

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Технички факултет у Бору

НАСТАВНО - НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Милана Горгиевског, дипл. инж. металургије

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду број VI/4-22-10.2. од 20.02.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милана Горгиевског, дипл. инж. металургије под насловом:

„Адсорпција јона тешких метала из водених раствора коришћењем пшеничне сламе као адсорбенса“.

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

Кандидат Милан Горгиевски, дипл. инж. металург., након завршених основних студија, на Катедри за екстрактивну металургију Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, школске 2007/2008. године уписује докторске академске студије на студијском програму Металуршко инжењерство Техничког факултета у Бору. Након полагања свих испита предвиђених курикулумом докторских студија, Наставно-научно веће Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, одлуком број VI/4-14-6 од 13. 05. 2011. године одређује Комисију за одбрану семинарског рада у оквиру специјалног курса за дефинисање теме докторске дисертације под називом „Адсорпција јона метала из водених раствора коришћењем природних адсорбенаса“. Септембра 2013. године, кандидат Милан Горгиевски дипл. инж. металург., је одбранио семинарски рад са оценом 10 (десет), пред Комисијом у

саставу: проф. др Нада Штрбац, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду; проф. др Драгана Живковић, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду; проф. др Мирјана Рајчић-Вујасиновић Технички факултет у Бору Универзитета у Београду и проф. др Велизар Станковић, редовни професор у пензији, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду.

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Хронологија одобравања и израде докторске дисертације је протекла следећом динамиком:

26. 09. 2013. - На седици Катедре за Металуршко инжењерство Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, констатовано је да је кандидат Милан Горгиевски, дипл. инж. металург., пријавио докторску дисертацију и Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду је предложена Комисија за давање мишљења о научној заснованости предложене теме докторске дисертације.

11. 10. 2013. - Одлуком број VI/4-11-8.3 Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, именована је Комисија за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације.

19. 11. 2013. - Одлуком број VI/4-12-12.3 Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, усвојен је Извештај Комисије за оцену научне заснованости пријављене докторске дисертације.

16. 12. 2013. - Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду доноси закључак број 61206-5867/2-13, о одлагању давања сагласности на предлог теме докторске дисертације, уз сугестије за корекцију извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме и подобности кандидата за израду докторске дисертације.

24. 02. 2014. - Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду уважило је кориговани извештај Комисије за научну заснованост теме и донело је одлуку број 61206-5867/2-13, о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације под називом „Адсорпција јона тешких метала из водених раствора коришћењем пшеничне сламе као адсорбенса“.

20. 02. 2015. - Одлуком број VI/4-22-10.2. Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду, именована је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милана Горгиевског, дипл. инж. металург., у саставу: проф. др Нада Штрбац, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду (*ментор*); проф. др Мирјана Рајчић-Вујасиновић, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду (*члан*); проф. др Милорад Цакић, Технолошки факултет у Лесковцу Универзитета у Нишу (*члан*); проф. др Драгана Живковић, Технички факултет у Бору Универзитета у Београду (*члан*).

1.2. Научна област дисертације

Предмет истраживања докторске дисертације припада научној области Металуршко инжењерство (за коју је Технички факултет у Бору акредитовао студијске програме за сва три нивоа студија), ужа научна област – Металуршко инжењерство. За ментора је изабрана др Нада Штрбац, редовни професор Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду која је на основу досад објављених радова компетентна да руководи израдом ове докторске дисертације. Проф. др Нада Штрбац као аутор и коаутор публиковала је 51 рад у часописима са JCR-листе цитираних 181 пут у 167 радова (*подаци према SCOPUS-у од 4. 1. 2015. године*).

1.3. Биографски подаци о кандидату

Милан Д. Горгиевски рођен је 19.01.1982. године у Бору, где је завршио основну и средњу школу. Дипломирао је на Техничком факултету у Бору 2007. године, са просечном оценом 9,11/10 током студија и оценом 10/10 на дипломском раду и тиме стекао звање дипломирани инжењер металургије. Докторске академске студије уписао је школске 2007/2008. године на Техничком факултету у Бору на студијском програму *Металуршко инжењерство* и положио све испите предвиђене студијским програмом са просечном оценом 9,67.

Стечено научно истраживачко искуство

Током студија активно је учествовао у научно-истраживачком раду и смотрама научно-истраживачких радова студената. Боравио је у Шведској (Стокхолм), на Краљевском Институту за технологију (КТН) у оквиру "Интернационалног летњег курса металургије" у периоду од 1. јуна до 31. јула 2006. године и добио је сертификат о успешно завршеном курсу.

Као истакнути млади истраживач и стипендиста Министарства науке и технолошког развоја, у периоду од јануара 2008 год. до децембра 2010. год., кандидат је био ангажован на пројекту Министарства науке и технолошког развоја под називом "Истраживање феномена преноса значајних за развој вишефазних процеса и опреме" (број пројекта 142014Б, реализатор: Технолошко-металуршки факултет у Београду, руководилац: проф. др Жељко Грбавчић).

Тренутно је ангажован на два пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије под називом "Развој технологија за рециклажу племенитих, ретких, и пратећих метала из чврстог отпада Србије до високо квалитетних производа", (број пројекта ТР34024, реализатор: Институт за рударство и металургију Бор, руководилац: проф. др Властимир Трујић), као и пројекта под називом "Развој нових инкапсулационих и ензимских технологија за производњу биокатализатора и биолошки активних компонената хране у циљу повећања њене конкурентности, квалитета и безбедности", (број пројекта ИИИ46010, реализатор: Технолошко-металуршки факултет у Београду, руководилац: проф. др Бранко Бугарски).

Од јануара 2011. год. до октобра 2013. год. био је запослен у Институту за рударство и металургију Бор, као истраживач сарадник. У периоду од октобра 2013. год. до данас ради на Техничком факултету у Бору као асистент на групи предмета из области Екстрактивна металургија и металуршко инжењерство на студијском програму Металуршко инжењерство, и то на основним академским студијама (Металургија гвожђа и челика, Теорија хидро и електрометалуршких процеса, Металуршке операције, и Добијање металних превлака), и мастер академским студијама (Феномени преноса 1 и Карактеризација материјала).

Област интересовања – термодинамика и кинетика металуршких процеса, технолошки аспекти побољшања и интензификације процеса у екстрактивној металургији обојених метала, заштита животне средине - третман отпадних вода, адсорпција јона метала из водених раствора коришћењем природних адсорбенса и евентуална њихова примена, као замена за комерцијалне адсорбенте, у циљу пречишћавања отпадних вода од јона тешких метала.

