

# УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ СТУДИЈЕ ПРИ УНИВЕРЗИТЕТУ

## ВЕЋУ ЗА СТУДИЈЕ ПРИ УНИВЕРЗИТЕТУ

**Предмет:** Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Невене Чуле, дипл. инж. шумарства за пејзажну архитектуру

Одлуком Већа за студије при Универзитету 06 број: 06-4558/VIII-4187/5-15 од 23.05.2016 године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње **Невене Чуле**, дипл. инж. шумарства за пејзажну архитектуру, под насловом „**Фиторемедијација загађених вода биљком *Canna indica* L. и одабраним декоративним макрофитама**“ у саставу:

1. др Драгица Вилотић, редовни професор Шумарског факултета, Универзитета у Београду (ужа научна област Шумарска ботаника и анатомија дрвета)
2. др Зорица Средојевић, редовни професор, Пољопривредног факултета, Универзитета у Београду (ужа научна област Трошкови и калкулације)
3. др Срђан Бојовић, научни саветник, Института за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ Универзитета у Београду (ужа научна област Физиологија биљака)
4. др Милорад Веселиновић, виши научни сарадник, Института за шумарство у Београду (ужа научна област Урбана екологија)
5. др Марко Иветић, редовни професор, Грађевинског факултета, Универзитета у Београду (ужа научна област Механика флуида и хидраулика)

На основу прегледа достављене дисертације, Комисија подноси следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1. УВОД

#### 1.1. Биографски подаци о кандидату

Невена (Милан) Чуле (девојачко Нешић) је рођена 01.04.1974. године у Београду, где је завршила основну и средњу школу. Шумарски факултет, Универзитета у Београду, смер пејзажна архитектура, је завршила 2004. године, са просечном оценом 9,28, стекавши звање Дипломираног инжењера шумарства за пејзажну архитектуру. Тема дипломског рада, кога је одбранила са оценом 10, је била „Конструисани акватични екосистеми за третман отпадних вода из домаћинства“. Исте године је

добила награду Привредне коморе Београда за најбоље дипломске радове студената факултета и виших школа за 2003/2004. годину.

Током 2000. године је завршила постдипломски програм „Животна средина - Изазов за науку, технологију и друштво“ на Алтернативној академској образовној мрежи са темом специјалистичког рада „Пречишћавање комуналних отпадних вода помоћу акватичних биљака“.

Школске 2004/2005. године је уписала први семестар докторских студија из интердисциплинарних и мултидисциплинарних научних области, које организује Универзитет у Београду, смер Управљање животном средином. На студијама је положила све предвиђене испите са просечном оценом 9,63 и стекла право на пријаву докторске тезе.

Током 2004. године је волонтирала у Лабораторији за заштиту животне средине, Одсек за природне ресурсе и животну средину, Центар за мултидисциплинарне студије Универзитета у Београду, а током 2005. године у Одељењу за заштиту и унапређење животне средине, Институт за шумарство, Београд.

Од 2005. до 2007. године је била запослена као истраживач приправник у Одељењу за заштиту и унапређење животне средине, Институт за шумарство, Београд. Данас је запослена у истој институцији.

На радном месту бави се истраживањима из области: фиторемедијације, заштите животне средине, биолошке рекултивације деградираних површина, пејзажне архитектуре, уређивања предела, урбаног шумарства, примењених истраживања флоре, биомасе и друго.

Током 2014. године завршила је обуку за рад на инструменту ICP - OES (Атомска емисиона спектроскопија - Индукована куплована плазма).

До сада је учествовала у реализацији преко 40 научно-истраживачких и других пројеката, објавила преко 50 научних радова и саопштења на научним скуповима како први аутор или коаутор. Координатор је пројекта „Ревитализација Топчидерске реке биолошким системима за пречишћавање загађених вода“, Град Београд - Градска управа града Београда - Секретаријат за заштиту животне средине (2014-2016. год).

## **1.2. Научна област дисертације**

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области ИМТ (интердисциплинарне, мултидисциплинарне и трансдисциплинарне науке) односно ужим научним областима: Урбана екологија, Шумарска ботаника и анатомија дрвета, Трошкови и калкулације.

Ментори ове докторске дисертације су др Драгица Вилотић, редовни професор Шумарског факултета, Универзитета у Београду и др Зорица Средојевић, редовни професор, Пољопривредног факултета, Универзитета у Београду.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### **2.1. Садржај дисертације**

Докторска дисертација под насловом „Фиторемедијација загађених вода биљком *Canna indica* L. и одабраним декоративним макрофитама“ је написана у складу са Упутством за обликовање штампане и електронске верзије докторске дисертације Универзитета у Београду. Садржи 258 страна ауторског текста, 67 табела, 43 слике и 26 графикана. Релевантну литературу чини 246 библиографских јединица. На почетку текста докторске дисертације налази се резиме на српском и енглеском језику са кључним речима, а на крају биографија аутора, Изјава о ауторству, Изјава о

истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације и Изјава о коришћењу.

Дисертација је подељена на девет поглавља, која су структурирана тако да чине посебне, али логички повезане целине: Увод (1-34. стр.), Предмет истраживања (35. стр.), Циљ истраживања (36-37. стр.), Полазне хипотезе (38. стр.), Материјал и методе истраживања (39-71. стр.), Резултати истраживања са дискусијом (72-230. стр.), Закључак (231-234. стр.), Литература (235-258. стр.) и Прилози (3 прилога).

