

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ

ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

<p>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</p> <p>1. Датум и орган који је именовао комисију Наставно-научно веће Природно-математичког факултета у Новом Саду на 39. седници одржаној 17.09.2015. године именовало је Комисију за оцену докторске дисертације под насловом <i>”Карактеризација биоремедијационих процеса у седиментима загађеним полицикличним ароматичним угљоводоницима и процена биодоступности”</i> кандидата Мсц Јелене Спасојевић.</p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ol style="list-style-type: none">1. др Божо Далмација, редовни професор, Хемија (Хемијска технологија и Заштита околине), 18.03.1996., ПМФ у Новом Саду - председник2. др Срђан Рончевић, ванредни професор, Хемијска технологија, 17.10.2012., ПМФ у Новом Саду - ментор3. др Драган Радновић, редовни професор, Микробиологија, 10.10.2011., ПМФ у Новом Саду - члан4. др Снежана Малетић, доцент, Заштита животне средине, 01.03.2011., ПМФ у Новом Саду - члан5. др Миле Клашња, редовни професор у пензији, Биотехнологија (Технологија воде и Технологија воде и отпадне воде), 16.03.2006., ТФ у Новом Саду – члан
<p>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</p> <ol style="list-style-type: none">1. Име, име једног родитеља, презиме: Јелена, Миломир, Спасојевић2. Датум рођења, општина, држава: 06.01.1987., Нови Сад, Република Србија3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Природно-математички факултет, Мастер академске студије хемије-контрола квалитета и заштита животне средине, Мастер хемичар-контроле квалитета и заштите животне средине4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2011., Докторске академске студије заштите животне средине5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: /6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: /
<p>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</p> <p>„КАРАКТЕРИЗАЦИЈА БИОРЕМЕДИЈАЦИОНИХ ПРОЦЕСА У СЕДИМЕНТИМА ЗАГАЂЕНИМ ПОЛИЦИКЛИЧНИМ АРОМАТИЧНИМ УГЉОВОДОНИЦИМА И ПРОЦЕНА БИОДОСТУПНОСТИ“</p>

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Дисертација припада научној области заштите животне средине. Предмет истраживања ове докторске дисертације су биоремедијациони процеси у седиментима контаминираним одабраним полицикличним ароматичним угљоводоницима, као и процена биодоступности употребом различитих хемијских агенаса.

Дисертација је написана на српском језику (латиница), а извод је дат на српском и енглеском језику. Обим докторске дисертације је 133 стране куцаног текста и садржи 6 поглавља, 29 табела, 55 слика, 1 прилог и 202 библиографске јединице. Чине је следећих седам поглавља: 1. Увод; 2. Општи део; 3. Експериментални део; 4. Резултати и дискусија; 5. Закључак, 6. Литература, као и један прилог.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Наслов. Наслов докторске дисертације је јасно и прецизно формулисан и у складу је са тематиком и садржајем истраживања.

Увод. У овом поглављу је у основним цртама дат приказ проблематике седимента загађеног полицикличним ароматичним угљоводоницима (ПАХ), као и проблем процене биодеградације и бидоступности испитиваних контаминаната. Такође, јасно је дат преглед досадашњих истраживања на ову тему и дефинисан је циљ истраживања.

Општи део. У овом поглављу детаљно су приказани сви теоријски оквири релевантни за проблем истраживања. Садржи преглед значаја седимента, полицикличних ароматичних угљоводоника, законске оквира везане за седимент, преглед биодеградационих путева и механизма разградње, као и преглед биоремедијационих услова који поспешују процес биодеградације. Дати литературни преглед је актуелан и пружа свеобухватан увид у проблем истраживања.

