

Факултет Технички факултет у Бору

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуке о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и о именовању комисије за одбрану

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације:

КАНДИДАТ МИЉАН (Сима) МАРКОВИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму Металуршко инжењерство

пријавио је докторску дисертацију под називом:

Примена сирових и жарених љуски кокошијих јаја као биосорбента за уклањање јона бакра из водених раствора

из научне области: Металуршко инжењерство

Универзитет је дана 18.11.2024. својим актом под бр. 61206-4335/2-24 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

Примена сирових и жарених љуски кокошијих јаја као биосорбента за уклањање јона бакра из водених раствора

Име и презиме ментора: Др Милан Горгиевски
редовни професор, Технички факултет у Бор

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној 30.10.2025. године одлуком факултета под бр. VI/4-2-13, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Нада Штрбац	редовни професор	Екстрактивна металургија и металуршко инжењерство	Технички факултет у Бору
2.	Др Весна Грекуловић	редовни професор	Екстрактивна металургија и металуршко инжењерство	Технички факултет у Бору
3.	Др Драгана Божић	виши научни сарадник	Металургија	Институт за рударство и и металургију у Бору

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности 18.11.2025.године

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној 18.12.2025. године

Комисија за одбрану докторске дисертације именована на седници одржаној 18.12.2025. године

одлуком факултета под бр. VI/4-5-146, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Нада Штрбац	редовни професор	Екстрактивна металургија и металуршко инжењерство	Технички факултет у Бору
2.	Др Весна Грекуловић	редовни професор	Екстрактивна металургија и металуршко инжењерство	Технички факултет у Бору
3.	Др Драгана Божић	виши научни сарадник	Металургија	Институт за рударство и и металургију у Бору

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

- Прилози:
- Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације
 - Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
 - Примедбе на извештај Комисије о оцени докторске дисертације (уколико их је било) и мишљење Комисије о примедбама

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

Универзитет у Београду
Технички факултет у Бору
Број: VI/4-5-14а
Бор, 18. 12. 2025. године

На основу чл. 49. Статута Техничког факултета у Бору и чл. 44. Правилника о докторским студијама на Техничком факултету у Бору, Наставно-научно веће Факултета на седници одржаној 18. 12. 2025. године, донело је

О Д Л У К У

I Усваја се Извештај Комисије за оцену докторске дисертације **Миљана Марковића**, мастер инж. металургије, студента докторских академских студија студијског програма Металуршко инжењерство, под називом: „Примена сирових и жарених љуски кокошијих јаја као биосорбента за уклањање јона бакра из водених раствора”, на који није било примедби.

II Универзитет у Београду је дана **18. 11. 2024. године** дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

III Радови из научних часописа са листе која је утврђена као релевантна за вредновање научне компетенције у одређеном научном пољу:

Рад у водећем међународном часопису категорије M21:

1. **M. Marković**, M. Gorgievski, N. Štrbac, V. Grekulović, K. Božinović, M. Zdravković, M. Vuković: Raw Eggshell as an Adsorbent for Copper Ions Biosorption—Equilibrium, Kinetic, Thermodynamic and Process Optimization Studies, Metals, 13 (2) (2023), 206 [Impact factor (IF) 2.8/2024] (<https://doi.org/10.3390/met13020206>)
ISSN 2075-4701

Рад у међународном часопису категорије M23:

1. **M. Marković**, M. Gorgievski, N. Štrbac, V. Grekulović, M. Zdravković, M. Marković, Analysis and statistical modeling of copper ions biosorption onto calcined chicken eggshell, Journal of the Serbian Chemical Society, 90 (5) (2025), pp. 661-680 [Impact factor (IF) 0.9/2024] (<https://doi.org/10.2298/JSC241107017M>)
ISSN 0352-5139

IV Одлуку доставити надлежном Већу научних области Универзитета у Београду, ради давања сагласности. Докторска дисертација из става 1. ове одлуке подобна је за одбрану након добијања сагласности именованог Већа Универзитета.

Доставити:

- именованом
- Већу научних области Универзитета у Београду
- студентској служби
- архиви

ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА

ДЕКАН

Проф. др Дејан Таникић

Универзитет у Београду
Технички факултет у Бору
Број: VI/4-5-14b
Бор, 18. 12. 2025. године

На основу члана 49. Статута Техничког факултета у Бору и члана 41. Правилника о докторским студијама на Техничком факултету у Бору, Наставно-научно веће Факултета на седници одржаној 18. 12. 2025. године, донело је

О Д Л У К У

I Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације **Миљана Марковића**, мастер инж. металургије, студента докторских академских студија студијског програма Металуршко инжењерство, под називом: „ **Примена сирових и жарених љуски кокошијих јаја као биосорбента за уклањање јона бакра из водених раствора**”, у саставу:

1. **Др Нада Штрбац**, редовни професор Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору, председник комисије;
2. **Др Весна Грекуловић**, редовни професор, Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору, члан комисије;
3. **Др Драгана Божић**, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор, члан комисије.

II Одлуку доставити надлежном Већу научних области Универзитета у Београду, ради давања сагласности. Докторска дисертација из става 1. ове одлуке подобна је за одбрану након добијања сагласности именованог Већа Универзитета.

Доставити:

- именованом
- студентској служби
- члановима Комисије
- архиви

ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО-НАУЧНОГ ВЕЋА

ДЕКАН

Проф. др Дејан Таникић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Технички факултет у Бору

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији кандидата Миљана Марковића, мастер инж. металургије

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору бр. VI/4-2-13 од 30.10.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидата Миљана Марковића, под називом:

„Примена сирових и жарених љуски од кокошијих јаја као биосорбента за уклањање јона бакра из водених раствора“

Након прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, као и разговора са кандидатом, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Хронологија одобравања и израде дисертације одвијала се следећом динамиком:

- **09.09.2024** - Кандидат Миљан Марковић, мастер инж. металургије, поднео је пријаву предлога теме докторске дисертације Катедри за металуршко инжењерство Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору.
- **12.09.2024.** - Катедра за металуршко инжењерство предложила је Наставно-научном већу Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору, Комисију за давање мишљења о научној заснованости предложене теме докторске дисертације.
- **19.09.2024.** - Одлуком бр. VI/4-23-11 Наставно-научног већа Универзитета у Београду -

Техничког факултета у Бору, одређена је Комисија за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације кандидата Миљана Марковића.

- **31.10.2024.** - Одлуком број VI/4-24-14 Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору, једногласно је усвојен извештај Комисије о испуњености услова о научној заснованости теме докторске дисертације под називом: „Примена сирових и жарених љуски од кокошијих јаја као биосорбента за уклањање јона бакра из водених раствора“, а за ментора је предложен др Милан Горгиевски, редовни професор Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору.
- **18.11.2024.** - Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду прихватило је извештај Комисије за оцену научне заснованости теме и донело Одлуку бр. 61206-4335/2-24 којом је дата сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Миљана Марковића, под називом: „Примена сирових и жарених љуски од кокошијих јаја као биосорбента за уклањање јона бакра из водених раствора“ и одређивању проф. др Милана Горгиевског за ментора.
- **10.10.2025.** - На седици Већа катедре за металуршко инжењерство Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору, потврђено је да је кандидат Миљан Марковић завршио израду докторске дисертације и Наставно-научном већу Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору, предложена је Комисија за оцену предметне докторске дисертације, и комисија за одбрану докторске дисертације.
- **30.10.2025.** - Одлуком број VI/4-2-13 Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору именована је Комисија за оцену докторске дисертације кандидата Миљана Марковића, мастер инж. металургије, у саставу: др Нада Штрбац, редовни професор, Универзитет у Београду - Технички факултет у Бору, др Весна Грекуловић, редовни професор, Универзитет у Београду - Технички факултет у Бору, и др Драгана Божић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру докторске дисертације под називом „Примена сирових и жарених љуски од кокошијих јаја као биосорбента за уклањање јона бакра из водених раствора“ припадају научној области Металуршко инжењерство и ужој научној области Екстрактивна металургија и металуршко инжењерство.

За ментора докторске дисертације, одређен је др Милан Горгиевски, редовни професор Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору, који је на основу објављених радова, наставног и истраживачког искуства, компетентан да руководи израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Миљан (Сима) Марковић рођен је 22.10.1994. године у Мајданпеку. Основну школу завршио је у Рудној Глави, са одличним успехом. Средњу Техничку школу, смер економски техничар, завршио је 2013. године, у Мајданпеку, такође са одличним успехом. Након

завршене средње школе, уписао је Универзитет у Београду - Технички факултет у Бору, студијски програм Металуршко инжењерство, модул: Екстрактивна металургија. Дипломирао је септембра 2017. године, са просечном оценом 8,19 и оценом 10 на завршном раду, на тему: „Биосорпција јона бакра из водених раствора коришћењем овсене сламе као адсорбенса“, под менторством проф. др Милана Горгиевског. Мастер академске студије уписао је 2017. године, на студијском програму Металуршко инжењерство, на Универзитету у Београду - Техничком факултету у Бору. Студије је успешно завршио јуна 2020. године, са просечном оценом 9,63 и оценом 10 на мастер раду, на тему: „Биосорпција јона олова из водених раствора коришћењем љуски пасуља као адсорбенса“, под менторством проф. др Милана Горгиевског. Докторске академске студије на Универзитету у Београду - Техничком факултету у Бору, на студијском програму Металуршко инжењерство, уписао је школске 2020/2021 године, и положио све испите предвиђене програмом са просечном оценом 10,00 (десет и 100/100).