## 2.2. Кратак преглед дисертације по поглављима

На почетку поглавља 1. УВОД (1-34. стр) кандидаткиња је дефинисала терминологију кроз приказивање значења коришћених скраћеница у оквиру докторске дисертације. У даљем тексту овог поглавља дала је преглед досадашњих истраживања, који је подељен у 12 потпоглавља различите тематике. Кандидаткиња је сагледала проблем загађивања вода различитим категоријама полутаната, уз посебан осврт на тешке метале као једне од преовлађујућих форми полутаната животне средине, који лако улазе у ланац исхране и представљају потенцијалну опасност за људско здравље. У даљем тексту кандидаткиња је приказала однос тешких метала и биљака и посебно истакла улогу биљака у фиторемедијацији загађених вода, пожељне особине биљака погодних за фиторемедијацију, као и важност правилне селекције врста која представља кључ за осигуравање успеха ризофилтрације као стратегије за пречишћавање вода. У следећим потпоглављима су размотрени начини уклањања полутаната из отпадних и загађених вода уз посебан осврт на алтернативне методе пречишћавања као што су фиторемедијација односно ризофилтрација и биолошки системи са плутајућим острвима. Кандидаткиња је аргументовано навела предности и недостатке фиторемедијације загађених вода. Такође је размотрила значај процене садржаја пигмента у листу, јер се на основу ње може донети суд о физиолошком стању врсте, утицају услова средине на биљку, као и о њеној адаптацији на те услове, што може да олакша избор врста за стварање вегетације биолошких система за пречишћавање загађених вода. Кандидаткиња је детаљно приказала систематско место одабраних биљних врста, које су коришћене у истраживањима, њихове морфолошке и еколошке особине, као и њихов значај за фиторемедијацију вода и производњу биомасе. Поред значајне улоге биљака у уклањању различитих категорија полутаната кандидаткиња је указала и на улогу алги у фиторемедијацији загађених вода. На крају самог увода размотрила је могућност производње биомасе из засада вишегодишњих зељастих биљака у биолошким системима за третман отпадне и загађене воде.

У поглављу 2. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА (35. стр) кандидаткиња је навела да је предмет истраживања одабран на основу глобалног значај фиторемедијације у уређењу, газдовању и заштити вода и на основу експеримената у оквиру почетних истраживања. Предмет истраживања у овој докторској дисертацији је фиторемедијациони потенцијал декоративне биљке кана (*Canna indica* L.) у лабораторијским условима и у биолошком систему и одабраних макрофита - трске (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. syn. *Phragmites communis* Trin.), барске перунике (*Iris pseudacorus* L.), сибирске перунике (*Iris sibirica* 'Perry's Blue'), водене боквице (*Alisma plantago - aquatica* L.), поточњака (*Lythrum salicaria* L.) и грчице (*Menyanthes trifoliata* L.) у оквиру биолошког система за пречишћавање загађених вода. Кандидаткиња такође наводи да су истраживања обухватила и еколошку погодност, као и економску исплативост предложеног Система плутајућих острва за пречишћавање загађених вода.

У поглављу 3. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА (36-37. стр.) су јасно и концизно наведени циљеви мултидисциплинарних истраживања, који су усмерени ка изналажењу

еколошки прихватљивог, ефикасног и економски исплативог решења за третман и ревитализацију водених површина и водотокова загађеним антропогеним утицајима. Кандидаткиња наводи три крајња циљ истраживања: 1. одређивање фиторемедијационог потенцијала одабраних врста биљака, 2. конструкција одговарајућег модела плутајућих острва за пречишћавање загађених вода и 3. утврђивање еколошких ефеката и економске ефикасности биолошког система са плутајућим острвима. У складу са постављеним циљевима поступно и прецизно су наведени кораци, који су омогућили испуњење постављених циљева.

У поглављу 4. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ (38. стр.) имајући у виду предмет и циљеве истраживања кандидаткиња дефинише седам хипотеза. Прва хипотеза се односи на претпоставку да врста *Canna indica* L. и одабране декоративне макрофите имају добар потенцијал за фиторемедијацију загађених вода, а друга да ова врста као и одабране макрофите имају слаб потенцијал за транслокацију усвојених тешких метала из корена у надземне делове биљке. Трећом хипотезом кандидаткиња претпоставља да постоје разлике у ефикасности фиторемедијације медијума са различитим концентрацијама полутаната, четвртом да постоје разлике у ефикасности фиторемедијације у зависности од врсте одабраних биљака, а петом да врста *Canna indica* L. и одабране декоративне макрофите добро расту у загађеним водама и при томе стварају знатну биомасу. Кандидаткиња поставља шесту хипотезу како би испитала да ли је фиторемедијација еколошки оправдана и економски исплатива технологија, а седму како би утврдила да ли фиторемедијација с обзиром на социо-економску оправданост уз достизање еколошког оптимума, омогућава одрживост природних ресурса.

