

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Јелене Милојковић**

Одлуком бр. 35/20 од 22.01.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Јелене Милојковић, дипл. инж. технол., под насловом

„Биосорпција одабраних тешких метала компостом *Myriophyllum spicatum*“.

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- 10.06.2010. – на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о именовану Комисије за завршни испит на докторским студијама Јелене Милојковић (Одлука бр. 35/128 од 14.06.2010.).
- 22.09.2010. кандидат Јелена Милојковић је одбранила Завршни испит – приступни рад за израду докторске дисертације, под називом „Биосорпција тешких метала помоћу *Myriophyllum spicatum* L.“, са оценом 10.
- 13.02.2013. кандидат Јелена Милојковић је пријавила тему докторске дисертације под називом „Биосорпција одабраних тешких метала компостом *Myriophyllum spicatum*“.
- 28.02.2013. – на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о именовану Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације Јелене Милојковић, под називом „Биосорпција одабраних тешких метала компостом *Myriophyllum spicatum*“ (Одлука бр. 35/53 од 06.03.2013.).
- 25.04.2013. – на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о прихватању Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме и одобрењу израде докторске дисертације Јелене Милојковић, под називом „Биосорпција одабраних тешких метала компостом *Myriophyllum spicatum*“. За ментора је одређена др Мирјана Ристић, ред. проф. ТМФ-а (Одлука бр. 35/123 од 25.04.2013.).

- 27.05.2013. – На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Јелене В. Милојковић, под називом „Биосорпција одабраних тешких метала компостом *Myriophyllum spicatum*“ (Одлука 02 бр. 61206-2232/2-13 АБ од 27.05.2013.).
- 22.01.2015. – на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о именовану Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације коју је поднела Јелена Милојковић, са темом „Биосорпција одабраних тешких метала компостом *Myriophyllum spicatum*“ (Одлука бр. 35/20 од 22.01.2015.).

Јелена Милојковић је уписала докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду школске 2007/2008 године. Решењем бр. 05-14/10 од 23.06.2012., на захтев студента, а на основу Извештаја лекара специјалисте, одобрено је мировање права и обавеза студента шк. 2011/2012. године због теже болести. По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак ових студија за још два семестра, сагласно члану 92. став 4 Статута Универзитета у Београду, на основу Одлуке бр. 35/261 од 06.10.2014.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања рађена у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Инжењерство заштите животне средине, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментор, др Мирјана Ристић, редовни професор ТМФ-а, је до сада публиковала 40 радова из ове области, руководила је израдом две докторске дисертације и четири магистарске тезе, била је члан комисије за одбрану три докторске тезе и шест магистарских теза. На основу досадашњих резултата, сматрамо да је ментор био компетентан да руководи израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Јелена Милојковић је рођена 24.02.1977. године у Београду, где је завршила основну школу и Прву београдску гимназију. Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду уписала је 1995. године, одсек Биохемијско инжењерство и биотехнологија. Дипломирала је у децембру 2003. године (са просечном оценом 8,05), када је одбранила дипломски рад под називом „Супресија раста *Listeria monocytogenes* IM2002 у присуству протективних агенаса“, са оценом 10. Докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Инжењерство заштите животне средине, уписала је школске 2007/2008. Положила је све испите предвиђене планом и програмом за докторске студије, са просечном оценом 9,75.

У компанији Инвеј је радила од 01.09.2005. до 01.03.2006., у сектору набавке. Јелена Милојковић је од 04.02.2008. запослена у Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина - ИТНМС, у Служби система менаџмента квалитетом, а од 08.09.2010. је шеф ове Службе. У звање истраживач приправник изабрана је у

фебруару 2008., у звање истраживач сарадник изабрана је у новембру 2008. године, а у исто звање је реизабрана у септембру 2013. године (Одлука бр. 13/16 од 30.09.2013.).

Завршни испит под називом „Биосорпција тешких метала помоћу *Myriophyllum spicatum* L.“ је одбранила 22. септембра 2010. године са оценом 10, пред Комисијом у саставу: др Мирјана Ристић, ванредни професор на Катедри за инжењерство заштите животне средине, др Александра Перић-Грујић, ванредни професор на Катедри за аналитичку хемију и контролу квалитета и др Виктор Поцајт, доцент на Катедри за инжењерство заштите животне средине. Област научноистраживачког рада Јелене Милојковић обухвата развој и примену материјала на бази отпадне биомасе из слатких вода и нуспроизвода прехрамбене индустрије, као биосорбената за различите полутанте антропогеног порекла.

Јелена Милојковић је учествовала у реализацији пројекта технолошког развоја Министарства просвете, науке и технолошког развоја, ТР20016: „Развој и примена производа на бази минералних сировина у производњи безбедне хране“ (2006-2010). Тренутно је ангажована на пројекту технолошког развоја Министарства просвете, науке и технолошког развоја РС, ТР31003: „Развој технологија и производа на бази минералних сировина и отпадне биомасе у циљу заштите ресурса за производњу безбедне хране“, као руководилац теме 2., „Развој биосорбената на бази отпадне биомасе и минералних сировина“. Период трајања пројекта је од 2011. до 2015 године.

Говори енглески језик и користи руски језик.

Јелена Милојковић је уписала докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду школске 2007/2008 године. Решењем бр. 05-14/10 од 23.06.2012., на захтев студента, а на основу Извештаја лекара специјалисте, одобрено је мировање права и обавеза студента шк. 2011/2012. године због теже болести. На основу Одлуке Савета Универзитета у Београду од 15. маја 2012. године, чл. 40. Статута ТМФ-а и члана 24. став 1. Правилника о докторским студијама ТМФ-а, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, одржаној 02.10.2014. донета је Одлука о продужењу рока за завршетак студија за два семестра школске 2014/2015 (Одлука бр. 35/261 од 06.10.2014.).

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Јелене Милојковић је написана на 230 страна и подељена је на следеће целине: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија и Закључак. Дисертација садржи 88 слика, 33 табеле и 393 литературна навода. Резиме на српском и енглеском језику су дати на почетку дисертације, као и спискови слика и табела, док су Литература и биографија аутора дати на крају.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Уводни део садржи кратак опис процеса биосорпције, који се заснива на примени различитих биосорбената за уклањање одређених полутаната из контаминираних ефлуената и вода. У овом делу је приказана структура дисертације и дефинисани су предмет и научни циљ истраживања.

Теоријски део се састоји из шест подпоглавља: 1) Кружење воде у природи; 2) Пречишћавање отпадних вода; 3) Карактеристике и примена одабраних тешких метала: Pb, Cu, Cd, Ni и Zn; 4) Биосорпција; 5) Моделовање процеса биосорпције; и 6) *Myriophyllum spicatum* L. (дрезга, кроцањ). У Теоријском делу описано је загађење животне средине тешким металима, с обзиром да нису биоразградиви нити терморазградиви, а неки су токсични и при ниским концентрацијама. Дат је кратак приказ конвенционалних метода пречишћавања отпадних вода загађених тешким металима, код којих су главни недостаци недовољна селективност, настајање великих количина отпадног муља, високи оперативни трошкови и различита техничка ограничења, тако да је неопходно пронаћи економски исплатива, технички лако изводљива решења. Као једно од потенцијалних решења истиче се биосорпција; описани су основни појмови и развој биосорпције, релативно нове биотехнологије која се најчешће примењује за уклањање токсичних метала из воде. Објашњена је интеракција метал-биосорбент, као и утицај различитих параметара на биосорпцију тешких метала. Приказане су разноврсне аналитичке технике које се могу применити за изучавање процеса биосорпције, односно испитивање структуре и одређивање хемијских процеса који се одигравају на биосорбенту. Дат је опис сорпционих изотерми и кинетичких модела, који се користе за испитивање и анализу процеса биосорпције, као и статистичких показатеља перформанси модела који су коришћени приликом одређивања слагања модела са експериментално добијеним вредностима. На крају теоријског дела су описани биосорбенти који су коришћени у овој докторској дисертацији, коровска акватична биљка *Myriophyllum spicatum* L. и њен компост.

Трећи, експериментални део, се састоји из четири подпоглавља: 1) Опис и припрема биосорбената; 2) Материјали коришћени за припрему биосорбената и раствора; 3) Испитивање састава и структуре биосорбената; и 4) Биосорпција одабраних тешких метала из воденог раствора. У експерименталном делу описана је методологија припреме биосорбената и извођење експерименталних биосорпција, уз приказ техника коришћених за испитивање састава и структуре биосорбената.

Резултати и дискусија су приказани у четвртном поглављу, које се састоји из три подпоглавља: 1) Карактеристике биосорбената, *Myriophyllum spicatum* и њеног компоста; 2) Биосорпција Pb(II) са *Myriophyllum spicatum* и њеним компостом и 3) Симултано уклањање Pb(II), Cu(II), Cd(II), Ni(II) и Zn(II) из воденог раствора биосорпцијом са компостом акватичне коровске биљке *Myriophyllum spicatum*. Хемијски састав биљке и компоста је одређен елементарном анализом, одређен је садржај лигнина и хемицелулозе, целулозе, масти и протеина и микро и макро елемената. Хемијски и физичко-хемијски састав и морфолошка структура оба биосорбента (*Myriophyllum spicatum* L. и компост) су испитани у циљу одређивања њихових сличности и разлика, као и елемената и функционалних група који могу бити значајни за процес биосорпције. Карактеризација биосорбената, биљке *Myriophyllum spicatum* и њеног компоста, извршена је применом скенирајуће електронске микроскопије и енергијско-дисперзивне рендгенске спектроскопске анализе (SEM-EDS), инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовом трансформацијом (FTIR), рендгенске дифракционе анализе (XRD) и термијске анализе (TGA/DTA). У већем броју истраживања ова биљка је испитивана као биосорбент појединих тешких метала, а први пут је, у овој докторској дисертацији, као биосорбент а) олова и б) одабраних тешких метала, примењен компост ове биљке, као лако доступан, обновљив, отпадни

материјал. Биосорпција је испитана у шаржном систему, а концентрације тешких метала су одређиване атомском апсорпционом спектроскопијом (AAS).

У првом делу рада као биосорбенти за уклањање Pb(II) из воденог раствора употребљени су свеже ткиво акватичне коровске биљке *Myriophyllum spicatum* L., из Савског језера, Београд, Србија и компост ове биљке, са депоније на Ади Циганлији, на којој се одлаже *Myriophyllum spicatum* после кошења.

Испитан је утицај више параметара на степен уклањања Pb(II) и на капацитет биосорбента: pH, време контакта, количина биосорбента, температура, јонска јачина раствора. Одређена је и pH вредност тачке нултог наелектрисања, да би се одредило наелектрисање површине испитиваних биосорбената при експерименталним условима процеса биосорпције. Испитивање утицаја јонске јачине на биосорпцију Pb(II) биљком *M. spicatum* и компостом вршено је варирањем концентрације KNO₃ од 0,001 до 1 mol/L, и уочено је опадање ефикасности процеса са повећањем концентрације KNO₃, за оба биосорбента, за око 30%.

Експерименти биосорпције су рађени на pH 5, јер је под овим условима доминантна врста олова у раствору Pb²⁺, а време контакта је било 120 минута.

Модел сорпционе изотерме и кинетички модел којима се може описати процес биосорпције Pb(II) са оба примењена биосорбента одређен је на основу слагања експерименталних резултата са одговарајућим моделом. У раду су примењени Ленгмиров (*Langmuir*), Фројндлихов (*Freundlich*) и Сипсов (*Sips*) модел. Закључено је, на основу вредности коефицијента детерминације, R^2 , да је најбоље слагање експерименталних вредности са Сипсовим моделом, код кога је $R^2 = 0,968$ за *M. spicatum* и $R^2 = 0,961$ за компост *M. spicatum*.

Испитано је слагање експериментално добијених вредности са неколико кинетичких модела: псеудо-првог и псеудо-другог реда (засновани на реакцији) и *Weber i Morris*-ов модел (заснован на дифузији), на основу вредности коефицијента детерминације (R^2) и збира квадрата грешака (*SSE*). За оба биосорбента је било најбоље слагање са моделом псеудо-другог реда, за који су вредности R^2 биле 0,9995 и 0,9982, за биљку и компост, редом, а *SSE* 1 и $4 \cdot 10^{-4}$.

Капацитет биосорпције Pb(II) био је 0,287 mmol/g за компост, а 0,234 mmol/g за биљку. Испитивање утицаја температуре на биосорпцију Pb(II) компостом *M. spicatum* вршено је извођењем експеримената на 303, 313 и 333 K. Највиши сорпциони капацитет добијен је на температури од 313 K, вероватно због бубрења биосорбента.

На основу испитивања биосорбената, пре и након биосорпције, разним инструменталним техникама, закључено је да се олово везује јонском изменом и хемисорпцијом и да је компост погоднији, из више разлога: 1) виши капацитет биосорпције; 2) материјал је доступан у великим количинама током целе године и 3) након биосорпције се може применити за поправљање квалитета земљишта у парковима, јер количина везаног олова за компост после биосорпције није виша од максимално дозвољених за ову намену.

Симултано уклањање одабраних тешких метала, Pb(II), Cu(II), Cd(II), Ni(II) и Zn(II), који се најчешће налазе заједно у отпадним водама, компостом *M. spicatum*, као биосорбентом, приказано је у другом делу четвртог поглавља дисертације. Прелиминарним испитивањима дефинисани су услови експерименталног рада, pH вредност 5,0, однос биосорбента и раствора је био 1:40, концентрација сваког метала 2,5 mmol/L, време контакта 120 минута, собна температура.

Афинитет примењеног биосорбента према испитиваним елементима опадао је у низу: Pb(II) > Cu(II) > Zn(II) > Cd(II) > Ni(II). Најбоље слагање експериментално добијених вредности је било са Сипсовим моделом, за који су вредности коефицијента детерминације биле блиске 1. Кинетика биосорпције прати модел псеудо-другог реда, за који је добијено и најбоље слагање експериментално одређених капацитета биосорпције са вредностима добијеним моделом.

Степен уклањања метала (%) и капацитет биосорпције (q) опадају према следећем низу: Pb(II) > Cu(II) > Zn(II) > Cd(II) > Ni(II). Степен уклањања олова био је 83%, а бабра 80%. Испитивањима биосорпције из раствора у коме је био присутан само један метал, добијен је исти тренд. Присуство других јона има најмањи утицај на биосорпцију Pb(II) и Cu(II), за које је степен уклањања из раствора у коме су присутни сви метали опао за 14,3%, односно за 16,4%, редом. Код Zn(II) и Cd(II) степен уклањања опада за више од 50%, са око 50%, на 22%, а за Ni(II) са 42% на мање од 10%. Удео калцијума у компосту је око 30% и током биосорпције долази до измене овог јона са јонима метала присутним у раствору, тако да је, после успостављања равнотеже у систему, била повишена концентрација овог елемента у филтрату.

Већи број реагенса, концентрације 0,1 mol/L, примењен је за десорпцију биосорбованих метала, а њихова ефикасност је опадала на следећи начин: EDTA > HNO₃ > HCl > H₂SO₄ > CaCl₂ > NaOH > NaCl > H₂O. Једино је са EDTA било могуће извршити потпуну десорпцију свих метала. Степен десорпције са HNO₃, која се у испитивањима везаним за биосорпцију најчешће користи као десорпциони агенс, је био око 70% за Zn и Cd, а затим је опадао у низу Cu > Pb > Ni, за које је био 25,4%, 21,5% и 19,2%, редом.

На основу резултата добијених у овом делу истраживања и испитивања биосорбента након биосорпције, применом SEM-EDS анализе, FTIR-а, и XRD анализе, закључено је да механизам везивања метала за компост укључује јонску измену и хемисорпцију.

Применом биосорпције може се извршити селективно уклањање метала из отпадне воде, ако су присутни у релативно ниским концентрацијама, до нивоа који су дефинисани одговарајућим прописима. Компост коровске акватичне биљке *Myriophyllum spicatum*, који је као биосорбент испитан у овом раду, је посебно интересантан за земље у којима је доступан у већим количинама, а настао је микробиолошком разградњом под аеробним/анаеробним условима, на депонијама на којима се овај водени коров, кроцањ, одлаже после кошења. Максималне вредности капацитета биосорпције за одабране тешке метале испитиване у овом раду биле су, у mg/g биосорбента: Pb(II) 16,59; Cu(II) 4,47; Cd(II) 1,14; Ni(II) 0,58 и Zn(II) 0,50. Засићен компост после биосорпције је могуће применити за поправљање квалитета земљишта на зеленим површинама и у парковима, јер је концентрација метала у њему нижа од прописаних националном регулативом за компост који се користи у органској производњи. Предложеним решењем обезбеђује се уклањање метала из воде јефтиним, лако доступним, обновљивим биосорбентом; није потребно користити средства за регенерацију, која могу да утичу штетно на животну средину, а истрошени (засићени) биосорбент има употребну вредност, за кондиционирање земљишта.

У Закључку је дат кратак преглед и анализа добијених резултата истраживања, који одговарају постављеним циљевима дисертације, као и предлог за даља

истраживања у овој области. На крају дисертације наведена је Литература, која садржи све референце цитиране у раду.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Процес биосорпције је у последњих неколико година истакнут као економски и еколошки прихватљив, алтернативни третман отпадних вода. Велики број истраживања се изводи данас у овој области; у највећој мери су везана за уклањање тешких метала из воде, тако да је у последњих 10 година публиковано 3.800 радова, према *Web of Science* бази података. Један од потенцијалних биосорбената тешких метала је биомаса акватичних биљака. У већем броју истраживања коровска акватична биљка *Myriophyllum spicatum* је испитивана као биосорбент појединих тешких метала, а први пут је, у овој докторској дисертацији, као биосорбент: а) олова и б) одабраних тешких метала, примењен компост ове биљке, као у великој количини доступан отпадни материјал.

Водени коров *Myriophyllum spicatum* је једна од најинвазивнијих акватичних биљака која се брзо шири, густо обраста, омета купаче и утиче на еутрофикацију језера. Да би се наведене појаве спречиле, најчешће се коси и одлаже на депоније, на којима се ова отпадна биомаса разлаже аеробним и/или анаеробним процесима. Материјал настао микробиолошком разградњом воденог корова *Myriophyllum spicatum*, на депонији на Ади Циганлији (Београд, Србија), компост, примењен је као биосорбент одабраних тешких метала из воденог раствора у овој докторској дисертацији. Радови у којима су приказани резултати испитивања примењених биосорбената, публиковани у часописима међународног значаја 2014. године (рад у врхунском и рад у истакнутом часопису), проистекли из дисертације, наведени у делу 4.3. овог Реферата (Списак објављених радова и саопштења), цитирани су у прегледном раду објављеном 2015. године: Anastopoulos, I., Kyzas, G.Z.: Composts as Biosorbents for Decontamination of Various Pollutants: a Review, *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 226, no. 3, 61 (pp. 1-16), 2015 (IF= 1.685) (ISSN 0049-6979)

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У току израде докторске дисертације кандидат је прегледао литературу везану за: загађење воде тешким металима и методе пречишћавања, процес биосорпције, примену биосорбената за издвајање тешких метала из воде, биосорпцију тешких метала биљком *Myriophyllum spicatum*, моделовање биосорпције, аналитичке технике за испитивање структуре и карактеристика биосорбената, карактеристике биљке *Myriophyllum spicatum*. Поред радова који су представљали основу за експериментални део рада и моделе који су примењени у дисертацији, прегледани су најновији радови везани за сепарацију тешких метала из воде различитим биосорбентима.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру експерименталног дела рада извршена је карактеризација примењених биосорбената, коровске акватичне биљке *Myriophyllum spicatum* и компоста насталог микробиолошком разградњом ове биљке. Испитан је процес биосорпције Pb(II) биљком и компостом у шаржном систему, као и симултано уклањање одабраних тешких метала Pb(II), Cu(II), Cd(II), Ni(II) и Zn(II), компостом, из воденог раствора, извршена је анализа и обрада добијених података и одабир модела којима се могу најбоље описати испитивани системи и процеси. Следеће инструменталне методе су коришћене за карактеризацију материјала, током израде ове дисертације: скенирајућа електронска микроскопија (*SEM*), енергијско-дисперзивна рендгенска спектроскопска анализа (*EDS*), рендгенска дифракциона анализа (*XRD*), инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом (*FTIR*) и термијске анализе (*TGA/DTA*). Одређивање концентрације метала, у току експеримената везаних за испитивање процеса биосорпције и анализа садржаја одабраних елемената, значајних са аспекта карактеристика материјала и биосорпције, вршено је атомском апсорпционом спектрометријом (*AAS*).

3.4. Применљивост остварених резултата

У оквиру ове докторске дисертације испитана је могућност примене компоста акватичне биљке, воденог корова *Myriophyllum spicatum*, за уклањање одабраних тешких метала из воде. Резултати добијени током израде ове дисертације имају велики значај, како са аспекта испитивања и карактеризације овог отпадног материјала као биосорбента, тако и са аспекта примене овог јефтиног и у великој количини доступног отпадног материјала за сепарацију тешких метала. Кошење је техника која се најчешће користи за сузбијање воденог корова *Myriophyllum spicatum*, једне од најинвазивнијих акватичних биљака; том приликом настају велике количине отпадног материјала, који се разлаже под дејством микроорганизама на депонији на којој је одложен. Компост испитан у овом раду се може успешно користити као биосорбент за уклањање Pb(II) и Cu(II) из воде, док је степен издвајања Cd(II), Ni(II) и Zn(II) знатно нижи. С обзиром да је описани материјал јефтин, има га у великим количинама, обновљив, и да се после биосорпције може употребити као природно ђубриво, могуће је вишестепеним системом обезбедити пречишћавање отпадне воде до потребног нивоа.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Јелена Милојковић је током припреме и реализације експеримената, анализе и моделовања добијених резултата, у оквиру израде докторске дисертације, показала стручност, креативност и систематичност. Комисија сматра да кандидат поседује све квалитете који су неопходни за самосталан научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Резултати истраживања урађених током израде ове докторске дисертације представљају значајан научни допринос:

