

- ✓ у утврђивању садржаја As, Cd, Cu, Pb и Zn у узорцима надземних делова млечике сунцоглед и обичне коприве, као и у одговарајућим узорцима земљишта/седимента;
- ✓ у утврђивању нивоа контаминације земљишта/седимента испитиваним метал(оид)има поређењем са просечним концентрацијама у свету, затим са одговарајућим српским и европским законским ограничењима, али и са фитотоксичним концентрацијама датим од стране различитих аутора;

- ✓ у установљавању обogaћења надземних биљних делова испитиваним метал(оид)има поређењем детектованих концентрација са фитотоксичним, али и нормалним концентрацијама у биљкама;
- ✓ у детекцији статистички значајних разлика између концентрација у одговарајућим матриксама (земљиште/седимент и изданци обе биљне врсте) применом статистичке One-way ANOVA методе;
- ✓ у анализирању могућности употребе изабраних биљних врста у методама биомониторинга и фиторемедијације. Ове анализе реализоване су пре свега утврђивањем значајности и природе (позитивна, или негативна) корелација, тј. односа између бројних испитиваних параметара, као што су: 1) детектоване концентрације у изданима са концентрацијама у земљишту/седименту, али и другим мереним земљишним параметрима (рН, ЕС, ОМ, укупни N и P), 2) између самих концентрација метала у земљишту/седименту и 3) између детектованих концентрација метал(оид)а у земљишту/седименту, као и у изданима обе биљне врсте са удаљеношћу места узорковања од рударско-металуршког комплекса, тј. од топионице у Бору, као главног извора загађења тешким металима у целом региону. За ова испитивања искоришћена је Pearson-ова корелациона студија, али и НСА са методом повезивања просечних вредности између група, уз Pearson-ову корелацију као мерни интервал; на овај начин се дошло до адекватне илустрације дела резултата Pearson-ове студије и то на генерисаним хијерархијским дендрограмима. Друга врста хијерархијских дендрограма, на којој се уочава јасна класификација локација по загађености, добијена је Ward-овом методом са коришћењем квадрата Euclidean удаљености као мерним интервалом. И једна и друга метода НСА примењене су на све испитиване матриксе (земљиште/седимент и појединачно, изданци обе сакупљене биљне врсте);
- ✓ у уочавању најефективније фитоекстракције метал(оид)а код обе испитиване биљне врсте и то израчунавањем одговарајућих биоакумулационих фактора за сваки метал(оид) у одговарајућим изданима за сваку локацију (презентовано преко одговарајућег хистограма). Како се показало да је, у случају већине тешких метала, млечика сунцоглед била успешнија од коприве (а нарочито када је у питању бакар у киселом земљишту), то се дошло до закључка да је примена ове биљне врсте у фитоекстракцији земљишта потпуно изводљива и исплатива (посебно у случају бакра, и то можда уз примену, тј. додатак неких адитива који врше закишељавање земљишта);
- ✓ у уочавању чињенице да су се изданци обе биљне врсте такође показали изузетно корисним у праћењу сезонског, пре свега атмосферског загађења, успешно указујући на порекло (природно, или антропогено), као и на сам начин усвајања метал(оид)а (преко листа, или путем корена). Како су ови резултати, проистекли из реалних услова једне тешко загађене средине, то се дошло до закључка да је њихова практична примена у областима са сличним изворима загађења крајње препоручљива;
- ✓ у добијању података о нивоу локалног загађења у Бору и непосредној околини, као и у указивању на потенцијалне ризике од испитиваних тешких метала за локалну вегетацију, али и људску популацију и
- ✓ у проналажењу и испитивању биљне врсте, наиме млечике сунцоглед, која до сада није била проучавана са аспеката биомониторинга и фитоекстракције, а може се рећи да ни за обичну

коприву не постоји довољно литературних података, што ову дисертацију чини посебно значајном и оригиналном.

Резултати ове докторске дисертације имају значајан допринос за науку о животној средини, јер се биомониторинг и фиторемедијација сматрају „зеленим технологијама” у којима биљке представљају економски исплативи ресурс, али у исто време, добијени резултати доприносе и областима других наука као што су: хемија, екологија, биологија, токсикологија, статистика.