У поглављу 5. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА (39-71.), груписаном у деветнаест подпоглавља, кандидаткиња детаљно даје информације о месту (теренска и лабораторијска истраживања) и времену спроведених истраживања; начину формирања и условима гајења биљног материјала за потребе експеримената у лабораторији и биолошком систему; постављању биолошког система за пречишћавање загађених вода; формирању и постављању супстрата за раст биљака у биолошком систему; садњи биљака у биолошком систему; постављању и извођењу експеримента у лабораторији и експеримената у биолошком систему; мониторингу и одржавању биолошког система; узимању узорак биљног материјала из лабораторијског експеримента, биолошког система и контроле, алги из биолошког система, супстрата из биолошког система и контроле, загађене и пречишћене воде из биолошког система, како и о броју узорака и начину њиховог одабира и формирања; методама коришћеним за анализу физичко-хемијских и микробиолошких особина загађене и пречишћене воде, као и за одређивање концентрације тешких метала и других елемената у загађеној и пречишћеној води; методама коришћеним за екстракцију тешких метала из биљних ткива, алги и супстрата, за одређивање концентрације метала у биљним ткивима, алгама и супстрату, садржаја елемената исхране у асимилационим органима; одређивању потенцијала врсте *Canna indica* L. да усваја олово из медијума за гајење у лабораторијским условима и да га транслоцира из корена у своје надземне делове; испитиваним параметрима раста врсте *Canna indica* L. у експерименту у лабораторији; методи за испитивање физиолошких показатеља везаних за процес фотосинтезе код биљака у биолошком систему; процени добијене биомасе биљака у биолошком систему; биотехничким и економским аспектима предложеног модела плутајућих острва за фиторемедијацију загађених вода. На крају поглавља наведен је начин обраде података. Кандидаткиња истиче да су подаци сумирани методама дескриптивне статистике, оцењивањем основних статистичких параметара и тестирањем хипотеза. За статистичку обраду података коришћене су једнофакторска и двофакторска анализа

варијансе (ANOVA), као и анализа главних компоненти (PCA), које су урађене у програму Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, USA).

У поглављу 6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА СА ДИСКУСИЈОМ (72-230. стр.) кандидаткиња групише добијене резултате у три подпоглавља и представља их текстуално логичним редоследом, прегледно и систематично, документовано табелама, графиконима и сликама, а потом на крају сваког подпоглавља даје јасну анализу и адекватна тумачења добијених резултата, поредећи их са резултатима бројних аутора.

У оквиру првог подпоглавља приказани су резултати добијени истраживањем фиторемедијационог потенцијала врсте *Canna indica* L. у лабораторијским условима. Кандидаткиња наводи да су резултати одређивања садржаја олова (Pb) у биљним ткивима показали да се концентрација Pb у надземној и подземној маси биљка повећавала са повећањем концентрације Pb у раствору и дужином излагања биљака олову, да је акумулација Pb у подземној биомаси кане била и до 90 пута већа у односу на акумулацију Pb у надземној биомаси, да је највећа вредност биоконцентрационог фактора (BCF) подземне биомасе констатована код биљака гајених у медијуму са најмање додатог Pb (10 mg/L), док је вредност BCF надземне биомасе била много нижа у поређењу са BCF подземне биомасе и да је највиша вредност BCF надземне биомасе забележена код биљака из третмана са средњим садржајем Pb (21 mg/L). Кандидаткиња даље указује да су резултати истраживања показали да различите концентрације Pb у медијуму за гајење како и дужина периода излагања биљака Pb, нису значајно утицале на вредност фактора транслокације (TF), како и да је транслокација Pb из корена у надземну биомасу била ограничена тако да је вредност TF била изузетно ниска. Кандидаткиња наводи да су биљке, које су расле у медијуму са највишом концентрацијом Pb оствариле значајно већу биомасу и усвојиле значајно више Pb у свом корену у односу на биљке из друга два третмана и контроле, што је на крају довело до тога да је и количина акумулираног Pb по јединици суве масе биљке по дану највећа управо у овим биљкама. Визуални неспецифични симптоми фитотоксичности Pb, као што су успорен раст биљака, брза инхибиција раста корена и хлороза листова нису примећени током експеримента ни на једној биљци, без обзира да ли је она гајена у третману или контроли. Кандидаткиња наглашава да иако ово нису били очекивани резултати, они могу да буду први корак у закључивању да постоји велика могућност да је кана биљка која је толерантна на високе концентрације Pb у медијуму за гајење. Значајно повећање биомасе је констатовано код биљака које су гајене у третману са највећом концентрацијом Pb. Кандидаткиња наводи да ова чињеница може да потврди постављену хипотезу да кана добро расте у загађеним водама и при томе ствара значајну биомасу. На основу добијених резултата кандидаткиња је претпоставила да промене у усвајању различитих микро- и макро-нутријената из хранљивог раствора под утицајем високе концентрације Pb нису утицале на инхибицију биомасе. Посматрајући резултате добијене анализом утицаја третмана и времена узорковања на инхибицију раста (Ir) кане и алокацију ресурса у овој биљци у свим третманима и контроли кандидаткиња констатује да је Pb имало и стимулативни и инхибиторни ефекат на промену биомасе односно различите параметре раста, који се односе на целу биљку као и на њене асимилационе органе. Кандидаткиња наглашава да без обзира који је механизам био заслужан за стимулацију раста кане у хранљивом медијуму са додатим Pb, резултати су показали да је *C. indica* биљка која може да толерише присуство високих концентрација Pb, с обзиром да је значајно већу биомасу остварила у третману са највећом концентрацијом Pb у односу на контролу. Кандидаткиња закључује да добијени и анализирани резултати истраживања недвосмислено потврђују веродостојност постављених хипотеза везаних за врсту *C. indica* у лабораторијском експерименту. На основу упоређивања резултата ових истраживања са пожељним

особинама биљака погодних за ризофилтрацију кандидаткиња сугерише да је кана врло добар кандидат за биолошко пречишћавање вода загађених оловом.