Експериментални део. У овом поглављу је дат детаљан опис експерименталних процедура које су коришћене за реализацију циљева рада. Дат је преглед одабраних ПАХ-ова, седимената и хемијских агенаса за процену биодоступности. Описани су поступци испитивања биодеграбилности, као и употребе хемијских агенаса у кратким хемијским тестовима за процену биодоступности. Посебно је описан посутпак одређивања бројности микроорганизама. Експериментални поступци су приказани јасно и са довољно детаља да омогуће њихово понављање.

Резултати и дискусија. У овом поглављу детаљно су приказани и дискутовани резултати истраживања, који су груписани у 5 целина:

1. Одређивање оптималних услова за експерименте биодеградације полицикличних ароматичних угљоводоника са истим и различитим бројем прстенова;
2. Одређивање утицаја структуре и матрикса на биодеградацију полицикличних ароматичних угљоводоника са истим бројем прстенова;
3. Тестови фитотоксичности (тестови клијања и усвајање полицикличних ароматичних угљоводоника);
4. Испитивање могућности процене потенцијално биодоступне фракције применом различитих хемијских агенаса; и
5. Корелација резултата добијених тестовима биодеградације, клијавости, фитотоксичности и резултата добијених из експеримента процене биодоступности хемијским тестовима.

Редослед потпоглавља, структура изложеног материјала и начин приказа постигнутих научних резултата су сагласни са очекиваним резултатима датим у извештају о оцени подобности теме за израду докторске дисертације.

Закључак. У овом поглављу јасно и сумарно су приказани добијени резултати и закључци који се односе на рад у целини.

Литература. У овом поглављу наведена је коришћена литература која је актуелна и свеобухватна.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

