

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тачка 4. Статута Универзитета у Београду (“Гласник Универзитета у Београду” број 162/11, пречишћен текст, 167/12, 172/13 и 178/14), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

Ана (Лазар) Поповић, дипломирани инжењер

КАНДИДАТ: **Ана Поповић** пријавила је докторску дисертацију под називом:
„Синтеза, карактеризација и примена модификованих микросфера на бази лигнина за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воде“
Из научне области: **ИНЖЕЊЕРСТВО ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ**

Универзитет је дана **15.06.2020.** године, својим актом **61206-1706/1-20.** дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„ Синтеза, карактеризација и примена модификованих микросфера на бази лигнина за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воде “

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Ане Поповић** образована је на седници Наставно-научног већа одржаној **05.11.2020.** године Одлуком Факултета под бр. **35/317.** у саставу:

Име и презиме	Звање	Научна област
1.Др Александар Маринковић	Ванредни професор	Органска хемија
2.Др Јелена Русмировић	Научни сарадник	Техничко-технолошке науке
3.Др Злате Величковић	Ванредни професор	Опасне материје
4.Др Владимир Павићевић	Доцент	Инжењерство заштите животне средине

Студент је уписан на докторске студије школске 2013/2014. године.

На захтев студента, у складу са Статутом Универзитета у Београду и Статутом Факултета, декан је донео Решење бр. 20/189 од 29.09.2020. године о продужењу рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја школске 2023/2024. године, с обзиром на то да је школске 2015/2016. године на основу поднетих докумената била у статусу мировања права и обавеза.

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **24.12.2020. године.**

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Петар Ускоковић

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 39. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 24.12.2020. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Александар Маринковић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Јелена Русмировић, научни сарадник Војнотехничког института, др Злате Величковић, ванредни професор, Универзитета одбране у Београду, Војна академија, др Владимир Павићевић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: „**Синтеза, карактеризација и примена модификованих микросфера на бази лигнина за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воде**“ коју је поднела Ана Поповић, дипломирани инжењер и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Ане Поповић, под називом „**Синтеза, карактеризација и примена модификованих микросфера на бази лигнина за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воде**“ Одлуком број: 61206-1706/1-20 од 15.06.2020. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M21:

1. **A. Popović**, J. Rusmirović, Z. Veličković, Z. Radovanović, M. Ristić, V. Pavlović, A. Marinković, Novel amino-functionalized lignin microspheres: High performance biosorbent with enhanced capacity for heavy metal ion removal, Int. J. of Bio. Macrom., Vol. 156C, pp. 1160 - 1173, 2020, (IF = 5,162), ISSN: 1879-0003

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.152>

2. **A. Popović**, J. Rusmirović, Z. Veličković, T. Kovačević, A. Jovanović, I. Cvetić, A. Marinković, Kinetics and column adsorption study of diclofenac and heavy-metal ions removal by amino-functionalized lignin microspheres, J. of Ind. and Eng. Chem., Vol. 93, pp. 302–314, 2021, (IF = 5,278), ISSN: 1226-086X

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.10.006>

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета, менторима, Служби за наставно-студентске послове, Библиотеци и Архиви факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Ане Л. Поповић

Одлуком бр. 35/317 од 05.11.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Ане Л. Поповић под насловом

„Синтеза, карактеризација и примена модификованих микросфера на бази лигнина за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воде“

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

2013/2014. Кандидаткиња Ана Л. Поповић уписала је докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Инжењерство заштите животне средине.

21.02.2020. Кандидаткиња Ана Л. Поповић пријавила је тему докторске дисертације под насловом „Синтеза, карактеризација и примена модификованих микросфера на бази лигнина за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воде“.

05.03.2020. Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донело је Одлуку бр. 35/42 о именовању чланова Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Синтеза, карактеризација и примена модификованих микросфера на бази лигнина за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воде“.

28.05.2020. Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, по Одлуци бр. 35/87, прихватило је Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Синтеза, карактеризација и примена модификованих микросфера на бази лигнина за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воде“, кандидаткиње Ане Л. Поповић, дипл. инж. технологије. За ментора су именовани др Александар Маринковић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Јелена Русмировић, научни сарадник, Војнотехнички институт у Београду.