У оквиру другог подпоглавља приказани су резултати добијени истраживањем фиторемедијационог потенцијала врсте *Canna indica* L. и одабраних декоративних макрофита у биолошком систему за пречишћавање загађених вода. При томе су анализирани резултати добијени одређивањем физичко-хемијских и микробиолошких особина загађене и пречишћене воде, концентрације полутаната и макро- и микро-нутријената у загађеној и пречишћеној води, концентрације полутаната и макро- и микро-нутријената у биљним ткивима, алгема и супстрату као и испитивањем физиолошких показатеља везаних за процес фотосинтезе и проценом добијене биомасе биљака. Резултати истраживања су показали да је биолошки систем имао велику ефикасност у уклањању различитих категорија полутаната (укупног фосфора; укупног азота, амонијака, нитрата, нитрита; органске материје приказане кроз параметре као што су укупни органски угљеник, хемијска и биолошка потрошња; различитих патогених микроорганизама, као што су укупне колиформне бактерије, колиформне бактерије фекалног и фекалне стрептококе, тешки метали). Кандидаткиња наводи да су поред физичких и хемијских процеса, биолошке компоненте како што су микроорганизми, биљке и алге имале значајну улогу у пречишћавању загађене воде. На основу приказаних резултата садржаја различитих метала у испитивани биљкама кандидаткиња закључује да је врста *P. australis* имала добар потенцијал за уклањање Cr, Ni, Al и Zn, као и As и Co; врста *C. indica* добар потенцијал за уклањање As и Mn, као и Al, Ba и Sr; врста *I. pseudacorus* добар потенцијал за уклањање Al, Ba и Sr, као и Mn и Ni; врста *I. sibirica* 'Perry's Blue' добар потенцијал за уклањање Al и Sr, као и Cr и Zn; врста *A. plantago - aquatica* добар потенцијал за уклањање Al, Co, Sr и Na, као и Cr и Ba; врста *L. salicaria* добар потенцијал за уклањање Zn, као и Ba, Co и Sr, а врста *M. trifoliata* добар потенцијал за уклањање Na и Zn, као и Al, Cr и Sr из загађене воде. Иако су неке од ових елемената испитиване врсте концентрисале у својим ткивима у количинама које су у литератури представљене као токсичне вредности ни на једној биљци у биолошком систему нису констатовани симптоми токсичности, што може да укаже на толерантност ових врста на полутанте присутне у загађеној води. Да се биљке нису налазиле под стресом или бар не под стресом који би могао да изазове смањено усвајање испитиваних елемената и продукцију биомасе, у ширем смислу кандидаткиња указује и кроз испитивање садржаја и односа различитих фотосинтетичких пигмената у листовима испитиваних врста и претпоставља да вода из улива није имала негативан утицај на продукцију хлорофила и здравствено стање биљака, што додатно потврђује да ове врсте могу да се користе у биолошким системима за пречишћавање воде. Кандидаткиња наглашава и да су све врсте, осим врсте *M. trifoliata*, продуковале велику биомасу у биолошком систему за третман загађених вода. Као врсте са највећом оствареном биомасом издвајају се врсте *C. indica*, *L. salicaria* и *P. australis*. Кандидаткиња закључује да добијени и анализирани резултати истраживања недвосмислено потврђују веродостојност постављених хипотеза везаних за врсту *C. indica* и одабраних декоративних макрофита у биолошком систему за третман загађених вода, како и да све испитиване врсте могу да се користе за третман загађених и отпадних вода у биолошким системима, јер су све приказале добар фиторемедијациони потенцијал. Кандидаткиња наглашава да се ова препорука мање односи на врсту *M. trifoliata*, првенствено због мале остварене биомасе.

У оквиру трећег подпоглавља приказани су биотехнички и економски аспекти плутајућих острва за фиторемедијацију загађених вода. На основу испитаног фиторемедијационог потенцијала коришћених биљака у биолошком систему током експеримената, особина коришћеног супстрата и носача, као и ефикасности плутајућих

острва да у датим условима врше пречишћавање загађене воде из реке, кандидаткиња даје Модел једног плутајућег острва и предлог изгледа Система плутајућих острва, који може да се користи за рестаурацију загађених урбаних водотокова. Како би потврдила еколошку оправданост и економску исплативост предложених Система плутајућих острва, кандидаткиња сагледава трошкове и користи (добити) ових система кроз Cost-Benefit анализу, при чему приказује поступак ове анализе и одређује најважније параметре Cost-Benefit анализе коришћења Система плутајућих острва на „X“ локацији. У даљем тексту овог поглавља кандидаткиња даје основни економско-финансијски модел плутајућег острва уз његов графички приказ, прорачунава висину улагања у прибављање (изградњу) Система плутајућих острва и приказује структуру калкулација коришћења Система плутајућих острва током једне године. Кроз примену SWOT анализе кандидаткиња је проценила расположиве ресурсе и могућности Система плутајућих острва према претњама и шансама за њихово увођење у стандардну инфраструктуру за третман загађених вода. Добијени резултати SWOT анализе су кандидаткињи послужили као основа за избор најбоље стратегије за изградњу предложеног Система плутајућих острва и његову примену у пракси. Кандидаткиња закључује да добијени и анализирани резултати истраживања недвосмислено потврђују веродостојност постављених хипотеза везаних за еколошку оправданост и економску исплативост ове нове технологије пречишћавања загађених вода. На основу резултата SWOT анализе и других анализираних резултата у овим истраживањима кандидаткиња закључује да је предложени Систем плутајућих острва еколошки оправдана технологија, која уз достизање еколошког оптимума омогућава одрживост природних ресурса. Кандидаткиња наглашава да је највећа препрека за имплементацију пројеката везаних за коришћење плутајућих острва, па и других алтернативних биолошких система за пречишћавање загађених вода то што они нису препознати у законима који регулишу области заштите животне средине, заштите природе, воде и другим релевантним прописима Републике Србије. Ова чињеница је такође представљала и велики проблем при изради економско-финансијског модела Система плутајућих острва, јер је квантитативно вредновање користи од коришћења Система учинила немогућим. Међутим, на основу упоређивања Система плутајућих острва са конструисаним акватичним екосистемима, који су у литератури описани као исплатива зелена технологија, кандидаткиња претпоставља да би предложено решење могло да оствари већу процентуалну корист у односу на ове системе кроз избегавање различитих трошкова и закључује да је предложени модел фиторемедијације загађених вода економски исплатива технологија. На крају поглавља кандидаткиња наглашава да ће препознавање плутајућих острва и других биолошких система као дела стандардне инфраструктуре за третман загађених и отпадних вода у оквиру законске регулативе омогућити и олакшати прикупљање свих неопходних параметара за економско - финансијску анализу и новчано приказивање свих трошкова и користи, које настају у пределу његовом имплементацијом, а да како се државни буџети буду смањивали, цена воде расла, а савезни или државни нормативи постајали све строжији, једноставни, економски исплативи и ефикасни биолошки системи за третман отпадних вода и њихову рециклажу у пракси ће имати све већи значај.

У оквиру 7. поглавља ЗАКЉУЧАК (231-234. стр.) кандидаткиња приказује најзначајније закључке у којима концизно и прецизно сублимира резултате комплетних истраживања и приказаних информација о потврђеној веродостојности постављених хипотеза и испуњености крајњих циљева докторске дисертације. Кандидаткиња закључује следеће:

1. Резултати испитивања фиторемедијационог потенцијала врсте *Canna indica* L. у лабораторијским условима су показали да:

- кана усваја значајне количине олова (Pb) при различитим концентрацијама циљаног тешког метала у медијуму за гајење,
- кана регулише усвајање Pb тако да концентрација циљаног метала у биљном ткиву одражава његове концентрације у медијуму за гајење,
- се садржај Pb повећава са повећањем времена изложености кане испитиваном тешком металу,
- кана лимитира транслокацију Pb из корена у надземне делове независно од концентрације Pb у медијуму за гајење,
- је концентрација Pb у подземној биомаси кане и до 90 пута већа у односу на акумулацију Pb у надземној биомаси,
- је кана добар акумулатор у складу са својом способношћу да усваја, акумулира и толерише различите концентрације Pb у својим ткивима,
- је кана толерантна на високе концентрације Pb у медијуму за гајење,
- да промене у усвајању различитих микро- и макро-нутријената из хранљивог раствора под утицајем високе концентрације Pb, као и висок садржај Pb у медијуму за гајење не утичу на инхибицију биомасе, већ да кана брзо расте у контаминираном медијуму и при томе ствара велику количину биомасе и густ коренов систем,
- је заснивање кане из ризома и њено гајење врло једноставно.

На основу овога може да се закључи да је *Canna indica* L. врло погодна врста за биолошко пречишћавање вода загађених Pb.

2. Резултати испитивања фиторемедијационог потенцијала биљке *Canna indica* L. и одабраних декоративних макрофита у биолошком систему за пречишћавање загађених вода су показали да:

- врста *Phragmites australis* (Цав.) Trin. ex Steud. има добар потенцијал за уклањање Cr, Ni, Al, Zn, As и Co из загађене воде,
- врста *Canna indica* L. има добар потенцијал за уклањање As, Mn, Al, Ba и Sr из загађене воде,
- врста *Iris pseudacorus* L. има добар потенцијал за уклањање Al, Ba, Sr, Mn и Ni из загађене воде,
- врста *Iris sibirica* 'Perry's Blue' има добар потенцијал за уклањање Zn, Al, Sr, Cr и Zn из загађене воде,
- врста *Alisma plantago - aquatica* L. има добар потенцијал за уклањање Al, Co, Sr, Na, Cr и Ba из загађене воде,
- врста *Lythrum salicaria* L. има добар потенцијал за уклањање Zn, као и Ba, Цо и Ср из загађене воде,
- врста *Menyanthes trifoliata* L. има добар потенцијал за уклањање Zn, Ba, Co и Sr из загађене воде,
- постоје разлике у ефикасности фиторемедијације у зависности од врсте одабраних биљака,
- вегетацију плутајућих острва треба да чине различите одабране биљне врсте,
- је транслокација метала од интереса из подземне биомасе у надземну биомасу била лимитирана или изузетно мала,
- су све испитиване врсте осим *M. trifoliata* у биолошком систему расле брзо и при томе су стварале знатну количину подземне и надземне биомасе,
- је врста *C. indica* остварила највећу продукцију биомасе,
- је врста *L. salicaria* остварила највећу продукцију биомасе у односу на остале декоративне макрофите,
- су све испитиване врсте отпорне на различите еколошке услове средине, штеточине и болести,



- врста *C. indica* има велику регенеративну способност,
- су све испитиване врсте толерантне на широк спектар полутаната,
- је заснивање биљака, њихово пресађивање у биолошки систем и одржавање вегетације плутајућих острва једноставно.

На основу овога може да се закључи да су све одабране врсте у биолошком систему, осим врсте *M. trifoliata*, добри кандидати за биолошко пречишћавање загађених вода. Иако је врста *M. trifoliata* усвајала знатне количине метала од интереса, она у овим истраживањима није окарактерисана као биљка са добрим фиторемедијационим потенцијалом, јер је током вегетационог периода продуковала изузетно малу биомасу.

3. Резултати испитивања ефикасности биолошког система са плутајућим острвима за пречишћавање загађених вода су показали да:

- је улив у биолошки систем на основу садржаја већине полутаната, који представљају параметре за оцену еколошког статуса вода, окарактерисан као вода лошег (класа V) и умереног (класа III) еколошког статуса,
- је излив биолошког система на основу садржаја већине полутаната, који представљају параметре за оцену еколошког статуса вода, окарактерисан као вода одличног еколошког статуса (класа I),
- је биолошки систем добра средина за раст одабраних врста биљака и алги,
- биљке и алге поред усвајања различитих елемената, у биолошком систему потпомажу друге физичке, хемијске и биолошке механизме за уклањање полутаната из загађених вода,
- покривеност базена плутајућим острвима треба да буде мања од 100% како би се омогућила природна аерација воде.

На основу овога може да се закључи да је биолошки систем био врло ефикасан у уклањању различитих полутаната из загађене воде. Уз мање модификације биолошки систем са плутајућим острвима би могао да има још већу ефикасност.

4. Резултати испитивања економске исплативости и еколошке погодности предложеног Система плутајућих острва су показали да:

- предложени Систем плутајућих острва има већу прилагодљивост за различите случајеве коришћења у односу на друге алтернативне системе за третман загађених вода,
- је предложени Систем плутајућих острва еколошки оправдана технологија, која уз достизање еколошког оптимума омогућава одрживост природних ресурса,
- да имплементација ове технологије у пракси може да обезбеди пречишћавање отпадних и загађених вода на основу природних процеса без употребе различитих хемијских материја и додатних извора енергије,
- за разлику од устаљене технологије пречишћавања вода Система плутајућих острва на крају третмана ствара редукован садржај отпада, који може да послужи као сировина за друге технологије и да на тај начин омогући стварање додатног профита,
- постављање Система плутајућих острва у оквиру река, језера и бара може да омогући рекламацију и поновно коришћење вода, хранљивих материја и различитих биолошких ресурса, као и обнављање некадашњег биодиверзитета,
- је највећа препрека за имплементацију Система плутајућих острва, као алтернативних биолошких система за пречишћавање загађених и отпадних вода то што они нису препознати у законима и другим релевантним прописима Републике Србије,
- је неопходно развити одговарајућу или модификовану методу за квантитативно вредновање користи од коришћења Система плутајућих острва, при чему се

првенствено мисли на вредновање екосистемских услуга и еколошких аспеката ових система,

- дат економско - финансијски модел и SWOT анализа могу да се користе као основа за анализу било ког инвестирања у Систем плутајућих острва у пракси,
- у односу на друге алтернативне технологије за пречишћавање вода предложени Систем плутајућих острва је економски исплатива технологија.

У оквиру поглавља 8. ЛИТЕРАТУРА (235-258. стр.) приказано је 246 библиографских јединица. Кандидаткиња је литературне изворе адекватно и на одговарајућим местима цитирала у тексту докторске дисертације.

У оквиру поглавља 9. ПРИЛОЗИ кандидаткиња прилаже 2 прилога у виду цртежа (Прилог 1. Основа и пресек биолошког система и Прилог 2. Пресек и основа носача плутајућег острва) и један прилог (Прилог 3.) у виду више табела.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација кандидаткиње Невена М. Чуле под називом „Фиторемедијација загађених вода биљком *Canna indica* L. и одабраним декоративним макрофитама“ представља савремено и оригинално научно дело. Мултидисциплинаран карактер ове дисертације изражен кроз комбиновање метода из различитих научних области као што су ботаника, биљна физиологија и исхрана, хортикултура и агрономија, хидрологија, пејзажна архитектура, урбана екологија, еколошки инжењеринг и (агро)економија, представља један од најважнијих оригиналних аспеката ове тезе, нарочито ако се има у виду да истраживања која се баве испитивањем фиторемедијационог потенцијала одабраних биљака у овој докторској дисертацији, испитивањем ефикасности биолошког система са плутајућим острвима у уклањању различитих категорија полутаната из загађене воде, као и одређивањем еколошке погодности и економске исплативости фиторемедијације загађених вода кроз вредновање предложеног модела Система плутајућих острва, у Србији до сада нису спроведена.

Током израде ове докторске дисертације кандидаткиња је детаљно прегледала релевантну научну и стручну литературу, о чему сведочи списак од укупно 246 библиографских јединица. Већину референци чине радови публиковани у врхунским и водећим научним часописима, који садрже резултате истраживања признатих истраживача из области дисертације. Број наведених референци такође указује и на ширину научно-истраживачког приступа кандидаткиње, као и на њену темељитост и посвећеност у обради мултидисциплинарног научног проблема дисертације.

Кандидаткиња је током израде докторске дисертације користила научне методе, које у целини одговарају дефинисаним циљевима истраживања и постављеним хипотезама. Како би се извршила анализа различитих узорака коришћене су стандардне методе за анализу физичко-хемијских и микробиолошких особина воде, за одређивање концентрације тешких метала и других елемената у води, за екстракцију тешких метала из биљних ткива, алги и супстрата, за одређивање концентрације метала у биљним ткивима, алгама и супстрату, за одређивање садржаја елемената исхране у асимилационим органима и за испитивање физиолошких показатеља везаних за процес фотосинтезе. За обраду добијених резултата кандидаткиња је користила стандардене статистичке методе односно једнофакторску и двофакторску анализу варијансе (ANOVA), као и анализа главних компоненти (PCA).

Резултати ове докторске дисертације представљају значајан допринос у области заштите вода у најширем смислу, јер се мултидисциплинарним приступом у овим истраживањима отварају могућности за изналажење нових решења у проблематици

заштите вода и унапређења постојећих еколошки прихватљивих и економски исплативих метода, која омогућавају да се поврати и одржи физички, хемијски и биолошки интегритет вода. Такође, резултати ових истраживања могу да послуже и као основа за промену закона и законске регулативе и препознавање Система плутајућих острва као дела стандардне инфраструктуре за третман загађених вода река, језера и бара. Ово указује на чињеницу да добијени резултати немају само научну вредност већ и практичну применљивост.

Кандидаткиња Невена М. Чуле је током израде докторске дисертације достигла и показала високу способност за самосталност и критичко сагледавање литературних извора, поставку проблема, циљева и хипотеза истраживања, одабир одговарајућих метода истраживања, анализу добијених резултата и извођење закључака. Кандидаткиња је проблему приступила темељно и показала је систематичност у истраживању и зрелост при анализи и адекватном повезивању добијених резултата мултидисциплинарног карактера. Током рада на докторској дисертацији кандидаткиња је објавила више научних радова, који су везани за тематику ове докторске дисертације и друге сродне области.

#### **4. ОСТВАРЕН НАУЧНИ ДОПРИНОС**

Докторска дисертација кандидаткиње Невена М. Чуле представља значајан допринос мултидисциплинарном сагледавању проблема загађивања вода и могућности њеног пречишћавања еколошки прихватљивом и економски исплативом технологијом. Како успех ризофилтрације, као једне од метода фиторемедијације, првенствено зависи од успеха одабране биљке да усвоји циљани полутант, спречи његову транслокацију из корена у надземну биомасу и при томе током вегетационог периода оствари значајну биомасу подземних и надземних вегетативних делова резултати ове докторске дисертације имају значајан научни допринос у разумевању процеса ризофилтрације као и одабиру праве биљке за дати случај пречишћавања, која ће бити у могућности да у потпуности испуни свој фиторемедијациони потенцијал. Користећи већ постојећа сазнања ботанике, хортикултуре, пејзажне архитектуре, физиологије, урбане екологије, ремедијације и фиторемедијације загађених земљишта и вода, хидрологије, економије пословања, одрживог коришћења природних ресурса, као и других научних дисциплина природног, биолошког, технолошког, социолошког, друштвеног и другог карактера, ова дисертација их је повезала у једну целину и својим резултатима отворила ново подручје истраживања које ће допринети развоју нових биотехничких система и коришћења природних ресурса како у пракси, тако и у науци у унапређењу метода у економији пословања и очувања животне средине.

Поред научног доприноса резултати добијени кроз мултидисциплинаран приступ истраживањима у овој докторској дисертацији имају и изузетну практичну применљивост. Добијени резултати могу да допринесу унапређењу постојећих алтернативних технологија за пречишћавање отпадних и загађених вода, увођењу алтернативних система за пречишћавање отпадних и загађених вода у праксу, укажу на важност поштовања основних принципа конзервације вода, промовишу рекламацију и поновно коришћење воде и хранљивих материја, као и добијене биомасе у различите сврхе, омогуће ревитализацију загађених вода без коришћења хемијских материја, које могу да угрозе човека и животну средину и стварање редукованог садржаја отпада на крају процеса пречишћавања, омогуће стварање погодних станишта за различити биљни и животињски свет и погодних места за развој туризма, рекреације и одмор становништва и на крају омогуће конструкцију биолошких система за третман

загађених и отпадних вода, који ће се у потпуности уклопити у околини пејзаж и повећати његову естетску и економску вредност.

Кандидаткиња је испунила услов за одбрану докторске дисертације, који представља објављен рад у међународном часопису, категорисаном као **M23** према индикатору компетентности - Dražić, D., Veselinović, M., Batos, B., Rakonjac, Lj., Čule, N., Mitrović, S., Djurovic-Petrovic, M. (2011): Energy plantations of dendroflora species on open-pit coal mines overburden deposits. African Journal of Agricultural Research Vol. 6(14), 3272-3283. Поред овог рада кандидаткиња има и рад објављен у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (**M24**). Научна и стручна јавности је упозната са делом резултата истраживања ове докторске дисертације и досадашњим истраживањима кандидата у области фиторемедијације публикавањем више радова у научним часописима (**M53**) и саопштењима са међународног скупа штампаног у целини (**M33**):

**Nevena Cule**, Ljubinko Jovanovic, Dragana Drazic, Milorad Veselinovic, Suzana Mitrovic, Marija Nesic (2011): Indian shoot (*Canna indica* L.) in phytoremediation of water contaminated with heavy metals. Sustainable Forestry 63-64, 51-64. UDK 502.51:504.5]+502.174:582.548.25 Canna indica=111, ISSN 1821-1046, COBISS SR-ID 157148172. (**M53**)

**Nešić N.**, Obratov-Petković D., Cvejić J. (2004): Purification of Domestic Wastewater By Aquatic Plants. Natura montenegrina 3, 231-238. UDK 628.3.03.033:628.357.4(045)=111. ISSN 1451-5776. (**M53**)

**Nevena Cule**, Ljubinko Jovanovic, Dragana Drazic, Milorad Veselinovic, Suzana Mitrovic, Marija Nesic (2012): Potential Use of *Canna indica* L. for Phytoremediation of Heavy Metals. In: M. Morell (ed.): Proceedings of CONFERENCE on water observation and information system for decision BALWOIS [Electronic source] / International Conference on water, climate and environment, 28 May – 2 June 2012, Ohrid, Republic of Macedonia, 1-8. ISBN 978-608-4510-10-9. (**M33**)

**Nevena Čule**, Ljubinko Jovanović, Dragana Dražić, Milorad Veselinović, Suzana Mitrović (2010): Biological Systems For Wastewater Treatment And Rainwater Harvesting In The Village Zagora, Montenegro. In: Lj. Rakonjac (ed.) Proceedings of International Scientific Conference "Forest Ecosystems and Climate Changes", March 9-10th, 2010, Belgrade, Serbia, Proceeding, 231-236. Volume 1 ISBN 978-86-80439-22-8. (**M33**)

**Nešić, N.**, Jovanović, Lj. (2006): Choosing the right plant for phytoremediation: Water Hyacinth. In: Lj. Tanasijević (ed.) Proceedings of the Scientific Gathering with International Participation „Implementation of Remediation in Environmental Quality Improvement“, Serbian Chamber of Commerce, Belgrade, 27. November 2006., 75-83. ISBN 86-80809-32-2. (**M33**)

Током писања овог извештаја један рад у међународном часопису, категорисан као **M23** се налази у поступку рецензије: **Nevena Cule**, Dragica Vilotic, Marija Nesic, Milorad Veselinovic, Dragana Drazic, Suzana Mitrovic: Phytoremediation potential of *Canna indica* L. in water contaminated with lead. Уведен у евиденцију часописа Fresenius Environmental Bulletin под бројем FEB\_16\_298.

## 5. ЗАКЉУЧАК


На основу увида у приложену документацију и прегледа докторске дисертације кандидаткиње Невена М. Чуле под називом „Фиторемедијација загађених вода биљком *Canna indica* L. и одабраним декоративним макрофитама“ закључујемо да дисертација представља савремено и оригинално научно дело, у којем је свеобухватним истраживањима решен мултидисциплинаран проблем загађивања вода и проналажења еколошки прихватљивог и економски исплативог решења за ревитализацију река, језера и бара. Комисија констатује да дисертација испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме вредновања дисертације на Универзитету у Београду, на Студијама при Универзитету и доноси

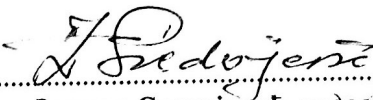
## ПРЕДЛОГ

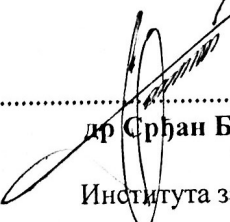
На основу напред изложеног, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију и предлаже Већу за студије при Универзитету, Универзитета у Београду, да докторску дисертацију под називом „Фиторемедијација загађених вода биљком *Canna indica* L. и одабраним декоративним макрофитама“ кандидаткиње Невене Чуле, дипломираног инжењера шумарства за пејзажну архитектуру прихвати, те да се након ове процедуре позове кандидаткиња на усмену одбрану дисертације, пред комисијом у истом саставу.

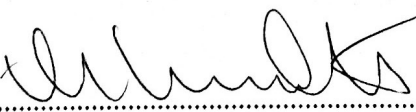
У Београду, 29.06.2016. године

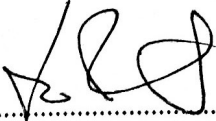
### Чланови комисије:

  
.....  
др Драгица Вилотић, редовни професор  
Универзитета у Београду Шумарског факултета

  
.....  
др Зорица Средојевић, редовни професор  
Универзитета у Београду Пољопривредног  
факултета

  
.....  
др Срђан Бојовић, научни саветник  
Универзитета у Београду  
Института за биолошка истраживања  
„Синиша Станковић“

  
.....  
др Милорад Веселиновић, виши научни  
сарадник  
Института за шумарство у Београду

  
.....  
др Марко Иветић, редовни професор  
Универзитета у Београду Грађевинског  
факултета