Кандидат је аутор и коаутор 5 радова (*71 цитат у 67 документа*) публикованих у међународним часописима категорисаним према JCR-листи (*подаци према SCOPUS-у од 14.*

2. 2015. године), 7 радова публикованих у националним часописима категорије М50, 28 саопштења са конференција међународног значаја категорије М30, 7 саопштења националног значаја категорије М60, као и једног техничког решења категорије М82.

Кандидат је био члан организационог одбора два међународног скупа и то: „46th International October Conference on Mining and Metallurgy IOC2014“, као и „1st International Student Conference on mining, metallurgy, chemical engineering, material science and related fields, ISC2014“. Од 2013. године као члан тима са Техничког факултета у Бору, активно учествује у промоцији науке међу младима кроз фестивал науке „Тимочки Научни Торнадо“, односно од 2014. године кроз манифестацију „БОНИС - Ноћ истраживача“. Члан је Српског хемијског друштва од 2008. године и члан Савеза инжењера металургије Србије. Ожењен је, и отац је једног детета.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Милана Горгиевског, дипл. инж. металургије, написана је на 90 страна, у оквиру којих се налази 10 поглавља, са укупно 38 слика, 12 табела и 144 литературна навода, при чему је највећи број њих новијег датума, што указује на актуелност истраживања. Докторска дисертација се састоји из следећих поглавља и осталих пратећих садржаја:

1. Увод
2. Теоријски део
3. Преглед досадашњих истраживања
4. Циљеви истраживања
5. Експериментални део
6. Резултати и дискусија
7. Закључак
8. Литература
9. Биографија
10. Публиковани и саопштени радови из оквира дисертације

Прилог 1 – Изјава о ауторству

Прилог 2 – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Прилог 3 – Изјава о коришћењу

На почетку дисертације су дати изводи на српском и енглеском језику, а на крају дисертације потписане изјаве о ауторству, истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и начину коришћења докторске дисертације. По својој форми, садржају и постигнутим резултатима, дисертација у потпуности задовољава критеријуме и стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу **Увод** дата је општа подела отпадних вода. Дати су потенцијални загађивачи отпадних вода са акцентом на тешке метале. Детаљно су описани штетни утицаји испитиваних тешких метала (бакар, никл, цинк и олово) присутних у отпадним водама. Такође, кратко су описане конвенционалне технологије пречишћавања отпадних вода.

Поглавље **Теоријски део** се састоји из три потпоглавља. У првом потпоглављу акценат је дат на адсорпцију као једну од конвенционалних технологија за пречишћавање отпадних вода од јона тешких метала. У овом потпоглављу дата је подела адсорпције, преглед најчешће коришћених како комерцијалних тако и природних адсорбенса, да би на крају овог потпоглавља били изнети недостаци конвенционалних технологија за пречишћавање отпадних вода од јона тешких метала. У другом потпоглављу Теоријског дела дат је кратак осврт на неадекватно коришћење у Србији биомасе, а пре свега пшеничне сламе, као обновљивог извора енергије.

Последње потпоглавље Теоријског дела посвећено је биосорпцији као потенцијалној алтернативи постојећим конвенционалним технологијама за пречишћавање отпадних вода са ниским садржајем јона тешких метала, са циљем да се конвенционални адсорбенси замене можда нешто мање ефикасним, али зато много јефтинијим природним адсорбентима. Такође, у овом потпоглављу, дате су предности биосорпције у односу на конвенционалне технологије пречишћавања отпадних вода од јона тешких метала. На крају овог потпоглавља дати су донети појединих технологија за пречишћавање отпадних вода у зависности од концентрације контаминаната у њима.

У поглављу **Преглед досадашњих истраживања** приказани су постојећи публиковани резултати примене природних адсорбенса за пречишћавање отпадних вода од различитих контаминаната. Најпре су приказани резултати примене отпадних материјала и нус-производа дрвне индустрије као што су кора дрвета и пиљевина. У наставку овог поглавља дати су резултати примене сламе различитих врста житарица као природних адсорбенса за пречишћавање отпадних вода. На крају овог поглавља дати су литературни подаци примене пшеничне сламе као природног адсорбенса за пречишћавање отпадних вода од јона метала.

У поглављу **Циљеви истраживања** детаљно су изложени циљеви истраживања, и предложене хипотезе истраживања.

Истраживања која су спроведена у оквиру ове дисертације била су усмерена на:

- Карактеризацију пшеничне сламе; с тим у вези одређене су физичке, хемијске и физичко-хемијске особине пшеничне сламе.
- Одређивање функционалних група у пшеничној слами, које су одговорне за измену јона.
- Одређивање доминантног јона у изменљивом положају који се у процесу адсорпције механизмом јонске измене измењује са испитиваним јонима метала.
- Испитивање адсорпционих способности пшеничне сламе за адсорпцију јона бакра, никла, цинка и олова из водених раствора.
- Испитивање утицаја појединих параметара на процес адсорпције.
- Покушај да се расветли механизам адсорпције и улога алкалних и земноалкалних метала присутних у структури адсорбенса на процес адсорпције.
- Покушај да се објасни утицај појединих физичко-хемијских особина јона метала на адсорпцију датог јона.

- Инжењерски аспект процеса адсорпције и третирања засићеног адсорбенса јоном метала.

Поглавље **Експериментални део** састоји се из неколико целина, и то:

- одређивање органских материја у води од прања адсорбенса; одређивање капацитета измене катјона; одређивање тачке нултог наелектрисања; одређивање специфичне површине сламе.
- карактеризација пшеничне сламе; с тим у вези одређене су физичке, хемијске и физичко-хемијске особине пшеничне сламе;
- описан је поступак извођења експеримента адсорпције јона бакра, никла, цинка и олова на слами у реактору са мешањем и у адсорпционој колони. Дефинисан је степен адсорпције јона метала из раствора као и капацитет адсорпције.
- дате су мерне технике и методе анализе.

У поглављу **Резултати и дискусија** приказани су резултати добијени у овој дисертацији, као и дискусија добијених резултата. Ово поглавље састоји се из пет потпоглавља и то: адсорпција у реактору са мешањем, адсорпција у колони, механизам адсорпције, утицај физичко-хемијских особина јона метала на адсорпцију датог јона и технолошки поступак процеса уклањања и валоризације метала из водених раствора.

Потпоглавље Адсорпција у реактору са мешањем, састоји се из девет целина и то:

- *Промена рН вредности раствора током испирања пшеничне сламе дестилисаном водом.* У оквиру ове целине кандидат износи претпоставку да до пораста рН вредности раствора током испирања сламе дестилисаном водом долази услед преласка водоникових јона из водене фазе у структуру сламе, где бивају измењени са јонима калцијума који одлазе у водену фазу. Добијени резултати су показали да се око 93 % јона водоника адсорбовало у односу на почетну концентрацију у раствору.
- *Промена концентрације јона натријума, калијума, магнезијума и калцијума током испирања сламе дестилисаном водом.* Кандидат дискутује да током испирања сламе најпре долази до пораста концентрације датих јона метала у раствору, да би са даљим испирањем сламе дошло до пада концентрације датих јона метала у раствору услед разблажења.
- *Промена проводљивости раствора током испирања сламе дестилисаном водом.* У оквиру ове целине кандидат даје упоредну анализу израчунате (коришћењем математичког модела) и експериментално добијене вредности за електролитичку проводљивост раствора, при чему закључује да до пораста проводљивости раствора, током испирања сламе, долази услед пораста концентрације јона натријума, калијума, магнезијума и калцијума у раствору, који се испирањем самоизлужују и прелазе из структуре сламе у водену фазу. Са даљим испирањем сламе, долази до пада вредности проводљивости, као последица смањења концентрације јона натријума, калијума, магнезијума и калцијума у раствору услед разблажења. Кандидат потом упоређује израчунате вредности за проводљивост раствора, коришћењем математичког модела, са експериментално добијеним вредностима, и закључује да су добијене вредности веома блиске што указује да коришћени математички модел веома добро описује добијене експерименталне резултате.
- *Промена рН вредности раствора са временом током адсорпције јона бакра, никла, цинка и олова.* Кандидат у овом делу констатује да до смањења рН вредности раствора

током адсорпције јона бакра, цинка и олова долази услед депротонизације функционалних група у слами и преласка водоничних јона у раствор који бивају измењени са датим јонима метала. Пораст рН вредности раствора током адсорпције јона никла на слами показује да се паралелно са адсорпцијом јона никла одвија и адсорпција јона водоника из раствора на слами, при чему долази до конкуренције између јона никла и водоника за активно место у структури сламе.

- *SEM анализа пшеничне сламе.* Кандидат у овом делу указује да се након адсорпције јона бакра, никла и цинка јавља измењена морфологија површине у односу на нетретирану пшеничну сламу, при чему дате промене у морфологији пшеничне сламе наводе на закључак да је адсорпција датих метала на слами повезана са хемијским променама на површини сламе.
- *FTIR анализа пшеничне сламе.* У овом делу кандидат износи претпоставку да при везивању јона бакра за функционалне групе у слами, долази до ослобађања протона, због високог афинитета тих функционалних група према јонима бакра, и потврђује дату претпоставку SEM анализом пшеничне сламе након адсорпције јона бакра.
- *Промена адсорпције са временом за испитиване јоне метала.* У овом делу кандидат даје поређење добијених вредности за степен адсорпције испитиваних јона на пшеничној слами и закључује да се највећи степен адсорпције постиже за адсорпцију јона олова (око 97 %), а најмањи за адсорпцију јона никла (око 25 %).
- *Кинетика адсорпције.* У овом поглављу кандидат детаљно описује кинетичке моделе коришћене у дисертацији и то: кинетички модел псеудо-другог реда, модел међучестичне дифузије и Elovich-ев кинетички модел. Добијене експерименталне резултате кандидат потом „фитује“ коришћењем датих модела и закључује, да најбоље слагање са експерименталним подацима за адсорпцију испитиваних јона метала даје кинетички модел псеудо-другог реда.
- *Изотерме адсорпције.* У овом делу кандидат детаљно описује коришћене моделе који описују равнотежу при адсорпцији и то: Langmuir-ов модел адсорпционе изотерме, Freundlich-ов модел адсорпционе изотерме, и Temkin-ов модел адсорпционе изотерме. Потом, кандидат добијене експерименталне податке „фитује“ датим моделима, и закључује да за адсорпцију јона бакра, никла и цинка на слами најбоље слагање са експерименталним подацима дају Langmuir-ов и Temkin-ов модел адсорпционе изотерме, док је за адсорпцију јона олова на слами најбоље слагање са експерименталним подацима дао Temkin-ов модел адсорпционе изотерме.

Потпоглавље Адсорпција у колони састоји се из три целине и то:

- *Промена рН вредности са временом током адсорпције јона бакра, никла и цинка.* У овом делу кандидат закључује да је промена рН вредности са временом током адсорпције јона бакра, никла и цинка резултат ко-адсорпције датих јона са јонима водоника, када постоји конкуренција за „активно место“ на адсорбенсу.
- *Одређивање пробојних кривих за адсорпцију јона бакра, никла и цинка на пшеничној слами.* Кандидат у овом делу детаљно описује поступак адсорпције у колони. Такође, кандидат приказује пробојне криве и израчунава степен адсорпције за дате јоне метала, из њихових синтетичких раствора, пре достизања пробојне тачке.
- *Одређивање пробојних кривих за адсорпцију јона бакра, никла и цинка из тернарног раствора датих јона на пшеничној слами.* У овом делу, кандидат одређује пробојне криве за дате јоне метала али сада из тернарног раствора датих јона. Потом, упоређује добијене вредности за степен адсорпције датих јона метала из тернарног

раствора са степеном адсорпције датих јона метала из њихових појединачних синтетичких раствора. На крају овог дела закључује да се већи степен адсорпције добија у случају адсорпције датих јона метала из њихових синтетичких раствора, и да је разлог томе конкуренција између датих јона за активно место у структури адсорбенса током процеса адсорпције.

У потпоглављу Механизам адсорпције, кандидат закључује да током адсорпције испитиваних јона на пшеничној слами, једино је у случају адсорпције јона бакра јонска измена могући доминантан механизам, али да тај механизам није једини присутан у систему.

У потпоглављу Утицај физичко-хемијских особина јона метала на адсорпцију датог јона, кандидат потврђује постављену хипотезу, да је афинитет адсорбенса према датом јону метала у корелацији са физичко-хемијским особинама датог јона метала.

У потпоглављу Технолошки поступак процеса уклањања и валоризације метала из водених раствора, кандидат предлаже технолошки поступак за третман водених раствора, комбиновањем поступака адсорпције, солвентне екстракције и електролитичког добијања метала, коришћењем пшеничне сламе као адсорбенса. Предложени технолошки поступак имао би за циљ да прикаже основне процесе и операције који би били коришћени у процесу који би резултирао смањењем киселости рудничке воде, уклањањем јона бакра и других метала и искоришћењем бакра као најзаступљенијег метала у рудничким водама.