15.06.2020. На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидаткиње Ане Л. Поповић под насловом „Синтеза, карактеризација и примена модификованих микросфера на бази лигнина за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воде“ (у складу са Одлуком 02 бр. 61206-1706/1-20).

05.11.2020. Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донело је Одлуку бр. 35/317 о именовању чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Ане Л. Поповић, под насловом „Синтеза, карактеризација и примена модификованих микросфера на бази лигнина за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воде“, у саставу: др Александар Маринковић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Јелена Русмировић, научни сарадник, Војнотехнички институт у Београду, др Злате Величковић, ванредни професор Универзитета одбране у Београду, Војна академија, др Владимир Павићевић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Инжењерство заштите животне средине, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Ментори дисертације су др Александар Маринковић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Јелена Русмировић, научни сарадник, Војнотехнички институт, који су на основу објављених публикација и искуства компетентни да руководе израдом ове дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Ана Поповић је рођена 17.11.1977. године у Београду, где је завршила основну школу „Свети Сава“ и XIV Београдску гимназију. Основне академске студије уписала је школске 1996/1997. године на Технолошко-металуршком факултету, Универзитета у Београду. На истом факултету дипломирала је у октобру 2002. године на смеру Инжењерство заштите животне средине, одбраном дипломског рада на тему „Примена мембранских процеса у припреми воде за пиће и пречишћавању отпадних вода“. Ана Поповић је 2003. године завршила једногодишњи постдипломски програм на Алтернативној академској образовној мрежи на смеру: Животна средина – изазов за науку, технологију и друштво. Од новембра 2002. године била је запослена као стручни сарадник у Регионалном центру за животну средину за Централну и Источну Европу, Канцеларија у Србији. Од новембра 2007. године до јула 2017. године радила је као виши стручни сарадник у Регионалном центру за животну средину за Централну и Источну Европу, Канцеларија у Сентандреји, Мађарска, а током 2018. године била је члан глобалног тима за одрживи развој Ball корпорације. Докторске академске студије, студијски програм Инжењерство заштите животне средине, Ана Поповић је уписала школске 2013/2014. год. Стручни испит у Инжењерској комори Србије положила је 2007. године. Члан је Удружења за технологију воде и санитарно инжењерство, затим Српског хемијског друштва, као и Међународног друштва за стручна лица у области одрживог развоја (ИССП). 2013. године била је члан организационог одбора међународне научно-стручне конференције „Извештавање за одрживи развој“. Од 2018. године Ана Поповић је члан организационог одбора међународне конференције Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад који организује Удружење за технологију воде и санитарно инжењерство (УТВСИ), Удружење водовода и канализације Србије и Институт за хемију, технологију и металургију. У фебруару 2020. године пријавила је тему за израду докторске дисертације Научно-наставном већу факултета.

Научноистраживачки рад Ане Л. Поповић припада области инжењерства заштите животне средине (уже области пречишћавање отпадних вода и искоришћење секундарних сировина). У оквиру докторске дисертације, Ана Поповић се бавила проучавањем и оптимизацијом поступка синтезе и функционализације високо ефикасних адсорбената на бази природног полимера, крафт лигнина као ефикасног средства за уклањање јона тешких метала, оксианјона и фармацеутика из отпадних вода. Десет нових адсорпционих материјала у

форми високо порозних микросфера је развијено и окарактерисано у оквиру истраживања, а као подршка пројектима Министарства просвете, науке и технолошког развоја [ОИ 172057 и III, 45019451-03-68/2020-14/200325 и 451-03-68/2020-14/200135] и COST Акције Европске комисије за науку и технологију CA17128, од којих је пет материјала део ове докторске дисертације. Пријава патента је у припреми.