1. **Spasojević, J.**, Maletić, S., Rončević, S., Radnović, D., Čučak, D., Tričković, J., Dalmacija, B. (2015) Using chemical desorption of PAHs from sediment to model biodegradation during bioavailability assessment, *Journal of Hazardous Materials* 283, 60-69. ISSN: 0304-3894 (M21) **IF4,529**
2. Rončević, S., **Spasojević, J.**, Maletić, S., Molnar Jazić, J., Kragulj Isakovski, M., Agbaba, J., Grgić, M., Dalmacija, B. (2015) Assessment of the bioavailability and phytotoxicity of sediment spiked with polycyclic aromatic hydrocarbons, *Environmental Science and Pollution Research* DOI: 10.1007/s11356-015-5566-4 Accepted for publication (M21) **IF 2,828**
3. **Spasojević J.**, Rončević S., Maletić S., Molnar Jazić J., Kragulj Isakovski M., Grgić M., Dalmacija B. (2015) Predicting the PAH Bioavailability of Phenanthrene using 2-hydroxypropyl- β -cyclodextrin, *Proceedings of the IWA 7th Eastern European Young Water Professionals Conference*, Belgrade, 17-19. September 2015, 610-615. (M33)
4. **Спасојевић Ј.**, Рончевић С., Малетић С., Молнар Јазић Ј., Крагуљ Исаковски М., Гргић М., Далмација Б. (2015) Одређивање биодоступности одабраних полицикличних ароматичних угљоводоника у седименту. *Међународни интегрисан скуп „ЗЕМЉИШТЕ 2015“*, ИСБН 978-86-918275-2-6, стр. 117-121, Сремски Карловци, 12. мај 2015 (M33)
5. Čučak, D., Radnović, D., Rončević, S., Maletić, S., **Spasojević, J.**, Dalmacija, B. (2014). Effect of bioaugmentation with strains of *Stenotrophomonas maltophilia* on removal of selected polycyclic aromatic hydrocarbons from polluted sediment. *Conference proceedings of 1st International conference ecological improvement of devastated sites for sustainable development*, ISBN: 978-86-86859-39-6, Beograd, 29-30th september 2014, 117-123 (M33)
6. **Спасојевић Ј.**, Рончевић С., Малетић С., Радновић Д., Тричковић Ј., Молнар Ј., Чучак Д., Далмација Б. (2014) Процена биодоступности кризена и бензо(а)пирена у систему седимент-вода применом ХАД-4 смоле. *Међународни интегрисан скуп „ЗЕМЉИШТЕ 2014“*, ИСБН 978-86-80809-83-0, стр. 71-78, Зрењанин, 12.-14. мај 2014. (M33)
7. **Спасојевић Ј.**, Рончевић С., Малетић С., Далмација Б., Петровић О., Молнар Ј., Крагуљ М., Угарчина Перовић С. (2013) Испитивање утицаја садржаја глине и органске материје у седименту на биодеградабилност кризена у каналу Бездан-Баја, *Зборник радова Међународне конференције «Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад» 10.04.-12.04., Суботица*, стр. 219-223. ИСБН: 978-86-82931-57-7 (M63)
8. **Спасојевић Ј.**, Рончевић С., Малетић С., Далмација Б., Петровић О., Молнар Ј., Крагуљ М., Угарчина Перовић С. (2013) Испитивање фактора биодеградабилности на садржај флуорантена у седименту, *Зборник радова Међународне конференције «Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад» 10.04.-12.04., Суботица*, стр. 224-228. ИСБН: 978-86-82931-57-7 (M63)
9. **Спасојевић Ј.**, Малетић С., Радновић Д., Рончевић С., Чучук Д., Крагуљ М., Гргић М., Далмација Б. (2014) Испитивање фактора биодеградабилности на садржај полицикличних ароматичних угљоводоника у седименту. *Зборник радова Међународне конференције «Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад» 01.04.-03.04., Тара*, стр. 168-172. ИСБН: 978-86-82931-61-4 (M63)
10. **Спасојевић Ј.**, Малетић С., Рончевић С., Тричковић Ј., Крагуљ М., Молнар Ј., Гргић М., Далмација Б. (2014) Процена биодоступности полицикличних ароматичних угљоводоника у седименту применом метил- β -циклодекстрина (MCD) и ХАД-4 смоле. *Зборник радова Међународне конференције «Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад» 01.04.-03.04., Тара*, стр. 173-177. ИСБН: 978-86-82931-61-4 (M63)
11. **Спасојевић Ј.**, Рончевић С., Малетић С., Тричковић Ј., Крагуљ Исаковски М., Гргић М., Далмација Б. (2015) Одређивање биодоступности одабраних полицикличних ароматичних угљоводоника у систему седимент вода. *Зборник радова Међународне конференције «Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад» 21.04.-23.04., Будва*, стр.257-261. ИСБН: 978-86-82931-68-3 (M63)

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Основни циљ овог истраживања била је карактеризација биоремедијационих процеса у седименту контаминираном одабраним полицикличним угљоводоникима, као и процена биодоступности ових полутаната применом кратких хемијских тестова, а затим и корелирање добијених резултата.

Као главни резултати ове докторске дисертације могу се навести следећи закључци:

