

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ БИОЛОШКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

На X редовној седници Наставно-научног већа Биолошког факултета Универзитета у Београду, одржаној 10.09.2021. године, на основу молбе ментора др Снежане Јарић, научног саветника Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Института од националног значаја за Републику Србију, и др Ксеније Јаковљевић, вишег научног сарадника Биолошког факултета, Универзитета у Београду одређена је Комисија за преглед и оцену докторске дисертације Зоране Д. Матаруга, истраживача сарадника на Институту за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институту од националног значаја за Републику Србију, под насловом: „**Садржај потенцијално токсичних елемената у одабраним дрвенастим врстама као биоиндикаторима загађења обалне зоне реке Саве**”, у саставу:

др Снежана Јарић, научни саветник, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду; др Ксенија Јаковљевић, виши научни сарадник, Биолошки факултет, Универзитет у Београду; др Јасмина Шинжар-Секулић, ванредни професор, Биолошки факултет, Универзитет у Београду; др Драгана Ђорђевић, научни саветник, Институт за хемију, технологију и металургију – Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду; др Мирослава Митровић, научни саветник, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду.

Комисија је прегледала урађену докторску дисертацију кандидата и Наставно-научном већу Биолошког факултета Универзитета у Београду подноси следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### Општи подаци о докторској дисертацији

Докторска дисертација Зоране Д. Матаруга, под насловом „**Садржај потенцијално токсичних елемената у одабраним дрвенастим врстама као биоиндикаторима загађења обалне зоне реке Саве**”, садржи укупно **226** страна и обухвата следећа поглавља: **Увод** (стр. 1-22), **Циљеви истраживања** (стр. 23), **Материјал и методе** (стр. 24-28), **Резултати** (стр. 29-156), **Дискусија** (стр. 157-191), **Закључци** (стр. 192-195), **Литература** (стр. 196-213) и **Прилози** (стр. 214-226). Поред наведеног, докторска дисертација обухвата и биографију аутора, као и следеће целине: насловну страну на српском и енглеском језику, листу ментора и чланова комисије, захвалницу, сажетак дисертације на српском и енглеском језику, садржај, изјаву о ауторству, изјаву о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

Докторска дисертација садржи 133 табеле (126 у поглављу Резултати и 7 у поглављу Дискусија) и 53 слике (17 у поглављу Увод, 1 у поглављу Материјал и Методе, и 35 у поглављу Резултати). Поглавље Литература садржи **271** библиографску јединицу.

## Анализа докторске дисертације

Ова докторска дисертација припада ужој научној области екологија, биогеографија и заштита животне средине.

Предмет истраживања докторске дисертације Зоране Д. Матаруга је анализа садржаја потенцијално токсичних елемената (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) у одабраним дрвенастим врстама (*Salix alba*, *Populus nigra*, *Populus alba*, *Ulmus glabra* и *Juglans regia*) као биоиндикаторима загађења обалне зоне реке Саве. Истраживања су била усмерена и на утврђивање степена загађености обалног земљишта, са посебним акцентом на антропогено загађење потенцијално токсичним елементима (ПТЕ), дефинисање еколошких фактора који утичу на њихов садржај и доступност, као и утврђивање потенцијала испитиваних врста за коришћење у биоиндикацији загађивања потенцијално токсичним елементима у обалној зони реке Саве, и идентификацију врста које се потенцијално могу користити за фиторемедијацију деградованих поплавних зона истраживаног подручја.

У поглављу **УВОД** које је организовано у два потпоглавља, приказане су основне карактеристике и истакнуте специфичности обалне (рипарилне) зоне реке Саве, а дат је и преглед различитих извора и типова загађивања. Због комплексности и динамичности, обалне зоне великих река као што је Сава су веома осетљиве и подложне променама услед антропогених притисака (загађивање органским и неорганским полутантима, водозахвати, хидроенергетски објекти, различити видови деградације земљишта и вегетације, инвазивне врсте и слично). Истакнут је значај испитивања земљишта која представљају резервоар загађујућих материја, пре свега потенцијално токсичних елемената који се дуго задржавају у земљишту јер не подлежу хемијској или микробиолошкој деградацији, а доступни су биљкама за усвајање. Наглашено је да су досадашња истраживања показала да су ПТЕ антропогеног порекла мобилнији, односно доступнији биљкама у односу на елементе природног/литиогеног порекла, и да је зато важно да се приликом процене токсичних ефеката ПТЕ на биљке, осим укупног садржаја елемената у земљишту и биљкама утврди и њихово порекло. Дат је и опис истраживаног подручја, еколошких услова и доминантних извора загађења, као и опште карактеристике испитиваних врста. У овом поглављу су такође представљене предности коришћења дрвенастих врста биљака у биоиндикацији загађивања земљишта, које се огледају у доступности биљног материјала за анализу, једноставној идентификацији врста, широкој распрострањености, дугом животном веку, као и великој биомаси за акумулацију ПТЕ.

Прво потпоглавље је организовано у три тематске целине, с обзиром да су истраживања вршена на територији три државе (Република Словенија, Република Хрватска и Република Србија). Дат је детаљан приказ локалитета, и то у Словенији: Мојстрана, Радовљица, Литија, Врхово, Чатеж; у Хрватској: Загреб, Јасеновац, Славонски Брод, Жупања; и у Србији: Сремска Митровица, Шабац и Београд. Потпоглавље је употпуњено картама са означеним положајем локалитета, тачкама узорковања, фотографијама локалитета, и графичким приказом климадијаграма.

Друго потпоглавље је организовано у пет тематских целина, с обзиром да су истраживања спроведена на пет врста дрвенастих биљака: *Salix alba*, *Populus nigra*, *Populus alba*, *Ulmus glabra* и *Juglans regia*. Свака целина садржи опис морфолошких и еколошких карактеристика испитиваних врста биљака и употпуњена је фотографијама са терена.

У поглављу **ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА**, представљени су циљеви ове докторске дисертације. Основни циљеви докторске дисертације односили су се на утврђивање и евалуацију укупног садржаја потенцијално токсичних елемената и

њихове биодоступности у рипаријалном земљишту, акумулацију ПТЕ у дрвенастим биљкама аутохтоним за рипаријалну зону, базираним на лонгитудиналном трансекту реке Саве, од извора до ушћа у реку Дунав, као и упоредну анализу њихове дистрибуције у земљишту и одабраним дрвенастим врстама биљака. Такође, један од циљева ове дисертације је био и утврђивање потенцијала испитиваних врста за коришћење у биомониторингу загађивања ПТЕ у обалној зони реке Саве, као и идентификација врста које се потенцијално могу користити за мониторинг загађења као и потенцијалну биоремедијацију деградованих поплавних зона реке Саве.

Поглавље **МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ** је организовано у пет потпоглавља. У првом потпоглављу описан је методолошки приступ утврђивања квалитативно-квантитативног састава биљних врста на анализираним површинама и наведени су литературни извори са кључевима за детерминацију биљних врста. Такође, у поменутом потпоглављу је објашњен поступак утврђивања еколошких услова на станишту на проучаваним локалитетима на основу животних форми и индикаторских вредности за еколошке факторе (влажност, киселост земљишта, количина азота у земљишту, светлост и температура). У другом потпоглављу описан је начин узорковања земљишта и биљног материјала (корен и листови) одабраних врста, као и начин припреме узорака за даље анализе. У трећем потпоглављу описана је методологија која је коришћена за одређивање физичко-хемијских карактеристика земљишта: гранулометријског састава, садржаја хигроскопне влаге, рН реакције земљишта, количине органског угљеника (ОС), укупног азота (N) и угљеника (C) и њиховог међусобног односа (C/N), и особина адсорптивног комплекса. Четврто потпоглавље садржи детаљан опис метода за одређивање укупног садржаја хемијских елемената у земљишту и биљкама, као и методе за утврђивање садржаја биодоступних форми испитиваних елемената у земљишту (ДТРА екстракција). У петом потпоглављу описане су статистичке методе и софтвери коришћени за обраду резултата.