Ана Поповић је, претходно, учествовала у преко десет националних и међународних научно-истраживачких и стручних пројеката, финансираних билатерално или кроз FP6 и FP7 програме Европске комисије (нпр. У правцу нулте емисије отпада из индустријских мрежа), Европски тематски Центар за одрживу потрошњу и производњу (ЕТЦ-СЦП) Европске агенције за животну средину итд.). Ана Л. Поповић је аутор два рада у врхунским међународним часописима категорије M21 (IF>5), аутор и коаутор 23 предавања и саопштења (4 саопштења категорије M31, 10 категорије M33, 3 категорије M34, као и 6 саопштења категорије M63). Учествовала је у изради неколико завршних и дипломских радова.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Ане Л. Поповић под називом „Синтеза, карактеризација и примена модификованих микросфера на бази лигнина за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воде“ написана је на 141 нумерисане стране у оквиру којих се налази 6 поглавља, која обухватају: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултате и дискусију, Закључак и Литературу. На почетку дисертације дат је Резиме на српском и енглеском језику, списак слика (50) и списак табела (35). На крају дисертације дата су 202 литературна навода. Кандидаткиња је уз текст дисертације приложила и биографију са списком објављених радова, додатне изјаве прописане Правилником Универзитета о подношењу докторских дисертација на одобравање, као и Извештај о оригиналности. Написана дисертација, по форми и садржају, задовољава све стандарде Универзитета у Београду за израду докторске дисертације.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Наслов докторске дисертације јасно је формулисан и указује на садржај истраживања, док је у резимеу приказан кратак преглед остварених резултата, као и научни допринос резултата истраживања.

У **Уводу** дисертације образложени су предмет и циљеви истраживања, научна заснованост и допринос докторске дисертације. Истакнуто је порекло и токсичност јона тешких метала и диклофенака у води, значај пречишћавања отпадних вода и развој нових природних адсорпционих материјала пореклом из отпадних сировина. Предмет истраживања ове докторске дисертације односи се на оптимизацију поступка синтезе порозних адсорпционих материјала из природног полимера, крафт лигнина, поступком инверзне суспензионе кополимеризације, модификацију добијеног материјала наночестицама магнетита и манган(IV)-оксида и испитивање могућности примене модификованих лигнин микросфера за ефикасно уклањање јона тешких метала, Ni^{2+} и Cd^{2+} , оксианјона, Cr(VI) и As(V), и диклофенака из воде процесом адсорпције.

У **Теоријском делу** дисертације обрађено је порекло и токсичност тешких метала и диклофенака у води, порекло и добијање лигнина, приказана је структура, физичко-хемијска својстава и примена лигнина у пречишћавању воде, дат је опис метода синтеза микросфера на бази лигнина и аминокиселинско-модификације, као и других модификација микросфера на бази

лигнина наночестицама оксида гвожђа (магнетита) и манган(IV)-оксида. Приказан је адсорпциони поступак за пречишћавање отпадних вода, са посебним освртом на уклањање тешких метала и фармацеутика. Приказан је детаљан литературни преглед досадашњих истраживања посвећених могућностима примене биоадсорпционих материјалана бази лигнина у пречишћавању вода, као и начина за уклањање одабраних јона тешких метала и диклофенака из воде. Дате су теоријске основе процеса адсорпције, адсорпционих изотерми, кинетике и термодинамике. Укратко су описане коришћене методе за карактеризацију адсорбената. За оптимизацију синтезе адсорбената и адсорпционих експеримената коришћена је метода одзивних површина. Такође, представљени су различити модели за адсорпцију у шаржном систему и колони, као и статистички критеријуми за оцену успешности моделовања процеса адсорпције.

У **Експерименталном делу** наведени су материјали и реагенси који су коришћени за синтезу, модификацију и оптимизацију синтетисаних адсорбената, за синтезу наночестица, као и за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака током адсорпционих експеримената у оквиру дисертације. У првом делу представљена је синтеза, аминок-модификација лигнин микросфера и оптимизација, као и адсорпциони експерименти за уклањање јона тешких метала и диклофенака из воде, и одабрани су материјали за допунску модификацију. У другом делу овог поглавља описани су експериментални поступци даље функционализације аминок-модификованих лигнин микросфера са наночестицама магнетита и манган(IV)-оксида. Синтеза аминок-модификованих наночестица је такође приказана. Описани су услови адсорпционих експеримената у зависности од масе адсорбента, температуре, времена и рН вредности. Приказана је оптимизација припреме адсорбената и адсорпционих експеримената, као и могућности десорпције и поновне употребе синтетисаних и искоришћених адсорбената у додатним циклусима адсорпције. Описани су поступци, наведене методе и инструменталне технике примењене при карактеризацији узорака пре и након процеса адсорпције.