4.2. Критична анализа резултата истраживања

Постављени циљеви и задаци истраживања у овој дисертацији су потпуно остварени. Добијени резултати постављеног експеримента пружили су корисне информације у вези са квалитативном и квантитативном детекцијом, праћењем и дистрибуцијом испитиваних тешких метала у животној средини и што је најважније, указали су на аутентичне биљне потенцијале млечике сунцоглед и обичне коприве за примену у биомониторингу и фитоекстракцији. Резултати истраживања у овој дисертацији могу се сматрати посебно значајним и оригиналним због проналажења и испитивања биљне врсте - млечике сунцоглед, која до сада уопште није била проучавана са аспеката биомониторинга и фитоекстракције, а може се рећи да чак ни за обичну коприву не постоји превише литературних података (посебно на рударско-металуршким подручјима).

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос докторске дисертације је верификован публикованим научним радовима (један у интернационалном и један у домаћем часопису) као што следи:

1) **Jelena V. Petrović**, Slađana Č. Alagić, Snežana M. Milić, Snežana B. Tošić, Mile M. Bugarin, Chemometric characterization of heavy metals in soils and shoots of the two pioneer species sampled near the polluted water bodies in the close vicinity of the copper mining and metallurgical complex in Bor(Serbia): Phytoextraction and biomonitoring contexts, *Chemosphere*, 262 (2021) 127808, **M21**

ISSN: 0045 – 6535,

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127808>,

IF(2021) = 8,943

2) **Jelena V. Petrović**, Slađana Č. Alagić, Snežana B. Tošić, Mirjana M. Šteharin, Mile M. Bugarin, Zoran O. Stevanović, Sadržaj teških metala u nadzemnim delovima koprive i mlečike iz Oštrelja (Opština Bor): prilog ispitivanjima biljnih biomonitoring i fitoremedijacionih potencijala, *Zaštita materijala*, 60(1) (2019) str. 105-111, **M51**

ISSN: 0351-9465, E-ISSN: 2466-2585,

UDC: 631.427.3:504.75.064,

DOI: 10.5937/zasmat1901105P

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидаткиње **ЈЕЛЕНЕ В. ПЕТРОВИЋ, мастер-хемичара**, под називом: „Хеометријска карактеризација тешких метала у земљишту и изданима пионирских врста које расту у близини загађених вода у непосредној околини рударско-металуршког комплекса у Бору: Аспекти фитоекстракције и биомониторинга“, представља савремен, оригиналан и значајан научни допринос у области заштите животне средине, али и областима као што су: хемија, екологија, биологија, токсикологија, статистика. Комисија за оцену урађене докторске дисертације закључује да је докторска 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: „Хеометријска карактеризација тешких метала у земљишту и изданима пионирских врста које расту у близини загађених вода у непосредној околини рударско-металуршког комплекса у Бору: Аспекти фитоекстракције и биомониторинга“, предмет и циљеви истраживања су јасно наведени и остварени, а приказани резултати су применљиви у савременој пракси. На основу наведеног, Комисија за оцену урађене докторске дисертације закључује да кандидаткиња, **ЈЕЛЕНА В. ПЕТРОВИЋ, мастер-хемичар**, испуњава све законске и остале услове за одбрану докторске дисертације. У том смислу, Комисија предлаже Наставно–научном већу Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, да се Реферат и дисертација прихвате и упуте на усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да се након тога кандидаткиња позове на усмену одбрану.

У Бору, мај 2023. године

КОМИСИЈА:

др Снежана Милић, редовни професор
Универзитет у Београду - Технички факултет у Бору

др Снежана Тошић, редовни професор
Универзитет у Нишу, Природно-математички факултет у Нишу

др Зоран Стевановић, виши научни сарадник
Институт за рударство и металургију у Бору

Универзитет у Београду
ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ
Број: VI/1-997/9
Бор, 10.10.2022.

На основу члана 109. Закона о високом образовању и члана 101. Статута
Универзитета у Београду, доносим

Р Е Ш Е Њ Е

Петровић Јелени, бр. индекса 10/2016, студенту на докторским академским
студијама, студијски програм: **Технолошко инжењерство**, продужује се рок за
завршетак студија до истека рока у троструком броју школских година потребних
за реализацију студијског програма, односно до краја школске 2024/25. године.

Доставити:

- именованом
- студентској служби



ДЕКАН

Проф. др Дејан Таникић