У поглављу **Закључак** кандидат даје резиме добијених резултата у деветнаест тачака, из којих се може извести следеће:

- Приликом испирања сламе дестилисаном водом, знатно већа количина алкалних и земноалкалних метала се самоизлужује него што се измени са јонима водоника.
- До пораста рН вредности раствора током испирања сламе дестилисаном водом долази услед смањења концентрације водоничних јона у раствору, који су испирањем прешли у структуру сламе, при чему се око 93 % јона водоника адсорбовало у односу на почетну концентрацију.
- Пораст проводљивости раствора, током испирања сламе дестилисаном водом, последица је пораста концентрације јона натријума, калијума, калцијума и магнезијума у раствору, који су се испирањем сламе самоизлужили и прешли из структуре сламе у водену фазу.
- На основу добијене вредности за капацитет измене катјона (КК), доминантан јон у изменљивом положају је јон калцијума.
- Током адсорпције јона бакра, цинка и олова на слами долази до смањења рН вредности раствора услед депротонизације хидроксилних функционалних група у слами и преласка јона водоника из сламе у раствор, а који се заједно са јонима калцијума из структуре сламе механизмом јонске измене између са јонима бакра, цинка и олова. Пораст рН вредности раствора током адсорпције јона никла говори о томе да се паралелно са адсорпцијом јона никла одвија и адсорпција јона водоника из раствора на слами, при чему долази до конкуренције између јона никла и јона водоника за активно место у структури сламе.
- Кинетика адсорпције јона бакра, никла, цинка и олова је анализирана према три теоријска кинетичка модела: моделу псеудо-другог реда, моделу међучестичне дифузије и Elovich-евом моделу. Утврђено је да се адсорпција у свим случајевима

најбоље описује моделом псеудо-другог реда. Овакав резултат наводи на закључак да је хемисорпција могући начин везивања адсорбата на површини адсорбенса.

- Langmuir-ов и Temkin-ов модел адсорпционе изотерме показали су најбоље слагање са експерименталним подацима за адсорпцију јона бакра, никла и цинка. За описивање равнотеже адсорпције јона олова на слами најбоље слагање са експерименталним подацима дао је Temkin-ов модел адсорпционе изотерме.
- Максимални капацитет адсорпције $9,3 \text{ mg g}^{-1}$ сламе добијен је за адсорпцију јона олова, док је капацитет адсорпције јона бакра, никла и цинка 5 mg g^{-1} , $2,5 \text{ mg g}^{-1}$ и $3,25 \text{ mg g}^{-1}$ сламе, редом.
- Високи степен адсорпције јона бакра, никла и цинка у колони је постигнут пре достизања пробојне тачке на пробојној кривој и износио је 99,4 %, 99,1 % и 99,65 %, редом.
- На основу испитиваних физичко-хемијских особина датих јона тешких метала дошло се до закључка да што је мањи јонски радијус метала и већа електронегативност јона метала, то је већи степен адсорпције датог јона метала.
- Предложен је технолошки поступак за третман водених раствора комбинацијом поступака адсорпције, солвентне екстракције и електродобијања метала. Поменути технолошки поступак се састоји из следећих фаза: Након завршетка процеса адсорпције у колони, уместо десорпције, слама засићена јонима метала би се након цеђења и сушења спалила, при чему би се у пепелу концентрисали јони метала. Тако добијени пепео би се потом лужио раствором сумпорне киселине, при чему би јони метала прешли у раствор. У циљу валоризације бакра, лужни раствор би затим био подвргнут солвентној екстракцији, при чему би се након реекстракције добио раствор обогаћен баком. Бакар би се из таквог раствора, након солвентне екстракције и реекстракције, добијао електрохемијским поступком, при чему би се као финални производ добио катодни бакар, а осиромашени електролит на бакру би се вратио назад у процес реекстракције, док би се добијена топлота након сагоревања адсорбенса искористила за интерне потребе постојења.
- Добијени резултати у овој докторској дисертацији представљају допринос актуелним испитивањима у области биосорпције, и показују да се пшенична слама може успешно користити као јефтин, природни адсорбенс за адсорпцију јона бакра, никла, цинка и олова из водених раствора. Поменути инжењерски приступ је од значаја за решавање постојећих проблема у третману отпадних вода, како са становишта заштите животне средине, тако и са економског аспекта и аспекта одрживог развоја, и отвара могућност за даље иновативне активности у овој истраживачкој области.

У поглављу **Литература** је представљена коришћена литература, која обухвата 144 релевантна референтна навода из области истраживања и покрива све делове дисертације.

Поглавље **Биографија** се односи на биографију кандидата.

У поглављу **Публиковани и саопштени радови из оквира дисертације** дат је списак публикованих и саопштених радова проистеклих као резултат рада на дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Развој људског друштва и увођење нових технологија, поред великих позитивних ефеката, довели су и до загађења човекове околине – ваздуха, воде и земљишта. Један од најтежих облика загађења је свакако загађење воде. Потрошња воде за разне потребе постаје све већа, што уједно доводи и до пораста количина отпадних вода. Оваквим трендом пораста загађења вода, значајно се угрожава човекова животна средина.

Присутни контаминати у отпадним водама могу значајно да загаде природне водотокове, или да продру до подземних водених резервоара, трајно их оштећујући. Контаминати утичу на флору и фауну водених токова, а преко њих и на људе и њихово здравље.

Тешки метали представљају значајну групу загађивача присутних у отпадним водама. Бројна индустријска постројења емитују тешке метале са својим отпадним водама, гасовима и чврстим отпадом. Рудничке воде које потичу из активних, или затворених рудника, представљају данас један од значајних еколошких проблема. Ове воде садрже у себи јоне тешких метала, понекад у значајно високој концентрацији, која прелази неколико стотина пута, према важећим законима Републике Србије, максимално дозвољену концентрацију опасних материја у води. Због тога је веома важно процесуирати овакве воде, а пре испуштања у околне водотокове. Постојеће конвенционалне технологије имају својих ограничења у погледу пречишћавања, тако да не постоји један универзални технолошки поступак применљив на све отпадне воде. Због свих ових разлога се интензивно ради на изналажењу било ефикаснијег, било јефтинијег технолошког поступка пречишћавања отпадних вода са ниским садржајем јона тешких метала у себи. Као једна од алтернатива постојећим технологијама пречишћавања отпадних вода испитује се и развија процес адсорпције јона метала из водених раствора применом природних адсорбенса – биосорпција.

Биосорпција јона тешких метала из водених раствора је нови, још увек у развоју процес, који се, на лабораторијском нивоу, показао ефикасним за уклањање јона тешких метала из водених раствора. Може се рећи да биосорпција може постати алтернатива постојећим конвенционалним технологијама за пречишћавање индустријских отпадних вода, посебно оних са ниским садржајем јона тешких обојених метала. Биосорпција, као алтернатива постојећим конвенционалним технологијама, била је и још увек је предмет интересовања научника са циљем да се комерцијални адсорбенси замене можда нешто мање ефикасним, али зато много јефтинијим природним адсорбенсима.