У поглављу **Резултати и дискусија** анализирани су добијени резултати. Приказани су резултати синтезе, извршена је модификација поли(етилен-имин)ом и вариран је масени проценат натријум-алгината у циљу оптимизације облика и величине добијених микросфера (1,0, 5,0 и 10,0 мас.%). Добијени материјали (**А-ЛМС_1**, **А-ЛМС_5** и **А-ЛМС_10**) одабрани су за даљу модификацију и анализу. Приказан је поступак оптимизације добијања адсорбената применом методе одзивних површина. Потврђена је могућност примене добијених материјала у процесима адсорпције јона тешких метала, Ni^{2+} и Cd^{2+} , оксианјона, Cr(VI) и As(V) , и диклофенака. Одређене су и протумачене адсорпционе изотерме, кинетички и термодинамички параметри процеса и извршено је моделовање процеса адсорпције у шаржном сиситему и у колони. У другом делу приказани су резултати извршене модификација ЛМС адсорбента наночестицама оксида гвожђа (магнетит) и манган(IV)-оксида што је довело до унапређења ефикасности уклањања оксианјона тешких метала из отпадне воде и анализирани су карактеристике и примена добијених материјала **А-ЛМС_Fe₃O₄** и **А-ЛМС_MnO₂**. Представљени су резултати статистичке анализе коришћењем статистичке методе анализе варијансе (АНОВА). Описани су резултати карактеризације адсорбената пре и након процеса адсорпције. Приказани су резултати испитивања у колони и моделовања процеса, што је показало висок степен слагања и потврдили могућност шире употребе ЛМС адсорбената. Описана је могућност ресорпције и поновне употребе адсорбента у више циклуса.

У поглављу **Закључак** приказани су најважнији закључци изведени на основу испитивања представљених у претходним поглављима који одговарају постављеним циљевима докторске дисертације.

У делу **Литература** наведене су све референце цитиране у докторској дисертацији као и референце кандидаткиње Ане Л. Поповић које су проистекле из ове дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација Ане Л. Поповић има актуелну и савремену тему истраживања због примене отпадне биомасе из индустрије прераде папира за синтезу нових адсорпционих материјала природног порекла за пречишћавање отпадних вода. Током израде дисертације коришћене су различите модификације крафт лигнина (амино-модификација, затим модификација наночестицама магнетита и манган(IV)-оксида). Крафт лигнин представља јефтину базну сировину за уклањање јона тешких метала, Ni^{2+} и Cd^{2+} , оксианјона, Cr(VI) и As(V) , и диклофенака из воде применом адсорпције.

Синтетисано је пет нових адсорбената на бази крафт лигнина: **А-ЛМС_1**, **А-ЛМС_5**, **А-ЛМС_10**, **А-ЛМС_Fe₃O₄** и **А-ЛМС_MnO₂**, те се допринос ове дисертације односи се на добијање нових адсорбената на бази отпадног материјала из индустрије папира и картона (крафт лигнина) који се ефикасно могу користити за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воденог раствора. Хемијским модификацијама крафт лигнина побољшана су својства лигина као адсорбента.

Дефинисани су оптимални услови процеса адсорпције у шаржном систему, као и у колони, уз предвиђање ефикасности уклањања јона тешких метала, оксианјона и диклофенака. Објашњени су утицаји различитих услова процеса на ефикасност адсорпције (маса адсорбента, температура, време контакта, рН вредност). Урађена је детаљна карактеризација добијених адсорбената. Потврђена је могућност десорпције и поновне употребе искоришћених адсорбената у новим циклусима адсорпције.

Испитана је примена амино-модификованог ЛМС адсорбента у колони на лабораторијском нивоу, и добијен је добар степен усаглашености експерименталних резултата са резултатима моделовања.

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације истовремено решавају проблематику одлагања једног дела отпадних индустријских струја из производње папира и картона (порекло крафт лигнина) који има употребну вредност и дају допринос синтези нових материјала за пречишћавање отпадних вода економски исплативим биоадсорбентима. Примењени приступ истраживању поштује глобалне принципе одрживог развоја и циркуларне економије.