Р. бр.	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
1	Методологија научно истраживачког рада	10	15
2	Пирометалуршки процеси	10	15
3	Металуршка кинетика	10	15
4	Металуршка термодинамика 2	10	15
5	Феномени преноса 2	10	15
6	Докторска дисертација – студијски истраживачки рад 1	10	30
7	Докторска дисертација – дефинисање теме	10	15
8	Докторска дисертација – студијски истраживачки рад 2	10	30
9	Докторска дисертација – студијски истраживачки рад 3	10	10
	Средња оцена/укупно ЕСПБ	10,00	160

Од октобра 2018. године запослен је на Универзитету у Београду - Техничком факултету у Бору у звању сарадника у настави, за ужу научну област Екстрактивна металургија и металуршко инжењерство. Фебруара 2021. године изабран је у звање асистента, за ужу научну област Екстрактивна металургија и металуршко инжењерство. Тренутно је ангажован као технички уредник научног часописа Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy (IF 1.0; M23). Био је ангажован као члан организационих одбора на међународним конференцијама „30th International Conference Ecological Truth and Environmental Research – EcoTER’23“ и „54th International October Conference on Mining and Metallurgy – IOC2023“. Био је ангажован као технички уредник зборника радова „PROCEEDINGS, 54th INTERNATIONAL OCTOBER CONFERENCE on Mining and Metallurgy“ који је издат у оквиру 54th International October Conference on Mining and Metallurgy IOC 2023. Био је члан стручног тима који је извршио израду студије под називом „COPPER LEACHING FROM THE MCM FLOTATION TAILINGS“. У оквиру JST SATREPS пројекта, под називом „Research on the Integration System of Spatial Environment Analyses and Advanced Metal Recovery to Ensure Sustainable Resource Development“, у периоду од 17 – 30.8.2018. године. Захваљујући сарадњи коју Универзитет у Београду - Технички факултет у Бору има са компанијом HBIS Serbia, у периоду од 06. до 26.09.2018. године био је учесник семинара о одржавању опреме и усавршавању производних

капацитета Србије: „Seminar on Equipment Maintenance and Practice of International Production Capacity Cooperation for Serbia 2018“, под покровитељством Министарства Трговине Народне Републике Кине, и организовано од стране Хебеи Универзитета за Економију и Бизнис. Активно учествује у промоцији науке међу младима, кроз манифестације „Тимочки научни торнадо“ и „Мини фестивал науке“. Члан је Српског хемијског друштва.

У оквиру досадашњег научно-истраживачког рада аутор или коаутор је следећих референци:

1. Један рад у међународном часопису категорије M21
2. Један рад у међународном часопису категорије M22
3. Пет радова у међународним часописима категорије M23
4. Осамнаест радова саопштених у целини на међународним скуповима, категорије M33.
5. Шест радова саопштених у изводу на међународним скуповима, категорије M34.
6. Три рада у националном часопису штампаних у целини, категорије M51.
7. Седам радова саопштених у изводу на националним скуповима, категорије M64.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Миљана Марковића, мастер инж. металургије, под називом „Примена сирових и жарених љуски од кокошијих јаја као биосорбента за уклањање јона бакра из водених раствора“ написана је на 107 страна, садржи 48 слика и 25 табела у тексту дисертације, и 154 литературна цитата. Дисертација је састављена из следећих поглавља и осталих пратећих садржаја:

- Увод;
- Теоријски део;
- Преглед досадашњих истраживања;
- Предмет истраживања;
- Циљеви истраживања;
- Експериментални део;
- Резултати и дискусија;
- Закључак;
- Референце;
- Биографија;
- Публиковани радови из оквира дисертације;
- Прилози.

На почетку дисертације налази се захвалница кандидата, подаци о ментору и члановима Комисије, дат је сажетак на српском и енглеском језику. На крају дисертације дати су прилози који садрже изјаве о ауторству, истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације и начину коришћења докторске дисертације, као и биографија кандидата са радовима проистеклим из докторске дисертације.

По својој форми, садржају и постигнутим резултатима, ова дисертација у потпуности задовољава критеријуме и стандарде, како Техничког факултета у Бору, тако и самог Универзитета у Београду.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У тексту првог поглавља, *Увод*, дате су основне информације о проблему загађења водотокова тешким металима, као и неке информације о конвенционалним методама њихове прераде. Дате су и опште информације о бакру као полутанту у отпадним водама, и његовом токсичном дејству на живи свет. Фокус дисертације јесте на испитивању потенцијала сирових и жарених љуски од јаја за уклањање јона бакра из водених раствора, па су самим тим загађење водотокова и бакар као полутант главна тема увода.

У другом поглављу, *Теоријски део*, дате су теоријске информације о процесима адсорпције и биосорпције и о биосорбентима, који представљају интегрални део дисертације. Такође, дати су и неки општи подаци о љусци кокошијег јајета, као и статистички подаци о производњи јаја у свету, с обзиром да је ова биомаса централна тема дисертације.

У трећем поглављу, *Преглед досадашњих истраживања*, дат је преглед истраживања из области адсорпције коришћењем природних биосорбената (биосорпције) чији је фокус на коришћењу љуски од јаја у различитим облицима за уклањање разних полутаната из водених раствора и отпадних вода.

У четвртом поглављу, *Предмет истраживања*, дефинисан је предмет докторске дисертације. Као што је наведено у овом поглављу, предмет истраживања дисертације представља испитивање могућности коришћења сирових и жарених љуски од кокошијих јаја као биосорбената за уклањање јона бакра из водених раствора. Љуске од јаја представљају отпад прехранбене индустрије који због високог садржаја калцијума може представљати потенцијални биосорбент за адсорпцију тешких метала. Ова биомаса нема никакву употребну вредност нити конкретну примену, па се у највећем броју случајева одлаже на депоније. Сходно томе је наведено да би потенцијална употреба овог материјала у процесу адсорпције допринела решавању неколико проблема. Примена љуски од јаја као биосорбента допринела би смањењу количине отпада на депонијама, као и решавању проблема загађења животне средине отпадним водама контаминираних тешким металима.

У петом поглављу, *Циљеви истраживања*, наведено је да су главни циљеви дисертације: карактеризација сирових и жарених љуски од јаја; одређивање функционалних група у њиховој структури које учествују у процесу адсорпције; испитивање способности наведених биосорбената за уклањање јона бакра из водених раствора; испитивање утицаја појединих параметара на овај процес; испитивање кинетике процеса адсорпције; испитивање равнотеже и одређивање максималног капацитета адсорпције; испитивање термодинамике

процеса адсорпције; моделовање процеса адсорпције коришћењем RSM-BBD статистичке методе; као и упоредна анализа ефикасности сирових и жарених љуски од јаја у циљу уклањања јона бакра из водених раствора.

На самом почетку шестог поглавља, *Експериментални део*, дате су информације о коришћеним хемикалијама у оквиру овог истраживања као и о биосорбенту. Даље су наведене коришћене мерне технике и методе анализа. У оквиру овог поглавља дате су и информације о коришћеним методама карактеризације као што су: SEM-EDS, FTIR, DTA-TGA и XRD анализа. На крају овог поглавља дате су информације о поступку извођења експеримената адсорпције, као и начину израчунавања најбитнијих параметара.

У седмом поглављу, *Резултати и дискусија*, приказани су резултати и дискусија експерименталних истраживања спроведених у докторској дисертацији. На почетку седмог поглавља приказани су физичке, хемијске и физичко-хемијске карактеризације узорака. Након тога су приказани резултати промена рН вредности и кондуктивности раствора током испирања узорака и током адсорпције јона бакра, као и промена степена адсорпције јона бакра на сировим и жареним љускама од јаја са временом. У наредним деловима овог поглавља приказани су резултати кинетичких испитивања процеса адсорпције, као и резултати одређивања енергије активације процеса, затим испитивање равнотеже процеса, анализа механизма процеса адсорпције, и термодинамичка анализа процеса. На крају поглавља приказани су резултати испитивања утицаја неколико параметара на ефикасност процеса адсорпције, статистичка анализа оптимизације процеса адсорпције јона бакра на сировим и жареним љускама од јаја, експериментална анализа процеса адсорпције и десорпције у неколико циклуса, и анализа ефикасности сирових и жарених љуски од јаја у уклањању јона бакра у поређењу са другим биосорбентима.