1. Испитивањем оптималних услова биодеградације полицикличних ароматичних угљоводоника показано је да они значајно зависе од физичко-хемијских особина одабраних ПАХ-ова и особина самог седимента (у погледу садржаја глине и органске материје).
 - a. Оптимални услови деградације ПАХ-ова са истим бројем прстенова (флуорантен, пирен и кризен) постигнути су применом биостимулације и биоаугментације. Од три испитивана ПАХ-а највећи проценат биоразградње је показао флуорантен, који је најрастворљивији, најмањи и има најмању вредност коефицијента октанол-вода.
 - b. Са друге стране, у експерименту са ПАХ-овима са различитим бројем прстенова (фенантрен, пирен, кризен и бензо(а)пирен) најбољи резултати су добијени применом биоаугментације, при чему је највећи степен биодеградације уочена за фенантрен.
 - c. У погледу испитивања утицаја особина седимента на биодеградацију одабраних ПАХ-ова није уочена јасна корелација између садржаја глине у седименту и биодеградације одабраних ПАХ-ова. Ово је највероватије последица присуства различите структуре органске материје присутне у одабраним седиментима.
2. Испитивања везана за тестове клијавости и фитотоксичности на одабраним биљкама (пшеница, бундева, зелена салата и краставац) су показала да у погледу клијавости при испитиваним концентрацијама није дошло до испољавања токсичности и да су сва семена проклијала у периоду од 5-10 дана. Међутим, дошло је до значајног усвајања одабраних једињења од стране одабраних ПАХ-ова, што може представљати потенцијалан проблем с обзиром да се поменуте биљке користе у исхрани човека. Фенантрен је усвојен у највећој количини, који је најрастворљивији, најмањи и има најмању вредност коефицијента октанол-вода.
3. Испитивања биодоступне фракције одабраних ПАХ-ова (фенантрен, пирен, кризен и бензо(а)пирен) применом екстракције са ХАД4, Тепахом, НРСД и МСД показано је да је највећи удео брзодесорбијуће фракције (биодоступне фракције) имао фенантрен, а најмању бензо(а)пирен за све испитиване екстракционе агенсе, што је у складу са њиховим физичко-хемијским особинама. Поређењем удела брзодесорбујуће фракције применом различитих екстракционих агенаса показано је да је удео брзодесорбујуће фракције за све испитиване ПАХ-ове добијен применом ХАД4 смоле, осим у случају бензо(а)пирена где је удео брзодесорбујуће фракције био највећи применом Тепах смоле. У погледу времена потребног за екстракцију односно када су вредности за F_{brzi}/F_{24h} најближе вредности 1, што значи да се након 24 h десорпције уклања фракција органског једињења која се налази у брзодесорбујућем домену органске материје, показано је да је у случају ХАД4 смоле и МСД за све испитиване ПАХ-ове довољно време од 24 h. У случају Тепах смоле за све ПАХ-ове такође је било довољно време од 24 h, осим за бензо(а)пирен где је било потребно време од 48 h. У случају НРСД једино је у случају фенантрена десорбована укупна количина брзодесорбијуће фракције за 144 h, док за друге ПАХ-ове ни након 216 h није десорбована укупна брзодесорбујућа фракција.
4. Корелирањем резултата експреимената десорпције са резултатима експеримента биодеградације показано је да за фенантрен и пирен, боље слагање са резултатима биодеградације добијено применом МСД екстракције, док су боља слагања за бензо(а)пирен добијена употребом ХАД4 смоле. У случају кризена, добро слагање су дала оба хемијска агенса.
5. Корелирањем резултата експреимената десорпције са резултатима експеримента фитотоксичности показано је да у случају ХАД4 смоле добро слагање добијено за пшеницу и бундеву за фенантрен, краставац и салату за кризен. Потенцијална биодоступност је прецењена у случају пирена, док се добро слагање са резултатима може уочити и за бензо(а)пирен када се посматра семе салате. Потенцијална биодоступност применом Тепах смоле се добро слаже са кукурузом, краставцем и салатом за фенантрен и кукурузом и бундевом за пирен и кризен. У случају бензо(а)пирена добра корелација је уочена са семенима пшенице и бундеве.

У овој тези је за процену потенцијалне биодоступне фракције коришћена ХАД4 смола, за коју постоји лимитиран број публикованих радова. Такође, у раду су презентовани и резултати времена које је потребно за одређивање потенцијалне биодоступности ПАХ-ова из седимента за још 4 различита сорбента. Резултати добијени у овом раду допринели су бољем разумевању сорпционих процеса полицикличних ароматичних угљоводоника у седименту. Изведени су и закључци о оптималнијим условима за процес биоремедијације као примењене ремедијационе технике. Резултати би се могли применити код свих седимената загађених полицикличним ароматичним угљоводоницима, код хемијских тестова за брзу процену биодоступности, а потом и код оперативних услова при пројектовању биоремедијације седимената загађених ПАХ-овима.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Кандидат је веома студиозно приступио обради и анализи прикупљених података, које је успешно систематизовао у логичке целине. Резултати истраживања су детаљно дискутовани и поређени са резултатима релевантне научне литературе. Изложени су јасно, добро илустровани помоћу табела и слика, што свакако доприноси лакшем и потпунијем праћењу објашњења и тумачења. На основу резултата и дискусије изведени су јасни и прецизни закључци, који дају одговоре на постављене задатке у овој докторској дисертацији. Стога, комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