Имајући у виду да се сваке године у Србији произведе око 2 милиона тона пшеничне сламе која није адекватно искоришћена, јасно је да пшенична слама, као важан обновљиви извор енергије, представља значајан енергетски потенцијал у Србији. Међутим, у овој дисертацији, сагледан је и други аспект примене пшеничне сламе-као адсорбенса за адсорпцију јона тешких метала из водених раствора.

Може се рећи да истраживања у оквиру ове дисертације представљају оригинални приступ проблематици пречишћавања отпадних вода, са ниским садржајем јона тешких метала, коришћењем пшеничне сламе као адсорбенса.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У литературном прегледу докторске дисертације наведена су 144 литературна навода, који су омогућили да се прикаже стање у областима везаним за тему доктората. Већина навода је новијег датума и представља радове објављене у врхунским међународним часописима, што указује на актуелност теме докторске дисертације. Експериментални подаци других аутора приказани у литературном прегледу су анализирани и поређени са резултатима које је

кандидат добио у свом експерименталном раду. Из пописа литературе која је коришћена у дисертацији, уочава се познавање предметне области истраживања, као и познавање актуелног стања истраживања у овој области у свету.

У наставку овог извештаја су, у том смислу, наведени најзначајнији радови коришћени и цитирани у дисертацији:

1. Avery S.V & Tobin, J. M. (1993). Mechanism of adsorption of hard and soft metal ions to *Saccharomyces cerevisiae* and influence of hard and soft anions. *Applied Environmental Microbiology*, 59(9), 2851-2856.
2. Jenkins, B. M., Bakker, R. R., & Wei, J. B. (1996). On the properties of washed straw. *Biomass and Bioenergy*, 10(4), 177-200.
3. Fiol, N., Villaescusa, I., Martinez, M., Miralles, N., Poch, J., Serarols, J. (2006). Sorption of Pb(II), Ni(II), Cu(II) and Cd(II) from aqueous solution by olive stone waste. *Separation and Purification Technology*, 50, 132-140.
4. Dang, V. B. H., & Doan, H. D. (2009). Equilibrium and Kinetics of Biosorption of Cadmium (II) and Copper (II) Ions by Wheat Straw. *Bioresource Technology*, 100, 211-219.
5. Doan, H., & Lohi, A. (2008). Removal of Zn²⁺ and Ni²⁺ by Adsorption in a Fixed Bed of Wheat Straw. *Process Safety and Environment Protection*, 86, 259-267.
6. Farooq, U., & Khan, M. (2007). *Triticum Aestivum*: A Novel Biosorbent for Lead (II) Ions. *Agrochimica*, 51, 309-318.
7. Teixeira Tarley, C. R., & Zezzi Arruda, M. A. (2004). Biosorption of heavy metals using rice milling by-products. Characterisation and application for removal of metals from aqueous effluents. *Chemosphere*, 54, 987-995.
8. Kumar, P. S., Ramalingam, S., Senthamarai, C., Niranjana, M., Vijayalakshmi, P., Sivanesan, S. (2010). Adsorption of dye from aqueous solution by cashew nut shell: Studies on equilibrium isotherm, kinetics and thermodynamics of interactions. *Desalination*, 261(1-2), 52-60.
9. Wu, Y. H., Mi, X. M., Jiang, L., Li, B., Feng, S. X. (2011). Equilibrium, kinetics and thermodynamics study on biosorption of Cr(VI) by fresh biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 28(3), 895-901.
10. Cheung, C. W., Porter, J. F., & McKay, G. (2001). Sorption kinetic analysis for the removal of cadmium ions from effluents using bone char. *Water Research*, 35(3), 605-612.
11. Chun, L., Hongzhang, C. (2004). Adsorptive removal of Cr (VI) by Fe-modified steam exploded wheat straw. *Process Biochemistry*, 39, 541-545.
12. Zhao, X. T., Zeng, T., Hu, Z. J, Gao, H. W., Zou, C. Y. (2012b). Modeling and mechanism of the adsorption of copper ion onto natural bamboo sawdust. *Carbohydrate Polymers*, 89(1), 185-192.
13. Villaescusa, I., Fiol, N. (2004). Removal of copper and nickel ions from aqueous solution by grape stalks wastes. *Water Research*, 38, 992-1002.
15. Pérez-Marín, A. B., Ballester, A., González, F., Blázquez, M. L., Muñoz, J. A., Sáez, J., Zapata, V. M. (2008). Study of cadmium, zinc and lead biosorption by orange wastes using the subsequent addition method. *Bioresource Technology*, 99, 8101-8106.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У овој дисертацији примењено је више савремених, стандардизованих метода мерења и аналитичких техника. Приказане методе у потпуности одговарају предмету и методологији истраживања.

У експерименталном делу дисертације коришћене су следеће методе:

➤ *Припрема адсорбенса (млевање и просејавање)*

Као адсорбенс коришћена је пшенична слама сакупљена са локалних поља. Слама је прво самлевена, затим просејана на сету лабораторијских сита и ситовна фракција (-1 + 0,4) mm коришћена је за експерименте адсорпције.

➤ *Експерименталне методе карактеризације адсорбенса обухватале су:*

- Физичку карактеризацију пшеничне сламе:

• Одређивање специфичне површине

Специфична површина пшеничне сламе одређена је адсорпционом методом коришћењем раствора метил плаво на UV – спектрофотометру ознаке PU 8620 UV/VIS/NIR.

• Одређивање садржаја влаге

Ради одређивања садржаја алкалних и земноалкалних метала, као и других неорганских компонената у слами, одређена маса сламе је најпре осушена у бубњастој сушници ради одређивања садржаја влаге.

- Хемијску карактеризацију пшеничне сламе:

• Одређивање хемијског састава

Након одређивања садржаја влаге у слами, слама је спаљена, потом жарена у коморној пећи ради оксидације укупног угљеника до CO₂. Пепео је након тога охлађен у пећи, измерен, и израчунат проценат пепела у слами. Затим је извршена хемијска анализа пепела коришћењем атомског апсорпционог спектрометра ознаке Perkin – Elmer 403 AAS. Такође, исти уређај је коришћен и за одређивање концентрације јона тешких, алкалних и земноалкалних метала.

• Одређивање садржаја органских материја у води од прања адсорбенса (НРК)

Садржај органских материја у води од испирања сламе дестилисаном водом одређиван је волуметријски, титрацијом воде од прања раствором 0,002 М KMnO₄. На основу потрошње KMnO₄, израчуната је хемијска потрошња кисеоника (НРК) за оксидацију органских материја у води од испирања сламе.

• Одређивање капацитета измене катјона (КИК)

КИК између пшеничне сламе и воденог раствора одређен је волуметријски, стандардном методом јонске измене са амонијум – хлоридом.

- Физичко-хемијску карактеризацију пшеничне сламе:

• Одређивање тачке нултог наелектрисања (pH_{zpc})

Тачка нултог наелектрисања између пшеничне сламе и водене фазе одређена је волуметријски, стандардном методом са две различите концентрације KNO₃.

• Скенирајућа електронска микроскопија (SEM микроскопија)

Морфологија површине узорака пшеничне сламе је посматрана скенирајућим електронским микроскопом ознаке VEGA 3 LMU TESCAN. Пре снимања узорака, исти су направани хромом у уређају за напаравање ознаке QUORUM Q150T ES.

- Фуријеова трансформациона инфрацрвена спектроскопија (FTIR спектроскопија)

Снимања FTIR спектра узорака пшеничне сламе, урађена су на FTIR спектрофотометру ознаке BOMEM MB-100 (Hartman & Braun Michelson у спектралном опсегу 4000-400 cm^{-1} , са резолуцијом од 2 cm^{-1} . За потребе снимања, узорци пшеничне сламе су припремљени са калијум-бромидом у масеном односу 1:150, при чему су добијене одговарајуће KBr-таблете. Добијене KBr таблете су потом снимане на датом FTIR спектрофотометру.

➤ *Експерименталне методе испитивања адсорпције јона метала у реактору са мешањем и у адсорпционој колони*

- Мерење рН вредности раствора

Промена рН вредности раствора током испирања сламе дестилованом водом, као и током адсорпције јона метала, мерена је рН-метром WTW inoLab pH – 720.

- Мерење проводљивости раствора

Промена проводљивости раствора током испирања пшеничне сламе мерена је кондуктометром ознаке WTW inoLab cond – 720.

- Одређивање кинетике адсорпције

За описивање кинетике адсорпције датих јона на пшеничној слами коришћени су кинетички модел псеудо-другог реда, кинетички модел међучестичне дифузије и Elovich-ев модел.

- Одређивање изотерми адсорпције

Експериментално добијени подаци промене капацитета адсорпције са временом фитовани су коришћењем Langmuir-овог, Freundlich-овог и Temkin-овог модела адсорпционе изотерме.

3.4. Применљивост остварених резултата

На основу прегледа до сада објављених експерименталних података и резултата приказаних у оквиру ове дисертације, остварен је значајан допринос у овој области. Резултати и закључци изнети у овој дисертацији потврда су могућности коришћења пшеничне сламе као адсорбенса за адсорпцију јона бакра, никла, цинка и олова из водених раствора.

Приказани технолошки поступак пречишћавања отпадних вода комбинацијом поступака адсорпције, солвентне екстракције и електродобијања метала коришћењем пшеничне сламе као адсорбенса има за циљ да прикаже основне процесе и операције које би биле коришћене у процесу, који би резултирао смањењем киселости рудничке воде, уклањања јона бакра и других тешких метала и искоришћењем бакра као најзаступљенијег метала у рудничким водама.

Поменути инжењерски приступ је од значаја за решавање постојећих проблема у третману отпадних вода, како са становишта заштите животне средине, тако и са економског аспекта и аспекта одрживог развоја, и отвара могућност за даље иновативне активности у овој истраживачкој области.

Верификација добијених резултата у дисертацији остварена је објављивањем радова у међународним часописима из ове области, као и презентовањем добијених резултата на међународним конференцијама.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Урађена докторска дисертација, анализа добијених резултата, те проистекли публиковани научни радови, као и публиковани радови изван докторске дисертације и учешће у реализацији научно-истраживачких пројеката, указују на способност кандидата Милана Горгиевског, дипл. инж. металургије за самостални научни рад као и за активно учешће у тимском раду.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру ове дисертације остварен је значајан научни допринос у области примене пшеничне сламе за адсорпцију јона бакра, никла, цинка и олова из водених раствора. Научни и практични значај ове докторске дисертације се огледа у следећем:

- Карактеризацијом пшеничне сламе, коришћењем одговарајућих метода карактеризације, одређене су њене физичке, хемијске и физичко-хемијске особине.
- На основу добијених резултата FTIR-а дефинисане су функционалне групе у адсорбенсу одговорне за измену јона.
- На основу добијених резултата за капацитет измене катјона одређен је доминантан јон у измењивом положају који се у процесу адсорпције механизмом јонске измене измеђује са јонима метала.
- Дефинисан је механизам адсорпције и улога алкалних и земноалкалних метала присутних у молекулској структури адсорбенса на процес адсорпције.
- Одређен је капацитет адсорпције пшеничне сламе као и његова промена са временом за дате јоне тешких метала.
- Одређен је утицај појединих параметара процеса на процес адсорпције као што су: рН раствора, проводљивост, почетна концентрација јона тешких метала.
- На основу изабраног теоријског кинетичког модела, који је показао најбоље слагање са експерименталним подацима, одређене су константе брзине адсорпције датих јона метала на адсорбенсу, као и равнотежни адсорпциони капацитет.
- Дефинисани су услови равнотеже процеса адсорпције; одређене су константе равнотеже, коефицијенти хетерогености, као и теоријски капацитет адсорпције за сваки од испитиваних јона метала.
- Испитана је адсорпција у колони; одређене су пробојне криве и пробојне тачке за сваки од јона метала.
- Дефинисан је механизам адсорпције и улога алкалних и земноалкалних метала присутних у структури адсорбенса на процес адсорпције.
- Дефинисан је утицај појединих физичко-хемијских особина јона метала на адсорпцију датог јона.
- Предложен је технолошки поступак за третирање засићеног адсорбенса, који би се заснивао на његовом спаљивању, искоришћењу топлотне енергије за интерне потребе

постројења, а пепео лужио раствором киселине, при чему би у лужни раствор прешли адсорбовани јони тешких метала, на које би могао да се примени SX-EW поступак.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Добијени резултати у експерименталном делу дисертације, обезбеђују додатне корисне информације везане за проблематику третмана отпадних вода са ниским садржајем јона тешких метала у себи коришћењем пшеничне сламе као адсорбенса. Ови резултати повезују физичке, хемијске и физичко-хемијске карактеристике адсорбенса и параметре процеса (pH вредност, проводљивост раствора) са механизмом адсорпције испитиваних јона на пшеничној слами.

У циљу објашњења кинетике процеса адсорпције јона тешких метала коришћењем пшеничне сламе као адсорбенса, одређени су кинетички параметри процеса на основу изабраног теоријског кинетичког модела који је показао најбоље слагање са експерименталним подацима о брзини процеса адсорпције сваког од испитиваних метала на слами.

Утицај физичко-хемијских особина јона метала на адсорпцију датог јона метала у литератури није у потпуности анализиран, те добијени резултати на овом пољу у дисертацији представљају допринос овој проблематици, и потврђују да је афинитет адсорбенса према датом јону метала у корелацији са физичко-хемијским особинама датог јона метала.

Постављени циљеви и задаци истраживања у дисертацији остварени су у потпуности. Добијени резултати представљају значајан допринос актуелним испитивањима у области биосорпције, и показују да се пшенична слама може успешно користити као јефтин, природни адсорбент за адсорпцију јона бакра, никла, цинка и олова из водених раствора.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос ове докторске дисертације је верификован кроз публиковане научне радове проистекле као резултат истраживања у оквиру дисертације.

У даљем тексту је дат списак до сада објављених радова у научним часописима и радова саопштених на конференцијама, који су проистекли из ове докторске дисертације:

Рад у врхунском међународном часопису, M21:

1. **M. Gorgievski**, D.Božić, V.Stanković, G.Bogdanović, Copper electrowinning from acid mine drainage: A case study from the closed mine “Cerovo”, Journal of Hazardous Materials 170(2-3) (2009) pp. 716-721.

(ISSN 0304-3894) IF (2009) = 4.144 (Engineering, Environmental 4/42).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.04.135>

2. D. Božić, V. Stanković, **M. Gorgievski**, G. Bogdanović, R. Kovačević, Adsorption of heavy metal ions by sawdust of deciduous trees, Journal of Hazardous Materials 171(1-3) (2009) pp. 684-692.

(ISSN 0304-3894) IF (2009) = 4.144 (Engineering, Environmental 4/42).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.055>

3. **M. Gorgievski**, D. Božić, V. Stanković, N. Štrbac, S. Šerbula, Kinetics, equilibrium and mechanism of Cu²⁺, Ni²⁺ and Zn²⁺ ions biosorption using wheat straw, Ecological Engineering 58 (2013) pp. 113-122.

(ISSN 0925-8574) IF (2012) = 2.958 (Engineering, Environmental 10/42).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.06.025>

4. D. Božić, **M. Gorgievski**, V. Stanković, N. Štrbac, S. Šerbula, N. Petrović, Adsorption of heavy metal ions by beech sawdust- Kinetics, mechanism and equilibrium of the process, *Ecological Engineering* 58 (2013), pp. 203-206.

(ISSN 0925-8574) IF (2012) = 2.958 (Engineering, Environmental 10/42).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.06.033>

Rad u međunarodnom časopisu, M23:

1. V. Stanković, D. Božić, **M. Gorgievski**, G. Bogdanović, Heavy metal ions adsorption from mine waters by sawdust, *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly* 15(4) (2009) pp. 237–249.

(YU ISSN 1451-9372). IF2 (2009) = 1,060 (Materijali i hemijske tehnologije, Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja RS).

<http://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=1451-93720904237S#>

Саопштење са међународног скупа штампано у целини, M33:

1. **M. Gorgievski**, D. Božić, V. Stanković, G. Bogdanović, Copper electrowinning from seepages of closed mine "Cerovo", 40th International October Conference on Mining and Metallurgy, Sokobanja (Serbia), October 5-8th (2008), Proceedings pp. 386 – 392. (ISBN 978-86-80987-60-6).

2. D. Božić, **M. Gorgievski**, V. Stanković, G. Bogdanović, R. Kovačević, Removal of heavy metals from mine waters by adsorption on sawdust, 40th International October Conference on Mining and Metallurgy, Sokobanja (Serbia), October 5-8th (2008), Proceedings pp. 277 – 284. (ISBN 978-86-80987-60-6).

3. V. Cvetanovski, D. Božić, **M. Gorgievski**, M. Šteharnek, V. Stanković, Electroplating plants rinse waters treatment by column adsorption onto wheat straw, XVIII International Scientific and Professional Meeting "Ecological Truth" ECO-IST'10, Spa Junaković, Apatin, Serbia, (2010), Proceedings, str. 366-371 (ISBN 987-86-80987-79-1).

4. D. Božić, **M. Gorgievski**, V. Stanković, Column adsorption of copper, zinc and nickel ions onto beech sawdust and wheat straw, 42nd International October Conference on Mining and Metallurgy, Kladovo, Serbia, (2010), Proceedings, pp. 78-81 (ISBN 978-86-80987-79-8).

5. D. Božić, **M. Gorgievski**, S. Ivanović, Z. Ljubomirović, T. Apostolovski-Trujić, Column adsorption of copper ions onto beech sawdust and wheat straw, 11^{-TH} International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2011, Albena, Bulgaria, (2011), Proceedings Volume III, pp. 815-819 (ISSN 1314-2704; DOI: 10.5593/sgem 2011).

6. D. Božić, **M. Gorgievski**, Lj. Mišić, V. Trujić, Adsorption of zinc ions onto beech sawdust, 1st International Symposium on Environmental and Material Flow Management, Zaječar, Serbia, (2011), Proceedings, pp. 136-141. (ISBN 978-86-80987-88-0).

7. **M. Gorgievski**, D. Božić, , Lj. Mišić, V. Trujić, Adsorption of zinc ions onto wheat straw, 1st International Symposium on Environmental and Material Flow Management, Zaječar, Serbia, (2011), Proceedings, pp. 158-163. (ISBN 978-86-80987-88-0).

8. D. Božić, **M. Gorgievski**, V. Stanković, N. Štrbac, S. Dragulović, Z. Stanojević-Šimšić, Z. Ljubomirović, Adsorption of nickel ions onto beech sawdust, 43nd International October Conference

on Mining and Metallurgy, Kladovo, Serbia, (2011), Proceedings, pp.396-399. (ISBN 978-86-80987-87-3).

9. **M. Gorgievski**, D. Božić, V. Stanković, N. Štrbac, S. Dragulović, Wheat straw as an adsorbent for nickel ions adsorption from aqueous solutions, 44th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, (2012), Proceedings, pp. 613-616. (ISBN 978-86-7827-042-0).

10. D. Božić, **M. Gorgievski**, V. Stanković, N. Štrbac, S. Dragulović, Beech sawdust and wheat straw as natural adsorbents for the adsorption of zinc ions from synthetic solution, 44th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, (2012), Proceedings, pp. 603-606. (ISBN 978-86-7827-042-0).

11. D. Božić, N. Štrbac, **M. Gorgievski**, V. Stanković, Column adsorption of zinc ions onto beech sawdust and wheat straw, 45th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, (2013), Proceedings, pp. 668-671. (ISBN 978-86-6305-012-9).

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу, М34:

1. **M. Gorgievski**, D. Božić, V. Stanković, Removal of copper ions from aqueous solution by adsorption onto wheat straw, 37th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering, Slovakia, (2010), Proceedings, p. 110. (ISBN 978-80-227-3290-1).

2. D. Božić, **M. Gorgievski**, V. Stanković, Sawdust as an adsorbent for the copper ions adsorption, 37th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering, Slovakia, (2010), Proceedings, p. 109. (ISBN 978-80-227-3290-1).

3. **M. Gorgievski**, D. Božić, V. Stanković, V. Trujić, Biosorpcija jona bakra korišćenjem pšenične slame kao adsorbensa, IX Simpozijum "Savremene tehnologije i privredni razvoj", Leskovac 21-22. Oktobar (2011), Zbornik izvoda radova, p. 148. (ISBN 978-86-82367-92-5).

4. D. Božić, **M. Gorgievski**, V. Stanković, V. Trujić, Adsorpcija jona bakra korišćenjem trine bukve, IX Simpozijum "Savremene tehnologije i privredni razvoj", Leskovac 21-22. Oktobar (2011), Zbornik izvoda radova, p. 149. (ISBN 978-86-82367-92-5).

5. **M. Gorgievski**, D. Božić, Lj. Mišić, V. Trujić, Adsorption of zinc ions onto wheat straw, 1st International Symposium on Environmental and Material Flow Management, Zaječar, Serbia, (2011), Book of Abstracts, p. 29. (ISBN 978-86-80987-88-0).

6. D. Božić, **M. Gorgievski**, Lj. Mišić, V. Trujić, Adsorption of zinc ions onto beech sawdust, 1st International Symposium on Environmental and Material Flow Management, Zaječar, Serbia, (2011), Book of Abstracts, p. 26. (ISBN 978-86-80987-88-0).

Рад у водећем националном часопису, М51:

1. **M. Gorgievski**, N. Štrbac, D. Božić, V. Stanković, D. Živković, Removal of nickel ions from synthetic solutions using wheat straw and beech sawdust, *Ecologica* 21 (74) (2014) str.267-271.

Рад у националном часопису, М52:

1. **M. Gorgievski**, D. Božić, V. Stanković, V. Trujić, Biosorpcija jona bakra korišćenjem pšenične slame kao adsorbensa, Zbornik radova Tehnološkog fakulteta u Leskovcu 20, (2011) str. 35-43. (ISSN 0352-6542).

2. D. Božić, **M. Gorgievski**, V. Stanković, V. Trujić, Adsorpcija jona bakra korišćenjem trine bukve, Zbornik radova Tehnološkog fakulteta u Leskovcu 20, (2011) str. 27-34. (ISSN 0352-6542).

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини, М63:

1. D. Božić, V. Stanković, **M. Gorgievski**, G. Bogdanović, Adsorpcija jona bakra u koloni sa trinom kao adsorbensom, Ekološka istina, Kladovo (2009), Zbornik radova, str. 133-136. (ISBN 978-86-80987-69-9).

2. D. Božić, **M. Gorgievski**, V. Stanković, G. Bogdanović, Adsorpcija jona teških metala korišćenjem trine kao adsorbensa, Reciklažne tehnologije i održivi razvoj, Kladovo (2009), Zbornik radova, str. 352-355. (ISBN 978-86-80987-73-6).

3. **M. Gorgievski**, D. Božić, V. Stanković, G. Bogdanović, Adsorpcija jona bakra sa pšeničnom slamom kao adsorbensom, Reciklažne tehnologije i održivi razvoj, Kladovo (2009), Zbornik radova, str. 356-359. (ISBN 978-86-80987-73-6).

4. J.V. Kalinović, D. Božić, V. Stanković, **M. Gorgievski**, S.M. Šerbula, T.S. Kalinović, A.A. Ilić, R. Stamenkovski, Adsorpcija jona Pb^{2+} iz sintetičkih rastvora na trini bukve, III International Symposium "MINING 2012", Zlatibor, Serbia (2012), Proceedings, pp. 467-472. (ISBN 978-86-80809-69-4).

5. T.S. Kalinović, D. Božić, V. Stanković, **M. Gorgievski**, S.M. Šerbula, A.A. Ilić, J.V. Kalinović, V. Cvetanovski, Adsorpcija jona Pb^{2+} iz sintetičkih rastvora na pšeničnoj slami, III International Symposium "MINING 2012", Zlatibor, Serbia (2012), Proceedings, pp.480-484. (ISBN 978-86-80809-69-4).

Испитивања обухваћена предметном докторском дисертацијом представљају део истраживања у оквиру пројекта „Развој технологија за рециклажу племенитих, ретких, и пратећих метала из чврстог отпада Србије до високо квалитетних производа“, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (број пројекта ТР34024, реализатор: Институт за рударство и металургију Бор, руководилац: проф. др Властимир Трујић), као и пројекта под називом „Развој нових инкапсулационих и ензимских технологија за производњу биокатализатора и биолошки активних компонената хране у циљу повећања њене конкурентности, квалитета и безбедности“, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (број пројекта ИИИ46010, реализатор: Технолошко-металуршки факултет у Београду, руководилац: проф. др Бранко Бугарски).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега напред изложеног, Комисија сматра да докторска дисертација Милана Горгиевског, дипл. инж. металургије, под називом „Адсорпција јона тешких метала из водених раствора коришћењем пшеничне сламе као адсорбенса“ представља значајан оригинални научни допринос у области Металуршког инжењерства. Такође, Комисија закључује да је докторска дисертација савремена, актуелна са становишта значаја за заштиту и очување околине и научно је заснована. Дисертација поседује и одређени инжењерски аспект, што је такође битно, с обзиром на карактер факултета са кога кандидат потиче, па пружа могућност за остваривање значајних, како научних, тако и апликативних - инжењерских резултата. Комисија, такође, сматра да су предмет и научни циљ докторске дисертације јасно дефинисани.

На основу прегледане докторске дисертације, као и увида у верификован научни допринос кроз објављене радове у часописима (2 рада као првопотписани аутор у међународним часописима категорије M21), Комисија за оцену и одбрану урађене докторске дисертације закључује да кандидат Милан Горгиевски, дипл. инж. металургије, испуњава све законске и остале услове за одбрану докторске дисертације. Такође, Комисија закључује да је урађена дисертација написана према стандардима у научно-истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и Статутом Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду. Стога, Комисија предлаже Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Адсорпција јона тешких метала из водених раствора коришћењем пшеничне сламе као адсорбенса“ кандидата Милана Горгиевског, дипл. инж. металургије, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, те да након завршетка ове процедуре, позове кандидата на усмену одбрану дисертације, пред комисијом у истом саставу.

У Бору, 26.02.2015. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Нада Штрбац, редовни професор, *ментор*
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

.....
др Мирјана Рајчић – Вујасиновић,
редовни професор, *члан*
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

.....
др Милорад Цакић, редовни професор, *члан*
Универзитет у Нишу, Технолошки факултет у
Лесковцу

.....
др Драгана Живковић, редовни професор, *члан*
Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору