

## I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

### 1. Орган који је именовao (изабрао) комисију и датум:

Одлуком Наставно-научног већа Шумарског факултета Универзитета у Београду, број одлуке 01-2/147, од 01.09.2021. године, образована је Комисија за оцену израђене докторске дисертације кандидата **MSc Милице Марковић**, под насловом: *Дистрибуција тешких метала у земљиштима рипаријалне зоне реке Саве*.

### 2. Састав комисије:

1. др **Снежана Белановић Симић**, редовни професор, Универзитет у Београду Шумарски факултет.
2. др **Павле Павловић**, научни саветник, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду.
3. др **Ратко Ристић**, редовни професор, Универзитет у Београду Шумарски факултет.
4. др **Милан Кнежевић**, редовни професор (у пензији), Универзитет у Београду Шумарски факултет.
5. др **Теа Зулиани**, доцент, Институт „Јожеф Стефан“, Љубљана, Словенија
6. др **Мирослава Митровић**, научни саветник, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду.

## II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме:  
**Милица, Десимир, Марковић**
2. Датум и место рођења, општина, држава:  
**21. 10. 1990., Београд, Република Србија**
3. Датум одбране, место и назив магистарске тезе/мастер рада:  
**30.06.2015. год., Београд - Шумарски факултет Универзитета у Београду, *Садржај арсена и олова у земљишту на подручју града Београда***
4. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука/мастера:  
**Биотехника, Шумарске науке – област Еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса**

## III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

***ДИСТРИБУЦИЈА ТЕШКИХ МЕТАЛА У ЗЕМЉИШТИМА РИПАРИЈАЛНЕ ЗОНЕ РЕКЕ САВЕ***

## IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Докторска дисертација под насловом: „*Дистрибуција тешких метала у земљиштима рипаријалне зоне реке Саве*“ обухвата 275 страна, од чега је 199 страна текста, 17 страна литературе и 60 страна прилога (4 прилога са 71 графикомом). Списак релевантне литературе везане за област истраживања, обухвата 266 библиографских јединица. У оквиру текста докторске дисертације налази се 64 табеле и 31 слика. На почетку текста докторске дисертације налазе се кључне информације и резиме на српском и енглеском језику са кључним речима.

Поглавља су структурирана тако да представљају посебне и логички повезане целине:

1. УВОД (1 – 4 стр.)
2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ (5 – 8 стр.)
3. КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСТРАЖИВАНОГ ПОДРУЧЈА (9 – 15 стр.)
4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ (16 – 25 стр.)
5. РЕЗУЛТАТИ (26 – 148 стр.)
6. ДИСКУСИЈА (149 – 192 стр.)
7. ЗАКЉУЧАК (193 – 199 стр.)
8. ЛИТЕРАТУРА (200 – 216 стр.)
9. ПРИЛОЗИ (217 – 275 стр.)

Иза поглавља *Прилози*, дата је кратка биографија кандидата, затим потребне изјаве кандидата о ауторству, истоветности штампане и дигиталне верзије рада, и на крају овлашћење о начину коришћења.

## **V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

### **1. УВОД (1 – 4 стр.)**

У оквиру поглавља **УВОД** кандидат Милица Марковић је истакла значај рипаријалних (обалних) зона које пружају читав низ јединствених и важних функција и услуга екосистема укључујући снабдевање водом, стабилизацију обала, смањење ризика од поплава, регулације површинског отицања, секверстацију угљеника, задржавање речног наноса/седимента, и да оне представљају извор биодиверзитета, обезбеђују изворе хране, представљају просторе за рекреацију итд. Међутим, наводи се да антропогене активности широм света стварају притисак на речне сливове који могу утицати на хемијски и еколошки статус акватичних и рипаријалних екосистема. Досадашња истраживања су показала да је дошло до глобалног повећања концентрације метала и металоида у рекама укључујући и територију Европе, као резултат рударских и других индустријских активности, испуштања непречишћених комуналних и индустријских отпадних вода и атмосферске депозиције полутаната пореклом из индустријских постројења и саобраћаја. Све ово значајно утиче на процесе у систему вода-седимент/нанос-рипариијално земљиште у правцу деградације и контаминације станишта у рипаријалним зонама што доводи често до неповратаног губитака биодиверзитета. Такође, кандидат Милица Марковић је у овом поглављу истакла да су поплаве једна од најчешћих природних катастрофа које представљају један од главних ризика за водне и рипаријалне екосистеме. Током поплава таласа, седименти загађени различитим типовима полутаната могу се таложити дуж речног тока у низводним деловима реке. Стога су поплаве ефикасни путеви ширења контаминације, што доводи до акумулације потенцијално токсичних елемената посебно тешких метала у рипаријалним земљиштима.

Генерално, тешки метали и металоиди у земљишту због њихове прекомерне акумулације и токсичности за живе организме већ дуго изазивају пажњу истраживача али и доносиоца одлука. Међутим, кандидаткиња је указала да у досадашњим истраживањима није била довољна пажња посвећена истраживању седимента и посебно рипаријалних земљишта која су често врло загађена. Загађење тешким металима и металоидима у рипаријалним зонама постаје критично јер се тешки метали могу акумулирати и дуго задржавати и транспортовати наносом и рипаријалним земљиштима. Кандидат Милица Марковић наводи да када једном садржај тешких метала у седименту и рипаријалном земљишту премаши стандарде квалитета животне средине, они почињу да представљају потенцијални ризик за све организме у рипаријалним екосистемима, укључујући и човека. Због свих ових ризика кандидаткиња сматра да је потребно проширити различите научне и стручне активности и развити различите истраживачке приступе за процену степена загађења и угрожености животне средине у рипаријалним зонама.

У потпоглављу **1.1. Предмет и циљ истраживања** кандидат Милица Марковић наводи да је предмет истраживања докторске дисертације земљиште рипаријалне зоне реке Саве, од извора до ушћа, његове физичке и хемијске карактеристике, степен загађења, дистрибуција и порекло тешких метала и других микроелемената у површинским слојевима земљишта. Такође, кандидаткиња је истакла да истраживања обухватају анализу и процену утицаја површинског речног седимента на земљиште, њихове међусобне односе у рипаријалној зони, као и утицај загађивања тешким металима на систем земљиште – седимент/нанос. Истакнуто је да су истраживања спроведена у уском појасу рипаријалне зоне реке Саве, на одабраним локалитетима у Републици Словенији, Републици Хрватској и Републици Србији. Основни циљеви докторске дисертације били су усмерени на:

- утврђивање концентрације тешких метала у површинским слојевима земљишта и седимента/наноса рипаријалне зоне реке Саве, као и утврђивање њиховог порекла и дистрибуције дуж речног тока,
- утврђивање нивоа загађења површинских слојева земљишта и седимента/наноса и утврђивање потенцијалног еколошког ризика по животну средину,
- анализу просторне и временске дистрибуције тешких метала и металоида у површинским слојевима земљишта и седимента/наноса рипаријалне зоне реке Саве испитивањем физичко-хемијског састава земљишта и седимента, и мерењем укупног садржаја хемијских елемената у земљишту (Ag, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Sr, Tl, Zn), и
- анализу фракција хемијских елемената у земљишту у циљу процене њихове доступности, мобилности и потенцијалне токсичности и идентификацију антропогених извора загађивања рипаријалне зоне.

Кандидат Милица Марковић је истакла да је своја истраживања посебно фокусира на седам тешких метала и металоида (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn), који су означени као приоритетни полутанти према директивама о квалитету воде Европске комисије и Међународне комисије за заштиту Дунава (ICPDR, 2002, EU Directive 2000/60/EC).

Имајући у виду предмет и циљеве истраживања своје докторске дисертације, кандидаткиња је поставила следеће хипотезе:

1. Концентрација тешких метала и металоида се у земљишту рипаријалне зоне реке Саве мења од извора до ушћа;
2. Садржај тешких метала и металоида у земљишту је у корелацији са садржајем тешких метала у седименту/наносу и карактеристичан је за сваки део речног тока;
3. Акумулација загађења у земљишту рипаријалне зоне је највећа у доњем делу тока реке Саве;
4. Степен еколошког ризика зависи од потенцијалне доступности токсичних елемената и повећава се од извора реке до ушћа.

## 2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ (5 – 8 стр.)

У оквиру поглавља **ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ** кандидат Милица Марковић је навела преглед основних карактеристика рипаријалних земљишта, начин и факторе који утичу на њихово формирање и при том цитирала референтну литературу. Досадашња истраживања су показала да су ова земљишта веома специфична и да је њихово формирање у великој мери одређено флувијалним и ерозоним процесима, као и количном транспортованог наноса/седимента. Периодично таложене седимента/наноса на површинске слојеве рипаријалног земљишта, таложене нутријената и органске материје, као и спирање услед флукуације подземних и површинских вода условљавају њихову хетерогеност. Даље се наводи да су досадашња истраживања указала да су промене у земљишту у зони рипаријалних шума великих река условљене просторним и временским градијентом квалитета животне средине, односно дуготрајним природним процесима са једне и антропогеним активностима са друге стране. У оквиру овог поглавља такође је цитирана референтна научна литература која описује досадашња истраживања процеса настајања седимента/наноса у речним сливовима, начин његовог транспорта и депонивања и описује начине на који седименти/нанос постаје примарни али секундарни извор загађења тешким металима и металоидима.

Кандидат Милица Марковић у даљем тексту наводи знатан број публикација које показују да се тешки метали и металоиди најчешће акумулирају у површинским слојевима земљишта и седимента и да њихов садржај може бити и неколико пута виши у односу на дубље слојеве, као и у односу на референтне вредности за одређено подручје. Истиче се да су досадашња истраживања показала да су најчешћи фактори који утичу на мобилност и доступност тешких метала и металоида геоморфолошке и геохемијске карактеристике матичног супстрата, климатске карактеристике, текстура и структура земљишта и седимента, рН, оксидо-редукциони потенцијал, капацитет катјонске размене (СЕС), количина органске материје, земљишни микроорганизми. Због свог положаја у приобалној зони река, рипаријална земљишта су реципијенти наноса и других материја, а при том су важни чиниоци у регулацији размене материје укључујући полутанте, као и у трансформацији енергије између терестричних и акватичних екосистема. Наводи се да тешки метали и металоиди у земљишту и седименту рипаријалне зоне могу врло лако да се акумулирају и да њихова мобилност зависи од већ наведених фактора, и да се при том могу лако трансформисати у лакоприступачне облике и на тај начин постати ризик за рипаријалну зону. Елементи као што су Cu, Mn, Ni и Zn су

есенцијални за функционисање живих организама, али у високим концентрацијама могу бити токсични и имати негативан ефекат на животну средину. С друге стране, елементи као што су As, Cd, Cr, Pb и Hg се чак и у ниским концентрацијама сматрају токсичним. Кандидаткиња на основу досадашњих референтних литературних научних истраживања истиче да су рипаријална земљишта реке Саве изложена контаминацији пре свега As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb и Zn, што може допринети укупном загађењу животне средине у сливу реке. Наведено је да су досадашња истраживања показала да природни поремећаји, попут периодичних поплава праћених периодима суше, имају значајан утицај на варијације у концентрацији и утицај на просторну дистрибуцију токсичних елемената у води, речном седименту/наносу и земљиштима река, укључујући и реку Саву. Истиче се да порекло полутаната у земљишту и седиментима/наносу може бити геолошко, уколико је последица распада матичног супстрата или антропогено ако се јавља као последица индустријских активности које укључују емисију штетних гасова и суспендованих честица, затим пољопривредних и рударских активности или услед испуштања нетретираног чврстог и течног комуналног отпада.

На основу референтне литературе истакнуто је да биодоступност и токсичност елемената у природи првенствено зависи од њихових форми везивања и да коришћење и валидација само укупних концентрација може преценити или потценити стварни ризик по животну средину. Досадашња истраживања су показала да укупне концентрације потенцијално токсичних елемената у земљишту прецењују ризик од фитотоксичности. Зато је реалнији приступ изучавању и касније решавању овог проблема одређивање удела биодоступних фракција коришћењем секвенцијалне екстракције. Наиме, секвенцијална екстракција идентификује главне фракције у којима су потенцијално токсични елементи повезани и омогућава утврђивање тренутног и потенцијалног ризика везаног за високе концентрације ових елемената. Применом процедуре фракционисања добијају се важни подаци о доступности, мобилности, начину везивања и расподели тешких метала и других потенцијално опасних микроелемената. У даљем прегледу литературе истиче се да су за процену загађења у рипаријалној зони најреlevantнији површински слојеви земљишта и седимента, конкретније површински слојеви вученог наноса обзиром да се у површинским слојевима налази најскорије депоновани материјал. Кандидаткиња наводи да је у циљу смањења загађења рипаријалне зоне посебно великих регионалних река врло важно у потпуности разумети карактеристике и изворе загађивања земљишта и седимента/наноса, и да је при том важно одредити потенцијално токсичне загађиваче. У том смислу истакнуто је да се у истраживањима за утврђивање порекла тешких метала у седименту и земљишту користи велики број мултиваријантних статистичких анализа, као што је анализа главних компоненти – PCA анализа.

Такође, указује се на постојање великог броја различитих директива и уредби које се односе на квалитет седимента и земљишта, међутим кандидаткиња истиче да не постоје уједначени критеријуми на светском или европском нивоу. Из тог разлога, свака држава има своје законске акте и уредбе којима уређује питање квалитета земљишта, седимента и вода. За процену загађења речних седимената често се користи Водич за процену квалитета седимента - Canadian Environmental Quality Guidelines (CCME, 2001). Кандидат Милица Марковић је истакла да је у оквиру истраживања степена загађења седимента/наноса, за потребе ове дисертације, користила неколико смерница: ниво граничног ефекта на животну средину (TEL – Threshold effect level) и ниво вероватног ефекта на животну средину (PEL – Probable effect level) (CCME, 2001), као и граничне вредности за седимент према препоруци Међународне комисије за Дунав (ICPDR, 2002; MacDonald et al., 2000). Исто тако на основу референтне литературе, у циљу процене квалитета земљишта и степена загађења земљишта користила је неколико смерница као што су регионалне граничне и „background“ (природни фон) вредности за територије Републике Словеније, Републике Хрватске и Републике Србије. Такође, један од критеријума за утврђивање квалитета земљишта и степена загађења била је и Европска директива о „background“ вредностима европских земљишта и канализационих муљева (Directive 86/278/EEC, Gawlik and Bidoglio, 2006). Кандидат даље истиче да се велики број индекса за процену квалитета земљишта и седимента као и процену еколошког ризика заснива управо на употреби референтних „background“ вредности, као и на употреби законских уредби и директива. Најчешће употребљивани индекси су фактор обogaћења – EF, индекс загађења – PI, појединачан индекс загађења – Ei, укупан индекс загађења – RI, геоакумулациони индекс – Igeo али и многи други. У даљем тексту се наводи да су истраживања последњих деценија услед све интензивнијег загађења рипаријалних зона због индустријализације, урбанизације и климатских промена, фокусирана на различите сегменте рипаријалне зоне, на процену еколошког статуса, одређивање степена загађења рипаријалног земљишта и вегетације, утврђивање порекла органских и неорганских загађивача као и на процену ризика по животну средину.

Кандидат Милица Марковић је на крају овог поглавља, узимајући у обзир чињеницу да велики број људи живи у уском појасу уз реке од које зависи директно или индиректно, дала кратак преглед досадашњих истраживања везаних за проблематику загађивања рипаријалне зоне (земљишта и седимента/наноса) у региону и Европи истичући њихов значај за добијање података о еколошком статусу ових зона и процени нивоа доминантног типа извора загађења.

### **3. КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСТРАЖИВАНОГ ПОДРУЧЈА (9 – 15 стр.)**

Кандидат Милица Марковић је у оквиру овог поглавља навела основне карактеристике слива реке Саве, који представља највећи слив у Југоисточној Европи истичући да је река Сава највећа притока реке Дунав. Дужина реке Саве је 945 км и она протиче кроз Републику Словенију, Републику Хрватску, Федерацију БиХ и кроз Републику Србију, при чему се ток може условно поделити на три дела. Горњи део тока обухвата подручје од ушћа Долинке у Бохињу код Радовљице па све до Ругвице на територији Хрватске и обухвата око 600 км речног тока. Горњи део слива Саве је претежно брдско планинског карактера. Средњи део тока реке Саве који обухвата подручје од Ругвице па до ушћа Дрине у Саву је низијско алувијалног карактера са великим бројем притока, меандара и поплавних поља. Доњи део тока обухвата подручје од ушћа Дрине па све до ушћа Саве у Дунав, такође је низијско алувијалног карактера и највећа притока на овом делу тока је река Колубара.

Поред основних физичко-географских карактеристика, у оквиру овог поглавља су у потпоглављима приказане топографске, геолошке и педолошке карактеристике слива реке Саве (3.1.); затим климатске, хидролошке и хидрографске карактеристике слива реке Саве (3.2.) са посебним освртом на поплаве на подручју слива реке Саве током 2014. године (3.2.1.) и на крају вегетација рипаријалне зоне реке Саве (3.3.) уз навођење заштићених подручја највишег ранга на територији слива.

### **4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ (16 – 25 стр.)**

У поглављу **МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ** кандидат Милица Марковић приказује методолошку поставку докторске дисертације које се састоји од четири потпоглавља.

У оквиру потпоглавља **4.1. Теренска истраживања** наводи се да су за потребе истраживања изабрани репрезентативни локалитети дуж целог тока реке Саве, од извора (Сава Бохињка и Сава Долинка) до ушћа у Дунав, узимајући у обзир приступачност и репрезентативност у смислу извора загађења, било природних или антропогених (специфичан састав геолошког супстрата, индустрија, саобраћај, пољопривреда и др.). Спроведена истраживања у овој докторској дисертацији била су део два пројекта: Националног пројекта основних истраживања „Екофизиолошке адаптивне стратегије биљака у условима мултипног стреса“ (ОН 173018; 2011-2019; руководилац, др Павле Павловић; финансијер, Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије; реализатор, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“-Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду) и међународног пројекта „Managing the effects of multiple stressors on aquatic ecosystems under water scarcity“ GLOBAQUA (FP7-ENV.2013.6.2-1, 2014-2019; руководилац, др Damià Barceló; финансијер, European Commission-EC, FP7 Collaborative Project; реализатори, 24 институције међу којима Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“-Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду). Такође кандидат Милица Марковић наводи да су спроведене две теренске експедиције за сакупљање узорака и то у периоду високог (септембар 2014. године) и у периоду ниског водостаја (септембар 2015. године). За истраживања је одабрано 10 локалитета 2014. године (два су била недоступна због високог водостаја) и 12 локалитета 2015. године. Изабрани локалитети 2014. године били су: Бохињка (БОХ), Радовљица (РАД), Литија (ЛИТ) и Чатеж (ЧАТ) у Словенији, Загреб (ЗАГ), Јасеновац (ЈАС), Славонски Брод (СЛБ) и Жупања (ЖУП) у Хрватској и Сремска Митровица (СРМ) и Београд (БЕО) у Србији. У другој години истраживања 2015. године изабрани локалитети били су: Мојстрана (МОЈ), Радовљица (РАД), Врхово (ВРХ), Литија (ЛИТ) и Чатеж (ЧАТ) у Словенији, Загреб (ЗАГ), Јасеновац (ЈАС), Славонски Брод (СЛБ) и Жупања (ЖУП) у Хрватској и Сремска Митровица (СРМ), Шабац (ШАБ) и Београд (БЕО) у Србији. За одређивање физичко-хемијских карактеристика земљишта отворени су репрезентативни педолошки профили на свим испитиваним локалитетима у плавном појасу реке Саве, из којих су сакупљени узорци земљишта по генетичким хоризонтима у нарушеном стању у периоду ниског водостаја (септембар 2015. године). За одређивање укупног садржаја испитиваних елемената и њихово фракционисање сакупљани су узорци земљишта из плавног појаса, на одстојању

од 10 до 15 m од речног тока. Узорци земљишта су узимани са дубина од 0-10, 10-20 и 20-30 cm, имајући у виду да су површински слојеви земљишта (до 30 cm) изложени највишем степену акумулације највећег броја тешких метала и металоида. На сваком локалитету узорци земљишта су узети из темена квадрата 2x2 m (четири узорка) и један (пети узорак) из центра квадрата (пресек дијагонала), на дубинама од 0-10 cm, 10-20 cm и 20-30 cm. Затим је од узорака исте дубине (5 узорака) прављен збирни (композитни) узорак. На тај начин је добијено по квадрату 3 композитна узорака (0-10, 10-20 и 20-30 cm). Ово је вршено у пет понављања (n=5), односно квадрата и на тај начин је добијено за сваки локалитет по пет композитних узорака земљишта за дубину 0-10 cm, затим пет композитних узорака за 10-20 cm и на крају пет композитних узорака за 20-30 cm дубине. Квадрати су на локалитетима били постављени паралелно са током реке а међусобно су били удаљени 10 m. Након узорковања узорци земљишта су пренети у ПВЦ посуде које су чуване у мраку на 4 °C до лабораторијских анализа. Узорковање површинских слојева седимента/наноса извршено је према важећим процедурама за мониторинг хемијског квалитета седимента (European Communities Technical Report 2010-041, 2010). Узорковање површинског речног седимента/наноса извршено је помоћу ручне бентонске мреже типа FBA промера окца 500  $\mu$ m и багера типа Van Ween. На локалитетима горњег дела тока где доминира каменита и/или шљунковита подлога, површински седименти/наноси узорковани су помоћу ручних бентосних мрежа док је на локалитетима доњег дела тока површински седимент/нанос узоркован помоћу багера. Дубина са које је узоркован материјал за анализу варијала је у односу на локалитет, тренутног стање речног тока као и расположивост супстрата, али је у просеку била 0-30 cm. На испитиваним локалитетима, прво је извршено мокро просејавање узорака кроз сито промера 2mm, а затим и кроз сито промера 63  $\mu$ m, у оба случаја користећи речну воду. Након испирања и просејавања узорци су пренети у ПВЦ посуде и чувани у мраку на 4 °C до лабораторијских анализа.

Потпоглавље **4.2. Лабораторијска истраживања** подељено је на три дела. У делу *4.2.1. Одређивање физичких и хемијских карактеристика земљишта и седимента/наноса* кандидаткиња таксативно наводи релевантне методе за одређивања стандардних физичких (хигроскопна влага, гранулометријски састав) и хемијских (pH у H<sub>2</sub>O и у 0.1M KCl; садржаја растворљивих соли - EC; садржаја хумуса и укупног угљеника; садржај органског угљеника; садржај укупног азота; C/N; садржај CaCO<sub>3</sub>; садржај лакоприступачаног фосфора и калијума; адсорптивни комплекс: ACE-кисели измењиви катјони, BCE-базни измењиви катјони и SEC-капацитет катјонске размене) својстава земљишта и седимента/наноса. У делу *4.2.2. Фактор еродибилности* наводе се параметри за процену еродибилности земљишта, дата је формула за израчунавање K фактора као и класификација фактора еродибилности. У делу *4.2.3. Одређивање укупног садржаја тешких метала и других хемијских елемената у земљишту и речном седименту/наносу и њихово фракционисање* детаљно је описана метода за одређивање укупног садржаја испитиваних хемијских елемената (Ag, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Sr, Tl, Zn), при чему су узорци земљишта за анализу припремљени методом влажне дигестије, у микроталасној пећи (SEM MARS 6), а концентрација хемијских елемената одређена је методом оптичке емисионе спектрофотометрије (ICP-OES, Spectro Genesis), при чему је аналитичка процедура валидирана употребом стандардног референтног материјала (Loam soil – ERM – CC14, IRMM, Institute for Reference Materials and Measurements, Geel, Belgium); као и метода за утврђивање количине биодоступних и мобилних форми испитиваних елемената (BCR секвенцијална екстракција) методом плазмом индуковане масене спектрометрије (ICP-MS, 7700x, Agilent Technologies, Tokyo, Japan), при чему је комплетна аналитичка процедура валидирана коришћењем стандардног референтног материјала (Channel sediment – BCR-320R; IRMM, Institute for Reference Materials and Measurements, Geel, Belgium). Све анализе су рађене у три понављања. Наведен је ниво детекције за сваки испитивани елемент и када је реч о одређивању укупног садржаја и када је реч о фракционисању испитиваних елемената. Посебно су табеларно приказани реагенси и екстракциони услови примењени за одређивање прве три фазе BCR секвенцијалне екстракције и укупног садржаја истраживаних хемијских елемената.

У оквиру потпоглавља **4.3. Статистичке методе** дат је преглед стандардних статистичких метода дескриптивне и аналитичке статистике као и преглед статистичких пакета и програма који су коришћени за обраду података. За утврђивање потенцијалних разлика између концентрација елемената измерених у земљишту и површинском седименту/наносу примењена је једнофакторска анализа варијанси (One-way ANOVA) уз коришћење post-hoc Tukey testa. Утврђивање односа између садржаја испитиваних хемијских елемената у земљишту и површинском седименту/наносу урађено је помоћу Спирмановог коефицијента корелације. Ниво статистичке значајности обележен је са: \* за p<0,05, \*\* за p<0,01 и \*\*\* за p<0,001. Будући да је анализа показала да не постоје статистички

значајне разлике у садржају испитиваних елемената између слојева земљишта од 0-10 cm, 10-20 cm и 20-30 cm, за даљу анализу узета је просечна вредност концентрација тешких метала и металоида за дубину од 0-30 cm. Такође урађен је и t-test како би се утврдиле статистички значајне разлике у садржају As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn између године високог водостаја (2014. година) и године ниског водостаја (2015. година). За утврђивање порекла хемијских елемената у површинским слојевима земљишта и речног седимента/наноса коришћене су методе засноване на анализи главних компоненти (Principal Components Analysis – PCA) и вишеструке регресије (Multiple Regression Analysis – MLRA). Анализирани су подаци за седам приоритетних потенцијално токсичних елемената и то As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn. Анализа главних компоненти је укључила податке о укупном садржају испитиваних елемената а за анализу су узете само компоненте (Eigenvalue) са вредношћу већом од 1. PCA анализа је урађена уз коришћење Varimax ротације и Кајзерове нормализације при чему је провера веродостојности сета података извршена помоћу КМО теста (Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy) и комуналитета (Communalities). Након Анализе главних компоненти PCA, а у циљу утврђивања порекла потенцијално токсичних елемената у површинским слојевима земљишта урађена је и Вишеструка регресиона анализа (MLRA) чији је циљ био да се утврди појединачан утицај сваке од компоненти на сваки испитивани елемент. Статистичка обрада података (дескриптивне и мултиваријантне анализе) извршена је помоћу статистичких софтвера Statistica 10.0, SPSS v21 и Minitab 17. Картографска обрада података извршена је помоћу ГИС софтверског пакета ESRI ArcMap 10.5.

Потпоглавље **4.4. Одређивање еколошког ризика од загађивања тешким металима и металоидима и одређивање потенцијално опасних зона („hot spots“)** је подељено у три дела: *4.4.1. Одређивање „background“ вредности за рипаријалну зону реке Саве; 4.4.2. Методе за одређивање еколошког ризика од загађивања тешким металима и металоидима површинских слојева земљишта и седимента/наноса рипаријалне зоне реке Саве и 4.4.3. Одређивање потенцијално опасних зона („hot spots“).* У оквиру првог дела кандидат Милица Марковић је детаљно описала методу за одређивање природног фона „background“ земљишта за подручје рипаријалне зоне реке Саве коришћењем математичке методе која узима у обзир медијану и медијану апсолутних девијација. Користила је базу података која је обухватила 412 додатних локалитета са подацима о садржају тешких метала и других потенцијално опасних елемената на територији Словеније, Хрватске и Србије. У оквиру другог дела потпоглавља описане су детаљно методе које су коришћене за израчунавање степена еколошког ризика од тешких метала и металоида у површинским слојевима земљишта и седимента/наноса: индекс еколошког ризика (Ei), индекс укупног еколошког ризика (RI) и геоакумулациони индекс (Igeo) и дата је Класификација коришћена за процену степена загађења помоћу укупног еколошког ризика и индекса геоакумулације. У оквиру трећег дела потпоглавља кандидаткиња је описала методу коришћену за одређивање потенцијално опасних зона („hot spots“) од загађења тешким металима и металоидима. На основу анализе географске регресије (Geographic weighted regression-GWR) кандидат Милица Марковић је начинила карту потенцијалних зона контаминације рипаријалних земљишта дуж целог тока реке Саве.

## **5. РЕЗУЛТАТИ (26 – 148 стр.)**

Кандидат Милица Марковић је резултате својих истраживања приказала у поглављу **РЕЗУЛТАТИ** које је поделила у осам потпоглавља.

У потпоглављу **5.1. Морфолошке карактеристике земљишта** кандидаткиња је детаљно морфолошки описала, фото документовала и педолошки класификационо одредила до нивоа форме, све типове земљишта на истаживаним локалитетима дуж тока реке Саве, при чему је установила да је доминантни тип земљишта флувисол.

Друго потпоглавље **5.2. Физичко – хемијске карактеристике земљишта** подељено је у две целине: *5.2.1. Физичке особине земљишта и 5.2.2. Хемијске особине земљишта.* У оквиру прве целине приказани су резултати испитивања гранулометријског састава и хигроскопне влаге узорак земљишта из профила и по фиксним дубинама (0 – 10, 10 – 20 и 20 – 30 cm). У узорцима земљишта из профила установљено је да је проценат песка доминантан на локалитетима у горњем делу тока реке Саве, док се на средњем и доњем делу тока проценат песка смањује а постају доминантне фракције праха и глине. У узорцима земљишта по фиксним дубинама установљен је сличан тренд као и у профилима, односно да је учешће песка доминантно на локалитетима горњег дела тока док се учешће праха и глине у гранулометријском саставу повећава на доњем делу тока реке. У оквиру друге целине приказани су резултати хемијске реакције земљишта, електропроводљивости, садржај хумуса,

укупног и органског угљеника, садржај азота, однос C/N, садржај калцијум карбоната, лакоприступачних облика фосфора и калијума као и параметри адсорптивног комплекса земљишта. Установљено је да се активна и супституциона киселост испитиваних земљишта сврстава у категорију слабо до умерено алкалних док резултати електропроводљивости указују да су земљишта незаслањена. Садржај карбоната у испитиваним земљиштима има опадајући тренд идући ка низводним локалитетима док садржај угљеника и органске материје има растући тренд идући ка низводним локалитетима. Испитивана земљишта су на већини локалитета добро обезбеђена азотом уз повољан однос C/N. Садржај лакоприступачних облика фосфора и калијума варира дуж тока при чему се уочава да су земљишта доњег дела тока добро обезбеђена. Вредности адсорптивног комплекса (СЕС) су ниске уз доминантно учешће базних катјона.

Потпоглавље **5.3. Физичко – хемијске карактеристике седимента/наноса** је такође подељено у две целине: *5.3.1. Физичке особине седимента/наноса* и *5.3.2. Хемијске особине седимента/наноса*. У оквиру прве целине приказани су резултати гранулометријског састава и хигроскопне влаге и на основу добијених резултата утврђено је да се седимент/нанос горњег дела тока реке Саве одликује лакшим механичким саставом у односу на седимент/нанос доњег дела тока. Проучавани седимент/нанос у првој години истраживања (2014. година) највећим делом припада текстурној класи песковите иловаче и прашкасте иловаче, док проучавани седимент/нанос у другој години истраживања (2015. година) највећим делом припада текстурној класи песковите иловаче и песка. У оквиру друге целине приказани су резултати хемијске реакције, електропроводљивости, садржај хумуса, укупног и органског угљеника, азота и однос C/N, садржај калцијум карбоната, лакоприступачних облика фосфора као и параметри адсорптивног комплекса. Установљено је да активна и супституциона киселост испитиване седименте/нанос сврстава у категорију неутралних до умерено алкалних. Укупна количина растворљивих соли у седименту/наносу је ниска и стога испитивана земљишта припадају категорији незаслањених. Садржај карбоната у седименту/наносу има тренд смањења идући ка низводним локалитетима док садржај хумуса и органске материје у седименту/наносу, у оба пресека, има растући тренд идући ка низводним локалитетима. Садржај азота у седименту/наносу је низак, али пропорционалан количини органске материје. Однос C/N на локалитетима горњег и делимично средњег дела тока је неповољан, док је тај однос на локалитетима доњег дела тока нешто повољнији. Вредности адсорптивног комплекса (СЕС) су доста ниске.

У потпоглављу **5.4. Фактор еродибилности – К фактор** приказани су резултати процене еродибилности земљишта, при чему је установљено да су горњи и делимично средњи делови тока изложени већем ризику од ерозије него локалитети на доњем делу тока реке Саве.

Потпоглавље **5.5. Тешки метали и металоиди у земљишту** подељено је на три целине: *5.5.1. Укупан садржај тешких метала и металоида у земљишту*, *5.5.2. Фракције тешких метала и металоида у земљишту* и *5.5.3. Порекло тешких метала и металоида у земљишту*.

У првој целини која је подељена у два дела: *5.5.1.1. Укупан садржај тешких метала и металоида у земљишту узоркованом у периоду високог водостаја (2014. година)* и *5.5.1.2. Укупан садржај тешких метала и металоида у земљишту узоркованом у периоду ниског водостаја (2015. година)* приказани су резултати мерења и анализе укупног садржаја тешких метала и металоида у земљишту и установљено је да се у току 2014. године укупан садржај скоро свих испитиваних елемената (Ag, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, P, Se, Tl, Zn), повећавао идући од извора ка ушћу, при чему је највиши укупни садржај измерен на локалитетима доњег дела тока и то најчешће на локалитету Београд (БЕО). Изузетак су Sr и Pb чији је највиши укупан садржај измерен на локалитетима горњег дела тока. У 2015. години укупан садржај скоро свих испитиваних елемената у земљишту се повећавао (Ag, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, P, Pb, Se, Tl, Zn), идући од извора ка ушћу реке, при чему је највиши укупни садржај измерен на локалитетима доњег дела тока и то најчешће на локалитету БЕО. Изузетак су Sr и Mo чији је највиши укупан садржај измерен на локалитетима горњег и делимично на локалитетима средњег дела тока. У другој целини која је подељена у два дела: *5.5.2.1. Фракције тешких метала и металоида у земљишту узоркованом у периоду високог водостаја (2014. година)* и *5.5.2.2. Фракције тешких метала и металоида у земљишту узоркованом у периоду ниског водостаја (2015. година)* приказани су резултати фракционисања испитиваних елемената у земљишту из 2014. и 2015. године. Резултати фракционисања из 2014. године указују да је удео прве три фракције у фракционим профилима елемената био доста висок, указујући на високу мобилност и растворљивост елемената под утицајем поплавног таласа. Резултати фракционисања из 2015. године показују да је удео прве три фракције у фракционим профилима елемената низак и да је већина испитиваних елемената била чврсто везана за кристалну решетку. У трећој целини која је подељена у два дела: *5.5.3.1. Порекло тешких метала и металоида у земљишту узоркованом у периоду високог*



водостаја (2014. година) и 5.5.3.2. Порекло тешких метала и металоида у земљишту узоркованом у периоду ниског водостаја (2015. година) приказани су резултати порекла испитиваних елемената (As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb и Zn) на основу факторске анализе (PCA) као и утицај појединачних фактора (MLRA анализа). У периоду високог водостаја (2014. година) утврђено је да су елементи As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni и Zn геолошког односно природног порекла док је порекло Pb антропогено. У периоду ниског водостаја (2015. година) утврђено је да су елементи Cr, Mn и Ni геолошког порекла, елементи As, Cd, Pb и Zn геолошко – антропогеног порекла, а да је Cu антропогеног порекла.

Потпоглавље **5.6. Тешки метали и металоиди у седименту/наносу** такође је подељено на три целине: 5.6.1. *Укупан садржај тешких метала и металоида у седименту/наносу*, 5.6.2. *Фракције тешких метала и металоида у седименту/наносу* и 5.6.3. *Порекло тешких метала и металоида у седименту/наносу*. У оквиру прве целине која је подељена у два дела: 5.6.1.1. *Укупан садржај тешких метала и металоида у седименту/наносу узоркованом у периоду високог водостаја (2014. година)* и 5.6.1.2. *Укупан садржај тешких метала и металоида у седименту/наносу узоркованом у периоду ниског водостаја (2015. година)*, приказани су резултати укупног садржаја тешких метала и металоида у седименту/наносу и установљено је да се укупан садржај скоро свих испитиваних елемената (Ag, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Tl, Zn) у току 2014. године повећавао идући од извора ка ушћу, при чему је највиши укупни садржај измерен на локалитетима доњег дела тока и то најчешће на локалитету БЕО (Београд). Изузетак од овог тренда представљају Ва и Sr чији укупан садржај варира у зависности од локалитета. У току 2015. године укупан садржај скоро свих испитиваних елемената (Ag, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Tl, Zn) у седименту/наносу се повећавао идући од извора ка ушћу, при чему је највиши укупни садржај измерен на локалитетима доњег дела тока и то најчешће на локалитету БЕО. Изузетак од овог тренда је Sr чији укупан садржај варира дуж целог тока у зависности од локалитета, али је уочен тренд смањења садржаја Sr на локалитетима доњег дела тока. У оквиру друге целине која се састоји из два дела: 5.6.2.1. *Фракције тешких метала и металоида у седименту/наносу узоркованом у периоду високог водостаја (2014. година)* и 5.6.2.2. *Фракције тешких метала и металоида у седименту/наносу узоркованом у периоду ниског водостаја (2015. година)*, приказани су резултати фракционисања испитиваних елемената у седименту/наносу из 2014. и 2015. године. Резултати фракционисања из 2014. године указују да је удео прве три фракције у фракционим профилима већине испитиваних елемената био доста висок, указујући на високу мобилност и растворљивост елемената под утицајем поплавног таласа. Резултати фракционисања из 2015. године показују да је удео прве три фракције у фракционим профилима низак и да је већина испитиваних елемената била чврсто везана за кристалну решетку са изузетком Mn, Se и Sr. У оквиру треће целине која је подељена у два дела: 5.6.3.1. *Порекло тешких метала и металоида у седименту/наносу узоркованом у периоду високог водостаја (2014. година)* и 5.6.3.2. *Порекло тешких метала и металоида у седименту/наносу узоркованом у периоду ниског водостаја (2015. год)*, приказани су резултати порекла испитиваних елемената (As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb и Zn) на основу факторске анализе (PCA) као и утицај појединачних фактора (MLRA анализа). Резултати PCA анализе су показали да је на порекло испитиваних елемената у периоду високог водостаја (2014. година) утицао природни фактор геолошка подлога и поплазни талас, са изузетком Pb чија висока негативна корелисаност Pb са осталим варијаблама указује на његово антропогено порекло. У периоду ниског водостаја (2015. година) утврђено је да су елементи Cr, Mn, Ni, As, Cu, Pb и Zn геолошког порекла, док су Cd, Pb и Zn мешоватог (геолошко – антропогеног) порекла.

У потпоглављу **5.7. Корелације између садржаја тешких метала и металоида у земљишту и седименту/наносу** које је подељено у две целине: 5.7.1. *Разлике у укупном садржају тешких метала и металоида у земљишту и седименту/наносу на одабраним локалитетима између 2014 и 2015. године* и 5.7.2. *Однос тешких метала и металоида у површинским слојевима земљишта и седимента/наноса на основу Спирмановог коефицијента корелације*, кандидаткиња је установила да локалитет има значајан утицај на разлике у укупном садржају испитиваних елемената у земљишту и седименту/наносу. Такође, установљено је да за Cd, Cr, Cu и Zn постоје значајне статистичке разлике у садржају између две године испитивања. У анализи узорака из 2014. године нису утврђене значајне корелације између садржаја испитиваних елемената у земљишту са њиховим садржајем у седименту/наносу, уз изузетак Pb код кога је утврђена значајна позитивна корелација између садржаја у земљишту и седименту/наносу. Анализа узорака из 2015. године показала је да постоје значајне корелације између садржаја испитиваних елемената у земљишту са садржајем у седименту/наносу.

Потпоглавље **5.8. Еколошки ризици од загађивања тешким металима и металоидима површинских слојева земљишта и седимента/наноса** је подељено у три целине: 5.8.1. *Одређивање*

„background“ вредности истраживаних елемената за рипаријалну зону реке Саве, 5.8.2. Одређивање еколошког ризика од загађивања тешким металима и металоидима у површинским слојевима земљишта и седимента/наноса помоћу Индекса еколошког ризика (*Ecological Risk Index - Ei*) и Индекса укупног еколошког ризика (*Risk Index - RI*) и 5.8.3. Одређивање еколошког ризика од загађивања тешким металима и металоидима у површинским слојевима земљишта и седимента/наноса помоћу Индекса геоакумулације (*Geoaccumulation index - Igeo*). У оквиру прве целине кандидат Милица Марковић је одредила „background“ вредности за седам елемената (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn) приоритетних загађујућих елемената, као и за Mn који је у анализама процене ризика коришћен као референтни елемент. У оквиру друге целине извршена је анализа процене еколошког ризика од загађивања тешким металима и металоидима у површинским слојевима земљишта и седимента/наноса помоћу Индекса еколошког ризика (*Ecological Risk Index - Ei*), Индекса укупног еколошког ризика (*Risk Index - RI*). На основу анализе појединачног еколошког индекса (*Ei*) у узорцима земљишта из 2014. године утврђено је да постоји умерен степен еколошког ризика по животну средину од загађивања As, Cd и Ni на локалитетима доњег дела тока. Применом појединачног еколошког индекса у узорцима земљишта из 2015. године утврђено је да постоји умерен до висок степен ризика од загађивања As, Cd, Cu и Ni на локалитетима доњег дела тока. Укупан еколошки ризик (*RI*) показао је високе вредности на локалитетима доњег дела тока (ЖУП - Жупања, СРМ – Сремска Митровица, ШАБ - Шабац и БЕО - Београд), указујући да на том делу тока, у оба пресека постоји висок степен еколошког ризика по животну средину. На основу анализе појединачног еколошког индекса (*Ei*) у узорцима седимента/наноса из 2014. године утврђено је да не постоји ризик од контаминације испитиваним елементима. Применом појединачног еколошког индекса у узорцима седимента/наноса из 2015. године утврђено је да постоји умерен степен еколошког ризика од загађивања Cd на локалитетима доњег дела тока (СРМ, ШАБ и БЕО). Такође, без обзира на висок садржај Cd и повишен појединачни еколошки индекс, индекс укупног еколошког ризика (*RI*) био је низак на свим локалитетима у оба пресека. У оквиру треће целине извршена је процена еколошког ризика од загађивања тешким металима и металоидима у површинским слојевима земљишта и седимента/наноса помоћу Индекса геоакумулације (*Geoaccumulation index - Igeo*). На основу анализе геоакумулационих индекса (*Igeo*) за површинске слојеве земљишта из 2014. утврђено је да постоји умерен еколошки ризик по животну средину од контаминације Cu на локалитету ЖУП, Ni на локалитетима СРМ и БЕО и Pb на локалитету РАД. Значајан еколошки ризик од загађивања никлом утврђен је на локалитету ЖУП. *Igeo* за површинске слојеве земљишта из 2015. године указује да постоји умерен еколошки ризик од контаминације As на локалитету БЕО, Cu на локалитетима ЧАТ, ЖУП, СРМ и БЕО, Ni на локалитетима ЖУП, СРМ, ШАБ и БЕО и Zn на локалитету БЕО. На основу анализе геоакумулационих индекса (*Igeo*) за седимент/нанос из 2014. и 2015. године закључено је да, као и у земљишту, постоји умерено до значајно обогаћење никлом, бакром и кадмијумом, док у мањој мери постоји обогаћење арсеном и цинком.

## 6. ДИСКУСИЈА (149 – 192 стр.)

Поглавље **ДИСКУСИЈА** обухвата четири потпоглавља у којима је кандидат Милица Марковић на адекватан начин тумачила и дискутовала резултате добијене истраживањима користећи се бројним налазима других аутора претежно публикованим у научним часописима високог међународног научног угледа везаним за истраживану проблематику.

У оквиру потпоглавља **6.1. Физичко – хемијске особине земљишта** које је подељено у две целине: *6.1.1. Физичке карактеристике земљишта* и *6.1.2. Хемијске карактеристике земљишта* кандидаткиња је анализирала и дискутовала добијене резултате упоређујући их са резултатима сличних истраживања у региону, Европи и свету. На основу добијених резултата у оквиру прве целине уочава се да у испитиваним земљиштима доминира фракција песка што је карактеристично за алувијална земљишта у рипаријалним зонама. Такође, таква земљишта су добро аерисана и имају добре термодинамичке карактеристике, али кандидаткиња истиче да имају и слабију способност за везивање потенцијално опасних елемената. Рипаријална земљишта на истраживаном подручју карактеришу честе промене водног режима, смене периода високог и ниског водостаја као и флукуација нивоа подземних вода, а такође је изражен и утицај ерозионих процеса, што је доведено у везу са карактеристикама одређених делова тока и брзином реке у одређеним деловима тока, што има утицај на текстуру земљишта. У погледу хемијских карактеристика земљишта, у оквиру друге целине, кандидаткиња истиче да алкална реакција земљишта, низак садржај органске материје и низак капацитет катјонске измене представљају ограничавајући фактор за усвајања, мобилности и биодоступност тешких метала и металоида.

У оквиру потпоглавља **6.2. Физичко – хемијске особине седимента/наноса**, кандидаткиња као и у претходном потпоглављу, анализира и дискутује добијене податке упоређујући их са резултатима релевантних истраживања спроведених у региону, Европи али и у свету. Такође, ово потпоглавље је подељено у две целине: *6.2.1. Физичке карактеристике седимента/наноса* и *6.2.2. Хемијске карактеристике седимента/наноса*. У оквиру прве целине кандидаткиња истиче да је у погледу текстуре седимента/наноса уочила сличну ситуацију као и код земљишта, односно да фракција песка доминира дуж целог тока. Истовремено, долази до уочљиве промене у текстури седимента/наноса у доњем делу тока реке, од песковите ка иловастој, као резултат успоравања реке и таложена ситних честица праха и глине. У оквиру друге целине овог потпоглавља, истакнуто је да су алкалност седимента/наноса, низак садржај карбоната и низак садржај органске материје ограничавајући фактори за усвајање, мобилност, растворљивост и биодоступност проучаваних елемената (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn).

Потпоглавље **6.3. Тешки метали и металоиди у земљишту** садржи две целине: *6.3.1. Укупан садржај и фракције тешких метала и металоида у земљишту рипаријалне зоне реке Саве* и *6.3.2. Порекло тешких метала и металоида и процена еколошког ризика од загађивања у земљишту рипаријалне зоне реке Саве*. У оквиру прве целине кандидаткиња дискутује укупан садржај, мобилност, биодоступност, као и начин везивања испитиваних елемената у земљишту. У погледу укупног садржаја испитиваних елемената истиче се да у узорцима земљишта из 2014. године и из 2015. године постоји изражена варијабилност у зависности од локалитета и да постоји растући тренд укупног садржаја на низводним локалитетима. Кандидат Милица Марковић је поредила добијене резултате са релевантним европским и светским подацима, регионалним уредбама, регионалним „background“ вредностима, као и „background“ вредностима за рипаријалну зону реке Саве. На основу добијених резултата закључила је да су на локалитетима горњег и средњег дела тока садржаји тешких метала (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn) углавном били у оквиру просечних вредности за земљишта Европе и света док су на локалитетима доњег дела тока садржаји испитиваних елемената били виши у односу на „background“ вредност као и на просечне вредности за европска и светска земљишта. Кандидаткиња је указала да на основу повишених садржаја испитиваних елемената на доњем делу тока постоје интензивни антропогени притисци, а такође указује и да повећању садржаја тешких метала доприноси и састав матичног супстрата, што се првенствено односи на садржај Cr и Ni у земљишту, који су геолошког порекла. У даљој дискусији обрађени су подаци секвенцијалне екстракције како би се добили прецизнији подаци о биодоступности и начину везивања испитиваних елемената. Кандидаткиња је у својој анализи истакла да је у узорцима земљишта из 2014. године поплава била доминантан фактор, који је уз текстуру земљишта, киселост земљишта и садржај органске материје утицао на расподелу и начин везивања тешких метала и металоида у фракционом профилу. Највећи удео резидуалне фазе у фракционом профилу се јавља код Cd, Ni, Cr и делимично Zn, док су As и Pb најмобилнији с обзиром на високо учешће прве три фазе у фракционом профилу ових елемената. Код Cd, Ni, Cr и Zn удео прве фазе односно биодоступне фазе је углавном низак, што указује да је неутрална до благо алкална рН земљишта лимитирајући фактор, јер су ови елементи у алкалним условима углавном слабо доступни. Висок удео прве три фракције у фракционом профилу As и Pb пре свега у доњем току реке, кандидаткиња повезује са израженим антропогеним притисцима на локалитетима доњег дела тока и указује на њихов афинитет ка везивању за органску материју чији је садржај у земљиштима доњег тока највиши. На основу анализе секвенцијалне екстракције узорака земљишта из 2015. године кандидат Милица Марковић је указала да је расподела унутар фракционих профила сасвим другачија и да је удео резидулане фракције за As, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn био најдоминантнији, да су елементи били чврсто везани у кристалној решетци, и да је без обзира на висок укупан садржај ових елемената њихова доступност и мобилност била врло мала. Такође се истиче да је изузетак био фракциони профил Cd где се уочава висок удео прве три фракције поготово на локалитетима горњег дела тока. Оваква расподела унутар фракционог профила указује да је кадмијум врло растворљив и биодоступан без обзира на његов низак укупан садржај, поготово у присуству карбоната. У оквиру друге целине, кандидаткиња наводи да је порекло испитиваних елемената у земљишту условљено саставом геолошке подлоге и њеним распадањем као и антропогеним активностима дуж тока реке Саве. Када је реч о пореклу испитиваних елемената у земљишту из 2014. године истакнуто је да је РСА анализа издвојила две компоненте које су означене као геолошки и као геолошко – антропогени фактор и да су обе биле под утицајем поплавног таласа. Даље кандидаткиња наводи да је порекло испитиваних елемената у земљишту из 2015. године геолошко, мешовито (геолошко – антропогено) и антропогено. Елементи као што су Cr, Mn и Ni, а делимично и As су под највећим утицајем матичног супстрата (његовим саставом и начином распадања), али и ерозионих

процеса транспорта и депоновања земљишних честица из подручја богатих овим елементима. Елементи као што су Cd, Pb, Zn и делимично As су геолошко – антропогеног порекла, где се истиче да на локалитетима горњег дела тока на порекло ових елемената највећи утицај има геолошка подлога уз утицај рударских активности, док се на доњем делу тока њихово порекло мења под утицајем интензивних антропогених притисака. Даље се истиче да је порекло Cu у земљишту антропогено и да се јавља као резултат конкретних тачкастих извора загађења на средњем делу тока, при чему се њихов утицај преноси и на низводне локалитете. Кандидаткиња даље анализира степен еколошког ризика на основу израчунатих еколошких фактора и одређивања потенцијално опасних зона „hot spots“ и закључује да је доњи део тока под највећим еколошким притиском и да су за As, Cd, Cr, Cu, Pb и Zn одређене потенцијалне зоне ризика на деловима средњег и доњег дела тока, што је представљено картографски за сваки елемент посебно.

Потпоглавље **6.4. Тешки метали и металоиди у седименту/наносу** подељено је у две целине: *6.4.1. Укупан садржај и фракције тешких метала и металоида у седименту/наносу реке Саве* и *6.4.2. Порекло тешких метала и металоида и процена еколошког ризика од загађивања у седименту/наносу реке Саве*. У оквиру прве целине, а на основу добијених резултата уз помоћ релевантне домаће и стране литературе дискутује укупан садржај, мобилност, биодоступност, као и начин везивања испитиваних елемената у седименту/наносу. Кандидат Милица Марковић је учила да у укупном садржају испитиваних елемената у седименту/наносу у оба пресека, у 2014. и 2015. години, постоји јасан тренд повећања садржаја ка низводним локалитетима и указује да је садржај испитиваних елемената на локалитетима горњег и средњег дела тока био нижи у односу на „background“ као и у односу на SQGs граничне вредности TEL и PEL. На локалитетима доњег дела тока садржај тешких метала и металоида био је и до неколико пута већи у односу на „background“ вредности и TEL вредности. Слично као и код земљишта, указује се да на повећање садржаја тешких метала утичу антропогене активности првенствено на доњем делу тока. Такође, на повећање садржаја утичу карактеристике матичног супстрата, хидролошке и морфолошке карактеристике тока које модификују начин депоновања и акумулирања тешких метала у седименту/наносу. У даљој дискусији кандидат Милица Марковић тврди да су ерозиони процеси на локалитетима горњег дела тока реке у одређеној мери током високог водостаја у 2014. године, допринели повећању садржаја тешких метала (As, Cu, Ni, Pb, Zn) у седименту/наносу и самим тим повећању садржаја током периода ниског водостаја услед таложења. У дискусији су обрађени резултати секвенцијалне екстракције испитиваних елемената у узорцима седимента/наноса из 2014. године при чему се може уочити велика сличност са фракционим профилима земљишта, као и да су поплаве (висок водостај) доминантан фактор расподеле и начина везивања елемената у седименту/наносу. Највећи удео резидуалне фазе у фракционом профилу се јавља код As, Cd, Ni, Cr и делимично Zn, док је удео прве три фракције изразито висок код Cu, Pb и једним делом Cd указујући на њихову потенцијално високу растворљивост и мобилност. С обзиром на висок удео друге и треће фракције кандидаткиња указује да оксидо – редуccionи услови као и садржај органске материје у великој мери утичу на начин везивања и мобилност појединих елемената. Резултати секвенцијалне екстракције узорака седимента/наноса из 2015. године указују да је учешће резидуалне фракције доминантно при чему се уочава да су тешки метали и металоиди при ниском водостају чврсто везани у кристалној решетци и да без обзира на висок укупан садржај, испитивани елементи могу остати недоступни за усвајање и даљу мобилизацију. У оквиру друге целине овог потпоглавља, кандидаткиња је дискутовала добијене резултата порекла испитиваних елемената у седименту/наносу из 2014. године и указала на високу међусобну позитивну корелацију већине елемената (As, Cd, Cu, Mn, Ni, Zn), при чему се издваја само једна компонента која истиче њихово заједничко порекло. Порекло ових елемената је дефинисано као мешовито, односно представља резултат утицаја геолошке подлоге и антропогених активности. При својој дискусији кандидат Милица Марковић узима у обзир врло јак и изражен утицај поплава у овом периоду које подижу и таложе честице са испитиваним елементима различитог порекла на различитим местима дуж речног тока. Једино се од овога издваја Pb као високо негативно корелисано са осталим елементима, што упућује да је његово порекло антропогено. У даљој дискусији наводи да је порекло елемената у узорцима из 2015. године двојако односно геолошко и геолошко – антропогено и да се, као и код узорака седимента/наноса у првом пресеку, на основу РСА анализе може закључити да на порекло тешких метала у горњем делу тока највећи утицај има геолошка подлога и једним делом индустријске и рударске активности, док на порекло тешких метала у доњем делу тока имају највећи утицај имају интензивне антропогене активности повезане се индустријом и пољопривредом. Анализом степена еколошког ризика на основу израчунатих еколошких фактора и одређивања потенцијално опасних зона „hot spots“ кандидаткиња је закључила

да су делови доњег дела тока потенцијално угрожени. На крају ове целине, кандидат Милица Марковић закључује да су потенцијалне зоне ризика од загађивања седимента/наноса As, Cr, Cu и Ni утврђене у горњем делу тока, што је доведено у везу са морфологијом речног тока, брзином реке, саставом матичног супстрата и смањеном отпорности на ерозионе процесе. Супротно, за исте елементе у земљишту потенцијално опасне зоне су утврђене у доњем делу тока. Кандидат Милица Марковић истиче да се овакву расподела јавља са једне стране као резултат транспорта и депоновања загађујућих материја из наноса из горњих делова слива на земљиште у доњем делу тока, и присуства антропогених извора загађења у доњем току са друге стране. Потенцијална зона ризика од загађивања земљишта и наноса Cd утврђена је у средњем делу тока, такође као последица интензивних антропогених активности, пре свега пољопривредних активности, која интензивира употребу различитих ђубрива и пестицида, због чега долази до спирања загађујућих материја како у дубље слојеве земљишта тако и у водотокове, чиме долази до загађења речног наноса. Потенцијалне зоне ризика од загађивања седимента/наноса као и земљишта Pb и Zn, утврђене су у доњем делу тока што указује да са једне стране долази до транспорта ових елемената из горњег дела речног тока и акумулације у доњем току. Са друге стране њихова акумулација може бити резултат интензивних пољопривредних и индустријских активности, као и испуштања нетретираних комуналних и индустријских отпадних вода, на доњем делу тока. На основу утврђених потенцијалних зона ризика („hot spots“) дуж тока реке Саве уочава се да су доњи делови тока потенцијално најугроженији од загађивања тешким металима и металоидима. Као и за земљиште ово је за седимент/нанос такође представљено картографски за сваки елемент посебно.

## 7. ЗАКЉУЧАК (193 – 199 стр.)

У оквиру поглавља **ЗАКЉУЧЦИ** кандидат Милица Марковић је изнела закључна разматрања која на целовит, јасан и концизан начин приказују суштину резултата израђене докторске дисертације и која дају све неопходне информације везане за оцену испуњености најважнијих циљева дисертације и презентују на јасан и недвосмислен начин одговор на постављене хипотезе.

Дистрибуција тешких метала у земљиштима рипаријалне зоне реке Саве варира од извора до ушћа, а садржаји елемената у земљиштима су у корелацији са садржајем тешких метала у седименту/наносу и карактеристичан је за сваки део речног тока. Кандидаткиња наводи да су највеће концентрације тешких метала у земљишту рипаријалне зоне, као и степен еколошког ризика, утврђени у доњем делу тока реке Саве, и изводи следеће закључке:

- На основу опсежних теренских и лабораторијских испитивања утврђено је да је доминантан тип земљишта у рипаријалној зони реке Саве флувисол, односно алувијално земљиште, које је утврђено на локалитетима Литија (ЛИТ), Врхово (ВРХ), Чатеж (ЧАТ), Загреб (ЗАГ), Јасеновац (ЈАС), Славонски Брод (СЛБ), Сремска Митровица (СРМ), Шабац (ШАБ) и Београд (БЕО). Поред флувисола јављају се још и рендзина (*Leptosol calcaric*) на локалитету Мојстрана (МОЈ), карбонатни еуглеј (*Gleysol, calcaric*) на локалитету Радовљица (РАД) и еутрични камбисол (*Cambisol, eutric*) на локалитету Жупања (ЖУП).
- На основу испитивања физичких карактеристика земљишта и наноса може се закључити да се земљишта на локалитетима горњег дела тока одликују лакшим механичким саставом док су земљишта средњег и доњег дела тока тежег механичког састава. На основу испитивања физичких карактеристика седимента/наноса може се закључити да се седимент/нанос горњег дела тока реке Саве одликује лакшим механичким саставом у односу на седимент/нанос доњег дела тока.
- На основу проучавања хемијских карактеристика земљишта и седимента/наноса може се закључити да је хемијска реакција земљишта и седимента/наноса (pH у H<sub>2</sub>O и pH у KCl) у категорији од неутралне до умерене алкалне, при чему се такође закључује да је реакција била главни ограничавајући фактор усвајања, мобилности и биодоступности елемената (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn). Садржај карбоната у земљиштима и седиментима/наносу на локалитетима горњег и средњег дела тока био је висок са израженим трендом смањења на доњем делу тока што се показало да има утицај на растворљивост и мобилност Cd. Садржај хумуса, односно органске материје у земљишту и седименту/наносу, у оба пресека, има растући тренд идући ка низводним локалитетима, што представља битан фактор за процену степена загађења зато што се неки тешки метали и металоиди, као што су Pb и Zn, везују за органску материју у површинским слојевима. Такође, виши садржај органске материје у седименту/наносу у односу на земљишта можемо повезати са интензивним процесима спирања услед ерозионих процеса. Испитивана земљишта су добро обезбеђена азотом на

скоро свим локалитетима, а однос C/N је врло повољан на локалитетима доњег дела тока реке. На локалитетима горњег дела тока однос C/N је шири као последица песковите структуре и текстуре земљишта. Садржај азота у седименту/наносу је био низак, али пропорционалан количини органске материје. Однос C/N на локалитетима горњег и делимично средњег дела тока био је неповољан, док је на локалитетима доњег дела тока дошло до сужавања њиховог односа, што указује на повољније услове за разградњу органске материје. Садржај лакоприступачног фосфора ( $P_2O_5$ ) и калијума ( $K_2O$ ) је доста варирао дуж тока, међутим уочава се да су земљишта доњег дела тока добро обезбеђена овим елементима. Такође, истраживања су показала да долази до повећања садржаја лакоприступачних облика фосфора и калијума са повећањем дубине земљишта те се може закључити да у рипаријалним земљиштима долази до спирања нутријената у дубље слојеве као последица лакшег механичког састава и изложености земљишта честим флукуацијама подземних вода. Вредности СЕС у испитиваним земљиштима као и у седименту/наносу биле су ниске као последица мале количине органске материје и доминантно песковите текстуре земљиште, што се одразило на слабу мобилност и доступност испитиваних елемената.

- На основу истраживања укупног садржаја тешких метала (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn), на које су истраживања била посебно фокусирана ради утврђивања степена загађења у животној средини изазваног њиховим понашањем, дистрибуцијом и пореклом, у узорцима земљишта може се закључити да постоји изражена варијабилност у односу на локалитете и да постоји растући тренд у њиховом садржају од изворишта ка ушћу у Дунав. Такође, на основу математичких метода утврђене су „background“ вредности за земљиште и седимент/нанос рипаријалне зоне реке Саве за испитиване елементе: As –  $11,53 \text{ mg kg}^{-1}$ , Cd –  $0,68 \text{ mg kg}^{-1}$ , Cr –  $72,52 \text{ mg kg}^{-1}$ , Cu –  $24,12 \text{ mg kg}^{-1}$ , Mn –  $772,97 \text{ mg kg}^{-1}$ , Ni –  $41,33 \text{ mg kg}^{-1}$ , Pb –  $44,03 \text{ mg kg}^{-1}$  и Zn –  $91,64 \text{ mg kg}^{-1}$ . На локалитетима горњег и средњег дела тока садржај тешких метала (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn) је углавном био у оквиру просечних вредности за земљишта Европе и света док је на локалитетима доњег дела тока садржај испитиваних тешких метала био виши у односу на background вредност као и на просечне вредности за европска и светска земљишта, што доводи до закључка да на доњем делу тока постоје интензивни антропогени притисци. Поред тога, повећању садржаја тешких метала доприноси и састав матичног супстрата, што се првенствено односи на садржај Cr и Ni у земљишту, који су геолошког порекла.
- Садржај испитиваних тешких метала (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn) у наносу на локалитетима горњег и средњег дела тока је био нижи у односу на background као и у односу на SQGs граничне вредности: ниво граничног ефекта на животну средину (TEL) и ниво вероватног ефекта на животну средину (PEL). На локалитетима доњег дела тока садржај тешких метала и металоида био је и до неколико пута већи у односу на background вредности и TEL вредности. Слично као и код земљишта, можемо закључити да на доњем делу тока постоје антропогени притисци који утичу на повећање садржаја тешких метала. Такође, закључено је да се у обзир морају узети карактеристике матичног супстрата, који у одређеној мери утиче на повећање овог садржаја, али и хидролошке и морфолошке карактеристике тока које утичу на начин депоновања и акумулирања тешких метала у седименту/наносу. Па тако, на основу вредности K фактора односно фактора еродибилности који се креће од  $0,0303$  до  $0,1162 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ , (средња вредност за цео ток износи  $0,0701 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ ) и на основу садржаја тешких метала и металоида у земљишту и седименту/наносу, може се закључити да су ерозиони процеси на локалитетима горњег дела тока, у одређеној мери током високог водостаја у 2014. године, допринели повећању садржаја тешких метала (As, Cu, Ni, Pb, Zn) у седименту/наносу и изазвали виши степен њиховог талажења у доњем делу дела тока у односу на период ниског водостаја током 2015. године.
- На основу анализе укупног садржаја осталих испитиваних елемената (Ag, Al, Ba, Co, Fe, Li, Mn, Mo, Se, Sr, Tl) у узорцима земљишта и седимента/наноса, у обе године истраживања (2014. године и 2015. године), може се закључити да постоји варијабилност дуж тока, али и да се код већине елемената уочава повећање садржаја на локалитетима доњег дела тока. Може се закључити да на повећање садржаја ових елемената у доњем делу тока утичу промене у оксидо-редукционим условима и повећање растворљивости који се јављају као последица поплавног таласа услед чега долази до транспорта и депоновања на доњем делу тока.
- На основу анализе секвенцијалне екстракције (модификована BCR екстракција) земљишта из 2014. године може се закључити да је поплава била доминантан фактор поред текстуре земљишта, pH и садржаја хумуса који је утицао на расподелу и начин везивања тешких метала и металоида у фракционом профилу. Највећи удео резидуалне фазе у фракционом профилу се јавља код Cd, Ni, Cr и делимично Zn, док су As и Pb најмобилнији с обзиром на високо учешће прве три

фазе у фракционом профилу ових елемената. На фракционим профилима тешких метала (As, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn) у узорцима земљишта из 2015. године удео резидуалне фазе је био најдоминантнији, указујући да су елементи били чврсто везани у кристалној решетци, и без обзира на високе укупне садржаје, њихова доступност и мобилност је била врло мала. Изузетак је фракциони профил Cd, где је процентуално учешће прве три фазе било значајно указујући на висок степен растворљивости и биодоступности без обзира на његов низак укупан садржај.

- Анализа резултата секвенцијалне екстракције узорака седимента/наноса и земљишта из 2014. године, показала је велику сличност у расподели фракција указујући на међусобну повезаност и зависност система седимент/нанос-земљиште, истичући поплаве (висок водостај) као доминантан фактор расподеле и начина везивања елемената у седименту/наносу. Највећи удео резидуалне фазе у фракционом профилу се јавља код As, Cd, Ni, Cr и делимично Zn, док су најмобилнији Cu, Pb и једним делом Cd. Код свих испитиваних елемената, удео друге и треће фазе, односно оксидабилне и редуцибилне фазе био је доста висок што указује да на начин везивања и мобилност тешких метала највећи утицај имају оксидо-редукциони фактори, као и органска материја. Резултати секвенцијалне екстракције узорака седимента/наноса из 2015. године врло су слични резултатима за земљиште из 2015. године, у којима учешће резидуалне фазе преовладава у потпуности у фракционим профилима испитиваних елемената. Оваква расподела унутар фракционих профила указује да су тешки метали и металоиди при ниском водостају чврсто везани у кристалној решетци и да без обзира на њихов висок укупан садржај, испитивани елементи остају недоступни за усвајање и даљу мобилизацију.
- Истраживања порекла тешких метала и металоида у земљишту показала су да је оно условљено саставом матичног супстрата и антропогеним активностима дуж тока реке Саве. Анализа порекла (РСА анализа) узорака земљишта из 2014. године издвојила је, две компоненте означене као геолошки фактор и мешовити (геолошко-антропогени) фактор. Прва компонента указује да највећи утицај на порекло тешких метала и металоида има геолошка подлога, што је и потврђено високом корелацијом Mn, Cr и Ni са геолошким карактеристикама истраживаног подручја. Друга компонента је високо корелисана са геолошким карактеристикама подручја појачана рударским активностима пре свега у горњем делу слива и високом корелацијом са Pb и делимично са Zn и Cd указујући на утицај антропогеног фактора преко интензивних индустријских и комуналних притисака у доњем делу тока. На основу РСА анализе узорака земљишта из 2015. године може се закључити да су испитивани тешки метали и металоиди геолошког, геолошко-антропогеног и антропогеног порекла. Геолошки фактор одређен је високо позитивном корелацијом са Mn, Cr, Ni и једним делом As, што указује да се они у земљишту јављају као последица распада матичног супстрата или као резултат транспорта и депоновања земљишних честица ерозионим процесима из подручја богатих овим елементима. У горњем току реке, мешовити односно геолошко-антропогени фактор издваја Cd, Pb, Zn и делимично As који су високо корелисани са геолошким карактеристикама подручја и антропогеним активностима, пре свега са рударењем. Низводно, њихово порекло се делимично мења под утицајем интензивних антропогених пољопривредних, урбаних и индустријских активности које су доминантан извор загађења. Када је реч о пореклу Cu у земљишту закључено је да је оно антропогено и да је последица конкретних тачкастих извора загађења на средњем делу тока, при чему се њихов утицај преноси и на низводне локалитете.
- Анализа порекла (РСА анализа) узорака седимента/наноса из 2014. године показала је високу међусобну позитивну корелацију елемената (As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn) и издвојила је само једну компоненту указујући на њихово заједничко порекло. Будући да је било тешко ово порекло прецизно дефинисати, закључено је да би оно могло бити мешовито, односно да је резултат утицаја геолошке подлоге и антропогених активности узимајући у обзир врло јак и изражен утицај поплава у овом периоду које подижу и таложе честице са испитиваним елементима различитог порекла на различитим местима дуж речног тока. Насупрот овоме, Pb је било високо негативно корелисано са осталим елементима указујући да је његово порекло у седименту/наносу другачије, односно да је антропогеног порекла. Генерално посматрано, закључено је да је порекло елемената на локалитетима горњег и средњег дела тока пре свега под утицајем геолошке подлоге, док је на локалитетима доњег дела тока јасно изражен антропогени утицај. Анализа порекла (РСА анализа) узорака седимента/наноса из 2015. године издвојила је две компоненте, при чему је прва одређена високом позитивном корелацијом са As, Cr, Cu, Ni, Cd, Mn и Zn. Закључено је да су наведени елементи геолошког порекла. Друга компонента је одређена позитивном корелацијом са Cd, Pb и Zn и закључено је да су ови елементи мешовитог, односно геолошко-антропогеног порекла. Као и код узорака седимента/наноса у првом пресеку, на основу РСА анализе се може закључити да на порекло тешких метала у горњем делу тока највећи утицај има геолошка подлога и једним делом

индустријске активности, док на порекло тешких метала у доњем делу тока имају пресудан утицај интнезивне антропогене активности углавном у области индустрије и пољопривреде.

- На основу анализе појединачног еколошког индекса ( $E_i$ ) у узорцима земљишта из 2014. и 2015. године може се закључити да постоји умерен степен еколошког ризика по животну средину од загађивања As, Cd и Ni на локалитетима доњег дела тока и висок степен еколошког ризика за Cu. Високе вредности укупног еколошког ризика (RI) на локалитетима доњег дела тока (ЖУП, СРМ, ШАБ и БЕО), указују да на том делу тока, у оба пресека постоји висок степен еколошког ризика по животну средину.
- На основу анализе појединачног еколошког индекса ( $E_i$ ) у узорцима седимента/наноса из 2014. године може се закључити да не постоји ризик од контаминације испитиваним елементима са изузетком Cd на локалитетима доњег дела тока (СРМ, ШАБ и БЕО) у узорцима из 2015. године где је утврђено да постоји умерен степен еколошког ризика. Такође, без обзира на висок садржај Cd и повишен појединачни еколошки индекс, индекс укупног еколошког ризика (RI) био је низак на свим локалитетима у оба пресека, и може се закључити да постоји низак потенцијални еколошки ризик по животну средину и акватичне заједнице.
- На основу анализе геоакумулационих индекса (Igeo) за површинске слојеве земљишта из 2014. може се закључити да постоји умерен еколошки ризик по животну средину од контаминације Cu и Ni на средњем и доњем делу тока и од Pb на локалитету РАД. Геоакумулациони индекс за површинске слојеве земљишта из 2015. године указује да постоји умерен еколошки ризик од контаминације As, Cu, Ni и Zn на локалитетима доњег дела тока од ЧАТ до БЕО.
- На основу анализе геоакумулационих индекса (Igeo) за седимент/нанос из 2014. и 2015. године можемо закључити да на локалитетима доњег дела тока, као и у земљишту, постоји умерено до значајно обогаћење никлом, бакром и кадмијумом, док у мањој мери постоји обогаћење арсеном и цинком.
- На основу анализе потенцијално опасних зона („hot spots“) на току реке Саве, може се закључити да су локалитети од ЈАС до БЕО потенцијално опасне зоне загађења од As, Cd, Cr и Cu. На основу исте анализе је закључено да су простори од локалитета ВРХ до локалитета ЖУП потенцијално опасна зона контаминације Ni, док су локалитети од СЛБ до БЕО потенцијално опасна зона загађења Pb и Zn.
- На основу анализе потенцијално опасних зона („hot spots“) за седимент/нанос закључено је да се потенцијално опасна зона загађења As, Cr, Cu и Ni налази у горњем делу тока, од локалитета МОЈ до локалитета ЈАС. За могућу контаминацију Pb и Zn издвојена је потенцијално опасна зона на доњем делу тока, од локалитета ЈАС до локалитета БЕО, док је за загађење Cd потенцијално опасна зона издвојена на делу тока од локалитета ЧАТ до БЕО.
- На основу садржаја тешких метала и металоида у земљишту и седименту/наносу као и на основу индекса потенцијалног еколошког ризика и анализе потенцијално опасних зона („hot spots“) може се закључити да су локалитети доњег дела тока реке Саве најугроженији и под највећим антропогеним притиском. Загађење и деградација овог дела тока директна је последица урбанизације и пренасељености приобалне зоне, затим индустријализације рипаријалне зоне и близине великих урбаних и индустријских центара на реци Сави, интензивне пољопривредне производње и учестало испуштање непреађених или делимично преађених отпадних вода различитог порекла.

## 8. ЛИТЕРАТУРА (200 – 216 стр.)

Поглавље **ЛИТЕРАТУРА** садржи 266 библиографске јединице које су на адекватан и правилан начин цитиране кроз читав текст докторске дисертације. Коришћена литература је уско везана за проблематику истраживања при чему је истовремено актуелна и мултидисциплинарна, зналачки одабрана како за теоријску основу, тако и за поређење и дискусију са резултатима истраживања ове докторске дисертације. Увидом у литературу може се закључити да је кандидаткиња користила налазе водећих светских и домаћих аутора који су своје научне резултате публиковали пре свега у научним часописима високог међународног научног угледа у области проучавања земљишта и седимента/наноса, хемијске деградације, екологије и загађења животне средине.

## 9. ПРИЛОЗИ (217 – 275 стр.)

У оквиру овог поглавља кандидат Милица Марковић је приказала графике пропраћене списком од 4 прилога, нумерисаних од 1 до 71, који додатно подржавају добијене резултате



истраживања.

## **VI ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:**

Комисија констатује да је MSc Милица Марковић у потпуности испунила план предвиђен пријавом докторске дисертације. Добијени резултати истраживања су систематично и прегледно приказани, а дискусија заснована на добром познавању проучаване научне области и на најновијим научним сазнањима. Закључци прате структуру истраживања и исправно су формулисани.

Имајући у виду да се у универзитетским и факултетским документима који се тичу израде докторске дисертације, као услов за одбрану докторске дисертације поставља објављен рад у часопису међународног значаја, Комисија констатује да је кандидат MSc Милица Марковић овај услов испунила објавивши два рада из докторске дисертације: један рад као први аутор у часопису категорије M21 - Marković, M., Zuliani, T., Belanović Simić, S., Mataruga, Z., Kostić, O., Jarić, S., Vidmar, J., Milačić, R., Ščančar, J., Mitrović, M., Pavlović, P. (2018): Potentially toxic elements in the riparian soils of the Sava River. *Journal of Soils and Sediments* 18, 3404–3414., и један као други аутор у часопису категорије M21a - Pavlović, P., Marković, M., Kostić, O., Sakan, S., Đorđević, D., Perović, V., Pavlović, D., Pavlović, M., Čakmak, D., Jarić, S., Paunović, M., Mitrović, M. 2019. Evaluation of potentially toxic element contamination in the riparian zone of the River Sava. *Catena* 174, 399–412. Кандидаткиња је поред наведених радова коаутор још 5 публикација из категорија M21a (1), M22 (2) и M23 (2).

## **VII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:**

На основу прегледа и анализе докторске дисертације Комисија сматра да је докторска дисертација MSc Милице Марковић под називом *Дистрибуција тешких метала у земљиштима рипаријалне зоне реке Саве*, добро теоријски конципирана, научно структурирана и урађена у складу са темом, планом, циљевима и постављеним хипотезама предвиђеним у пријави теме. Имајући у виду одабрани предмет истраживања, као и постављене циљеве и хипотезе од којих се у истраживању пошло, комисија констатује да су резултати истраживања јасно и прегледно изложени, методолошки исправно анализирани и тумачени, и илустровани релевантним картама, табелама и графичким приказима. Кандидат Милица Марковић је систематично проучила и користила литературу везану за предмет истраживања и правилно упоређивао резултате својих истраживања са истраживањима референтних аутора у области. Комисија оцењује да докторска дисертација аутора MSc Милице Марковић, представља оригиналан и самосталан научноистраживачки рад, а да добијени резултати поред научне имају и практичну вредност.

## **VIII КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

На основу напред изнетог у овом *Извештају*, Комисија оцењује да је докторска дисертација кандидата MSc Милице Марковић написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме (Одлука Већа биотехничких наука – број одлуке 61206-5046/2-17 од 13.12.2017. године).

Дисертација садржи све битне елементе: насловну страну на српском и енглеском језику, информације о менторима и члановима Комисије, изјаву захвалности, резиме са кључним речима на српском и енглеском језику, садржај, текст рада по поглављима, литературу, прилоге, биографију аутора, изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

Докторска дисертација кандидата MSc Милице Марковић под насловом: „Дистрибуција тешких метала у земљиштима рипаријалне зоне реке Саве“ представља оригиналан допринос науци. Оригиналност докторске дисертације огледа се, пре свега, у идентификовању истраживачког проблема који је регионалног карактера као и приступу датој проблематици. Резултати показују да је рипаријална зона реке Саве под интензивним антропогеним притиском, пре свега, на доњем делу тока. Добијени резултати омогућили су дефинисање потенцијално опасних зона („hot spots“) од загађивања тешким металима. Посебан допринос овог рада је одређивање „background“ вредности за As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn за рипаријалну зону реке Саве. Добијени резултати представљају значајне информације на основу којих се могу предложити одређене мере и препоруке које могу допринети да се ускладе и унапреде еколошке политике у региону засноване на научним знањима.

Комисија позитивно оцењује структуру и све елементе које садржи докторска дисертација и оцењује да она представља оригиналан допринос науци и ужој научној области Еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса.

Комисија није уочила недостатке који би евентуално могли утицати на резултате истраживања у току израде докторске дисертације.

## **IX ПРЕДЛОГ:**

На основу укупне оцене докторске дисертације, Комисија предлаже Наставно- научном већу Шумарског факултета Универзитета у Београду, да докторску дисертацију **MSc Милице Марковић** под насловом *Дистрибуција тешких метала у земљиштима рипаријалне зоне реке Саве* прихвати, а кандидату одобри јавну одбрану.

### **ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ:**

---

ментор

**др Снежана Белановић Симић, редовни професор,**  
Универзитет у Београду Шумарски факултет

---

ментор

**др Павле Павловић, научни саветник,**  
Институт за биолошка истраживања „Синиша  
Станковић“ - Институт од националног значаја за  
Републику Србију, Универзитет у Београд

---

члан комисије

**др Ратко Ристић, редовни професор,**  
Универзитет у Београду Шумарски факултет

---

члан комисије

**др Милан Кнежевић, редовни професор** (у пензији),  
Универзитет у Београду Шумарски факултет

---

члан комисије

**др Теа Зулиани, доцент,**  
Институт „Јожеф Стефан“, Љубљана, Словенија

---

члан комисије

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