У литератури до сада није примењена метода суспензионе кополимеризације крафт лигнина са разгранатим поли(етилен имином) помоћу епихлор-хидрина, као ни додатна модификација добијеног адсорбента са оксидима гвожђа и манган(IV)-оксида, и није вршено уклањање јона Ni^{2+} и Cd^{2+} , оксианјона Cr(VI) и As(V) , и диклофенака, са добијеним адсорбентима, као и испитивање практичне примене адсорбената у колони. На основу прегледа литературе може се закључити да су истраживања у оквиру ове дисертације у складу са светским истраживањима, што указује на значај и савременост проучавање проблематике. Приказани резултати истраживања дају значајан и оригиналан допринос примени модификованог биоадсорбента на бази лигнина пореклом из отпадних сировина за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воде.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији цитирано је 202 литературна навода, од чега је највећи број међународних радова објављених у последњих пет година. Ово потврђује изузетну актуелност изучавање проблематике у свету. У списку коришћене литературе налазе се и радови кандидаткиње који су објављени као део истраживања ове докторске дисертације, те се може закључити да кандидаткиња прати и познаје предметне области и објављене резултате у свету.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

При изради дисертације извршена је карактеризација основних и модификованих адсорпционих материјала применом следећих инструменталних техника:

- одређивање специфичне површине методом адсорпције гаса (енг. *Brunauer–Emmett–Teller, BET*),
- тачка нултог наелектрисања (енг. *The Point of Zero Charge, pH_{pzc}*),
- рендгенска дифракциона анализа (енг. *X-Ray Diffraction, XRD*),
- рендгенска фотоелектронска спектроскопија (енгл. *X-ray photoelectron spectroscopy, XPS*),
- скенирајућа електронска микроскопија (енг. *Scanning Electron Microscopy, SEM*),
- ултраљубичаста и видљива спектрофотометрија (енгл. *UV/Vis spectrophotometry*),
- термогравиметријска анализа (енгл. *Thermogravimetric analysis, TGA*),
- инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом (енг. *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, FTIR*) и
- трансмисиона електронска микроскопија (енг. *Transmission electron microscopy, TEM*).

Концентрација јона тешких метала, оксианјона и диклофенака одређена је применом масене спектрометрије са индуктивно спрегнутом плазмом (енг. *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, ICP-MS*). Садржај аминок-група одређен је применом волуметријских метода.

За моделовање процеса адсорпције коришћен је програмски пакет Visual MINTEQ. Употребом софтвера Design-Expert, Software Version 9 (Stat-Ease, Inc. 2021 E. Hennepin Ave. Suite 480 Minneapolis, USA) извршено је планирање експеримената у циљу оптимизације синтезе адсорбента, а графички приказ предикције резултата адсорпције применом статистичке методе одзивних површина (енг. *Response Surface Methodology, RSM*). Статистичка метода анализе варијансе (АНОВА) из овог програмског пакета коришћена је за анализу добијених резултата и тестирање слагања теоријских и експерименталних резултата.

Примењене методе адекватне су за област истраживања која је обухваћена докторском дисертацијом.

3.4. Применљивост остварених резултата

Оригинални резултати који су остварени при изради ове дисертације пружају могућност примене аминок-модификованог крафт лигнина као природног адсорбента за успешно уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воде. Примењеним додатним модификацијама микросфера на бази лигнина са наночестицама магнетита и манган(IV)-оксида додатно су побољшана адсорпциона својства материјала за уклањање оксианјона. Такође, након процеса адсорпције искоришћени адсорбент може се поново користити у неколико циклуса адсорпције. На основу резултата испитивања процеса адсорпције у шаржном систему и колони, уз подршку моделовања, сагледана је могућност потенцијалне примене адсорбената у реалним условима. За коришћене адсорбенте добијено је добро слагање између експерименталних података и модела (програм MINTEQ), што омогућава прецизније предвиђање адсорпционог капацитета материјала у реалним условима.

Резултати добијени у истраживањима ове докторске дисертације потврђени су објављивањем два рада у врхунским међународним часописима (M21) са импакт факторима већим од 5, као и представљањем резултата на међународним и националним конференцијама.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу досадашњег рада и постигнутих резултата током докторских студија и у оквиру научноистраживачког рада у периоду од 2013. године до данас, као и на основу поднете докторске дисертације, Ана Л. Поповић, дипл. инж. технологије показала је савесност, истрајност, стручност и самосталност у претраживању научне литературе, планирању и реализацији истраживања. Објављени радови из докторске дисертације указују на квалитет научноистраживачког рада и потврђују способност и подобност кандидаткиње. У току досадашњег рада, Ана Л. Поповић показала је све потребне квалитете за самостално бављење научноистраживачким радом.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси остварених резултата у оквиру ове докторске дисертације огледају се у следећем:

- Модификована је и оптимизована метода синтезе адсорпционог материјала из природног полимера (лигнина) у облику високо порозних микросфера,
- Применом наедене методе синтезе добија се аминокислотно функционализовани материјали А-ЛМС_1, А-ЛМС_5, А-ЛМС_10 са унапређеним адсорпционим својствима за ефикасно уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из водених раствора,
- Додатан модификација наночестицама магнетита и манган(IV)-оксида донела је додатно унапређење адсорпционих својстава,
- Карактерисани су полазни и модификовани материјали пре и после процеса адсорпције јона никла, кадмијума, оксианјона хрома, арсена и диклофенака из воде,
- Извршена је оптимизација модификације и синтезе материјала, као и адсорпционих процеса,
- Дефинисани су и објашњени утицаји параметара процеса (маса адсорбента, температура, време контакта, рН вредност) на капацитет адсорпције, уз предвиђање резултата (моделовање),
- Одређене су адсорпционе изотерме, кинетички и термодинамички параметри,
- Тумачени су механизми адсорпционих процеса, као и утицаји природе материјала и експерименталних услова на ефикасност уклањања јона тешких метала, оксианјона и диклофенака,
- Извршено је моделовање процеса адсорпције у шаржном систему и у колони,
- Испитивање адсорпције у колони и моделовање процеса су показали висок степен слагања резултата и потврдили могућност употребе ЛМС адсорбента у индустријским условима,
- Успешна примена добијеног биоадсорпционог материјала пореклом из отпадних сировина за пречишћавање вода богатим јонима, оксианјонима тешких метала и диклофенаком, директно доприноси заштити животне средине и очувању природних ресурса.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације пружила су драгоцене резултате и информације омогућим, успешним модификацијама крафт лигнина (који је пореклом из отпадних сировина), као и развоју и добијању нових материјала за ефикасну адсорпцију. Дефинисани су услови адсорпционих процеса и извршено је моделовање шаржних процеса и процеса у колони. Постигнута је добра корелација експерименталних резултата и математичког моделовања у шаржном систему и у колони. Резултати су показали успешну

примену добијених адсорбената за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из водених раствора. Добијање економски исплативог, еколошки прихватљивог биоадсорбента, природног полимера из отпадних сировина, у складу је са начелима одрживог развоја и циркуларне економије и представља врло корисно решење за пречишћавање воде.

4.3. Верификација научних доприноса

Из ове докторске дисертације проистекла су два рада у врхунским међународним часописима категорије M21, четири саопштења са међународног скупа штампана у целини (M33), два саопштења са међународног скупа штампана у изводу (M34) и једно саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63). Ана Л. Поповић до сада је објавила, као аутор и коаутор, следеће радове, који укључују и резултате истраживања у оквиру докторске дисертације:

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. **A. Popović**, J. Rusmirović, Z. Veličković, Z. Radovanović, M. Ristić, V. Pavlović, A. Marinković, Novel amino-functionalized lignin microspheres: High performance biosorbent with enhanced capacity for heavy metal ion removal, Int. J. of Bio. Macrom., Vol. 156C, pp. 1160 - 1173, 2020, (IF = 5,162), ISSN: 1879-0003

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.152>

2. **A. Popović**, J. Rusmirović, Z. Veličković, T. Kovačević, A. Jovanović, I. Cvetić, A. Marinković, Kinetics and column adsorption study of diclofenac and heavy-metal ions removal by amino-functionalized lignin microspheres, J. of Ind. and Eng. Chem., Vol. 93, pp. 302–314, 2021, (IF = 5,278), ISSN: 1226-086X

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.10.006>

Предавање по позиву са међународног скупа штампано у целини (M31)

1. R. Laušević, **A. Popović**, Setting up an Integrated Industrial Emissions Reporting Tool: A Case Study from Serbia, South Eastern Europe Environment Outlook 2013, The Regional Environmental Center, Sentendre, Hungary, 2013.

2. M. Živković, **A. Popović**, V. Pavićević, U pravcu uspostavljanja centra za upravljanje zaštitom životne sredine u Republici Srbiji, Otpadne vode, komunalni cvrsti i opasan otpad, Čačak, Srbija, 2012, ISBN 978-86-82931-49-2.

3. **A. Popović**, Access to Towards Zero Waste in Industrial Networks (ZeroWIN) tools and Corresponding Membership, International Conference: Going Green - CARE INNOVATION 2010, Vienna, Austria, 2010.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. **A. Popović**, Z. Veličković, Z. Radovanović, M. Milošević, A. Marinković, T. Khaled, J. Rusmirović, Lignin microspheres powered with nano-magnetite – novel adsorbent to support mobile wastewater treatment units, Zbornik radova, 9th International Scientific Conference on Defensive Technologies (OTEH 2020), Belgrade, 2020, ISBN 978-86-81123-83-6, pp. 395-400.

2. **A. Popović**, J. Rusmirović, Z. Radovanović, M. Milošević, Z. Veličković, A. Marinković, Inovativni postupak sinteze visoko efikasnog adsorpcionog materijala za uklanjanje kadmijum (II) jona, 32. Međunarodni kongres o procesnom inženjerstvu Procesing, Beograd, 2019, pp. 195–201.

3. **A. Popović**, J. Rusmirović, S. Lević, A. Bozić, T. Kovačević, Amino-funkcionalizovane lignin mikrosfere: sinteza i karakterizacija visoko efikasnog adsorbenta za uklanjanje nikl(II) jona, 31. Međunarodni kongres o procesnom inženjerstvu Procesing, Beograd, 2018, pp. 235–239.

4. **A. Popović**, A. Marinković, J. Rusmirović, V. Pavicević, B. Janković, Recycling of PVC with plasticizers obtained by chemical recycling from PET, Medjunarodni simpozijum Recycling Technologies and Sustainable Development, Bor, 2017, ISBN 978-86-6305-069-3, pp. 116-120.
5. **A. Popović**, A. Marinković, J. Rusmirović, V. Pavicević, Recycling of PVC with plasticizers obtained from waste PET for regranulate, Medjunarodna konferencija: Otpadne vode, komunalni cvrsti i opasan otpad, Pirot, 2017, ISBN 978-86-82931-80-5
6. V. Pavicević, D. Radosavljević, **A. Popović**, M. Stamenović, V. Alivojvodić, A. Bozić, Technical Criteria for Infrastructure Projects – Conditions for sustainable development, XII Medjunarodni simpozijum Recycling Technologies and Sustainable Development, Bor, 2017, ISBN 978-86-6305-069-3, pp. 162-168.
7. R. Laušević, J. Ignjatović, S. Susić, M. Bartula, **A. Popović**, I. Koszta, Učešće zainteresovanih strana u upravljanju otpadnim vodama, Medjunarodna konferencija: Otpadne vode, komunalni cvrsti i opasan otpad, Budva, Montenegro, 2015, ISBN 978-86-82931-71-5.
8. R. Laušević, **A. Popović**, V. Pavicević, Praćenje tokova otpada u Srbiji, Medjunarodna konferencija: Otpadne vode, komunalni cvrsti i opasan otpad, Zlatibor, 2014, ISBN 978-86-82931-61-4.
9. R. Laušević, A. Simić, **A. Popović**, Environmental Management and Information System – TEAMS PCS in Kolubara, Serbia, 6th International Conference on Sustainable Energy and Environmental Protection - SEEP, Maribor, Slovenia. 2013, pp. 206-211.
10. T. Aamodt, R. Laušević, S. Berge, **A. Popović**, B. Kotanjac, Environmental management and information system - TEAMS in Serbia, Int. Conf. Reporting for Sustainability, Bečići, 2013, pp. 105-112, ISBN 978-86-7550-070-4.
11. J. Szlezak, P. Szuppinger, **A. Popović**, The status and review of national Green Public Procurement (GPP) action plans in the new EU Member States of the Central and Eastern European (CEE) region and barriers to the use of the EU Ecolabel in GPP, Proceedings of the 2008 Sustainable Consumption Conference, Budapest, Hungary, 2008.

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

1. T. Stanišić, **A. Popović**, J. Rusmirović, M. Đolić, M. Ristić, A. Perić-Grujić, A. Marinković, Lignin microspheres as a nature-based material for effective nickel(II) and cadmium(II) ions removal, European Geosciences Union (EGU) Konferencija, ERE – Energy, Resources and the Environment, Beč, Austrija, 2020, *status: prihvaćeno*.
2. **A. Popović**, J. Rusmirović, G. Koumba, T. Stevanović, D. Daničić, A. Marinković, Application of hybrid magnetic lignin microspheres for the removal of nickel(II) and cadmium(II) ions, MATERIAUX Konferencija, Strazburg, 2018.
3. R. Laušević, T. Aamodt, **A. Popović**, S. Berge, B. Kotanjac, TEAMS SR Platform for Nanoscale Monitoring Data Management and Reporting, NANOSMAT Conference, Granada, Spain. 2013, pp. 793-794.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63)

1. **Popović A.**, Rusmirović J., Đolić M., Velicković Z., Marinković A., Pavicević V., Nova modifikovana sinteza bio-adsorbensa: poroznih mikrosfera amino-modifikovanog lignina, Zbornik radova sa Konferencije Otpadne vode, komunalni čvrsti i opasan otpad, Kragujevac, Srbija, 2019, pp. 114 – 118, ISBN 978-86-82931-86-7
2. **Popović A.**, Marinković A., Rusmirović J., Pavicević V., Hemijska reciklaža otpadnog PET-a u sintezi plastifikatora i dispergatora iz glikolizata, Zbornik radova sa Konferencije Otpadne vode, komunalni čvrsti i opasan otpad, Brzeće, Srbija, 2018, ISBN 978-86-82931-83-6
3. Laušević R., **Popović A.**, Bartula M., Pavicević V., Prikaz primenjene metodologije lokalnog akcionog planiranja u oblasti vodne bezbednosti, Zbornik radova sa Konferencije Otpadne vode, komunalni čvrsti i opasan otpad, Brzeće, Srbija, 2018, ISBN 978-86-82931-83-6
4. **Popović A.**, Laušević R., Pavicević V., Ključni koraci i indikatori u lokalnom planiranju u cilju vodne bezbednosti (Studija slučaja iz regiona Bliskog istoka i severne Afrike), Politehnika 2017, Beograd, Srbija, 2017, pp. 68-73, ISBN 978-86-7498-074-3

5. Pavićević V., **Popović A.**, Kukrić N., Reciklaža i ponovna upotreba ambalažnog otpada u Srbiji u periodu 2010–2016, Zbornik radova, Politehnika 2017, Beograd, Srbija, 2017, pp. 193-198, ISBN 978-86-7498-074-3

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега наведеног, Комисија сматра да докторска дисертација кандидаткиње **Ане Л. Поповић**, дипломираног инжењера технологије, под насловом „**Синтеза, карактеризација и примена модификованих микросфера на бази лигнина за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воде**“ представља значајан и оригиналан научни допринос са практичном применом, што је и потврђено објављивањем два рада у врхунским међународним часописима, као и саопштењима на међународним скуповима. Предмет и циљеви који су постављени јасно су наведени и у потпуности остварени. Комисија је мишљења да ова докторска дисертација испуњава све захтеване критеријуме, као и да је кандидаткиња током израде дисертације показала научноистраживачку способност у свим фазама израде дисертације.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих и приказаних резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да прихвати овај реферат, да се докторска дисертација под називом „**Синтеза, карактеризација и примена модификованих микросфера на бази лигнина за уклањање јона тешких метала, оксианјона и диклофенака из воде**“ кандидаткиње **Ане Л. Поповић** изложи на увид јавности и Реферат упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, у складу са законским одредбама Универзитета.

Београд, 10.12.2020. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Александар Маринковић, ванредни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
др Јелена Русмировић, научни сарадник
Војнотехнички институт

.....
др Злате Величковић, ванредни професор
Универзитета одбране у Београду, Војна академија

.....
др Владимир Павићевић, доцент
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет