

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ**

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Јелене Павловић, мастер инжењера заштите животне средине

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду бр. 35/90 од 28. маја 2020. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Јелене Павловић, мастер инжењера заштите животне средине, под насловим

**„Синтеза и карактеризација нових адсорбенаса и катализатора на бази природног
зеолита применљивих у процесу коришћења биомасе“**

**„Synthesis and characterization of novel adsorbents and catalysts based on natural
zeolite, applicable in use of biomass“**

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- Школске 2012/13. год. - Кандидат Јелена Павловић, мастер инжењер заштите животне средине, уписала је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Хемија, под менторством проф. др Невенке Рајић, редовног професора.
- 26. 10. 2017. год. - Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета бр. 35/385 именована је Комисија за оцену подобности теме и кандидата Јелене Павловић, мастер инжењера заштите животне средине, под називом „Синтеза и карактеризација нових адсорбенаса и катализатора на бази природног зеолита применљивих у процесу коришћења биомасе (Synthesis and characterization of novel adsorbents and catalysts based on natural zeolite, applicable in use of biomass)“.

- 22. 02. 2018. год. - Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета бр. 35/37 прихваћен је Реферат комисије за оцену подобности теме и кандидата Јелене Павловић, за израду докторске дисертације под називом „Синтеза и карактеризација нових адсорбенаса и катализатора на бази природног зеолита применљивих у процесу коришћења биомасе (Synthesis and characterization of novel adsorbents and catalysts based on natural zeolite, applicable in use of biomass)“.
- 29. 03. 2018. год. - Одлуком Већа научних области природних наука Универзитета у Београду бр. 61206-211/4-18 МЦ дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Јелене Павловић под називом „Синтеза и карактеризација нових адсорбенаса и катализатора на бази природног зеолита применљивих у процесу коришћења биомасе (Synthesis and characterization of novel adsorbents and catalysts based on natural zeolite, applicable in use of biomass)“.
- 28. маја 2020. год. – Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета бр. 35/90 именована је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације Јелене Павловић, под називом „Синтеза и карактеризација нових адсорбенаса и катализатора на бази природног зеолита применљивих у процесу коришћења биомасе (Synthesis and characterization of novel adsorbents and catalysts based on natural zeolite, applicable in use of biomass)“.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Хемијске науке и ужој научној области Неорганска хемија за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментор, проф. др Невенка Рајић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, на основу објављених радова и искустава компетентна је да руководи израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Јелена Павловић је рођена 9.10.1988. у Брусу где је завршила основну школу. Средњу школу завршила је у Крушевцу 2007. године. Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду, студијски програм Хемијска технологија, модул Инжењерство заштите животне средине, уписала је школске 2007/2008. године. Дипломирала је 2011. године са темом „Припрема узорка за анализу трагова пестицида у води методом екстракције на чврстој фази на карбонизованим влакнима конопље” (ментор: проф. др Татјана Васиљевић), а исте године уписала је мастер студије, студијски програм Инжењерство заштите животне средине. У септембру 2012. године одбранила је мастер рад са темом „Испитивање могућности везивања Se(IV) и Se(VI) из водених раствора за природни зеолит” (ментор: проф. др Невенка Рајић). Докторске студије, студијски програм Хемија, уписала је школске 2012/2013. на Технолошко-металуршком факултету под менторством проф. др Невенке Рајић.

Јелена Павловић, мастер инжењер заштите животне средине, је од маја до децембра 2012. године била укључена у реализацију иновационог пројекта „Уклањање амонијака из

подземних вода и омекшавање сирове воде богате магнезијумом помоћу природног зеолита” (руководилац проф. др Невенка Рајић; ев. бр. 451-03-00605/2012-16/143). Од децембра 2012. године запослена је у Иновационом центру Технолошко-металуршког факултета као истраживач приправник, а од маја 2015. као истраживач-сарадник, у оквиру пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја „Порозни материјали на бази оксида у заштити животне средине од генотоксичних супстанци”. Школске 2012/2013. године била је ангажована на извођењу вежби из предмета Хемија животне средине на мастер студијама, а од школске 2013/2014. године ангажована је на извођењу вежби из предмета Општа хемија I и Општа хемија II за студенте основних студија. Учествовала је у реализацији пројекта који је финансиран од стране Норвешке владе „The use of natural zeolite (clinoptilolite) for treatment of farm slurry and as a fertilizer carrier” у оквиру кога је боравила 2014. године (3 месеца) и 2015. године (3 месеца) на Факултету екологије и технологије у Ås-у, Норвешка (руководилац пројекта на Технолошко-металуршком факултету проф. др Невенка Рајић). У оквиру СОСТ-пројекта FP1 1306 „Valorization of lignocellulosic biomass side streams for sustainable production of chemicals, materials & fuels using low environmental impact technologies” (STSM менаџер проф. др Невенка Рајић) боравила је месец дана на Институту за органску хемију са центром за фитохемију у Софији, као и месец дана на Националном хемијском институту у Љубљани. Била је ангажована и на пројекту билатералне сарадње између Републике Србије и Републике Словачке „Zeolite-based adsorbents for environmental remediation” (2017-2018. године под руководством проф. др Невенке Рајић).

Област научноистраживачког рада Јелене Павловић обухвата синтезу, модификацију, карактеризацију и примену зеолита у адсорпцији и катализи.

Јелена Павловић је коаутор једног поглавља у монографској студији међународног значаја, аутор и коаутор је шест штампаних радова у научним часописима међународног значаја, једног рада у националном часопису међународног значаја и два рада у часопису националног значаја. Одржала је једно предавање по позиву на скупу међународног значаја. Аутор је или коаутор једанаест саопштења на конференцијама међународног значаја штампаних у целини, једног саопштења са међународног скупа штампано у изводу, два саопштења са скупа националног значаја штампано у целини и једног саопштења са скупа националног значаја штампано у изводу.

Из области истраживања из које је тема докторске дисертације до сада је објављено једно поглавље у монографији међународног значаја (M14), један рад у врхунском међународном часопису (M21), два рада у часопису међународног значаја (M23), један рад у националном часопису међународног значаја (M24) и један рад у часопису националног значаја (M52).

Јелена Павловић је члан Зеолитског друштва Србије од оснивања. Поседује активно знање енглеског језика.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Јелене Павловић, мастер инжењера заштите животне средине, под називом „Синтеза и карактеризација нових адсорбенса и катализатора на бази природног зеолита применљивих у процесу коришћења биомасе (Synthesis and

characterization of novel adsorbents and catalysts based on natural zeolite, applicable in use of biomass)“ написана је на енглеском језику и садржи 145 стране А4 формата, 52 слике, 16 табела и 251 литературних навода.

Докторска дисертација садржи следећа поглавља: **Сажетак** (на енглеском и српском језику), **Увод**, **Теоријски део**, **Експериментални део**, **Резултати и дискусија**, **Закључак** и **Литература**. Кандидаткиња је уз текст дисертације приложила Биографију и три изјаве (Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада као и Изјаву о коришћењу) прописане правилима Универзитета о подношењу докторских дисертација на одобравање. По својој форми и садржају, текст докторске дисертације задовољава све стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу **Увод**, наведени су циљеви рада и предмет истраживања докторске дисертације. Јасно и концизно приказан је значај синтезе и испитивања нових врста адсорбенса и катализатора полазећи од природних сировина, пре свега природних зеолита.

У **Теоријском делу** детаљно су описана структура и својства природног зеолита клиноптилолита који је коришћен током израде дисертације. Приказана су карактеристична јоно-измењивачка, адсорпциона и каталитичка својства овог најраспрострањенијег природног зеолита. Дат је критички преглед релевантне литературе са посебним освртом на примену клиноптилолита у припреми нових врста катализатора и адсорбенса. Детаљно су приказани значај и предности примене клиноптилолита у процесима адсорпције и катализе. Такође, приказни су и најчешће коришћени поступци за модификацију површине клиноптилолита у циљу повећања ефикасности адсорпције. У овом делу истакнут је значај примене клиноптилолита за везивање нитрат- и фосфат-јона из водених медијума као и примена клиноптилолита обогаћеног овим јонима као суплемента за различите врсте земљишта (побољшање физичко-хемијских својстава земљишта, ремедијација земљишта загађених тешким металима, задржавање биљних нутријената у земљишту). Поред тога, детаљно су описана каталитичка својства клиноптилолита и приказ поступака који се користе у модификацији клиноптилолита у циљу повећања каталитичке активности. Затим су приказана основна структурна својства биомасе. С обзиром да је биомаса распрострањен, обновљив и недовољно искоришћен извор енергије, указано је на значај њеног коришћења. Посебна пажња посвећена је левулинској киселини која се добија из биомасе и представља полазну сировину у синтези бројних индустријски значајних једињења (растварача, полимера, фармацеутских компонената, биогорива и сл.). Описани су поступци синтезе левулинске киселине из биомасе и дат је кратак приказ примене ове киселине. У овом делу истакнут је значај естара левулинске киселине и актуелност добијања еколошки прихватљивих катализатора у процесу естерификације. С тим у вези, дат је литературни приказ и критички осврт на нове врсте катализатора који су испитани у синтези различитих естара левулинске киселине.

У **Експерименталном делу** описани су полазни материјали и реагенси који су коришћени током израде тезе. Дат је детаљан опис свих поступака који су примењени за модификацију клиноптилолита различитим оксидима метала. Такође, приказане су и

методе карактеризације којима су испитана физичко-хемијска својства добијених производа.

Затим су детаљно приказани експерименти адсорпције нитрат- и фосфат-јона из водених раствора при различитим условима (маса адсорбенса, почетна концентрација јона, температура, време контакта) који су изведени у стационарним и динамичким системима. Приказано је и испитивање кинетике излуживања нитрата, јона калијума и фосфата из различитих врста земљишта којима је као суплемент додат клиноптилолит обогаћен овим јонима. Приказани су кинетички модели који су коришћени у обради добијених експерименталних података као и адсорпционе изотерме на основу којих су одређени термодинамичких параметари адсорпције испитиваних јона.

Детаљно су приказани и експерименти у којима је испитана каталитичка активност и ефикасност катализатора добијених полазећи од клиноптилолита у естерификацији левулинске киселине у октил- и етил-левулинат.

Наведени су и стандардни софтверски пакети који су коришћени за обраду података и графичко приказивање резултата.

Поглавље **Резултати и дискусија** садржи приказ и анализу добијених резултата, и критичко поређење са релевантним подацима из литературе.

У првом делу приказани су и анализирани резултати карактеризације зеолитских туfoва - из лежишта Златокоп (Врањска Бања) и Сланци (околина Београда) који су показали да су оба туфа богата клиноптилолитом (око 80 мас.%) са добрим капацитетом катјонске измене (> 150 mmol M⁺ у 100 g узорка; M⁺ - катјон једновалентног метала).

Затим су приказани резултати карактеризације синтетисаних адсорбенса и катализатора. У поступку модификације клиноптилолита коришћена је једноставна метода која се састојала из два корака: 1) третирање клиноптилолита у алкалном раствору Mg, Mn(II), Fe(III) или Sn(IV) и 2) калцинација добијених производа на око 500 °C у ваздуху. Детаљном карактеризацијом утврђено је да су добијени производи у којима је на површини клиноптилолита дошло до образовања честица оксида нанометарских димензија (MgO, Mn₂O₃, Fe₂O₃ и SnO₂).

Резултати који су добијени приликом испитивања адсорпције нитрат-јона на Mg-, Mn(III)- и Fe(III)-модификован клиноптилолит показали су да концентрација нитрат-јона на адсорбенсима расте са температуром, почетном концентрацијом раствора као и са временом контакта. Такође, показано је да је оптимални однос адсорбенс:течна фаза 1:50. Резултати су показали и да адсорпција нитрат-јона зависи од хемијске природе оксида на површини клиноптилолита. С тим у вези, Fe(III)-модификован клиноптилолит показао је најбоља адсорпциона својства. Утврђено је да кинетика везивања нитрат-јона на свим припремљеним адсорбенсима следи Лагергренов модел псеудо-другог реда, као и да адсорпционе изотерме показују најбоље слагање са Ленгмировим моделом адсорпције. Кинетика везивања фосфат-јона такође следи Лагергренов модел псеудо-другог реда док се добијени експериментални резултати најбоље описују Ленгмировом адсорпционом изотермом.

Резултати који су добијени у експериментима излуживања катјона и анјона из различитих врста земљишта у којима су као суплементи коришћени различито модификовани узорци клиноптилолита показали су да ефекат задржавања испитиваних јона зависи пре свега од врсте земљишта. Задржавање нитрата повећава се додатком зеолита (клиноптилолита и Fe(III)-модификованог клиноптилолита) у прашкасту иловачу и прашкасту глину, док се задржавање калијума повећава следећим редоследом: прашкаста иловача < прашкаста

глина << пескуша. Резултати су такође показали да додатак Fe(III)-модификованог клиноптилолита доприноси задржавању фосфата.

У другом делу приказани су резултати испитивања каталитичке активности и ефикасности добијених катализатора који су садржавали честице SnO₂ и SO₄-SnO₂ у различитој концентрацији. Катализатори су припремљени помоћу два поступка: методом влажне импрегнације и механохемијски. Катализатори добијени методом импрегнације показали су значајно већу каталитичку активност. Такође, за сулфатиране катализаторе утврђена је боља каталитичка активност у односу на несулфатиране. Несулфатирани катализатори показали су високу активност у конверзији левулинске киселине у октил-левулинат (55%). Међутим, мања каталитичка активност утврђена је у конверзији левулинске киселине у етил-левулинат (до 22%) што је приписано различитом механизму каталитичке естерификације. Сулфатирани катализатори доприносе 100% конверзији левулинске киселине у октил- и етил-левулинат, што је објашњено великом концентрацијом киселих центара (Луисова- и Бронстед-ова кисела места). Ови катализатори показали су добру ефикасност у више каталитичких циклуса.

На основу добијених резултата закључено је да се клиноптилолит може користити у до сад неистраженим областима: 1) као земљишни суплемент за задржавање биљних нутријената (азот, калијум и фосфор) у различитим врстама земљишта и тако повећати принос биомасе и 2) као катализатор у поступцима валоризације биомасе. Левулинска киселина једна је од дванаест основних хемикалија која се може добити из биомасе. С обзиром да естри левулинске киселине имају значајну индустријску примену, добијени резултати показују да природни клиноптилолит има велики потенцијал у припреми нових материјала и катализатора.

У поглављу **Закључак**, сумирани су, сажето и јасно, сви добијени резултати са посебним освртом на њихов научни значај и потенцијалну примену.

Поглавље **Литература** садржи литературне наводе који су релевантни за истраживања приказана у овој тези.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Истраживања приказана у докторској дисертацији Јелене Павловић су оригинална и у потпуности усклађена са савременим истраживањима и потребама.

У XXI веку, који је проглашен веком Зелене хемије, велики напори улажу се за спречавање и минимизирање различитих штетних утицаја на животну средину и здравље људи. Велике количине опасног отпада нарушавају како квалитет воде, ваздуха и земљишта тако и здравље људи.

Загађење хидросфере представља проблем у читавом свету нарочито када је у питању загађење нитратима и фосфатима. Они се углавном неадекватно користе као вештачка ђубрива и излуживањем из земљишта доспевају у водотокове. Нитрат-јони се слабо везују за честице земљишта, лако су покретљиви и због тога доспевају у дубље слојеве земљишта и у подземне воде. Насупрот томе, доступност фосфата у земљишту ограничена је слабом растворљивошћу фосфата. Излуживање фосфата који се везују за честице земљишта одиграва се у мањем степену. Велике концентрације оба нутријента узрокују

еутрофикацију и нарушавање квалитета подземних вода које се користе за водоснабдевање становништва. Из тог разлога, бројна научна истраживања усмерена су ка проналажењу ефикасних и еколошки прихватљивих решења којим би се постигло побољшање пољопривредне производње и смањила концентрација фосфата и нитрата у подземним и површинским акумулацијама.

Поред тога, бројна научна истраживања усмерена су и ка развоју нових, у технолошком смислу одрживих материјала и поступака који се заснивају на обновљивим изворима енергије. С тим у вези, нарочито је актуелна употреба биомасе која је не само значајан, обновљив енергент, већ и сировина за производњу многих индустријски значајних органских једињења. Употребом једињења добијених из биомасе значајно се доприноси очувању животне средине. Левулинска киселина је једно од дванаест органских једињења које је једноставним поступцима могуће добити из биомасе. Ова реактивна органска киселина користи се као полазна компонента за синтезу бројних индустријски значајних једињења, растварача, полимера, фармацеутских компонената, биогорива и сл. Због својих физичко-хемијских својстава и практичне примене, посебна пажња посвећена је синтези левулината - естара левулинске киселине.

Природни зеолити као доступни, јефтини и еколошки прихватљиви материјали, захваљујући јединственим физичко-хемијским својствима могу се користити у различитим областима од пољопривреде до фармацеутске индустрије. Најновија истраживања указала су на велики потенцијал ових минерала када је у питању њихова употреба у оквиру одрживих технологија, укључујући повећање приноса биомасе и њено коришћење у производњи хемикалија и биогорива.

Истраживања спроведена у оквиру ове тезе била су усмерена управо ка новим употребама клиноптилолита које ће допринети већим приносима биомасе и ефикаснијој употреби саме биомасе. Резултати произашли из ове тезе јасно су показали да се природни клиноптилолит може користити као ефикасан суплемент земљиштима и као полазна компонента за припрему катализатора за специјалне намене попут естерификације левулинске киселине.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији цитиран је 251 литературни навод од којих већина припада међународним часописима највишег ранга што потврђује актуелност истраживања у испитиваној области.

Током израде докторске дисертације, детаљно су анализирани и дискутовани најновији литератури подаци у вези са применом зеолита у поступцима адсорпције и катализе. Детаљно је разматрана и приказана литература везана за својства биомасе и значај њене употребе у оквиру Зелене хемије. Такође, разматрана је и савремена литература у вези са новим методама добијања као значајем саме левулинске киселине и њених естара.

На основу закључака који су изведени прегледом литературе извршено је планирање експерименталног рада, карактеризација добијених материјала и анализа и дискусија добијених резултата, као и извођење коначних закључака.

На основу образложења теме докторске дисертације и приказа коришћене литературе, може се закључити да кандидаткиња добро познаје области које су предмет истраживања као и актуелно стање у областима истраживања у оквиру ове докторске дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру ове докторске дисертације, коришћене су одговарајуће, оригиналне или нове методе за синтезу адсорбенса и катализатора полазећи од природног клиноптилолита, као и доступне савремене експерименталне технике за карактеризацију синтетисаних материјала.

Коришћени зеолитски туфови најпре су окарактерисани методом рендгенске дифракције праха у циљу испитивања минералног састава и квантитативног одређивања садржаја клиноптилолита. Такође, овом методом испитана је кристаличност синтетисаних адсорбенса и катализатора. У даљој карактеризацији коришћене су и следеће методе: скенирајућа електронска микроскопија спрегнута са енерго-дисперзивном спектрометријом за испитивања морфологије површине узорака и одређивање елементног састава клиноптилолита; термичка анализа у циљу испитивања термичких својстава узорака; рендгенска фотоелектронска спектроскопија ради утврђивања хемијских врста након модификације површине клиноптилолита; дифузионо-рефлексиона спектроскопија у ултраљубичастом и видљивом делу спектра за утврђивање присуства оксида на површини клиноптилолита; нуклеарна магнетна резонанца у чврстом стању у циљу детаљне структурне анализе; БЕТ (Brunauer-Emett-Teller) метода за одређивање специфичне површине узорака као и БЈХ (Barrett-Joyner-Halenda) метода за одређивање расподеле пора; инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом за испитивање присуства значајних функционалних група и природе каталитички активних центара на припремљеним катализаторима.

За одређивање концентрације јона у воденим растворима коришћена је метода атомске апсорпционе спектроскопије као и метода видљиве спектроскопије. Концентрација органских једињења у раствору мерена је методом гасне хроматографије са пламено-јонизационим детектором.

3.4. Применљивост остварених резултата

На основу до сада објављених резултата из области истраживања, као и резултата проистеклих из ове докторске дисертације, може се закључити да је остварен значајан научни допринос у области примене природног зеолита – клиноптилолита за синтезу нових врста адсорбенса и катализатора за специјалне врсте намене.

Резултати ове докторске дисертације указују на могућност примене природног клиноптилолита, као еколошки прихватљивог и јефтиног минерала, у суплементима намењених различитим врстама земљишта, чиме се доприноси повећању приноса биомасе и очувању квалитета водених ресурса.

Такође, показано је да природни клиноптилолит представља добру полазну компоненту за синтезу катализатора који се могу користити у валоризацији биомасе. Левулинска киселина, која је једна од дванаест основних хемикалија које се могу добити из биомасе, ефикасно се може естерификовати у различите естре у процесу који је катализован катализаторима добијеним коришћењем клиноптилолита у условима атмосферског притиска. На овај начин се елиминише употреба сумпорне киселине која се данас најчешће користи као катализатор у естерификацији.

Коначно, значај резултата истраживања ове докторске дисертације огледа се и у чињеници да је њихово представљање на међународним скуповима привукло запажен интерес као и да су објављени у међународним часописима врхунског значаја.

3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидаткиња Јелена Павловић, мастер инжењер заштите животне средине, током израде докторске дисертације показала је стручност и самосталност у коришћењу релевантне научне литературе, планирању и реализацији експеримената, обради и критичкој анализи добијених резултата, као и у дискусији резултата и њиховој припреми за публикавање. Значајно је напоменути и да је већи део експерименталног рада Јелена Павловић обавила у иностраним лабораторијама, чиме је показала способност прилагођавања за рад у различитим тимовима и истраживачку зрелост. На основу досадашњег рада и постигнутих резултата, Комисија сматра да кандидаткиња поседује све квалитете неопходне за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру ове докторске дисертације остварени су следећи научни доприноси:

- оптимизовани су поступци за добијање нових и ефикасних адсорбенса полазећи од природног клиноптилолита;
- нови адсорбенси детаљно су окарактерисани савременим експерименталним техникама;
- детаљно је испитана кинетика и термодинамика везивања нитрат- и фосфат-јона за добијене адсорбенте;
- детаљно је испитан механизам адсорпције испитиваних аниона;
- детаљно је испитана кинетика излуживања основних биљних нутријената (азот, калијум и фосфор) из различитих врста земљишта којима су додавани суплементи на бази клиноптилолита у статичким и динамичким системима;
- оптимизован је поступак синтезе катализатора за реакцију естерификације левулинске киселине;
- добијени катализатори детаљно су окарактерисани;
- детаљно је испитана каталитичка активност добијених катализатора и предложен је механизам каталитичког поступка естерификације левулинске киселине у октил- и етил-левулинат.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања обухваћена овом докторском дисертацијом осмишљена су на основу јасно дефинисаних циљева и претходне детаљне анализе литературних података релевантних за област истраживања. Методе коришћене у изради ове докторске дисертације у складу су са савременим методама, док су добијени резултати значајни са научног аспекта дајући јасан допринос принципима Зелене хемије.

Значајан допринос ове докторске дисертације огледа се у синтези новог, еколошки прихватљивог и ефикасног суплемента за различите врсте земљишта који доприноси задржавању биљних нутријента и тако на еколошки начин доприноси већем приносу биомасе. Значајан допринос дисертације огледа се и у резултатима који се односе на синтезу нових врста катализатора на бази клиноптилолита који су ефикасни у процесу естерификације. По први пут синтетисани су катализатори на бази клиноптилолита који су не само ефикасни и еколошки прихватљиви већ економски исплативи јер се заснивају на природном зеолиту који је минерални ресурс Р. Србије.

Коначно, научни доприноси докторске дисертације огледају се и у томе што ова теза пружа могућност за наставак истраживања у области примене клиноптилолита у процесима адсорпције и катализе.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидаткиња Јелена Павловић остварила је значајне резултате у области истраживања којој припада ова докторска дисертација, а који су верификовани објављивањем радова у часописима међународног значаја, као и кроз саопштења на неколико међународних и националних скупова.

Из области истраживања из које је тема докторске дисертације до сада је објављено једно поглавље у монографији међународног значаја (M14), један рад у врхунском међународном часопису (M21), два рада у часопису међународног значаја (M23), један рад у националном часопису међународног значаја (M24), један рад у часопису националног значаја (M52), као и саопштења на научним скуповима међународног и националног значаја (M31, M33, M34 и M64).

Објављени радови који су директно проистекли из тезе дати су у следећем списку, разврстани по категоријама.

Категорија M14:

1. **Pavlović, J.**, Krogstad, T., Rajić, N.: The use of natural zeolite (clinoptilolite) for the treatment of farm slurry and as a fertilizer carrier, Norwegian University of Life Science, Faculty of Environmental Sciences and Technology, Department of Environmental Sciences, 2016., pp. 34-47 (ISBN: 978-82-575-1356-6).

https://bibsys-almaprimo.hosted.exlibrisgroup.com/primo-explore/fulldisplay?vid=NMBU&search_scope=default_scope&tab=default_tab&docid=BIBSYS_ILS71541729420002201&lang=en_US&context=L&adaptor=Local%20Search%20Engine&query=lsr32,exact,NMBU%20scientific%20report,AND&mode=advanced&offset=0&pcAvailability=true

Категорија M21:

1. **Pavlović, J.**, Popova, M., Mihalyi, R.M., Mazaj, M., Mali, G., Kovač, J., Lazarova, H., Rajić, N.: Catalytic activity of SnO₂- and SO₄/SnO₂-containing clinoptilolite in the esterification of levulinic acid, - *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 279, pp. 10-18, 2019 (IF=4.182) (ISSN=1387-1811)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1387181118306346>

Категорија M23:

1. **Pavlović, J.**, Milenković, J., Rajić, N.: Modification of natural clinoptilolite for nitrate removal from aqueous media, - *Journal of Serbian Chemical Society*, vol. 79, no. 10, pp. 1309-1322, 2014 (**IF=0.89**) (ISSN: 0352-5139)
<http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0352-5139/2014/0352-51391400038P.pdf>
2. **Pavlović, J.**, Krogstad, T. Rajić, N.: Applicability of zeolites in potassium and nitrate retention in different soil types, - *Journal of Serbian Chemical Society*, vol. 82, no. 11, pp. 1303-1314, 2017 (**IF=0.82**) (ISSN: 0352-5139)
<http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0352-5139/2017/0352-51391700106P.pdf>

Категорија M24:

1. **Pavlović, J.**, Krogstad, T., Rajić, N.: Influence of the Fe(III)-modified clinoptilolite on phosphorus leaching from different soil types, -*Zaštita materijala*, vol. 4, no. 4, str. 539–544, 2016 (ISSN: 0351-9465)
<http://idk.org.rs/wp-content/uploads/2016/12/5JELENA.pdf>

Категорија M31:

1. **Pavlović, J.**, Popova, M., Mihalyi, M., Mazaj, M., Mali, G., Kovač, J., Lazarova, H., Rajić, N.: "Catalytic activity of clinoptilolite-based catalysts in the esterification of levulinic acid," *8th Serbian-Croatian-Slovenian Symposium on Zeolites*, 3–5 October, Belgrade, Serbia, 2019., pp. 89-92 (ISBN 978-86-916637-2-8).

Категорија M33:

1. **Pavlović, J.**, Milenković, J., Stojaković, Đ., Rajić, N.: "Surface modification of the natural clinoptilolite for its potential use for the nitrate removal from water media," -*5th Serbian-Croatian-Slovenian Symposium on Zeolites*, 30 May-02 June, Zlatibor, Serbia, 2013., pp. 112-115 (ISBN 978-86-82139-41-6).
2. **Pavlović, J.**, Kaplanec, I., Lazarević, S., Rajić, N.: "Phosphate adsorption from aqueous solution using iron-modified clinoptilolite," -*6th Croatian-Slovenian-Serbian Symposium on Zeolites*, 01-03 October, Šibenik, Croatia, 2015., pp. 85-88 (ISBN 978-953-55373-4-2).
3. **Pavlović, J.**, Krogstad, T., Rajić, N.: "Influence of natural zeolite - clinoptilolite on potassium and nitrate retention in different soil types," -*7th Slovenian-Serbian-Croatian Symposium on Zeolites*, 25-27 May, Ljubljana, Slovenia, 2017., pp. 107-110 (ISSN 2584-3176).
4. Rajić, N., Milenković, J., **Pavlović, J.**, Jevtić, S., Kaplanec, I., Rečnik, A., Hrenović, J.: "Adsorptive, catalytic and antimicrobial applications of Serbian natural clinoptilolite," - *ZEOLITE 2018–10th International Conference on the Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites*, 24–29 June, Cracow, Poland, 2018., pp. 77–78.
5. **Pavlović, J.**, Popova, M., Mihalyi, M.R., Mazaj, M., Mali, G., Kovač, J., Lazarova, H., Rajić, N.: "Clinoptilolite as a solid catalyst for the esterification of levulinic acid to octyl levulinate," -*4th Euro Asia Zeolite Conference*, 27-30 January, Taormina, Italy, 2019.

Категорија М34:

1. **Pavlović, J.**, Krogstad, T., Rajić, N.: "A study of potassium and nitrate leaching from different soil types in the presence of natural clinoptilolite," -7th FEZA Conference „The ZEOLITES: Materials with Engineered properties”, 3-7 July, Sofia, Bulgaria, 2017., p. 322.

Категорија М52:

1. **Pavlović, J.**, Krogstad, T., Rajić, N.: "Uticaj prirodnog zeolita kao suplementa na zadržavanje kalijuma u različitim vrstama zemljišta," -Zbornik naučnih radova Instituta PKB Agroekonomik, 21, str. 165-172, 2015.

Категорија М63:

1. Milovanović, J., Jevtić, S., Milenković, J., **Pavlović, J.**, Hrenović, J., Rajić, N.. "Efikasnost srbijanskog prirodnog zeolita u poboljšanju kvaliteta pijaće vode," -XIII međunarodna konferencija "Vodovodni i kanalizacioni sistemi", 22-24 Maj, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 2013., str. 67-72 (ISBN 978-86-82931-58-4).

ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, коришћењем програма iThenticate извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидата Јелене Павловић, под називом „**Синтеза и карактеризација нових адсорбенса и катализатора на бази природног зеолита применљивих у процесу коришћења биомасе (Synthesis and characterization of novel adsorbents and catalysts based on natural zeolite, applicable in use of biomass)**”.

Извештај који садржи резултате провере оригиналности ментор је добио дана 21.05.2020. Утврђени проценат подударности је 14%. Овај степен подударности последица је претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из његове дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника.

На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујем да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити (позитивна оцена).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега напред изложеног, Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Јелене Павловић, под називом „Синтеза и карактеризација нових адсорбенса и катализатора на бази природног зеолита применљивих у процесу коришћења биомасе (Synthesis and characterization of novel adsorbents and catalysts based on natural zeolite, applicable in use of biomass)“, представља значајан и оригиналан научни допринос у области Хемијских наука, што је потврђено и објављивањем радова проистеклих из резултата ове докторске дисертације у врхунским научним часописима, као и презентовањем резултата на скуповима међународног и националног значаја. Значајан допринос ове докторске дисертације огледа се у синтези и карактеризацији нових адсорбенса и катализатора на бази доступног, јефтиног и еколошки прихватљивог природног зеолита – клиноптилолита.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих резултата, Комисија са великим задовољством предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да овај Реферат прихвати и да га заједно са докторском дисертацијом под насловом „Синтеза и карактеризација нових адсорбенса и катализатора на бази природног зеолита применљивих у процесу коришћења биомасе (Synthesis and characterization of novel adsorbents and catalysts based on natural zeolite, applicable in use of biomass)“ кандидата Јелене Павловић, мастер инжењера заштите животне средине, преда на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области природних наука Универзитета у Београду. Предлажемо да након завршетка наведене процедуре, кандидат буде позван на усмену одбрану докторске дисертације пред Комисијом у следећем саставу.

У Београду, 04. јун 2020.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

Ментор:

.....
Проф. др Невенка Рајић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Чланови комисије:

.....
Проф. др Снежана Гојковић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Проф. др Маргарита Попова, редовни професор
Бугарска академија наука, Институт за органску хемију са центром за фитохемију

5. CONCLUSION AND PROPOSAL

Taking all into account, the Committee considers that the doctoral thesis of the candidate Jelena Pavlović, entitled “**Synthesis and characterization of novel adsorbents and catalysts based on natural zeolite, applicable in use of biomass (Sinteza i karakterizacija novih adsorbenasa i katalizatora na bazi prirodnog zeolita primenljivih u procesu korišćenja biomase)**”, gives significant and original scientific contribution in the field of chemical sciences, which is also confirmed by publishing of the obtained results in the international journals with highest impact as well as by presenting of the results at international and national conferences. The thesis gives significant contribution in the synthesis and characterization of new adsorbents and catalysts based on the most available, cheap and environmentally friendly natural zeolite – clinoptilolite.

Considering the quality, scope and scientific contribution of the achieved results, the Commission is pleased to propose to the Academic and Scientific Council of the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade to accept this Report as well as to enable that the Report and Thesis entitled “**Synthesis and characterization of novel adsorbents and catalysts based on natural zeolite, applicable in use of biomass (Sinteza i karakterizacija novih adsorbenasa i katalizatora na bazi prirodnog zeolita, primenljivih u procesu korišćenja biomase)**”, by candidate Jelena Pavlović, master engineer of environmental protection, are submitted for public inspection and then to send them for final confirmation to the Council for natural sciences of the University of Belgrade. We suggest that after completion of the procedure, the candidate be invited to oral defense of the thesis, which will be evaluated by the following Committee:

Belgrade, 04. June 2020.

COMMITTEE MEMBERS:

Mentor/Advisor:

.....
Dr. Nevenka Rajić, Full Professor
University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy

Committee Members:

.....
Dr. Snežana Gojković, Full Professor
University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy

.....
Dr. Margarita Popova, Full Professor
Bulgarian Academy of Science, Institute of Organic Chemistry with Centre of
Phytochemistry