- Примени биотехнологија за пречишћавање отпадне воде загађене тешким металима;
- Искоришћењу отпадне биомасе која потиче из слатководних вода;
- Компост настао разлагањем покошене акватичне биљке, воденог корова *Myriophyllum spicatum*, може да се се користи као јефтин и лако доступан биосорбент, тако да овај отпадни материјал има одговарајућу употребну вредност;
- Извршена је детаљна карактеризацији отпадног материјала, акватичне биљке, воденог корова *Myriophyllum spicatum* из Савског језера и компоста, који потиче са депоније овог покошеног воденог корова, Ада Циганлија, Београд, Србија;
- Описан је механизам везивања а) олова за биљку и за компост и б) тешких метала за компост; одређен је модел сорпције и кинетике одигравања ових процеса;
- Предложена је примена искоришћеног биосорбента као компоста у парковима, чиме је решен проблем поступања са металима засићеним материјалом после биосорпције.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања урађена у оквиру ове докторске дисертације су конципирана на основу дефинисаних циљева и детаљне анализе литературе из области биосорпције тешких метала из водених раствора. У дисертацији је делом примењена методологија истраживања заступљена у литератури, а први пут је примењен као биосорбент и детаљно испитан компост са депоније покошеног воденог корова, *Myriophyllum spicatum* из Савског језера, Ада Циганлија, Београд, Србија. На основу резултата добијених у експерименталном делу рада изведени су одговарајући закључци, значајни за објашњење механизма и ефикасности биосорпције одабраних тешких метала Pb(II), Cu(II), Cd(II), Ni(II) и Zn(II) примењеним биосорбентом. Поређењем резултата истраживања добијених у оквиру овог рада са подацима наведеним у литератури из ове области истраживања, истиче се да је овај биосорбент могуће применити за симултано издвајање наведених метала из воденог раствора, али да процес десорпције није довољно ефикасан. Због тога је препоручено да се засићен биосорбент користи за поправљање квалитета земљишта у парковима, у којима се гаје биљке које нису намењене за исхрану људи и животиња. На овај начин је могућа вишеструка примена отпадне биомасе, за пречишћавање отпадних вода загађених тешким металима и као природног ђубрива.

4.3. Верификација научних доприноса

Из дисертације је публикован један рад у врхунском међународном часопису (категирија M21), један у истакнутом међународном часопису (категирија M22), и један у водећем часопису националног значаја (M51). Седам радова је саопштено на скуповима међународног значаја, од којих је шест радова штампано у целини, а један рад је штампан у изводу.

Списак објављених радова и саопштења

Категорија M20 - Радови објављени у часописима међународног значаја

Категорија M21 - Рад у врхунском међународном часопису

1. **Milojković, J.V.**, Mihajlović, M.L., Stojanović, M.D., Lopičić, Z.R., Petrović, M.S., Šoštarić, T.D., Ristić, M.Đ.: Pb(II) removal from aqueous solution by *Myriophyllum spicatum* and its compost: equilibrium, kinetic and thermodynamic study, -*Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 89, no. 5, pp. 662–670, 2014 (**IF= 2.494**) (ISSN 0268-2575).

Категорија M22 - Рад у истакнутом међународном часопису

1. **Milojković, J.V.**, Stojanović, M.D., Mihajlović, M.L., Lopičić, Z.R., Petrović, M.S., Šoštarić, T.D., Ristić, M.Đ.: Compost of Aquatic Weed *Myriophyllum spicatum* as Low-Cost Biosorbent for Selected Heavy Metal Ions, -*Water, Air & Soil Pollution*, vol. 225, no. 4, 1927, pp. 1-10, 2014 (**IF= 1.685**) (ISSN 0049-6979).

Категорија M30 - Зборници међународних научних скупова

Категорија M33 - Саопштење са међународног скупа штампано у целини

1. **Milojković, J.**, Stojanović, M., Grubišić, M., Lopičić, Z., Mihajlović, M.: "Lead sorption by compost of *Myriophyllum spicatum*," -*Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Science and Technology – CEST 2011*, Rhodes island Dodecanese, Greece, 2011., pp. 1243-1249.
2. **Milojković, J.**, Stojanović, M., Lopičić, Z., Mihajlović, M., Adamović, M.: "Biosorption as a new „eco-friendly” technology for heavy metal removal," - *Proceedings of the XIX International Scientific and Professional Meeting "Ecological truth"*, Bor, Srbija, 2011., pp. 191-196.
3. **Milojković, J.**, Lopičić, Z., Stojanović, M., Mihajlović, M., Petrović, M., Adamović, M.: "Removal pollutants with waste biomass," -*Proceedings of the 2nd International Symposium on Environmental and Material Flow Management*, Zenica, Bosnia and Herzegovina, 2012., pp. 211-217.

4. **Milojković, J.**, Lopičić, Z., Stojanović, M., Lačnjevac, Č., Petrović, M.: “Biosorption - technology for improving environment for the new century,” *-Proceedings of the YUCORR*, Tara, Serbia, 2012., pp. 106-114.
5. **Milojković, J.**, Stojanović, M., Lopičić, Z., Mihajlović, M., Grubišić, M., Petrović, M.: “Eco waste as biosorbent for lead,” *-Proceedings of the II International Conference „Ecology of urban areas“*, Zrenjanin, Serbia, 2012., pp. 207-213.
6. **Milojković, J.**, Stojanović, M., Lopičić, Z., Mihajlović, M., Petrović, M., Šoštarić, T.: “Removal of lead by compost of *Myriophyllum spicatum*,” *-Proceedings of the XXI International Scientific and Professional Meeting, Ecological Truth*, Bor Lake, Serbia, 2013, pp. 142-148.

Категорија М34 – Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

1. **Milojković, J.V.**, Stojanović, M.D., Mihajlović, M.L., Lopičić, Z.R., Petrović, M.S., Šoštarić, T.D., Petrović, J.T.: “Primena komposta vodenog korova *Myriophyllum spicatum* kao biosorbenta za odabrane jone teških metala,” *Sustainable economy and the environment*, Belgrade, Serbia, 2014., pp. 153-154.

Категорија М50 – Радови објављени у часописима националног значаја

Категорија М51 – Рад у водећем часопису националног значаја

1. **Milojković, J.V.**, Stojanović, M.D., Mihajlović, M.L., Lopičić, Z.R., Petrović, M.S., Šoštarić, T.D., Petrović, J.T.: Primena komposta vodenog korova *Myriophyllum spicatum* kao biosorbenta za odabrane jone teških metala, *-Ecologica*, 74, 2014, pp. 259–263.

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Резултати истраживања урађених током израде ове докторске дисертације представљају значајан научни допринос примени биотехнологија за пречишћавање отпадне воде загађене тешким металима и искоришћењу отпадне биомасе која потиче из слатководних вода. Показано је да се материјал примењен као биосорбент, компост *Myriophyllum spicatum*, јефтин, обновљив, у великим количинама доступан отпадни материјал, може применити за уклањање одабраних тешких метала из воденог раствора, а након биосорпције се може искористити као природно ђубриво за земљиште у парковима. Кандидат је у оквиру израде докторске дисертације самостално, креативно и систематично, уз примену адекватних знања, извршавао све обавезе.

На основу свега напред изложеног, Комисија сматра да докторска дисертација Јелене Милојковић, под називом „**Биосорпција одабраних тешких метала компостом *Myriophyllum spicatum***“ представља значајан, оригинални научни допринос у области Инжењерства заштите животне средине, што је потврђено, између осталог, и објављивањем радова у релевантним часописима међународног и националног значаја, као и презентовањем резултата истраживања на конференцијама. Кандидат је самостално и систематично урадио истраживања и анализу добијених резултата.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „**Биосорпција одабраних тешких метала компостом *Myriophyllum spicatum***“, кандидата Јелене Милојковић, дипл. инж. технол., прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 22.04.2015.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Мирјана Ристић, ред. проф.
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки
факултет

Др Александра Перић-Грујић, ред. проф.
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки
факултет

Др Мирјана Стојановић, научни саветник,
Институт за технологију нуклеарних и других
минералних сировина