- 1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме**
Докторска дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.
- 2. Да ли дисертација садржи све битне елементе**
Докторска дисертација садржи све битне елементе научно-истраживачког рада.
- 3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци**
Испитивање процеса биоремедијације полицикличних ароматичних угљоводоника, као и процена њихове биодоступности из матрикса као што је седимент и/или земљиште су у фокусу интересовања већ неколико деценија. Међутим, о потреби за даљим истраживањима из ове области говори велики број резултата истраживања који се и даље објављује. Ова докторска дисертација представља оригинални научни допринос на пољу заштите животне средине са неколико аспеката: (1) ова истраживања су од значаја и за одређивање оперативних услова при пројектовању биоремедијације седимента загађених ПАХ-овима, где је показано да је пре одабира опције ремедијације потребно извршити испитивање оптималних услова за сваки седимент и за свако једињење с обзиром да они могу значајно да варирају; (2) примена ХАД4 смоле за процену биодоступности према нашим сазнањима до сада није испитивана у ове сврхе за одабрана једињења, генерално за овај сорбент постоји веома ограничен број публикованих истраживања; (3) могућност примене ХАД4 смоле је потврђена поређењем његове ефикасности са Тенах смолом (која је до сада добро испитана у ове сврхе на велики број једињења), микробиолошким тестовима биодеградације одабраних ПАХ-ова и тестовима фитотоксичности одабраних ПАХ-ова на одабраним биљкама; (4) ХАД4 смола је комерцијално доступна, приступачна, лака за примену у тестовима за процену биодоступности, што отвара могућност стандардизовања овог сорбента за методе за процену биодоступности; (5) у тези је испитивана фитотоксичност одабраних ПАХ-ова на биљке које се генерално гаје у великом количинама у свету (пшеница, кукуруз, бундева, зелена салата и краставац), те с обзиром на праксу да се измуљени седименти распрострају по пољопривредном земљишту ова истраживања су од изузетног значаја, а такође и у овом случају потоји ограничени број литературних података везаних за ове тестове на одабраним биљкама. На висок квалитет и оригиналност спроведених истраживања указује и чињеница да је део резултата публикован у два научна рада објављена у два врхунска међународна часописа (M21).

На основу комплетног увида у докторску дисертацију кандидата Јелене Спасојевић, Комисија сматра да дисертација има све елементе оригиналног научног рада, да су у њој презентовани научни резултати који до сада нису били доступни научној литератури, те стога представљају важан и оригиналан допринос области заштите животне средине.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Комисија није уочила недостатке дисертације који би утицали на резултате истраживања и мишљења је да су постављени циљеви у потпуности испуњени.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже да се прихвати позитивна оцена докторске дисертације под насловом *„Карактеризација биоремедијационих процеса у седиментима загађеним полицикличним ароматичним угљоводоницима и процена биодоступности“* и да се кандидату Јелени Спасојевић одобри одбрана.

У Новом Саду, 19.10.2015.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

1. др Божо Далмација, редовни професор Природно-математичког факултета у Новом Саду, председник

2. др Срђан Рончевић, ванредни професор Природно-математичког факултета у Новом Саду, ментор

3. др Драган Радновић, редовни професор Природно-математичког факултета у Новом Саду, члан

4. др Снежана Малетић, доцент Природно-математичког факултета у Новом Саду, члан

5. др Миле Клашња, редовни професор Технолошког факултета у Новом Саду у пензији, члан