Поглавље **РЕЗУЛТАТИ** је организовано у шест потпоглавља, у којима су представљени резултати ове тезе. Прво потпоглавље садржи резултате флористичких истраживања на одабраним локалитетима. Забележено је 268 врста класификованих у 68 фамилија. Међу пописаним врстама 33 су алохтоне, од којих је 19 присутно на 5 и више анализираних локалитета, док 24 имају инвазивни статус. Биолошки спектар флоре истраживаних локалитета је хемикриптофитског типа, а међу фанерофитама доминирају врсте изабране за ова истраживања Висок удео алохтоних врста, као и терофита у спектру животних форми, указује на нарушеност ових станишта услед антропогених активности, што је посебно изражено у доњем току реке Саве. На основу индикаторских вредности за температуру, светлост, влажност, киселост и количину азота у земљишту утврђени су еколошки услови на стаништима. У односу на влажност као еколошки фактор најзаступљеније су субмезофите, у односу на киселост земљишта неутрофилне, а у односу на количину азота у подлози мезотрофне биљне врсте. Према количини светлости на стаништима најзаступљеније су полусциофите, док температурни услови највише одговарају мезотермним врстама. Резултати су представљени и графички.

У другом потпоглављу које је организовано у две целине, кандидаткиња је анализирала основне физичко-хемијске карактеристике земљишта на испитиваним локалитетима у обалној зони реке Саве. У оквиру прве целине приказани су резултати анализе гранулометријског састава и хигроскопне влаге у земљиштима на свим испитиваним локалитетима. Утврђено је значајно процентуално учешће укупног песка у горњем току реке, док се низводно учешће фракције песка смањује, а повећава се удео глине и праха. На истраживаним локалитетима у земљиштима са већим садржајем песка, услед веће водопропустљивости, измерен је нижи проценат хигроскопне влаге.

Генерално, садржај хигроскопне влаге у земљиштима са анализираних локалитета је био низак. У оквиру друге целине приказани су резултати активне и супституционе киселости, садржаја угљеника, азота, органског угљеника, хумуса, однос угљеника и азота, електропроводљивост, као и особине адсорптивног комплекса у испитиваним земљиштима. Хемијска реакција показује да су испитивана земљишта благо до умерено алкална, а у односу на супституциону киселост се сврставају у неутрална до благо алкална. Електропроводљивост испитиваних земљишта је ниска, и у односу на заслаћеност класификована су као незаслаћена. Процент угљеника, хумуса и азота у анализираним земљиштима је био низак, док је однос угљеник : азот варирао у зависности од локалитета. Капацитет катјонске измене је такође био низак, са доминантним уделом базних изменљивих катјона (Ca, Mg, K и Na). Процент zasiћености земљишта базама је био висок, чак и до 100%. Резултати мерења су представљени табеларно.

У трећем потпоглављу које је организовано у три целине, кандидаткиња је представила резултате измерених садржаја укупних и ДТРА доступних фракција ПТЕ у земљишту. Резултати приказани у првој целини указују на непостојање правилности у дистрибуцији садржаја већине анализираних елемената у односу на дубину земљишта. На просторном градијенту, укупан садржај анализираних ПТЕ у земљишту се повећавао низводно, од извора ка ушћу, изузев Pb и Zn. Елементи који се на истраживаном подручју јављају у потенцијално токсичним концентрацијама су: Cr у доњем току реке (од Жупање до Београда), затим Cu на локалитетима Београд и Чатеж, као и Ni на локалитетима Жупања, Шабац и Београд. Исто тако, садржај Zn се на већини локалитета налази у оквиру опсега критичног за биљке, при чему се само у Београду приближава горњој граници критичних концентрација. Локално, As може бити потенцијално токсичан за биљке на локалитету Београд, јер је измерени садржај овог елемента у оквиру опсега који се сматра критичним. У другој целини представљени су резултати измерених садржаја ДТРА фракција анализираних ПТЕ у узорцима земљишта са испитиваних локалитета. Такође, представљени су и резултати индекса доступности (AR), као мере доступности ових елемената биљкама. Ни у једном испитиваном узорку земљишта није утврђен садржај доступних фракција Cr и Se. За већину анализираних елемената у земљишту није утврђена правилност у дистрибуцији садржаја доступних фракција у односу на дубину земљишта. На просторном градијенту, доступни садржај већине анализираних елемената у земљишту се повећавао низводно ка ушћу реке Саве у Дунав. Према добијеним резултатима, међу елементима есенцијалним за биљке, само Cu на појединим локалитетима може бити потенцијално фитотоксичан, док од неесенцијалних елемената фитотоксични могу бити Cd на локалитетима у доњем, и Pb у горњем току реке Саве. Кандидаткиња је у оквиру треће целине указала на значајан утицај карактеристика локалитета на варијабилност садржаја анализираних ПТЕ у земљишту. Такође, утврђене су и значајне разлике између садржаја већине испитиваних елемената у земљиштима локалитета доњег тока у односу на локалитете горњег и средњег дела речног тока. Резултати мерења и статистичких анализа су представљени табеларно.

Четврто потпоглавље је организовано у пет целина у којима су приказани измерени садржаји ПТЕ у корену и листовима свих анализираних врста (*Salix alba*, *Populus nigra*, *Populus alba*, *Ulmus glabra* и *Juglans regia*). Резултати указују на значајне разлике у садржају ПТЕ условљене првенствено физичко-хемијским карактеристикама земљишта на испитиваним локалитетима, што је потврђено и статистичким анализама. Код неких врста су утврђене статистички значајне разлике у акумулацији ПТЕ у горњем и средњем, у односу на доњи део тока.

У првој целини утврђен је значајан потенцијал *S. alba* за акумулацију As, Cd, Cr, Fe, Li, Ni, Se, Sr и Zn у опсегу токсичних концентрација за биљке. На локалитетима претежно у горњем делу речног тока измерени су ниски садржаји есенцијалних елемената, у опсегу дефицита за биљке, и то В, Cu, Mn и Zn у корену и Cu, Fe и Mn у листовима ове врсте. Анализом разлика између локалитета у односу на укупни садржај ПТЕ у корену јасно се издваја Београд по садржају Cd и Zn. Истом анализом је утврђено да се локалитети Врхово и Чатеж издвајају по акумулацији Cd и Zn у листовима, као и Жупања, Сремска Митровица и Шабац по акумулацији осталих ПТЕ (посебно Mn, В и Sr).

У другој целини кандидаткиња је утврдила значајан потенцијал *P. nigra* за акумулацију As, Cr, Li, Fe и Sr у корену, и В, Sr и Zn у листовима, у опсегу садржаја токсичних за биљке. И код ове врсте је утврђен дефицит есенцијалних елемената и то В, Cu, Mn и Zn у корену, и Cu, Fe, Mn и Zn у листовима. Анализом разлика између локалитета у односу на укупни садржај ПТЕ у корену јасно се издвајају локалитети Београд и Сремска Митровица по садржају В, Mn, Zn, Ni и Sr, Јасеновац и Шабац по садржају Fe, Li, Cd, Cu, Cr, Pb и Al, као и Мојстрана, Врхово и Чатеж по садржају As. У односу на укупни садржај ПТЕ у листовима, издвајају се локалитети Чатеж, Загреб, Јасеновац, Жупања и Шабац по садржају Cd.

У трећој целини утврђено је да *P. alba* акумулира В, Cr, Fe, Li, Sr и Zn у концентрацијама које се сматрају токсичним за биљке. Са друге стране, у корену ове врсте измерен је дефицит В и Cu, док је у листовима измерен дефицит Cu и Fe. Такође, утврђено је да се локалитети Београд и Шабац издвајају по акумулацији Cd у корену *P. alba*. Анализа разлика између локалитета у односу на укупни садржај ПТЕ у листовима, показала је издвајање локалитета Београд по садржају Mn и Cd, Сремске Митровице и Шапца по садржају В, и Жупање по садржају Ni у листовима ове врсте.

У четвртој целини, кандидаткиња је указала на потенцијал *U. glabra* за акумулацију As, Cr, Fe, Li, Se и Sr у корену, и As, Cr, Li и Se у листовима, у опсегу који се сматра токсичним за биљке. Са друге стране, на појединим локалитетима је измерен дефицит есенцијалних елемената В, Mn и Zn у корену и листовима ове врсте. Анализа разлика између локалитета у односу на укупни садржај ПТЕ у корену *U. glabra*, показала је издвајање локалитета Сремска Митровица и Шабац по садржају Zn, Славонски Брод по садржају Sr и Јасеновац и Београд по садржају Li, Mn, Fe, Ni, В, Al, Cr, Pb, Cu, Cd и As. Истом анализом је утврђено издвајање локалитета Јасеновац и Славонски Брод по садржају Cd у листовима.

У петој целини указано је на потенцијал *J. regia* за акумулацију токсичних концентрација Cr, Fe, Li, Se и Sr у корену и As, Fe, Li, Se и Sr у листовима. Измерен је и дефицит есенцијалних елемената Cu, Mn и Zn у корену и у листовима ове врсте. Статистичком анализом је утврђено да се локалитети Радовљица, Литија и Чатеж издвајају по акумулацији Sr, Јасеновац и Врхово по акумулацији Se и As, Мојстрана по акумулацији Pb и Сремска Митровица по акумулацији Zn, Ni и Al у корену *J. regia*. Истом анализом је утврђено и издвајање локалитета Мојстрана, Литија и Врхово по садржају Zn, Сремска Митровица по садржају Mn, и Јасеновац и Чатеж по садржају Li, Al и Sr у листовима ове врсте. Резултати мерења и статистичких анализа представљени су табеларно и графички.

У петом потпоглављу које је такође организовано у пет целина, приказани су резултати који се односе на потенцијал испитиваних врста биљака за акумулацију ПТЕ у листовима и корену. У циљу процене могућности коришћења испитиваних врста у сврху биоиндикације, одређени су коефицијенти корелације како би се утврдила корелисаност садржаја елемената у земљишту и биљкама, и они су указали на постојање статистички значајних корелација између највећег броја елемената код

анализираних дрвенастих врста. За највећи део анализираних елемената, вредности биоконцентрационог фактора су  $<1$ , једино је за Cd вредност већа од 1 утврђена на свим локалитетима, док је транслокациони фактор  $>1$  за све анализираних врсте на свим локалитетима утврђен једино за В.

У шестом потпоглављу представљени су резултати анализе сличности и разлика између проучаваних врста биљака у погледу усвојених елемената у корену и листовима на анализираним локалитетима, и њиховој потенцијалној примени у биоиндикацији и фиторемедијацији у обалној зони реке Саве. Резултати статистичких анализа су представљени графички.

У поглављу **ДИСКУСИЈА** (које је организовано у пет потпоглавља), кандидаткиња је на адекватан начин тумачила и дискутовала резултате добијене у истраживањима користећи се бројним налазима других аутора и савременим научним сазнањима везаним за истраживану проблематику. Указала је на значај екосистема рипаријалних шума, њихову осетљивост и повезаност са другим екосистемима, али и на важност њихове заштите и спречавање даље деградације. Међу дрвенастим врстама у обалној зони реке Саве, најзаступљеније су врсте родова *Salix* и *Populus* уз које су веома честе и врсте рода *Ulmus*. Међутим, значајна заступљеност терофита у биолошком спектру флоре истраживаних локалитета доводи се у везу са антропогеним утицајем, јер врсте које припадају овој животној форми карактеришу станишта изложена различитим неповољним утицајима (поплаве, пожари, шумске сече, агротехничке мере) који периодично утичу на смањење бројности популација. Такође, заступљеност алохтоних врста у флори истраживаних локалитета представља показатељ антропогене деградације станишта. Увид у еколошке услове на стаништима, може да се стекне и на основу еколошких група биљака издвојених према индикаторским вредностима за влажност, киселост земљишта (pH), количину азота, светлост и температуру. Количина азота и светлост као еколошки фактори су показали тренд повећања од извора ка ушћу реке Саве. Анализама је утврђено да физичко-хемијске карактеристике испитиваних обалних земљишта могу да представљају лимитирајуће факторе за усвајање и акумулацију ПТЕ у испитиваним биљкама. Уочен је тренд смањења фракције песка, и тренд повећања удела глине у анализираним земљиштима, од извора ка ушћу реке Саве. Највиши проценат хигроскопне влаге утврђен у горњем току реке, доводи се у везу са највишим садржајем органске материје. Међутим, садржај органске материје и хумуса у земљишту је генерално био низак. Ниске вредности СЕС за анализирана земљишта могу бити последица ниског садржаја органске материје, а у неким узорцима чак и ниског садржаја честица глине. У укупном капацитету катјонске размене анализираних земљишта, доминација базних изменљивих катјона је у складу са утврђеном алкалном реакцијом земљишта. Генерално, базна реакција земљишта, zasiћеност базама и низак садржај органске материје, хумуса, и глине могу да допринесу смањењу доступности већине испитиваних ПТЕ. Међу факторима који утичу на доступност анализираних ПТЕ, кандидаткиња је констатовала да је pH реакција земљишта један од најважнијих регулатора доступности елемената, с обзиром да она утиче на процесе катјонске размене, мења наелектрисање површине честица глине и органске материје и тиме регулише сорпцију елемената на њиховој површини и њихову доступност биљкама. У поређењу са локалним и регионалним водотоковима на простору Србије и шире, на територији Европе, који су под истим или сличним антропогеним притисцима, обално земљиште дуж целог тока реке Саве у просеку је загађеније (виши садржај Cu и Ni) од обалног земљишта реке Дунав, али је мање загађено од неких других европских река (генерално нижи садржај Al, As, Cd, Cr, Fe, Mn, Pb и Zn). Адаптације биљака на повећан ниво ПТЕ су различите: неке готово да их уопште не усвајају, друге их усвајају

у малим концентрацијама (биљке ексклудери), кроз активно искључивање на нивоу корена, док их неке усвајају и транспортују у надземне делове, пре свега листове и тамо их акумулирају. Користећи добијене резултате у овој дисертацији и одговарајуће податке из других литературних извора, кандидаткиња је дискутовала о потенцијалу *S. alba*, *P. nigra*, *P. alba*, *U. glabra* и *J. regia* за акумулацију ПТЕ, нарочито оних елемената за које је утврђено да су у опсегу концентрација токсичних за биљке, затим о потенцијалу за биоиндикацију загађења обалног земљишта реке Саве појединим ПТЕ. Такође, дискутовано је и о потенцијалу анализираних врста за фитостабилизацију и фитоекстракцију неких од анализираних ПТЕ.

У дискусији је наглашено да је потенцијална примена врста *S. alba*, *P. nigra*, *P. alba*, *U. glabra* и *J. regia* у биоиндикацији повећаног садржаја ПТЕ и фиторемедијацији у обалној зони реке Саве, условљена бројним факторима који су међусобно уско повезани, првенствено физичким и хемијским карактеристикама земљишта. Из тих разлога кандидаткиња повезује рН, гранулометријски састав и антагонистичке релације између елемената у земљишту са специфичним карактеристикама испитиваних родова и врста у смислу афинитета за акумулацију ПТЕ.

У поглављу **ЗАКЉУЧЦИ**, истакнути су најважнији закључци до којих је кандидаткиња дошла на основу резултата добијених у својим истраживањима. Испитиване дрвенасте врсте биљака у обалној зони реке Саве су изложене неповољним физичко-хемијским карактеристикама рипаријалних земљишта, као што су доминација фракције укупног песка у земљишту, низак садржај органског угљеника и азота, као и повећана концентрација ПТЕ. Поред тога, на основу удела терофита у биолошком спектру може се закључити да је на истраживаном подручју изражен антропогени утицај који доводи до промене еколошких услова на стаништима и даље до њихове деградације. Исто тако, у флори истраживаних локалитета забележено је значајно присуство алохтоних врста са трендом повећања бројности од извора ка ушћу реке, што је такође показатељ растућег антропогеног утицаја у обалној зони реке Саве. Према добијеним резултатима, садржај ПТЕ у земљишту у критичном опсегу за биљке је измерен за: As на локалитету Београд; Cr на локалитетима у доњем току реке, од Жупање до Београда; Ni на локалитетима Жупања, Шабац и Београд; Zn на већини локалитета и Cu на локалитету Београд, као и у Чатежу, где вишеструко премашује овај опсег. Такође, и ДТРА доступна фракција Cu је у критичном опсегу за биљке на локалитету Чатеж. Удео доступних фракција Cu и Pb у земљишту на појединим локалитетима је био значајан. Такође, утврђена је и висока доступност и потенцијална токсичност Cd на локалитету Београд.

Резултати ове докторске дисертације су показали да је врста *S. alba* у свом корену и листовима значајан део анализираних елемената акумулирала у токсичним нивоима, и то углавном на локалитетима у доњем току реке Саве. У поређењу са осталим испитиваним врстама, *S. alba* је најбољи биоиндикатор садржаја ПТЕ у земљишту, а утврђен је и њен потенцијал за фитостабилизацију Cd на локалитетима у доњем току реке Саве, као и потенцијал за фитоекстракцију Zn на локалитету Загреб. Резултати су показали да се *P. nigra* може користити у биоиндикацији As, B, Mn, Fe, Li, Mn, Ni и Pb. Ова врста је показала потенцијал за фитостабилизацију As на локалитету Врхово, као и потенцијал за фитоекстракцију Cd на појединим локалитетима у доњем току реке и Zn на појединим локалитетима у средњем делу тока реке. Потенцијал за фиторемедијацију земљишта богатих Cd је показан и код врсте *P. alba*, будући да је утврђено да се она може користити за фитостабилизацију на локалитетима Шабац и Београд и фитоекстракцију на локалитету Сремска Митровица. Такође, ова врста се може користити у биоиндикацији B, Cd, Cr, Fe, Mn, Ni и Zn. Врста *U. glabra* се може користити у биоиндикацији As, B, Cd, Cr, Mn, Ni и Zn. Показан је и њен потенцијал за

фитостабилизацију Cd на локалитетима у доњем току реке, затим потенцијал за фитостабилизацију As, Cu, Li и Pb на локалитету Јасеновац, као и потенцијал за фитоекстракцију As, али само на локалитету Загреб. Резултати добијени анализама врсте *J. regia* су показали да се ова врста може користити у биоиндикацији Al, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb и Zn, као и да показује потенцијал за фитостабилизацију As, Cd и Sr.

Поглавље **ЛИТЕРАТУРА** садржи 271 библиографску јединицу. Литературни извори су адекватно и на одговарајућим местима цитирани у тексту докторске дисертације.

У поглављу **ПРИЛОЗИ** дата је табела у којој је приказана флора истраживаних локалитета, са вредностима за бројност и покривност. Такође, табела садржи податке о животним формама биљака, као и индикаторске вредности еколошких фактора (влажност, киселост, азот, светлост и температура).

## **ПУБЛИКОВАНИ РАДОВИ И САОПШТЕЊА ИЗ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

### **Б1. Радови у часописима међународног значаја M22**

1. **Mataruga, Z.,** Jarić, S., Kostić, O., Marković, M., Jakovljević, K., Mitrović, M., Pavlović, P. (2019). The potential of elm trees (*Ulmus glabra* Huds.) for the phytostabilisation of potentially toxic elements in the riparian zone of the Sava River. *Environmental Science and Pollution Research* 27:4309–4324, **M22** <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07173-9>

2. **Mataruga, Z.,** Jarić, S., Marković, M., Pavlović, M., Pavlović, D., Jakovljević, K., Mitrović, M., Pavlović, P. (2020). Evaluation of *Salix alba*, *Juglans regia* and *Populus nigra* as biomonitors of PTEs in the riparian soils of the Sava River. *Environmental Monitoring and Assessment*. 192:131, **M22** <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8085-9>

### **Б2. Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу**

1. **Mataruga, Z.,** Marković, M., Kostić, O., Pavlović, M., Mitrović, M., Pavlović, P., Jarić, S. (2018). Ispitivanje potencijala *Ulmus glabra* Huds. za fitostabilizaciju i fitoekstrakciju potencijalno toksičnih elemenata u obalnoj zoni reke Save. Drugi kongres biologa Srbije, osnovna i primenjena istraživanja, metodika nastave, Knjiga sažetaka, 25-30.09.2018., Kladovo, Srbija, pp.121, **M64**

## **Провера оригиналности докторске дисертације**

Докторска дисертација кандидата Зоране Матаруге, Е3002/2014 послата је дана 24.08.2021. на софтверску проверу оригиналности. Извештај који садржи резултате провере оригиналности ментор је добио дана 25.08.2021.

Резултати електронске провере ове докторске дисертације показују да индекс подударности износи 20%. Детаљним увидом у Извештај, утврђено је да су готово сва уочена појединачна подударња у опсегу мањем од 1%, подударња са два извора у опсегу од 1%, а са четири извора већа од 1%. Највеће поклапање (7%) је уочено са претходно публикованим резултатима из исте области истраживања и исте истраживачке групе, и то у звањима и афилијацијама чланова комисије, насловној



страни тезе, опште прихваћеним фразама како из области истраживања тако и у фразама уобичајеним у српском језику, називима хемијских елемената, мерним јединицама, ознакама степена статистичке значајности. Коришћење истих, опште прихваћених фраза у оквиру ове области истраживања, као и ознака степена статистичке значајности, разлози су уоченог поклапања од 3% са резултатима тезе истраживача из исте истраживачке групе. Поклапање од 3% уочено је и са претходно публикованим резултатима докторанта у оквиру истог истраживаног подручја, до кога је дошло због подударности у називима локалитета. Подударност од 1% је уочена са претходно публикованим резултатима истраживања која су део ове докторске дисертације, те је одређено поклапање и очекивано. Поклапање од 1%, уочено је и са резултатима истраживања која нису блиска истраживању докторанта, а до кога је дошло услед коришћења истих, опште прихваћених ознака статистичке значајности. Преостала уочена поклапања текста (<1%) се највећим делом односе на мерне јединице, термине који се односе на резултате статистичких анализа, фразе уобичајене у области истраживања, латинске називе врста. Треба нагласити и да делови текста у којима постоји поклапање нису смислено повезани.

Када се све предходно изнето узме у обзир, извештај указује на оригиналност докторске дисертације кандидата Зоране Матаруге, под насловом "Садржај потенцијално токсичних елемената у одабраним дрвенастим врстама као биоиндикаторима загађења обалне зоне реке Саве", те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

## **Мишљење и предлог комисије**

Докторска дисертација Зоране Д. Матаруга под насловом: „**Садржај потенцијално токсичних елемената у одабраним дрвенастим врстама као биоиндикаторима загађења обалне зоне реке Саве**” представља обимно и савремено истраживање у области екологије дрвенастих врста биљака (*Salix alba*, *Populus nigra*, *Populus alba*, *Ulmus glabra* и *Juglans regia*) аутохтоних за обалну зону реке Саве која је изложена снажном антропогеном утицају. По свом приступу истраживању и интерпретацији резултата, ова дисертација представља оригиналан научни допринос познавању односа земљиште-биљка у овим специфичним екосистемима. Од посебног значаја је и чињеница да је истраживано широко подручје које је обухватало локалитете са различитим изворима загађења у три државе (Република Словенија, Република Хрватска и Република Србија), због чега је било могуће испитивати различите ефекте потенцијално токсичних елемената на дрвенасте врсте биљака. Такође, ова истраживања се баве и детаљном проценом потенцијала анализираних аутохтоних дрвенастих врста биљака за коришћење у биоиндикацији и фиторемедијацији загађења обалне зоне реке Саве. Са тим у вези, поред фундаменталног, истраживања у оквиру ове дисертације имају и апликативни значај у смислу формирања базе биљних врста које се могу успешно користити за индикацију загађења земљишта одређеним токсичним елементима, као и за биолошко обнављање деградованих обалних/рипарилних станишта.

Ова докторска дисертација је указала и на способности кандидата не само да прецизно дефинише научне проблеме и циљеве истраживања, већ и да примени адекватне методе у узорковању и обради резултата, да их дискутује на квалитетан начин и изведе закључке који имају велики значај у индикацији загађених земљишта.

На основу свега наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Биолошког факултета Универзитета у Београду да прихвати овај Извештај и одобри кандидату Зорани Д. Матаруга јавну одбрану докторске дисертације под насловом „Садржај потенцијално токсичних елемената у одабраним дрвенастим врстама као биоиндикаторима загађења обалне зоне реке Саве”.

У Београду, 05.10. 2021. године.

**КОМИСИЈА:**

---

**др Снежана Јарић**, научни саветник, Универзитет у Београду,  
Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић”-  
Институт од националног значаја за Републику Србију

---

**др Ксенија Јаковљевић**, виши научни сарадник,  
Универзитет у Београду, Биолошки факултет

---

**др Јасмина Шинжар-Секулић**, ванредни професор,  
Универзитет у Београду, Биолошки факултет

---

**др Драгана Ђорђевић**, научни саветник, Универзитет у  
Београду, Институт за хемију, технологију и металургију-  
Институт од националног значаја за Републику Србију

---

**др Мирослава Митровић**, научни саветник, Универзитет у  
Београду, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић”-  
Институт од националног значаја за Републику Србију