У осмом поглављу, *Закључак*, изведени су најзначајнији закључци, након спроведених опширних истраживања могућности примене сирових и жарених љуски од кокошијих јаја за уклањање јона бакра из водених раствора. Поред многих закључака који се тичу конкретних експерименталних истраживања и добијених резултата, наведено је и да су постигнути јако добри резултати у погледу капацитета адсорпције и степена уклањања јона бакра коришћењем сирових и жарених љуски од јаја. Такође, наведено је да су добијени резултати показали да је ефикасност уклањања јона бакра жарених љуски од јаја скоро десет пута већа од ефикасности сирових љуски, и да је самим тим модификација биосорбента у погледу његовог жарења дала јако добре резултате.

Након поглавља *Закључак*, у дисертацији је наведена коришћена литература са 154 литературна приказа у поглављу *Референце*, а затим су на крају дата поглавља *Биографија*, *Публиковани и саопштени радови из оквира дисертације*, и *Прилози*.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Загађење водотокова тешким металима представља један од најактуелнијих еколошких проблема услед њиховог токсичног дејства на животну средину. Адсорпција јона тешких

метала коришћењем природних адсорбенаса, или „биосорпција“, може представљати алтернативу постојећим конвенционалним технологијама за пречишћавање отпадних вода, пре свега оних са ниским садржајем јона тешких метала. Последњих година, све већа пажња научника усмерена је на истраживање примене отпадних природних материјала као потенцијалних биосорбената, за уклањање јона тешких метала и боја из водених раствора. Савременост и оригиналност докторске дисертације под називом „Примена сирових и жарених љуски од кокошијих јаја као биосорбента за уклањање јона бакра из водених раствора“ огледа се у анализи потенцијалног новог приступа проблему третмана отпадних вода загађених јонима бакра. Љуске од кокошијих јаја представљају отпад из прехранбене индустрије, који због високог садржаја калцијума, може представљати потенцијални биосорбент за адсорпцију тешких метала из водених раствора. Љуске од јаја немају никакву употребну вредност, ни конкретну примену, па се у највећем броју случајева одлажу у форми биоотпада на депонијама. Самим тим, потенцијална употреба љуски од кокошијих јаја у процесу биосорпције решава неколико проблема. Пре свега, употреба сирових и жарених љуски од кокошијих јаја као биосорбената довела би до смањења количине отпада на депонијама, самим тим би се индустријама које се базирају на коришћењу јаја помогло са смањењем трошкова одлагања њиховог отпада. Са друге стране, употреба љуски од јаја као биосорбента у процесу третирања и пречишћавања отпадних вода контаминираних тешким металима би условила решавање проблема загађења животне средине.

Велики број експерименталних испитивања у оквиру дисертације усмерен је на карактеризацију сирових и жарених љуски од кокошијих јаја, испитивање њихових адсорпционих способности, испитивање кинетике, равнотеже и термодинамике процеса, утицаја различитих параметара на процес адсорпције, као и статистичко моделовање процеса адсорпције са циљем одређивања оптималних параметара за његово извођење. Добијени су поуздани и применљиви резултати.

Захваљујући мултидисциплинарном приступу, примени одговарајућих метода карактеризације и детаљном испитивању процеса адсорпције јона бакра на сировим и жареним љускама кокошијих јаја, дисертација се може оценити као савремена и оригинална, са јасним научним и практичним доприносом.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији под називом „Примена сирових и жарених љуски од кокошијих јаја као биосорбента за уклањање јона бакра из водених раствора“ коришћена је релевантна литература са 154 литературних навода из адсорпције и биосорпције. Највећи број наведених студија еминентних светских стручњака у овој области, објављен је у истакнутим међународним часописима са SCI листе, са високим импакт фактором. Детаљном анализом доступне литературе кандидат је стекао потпуни увид у савремена достигнућа у овој области, сагледао актуелне проблеме у овом пољу истраживања, и на основу наведеног, поставио предмет и циљ истраживања свог експерименталног рада. Такође, кандидат је експерименталне резултате других аутора користио за поређење, анализу и дискусију резултата до којих је дошао у оквиру својих експерименталних истраживања, као и за

доношење одговарајућих закључака.

У наставку Реферата наведена је најзначајнија литература коришћена и цитирана у дисертацији:

1. Agbabiaka O.G., Oladele I.O., Akinwekomi A.D., Adediran A.A., Balogun A.O., Olasunkanm O.G., Olayanju T.M.A., Effect of calcination temperature on hydroxyapatite developed from waste poultry eggshell, *Scientific African*, 8 (2020) e00452.
2. Ahmad M., Usman A.R.A., Lee S.S., Kim S.C., Joo J.H., Yang J.E., Ok Y.S., Eggshell and coral wastes as low cost sorbents for the removal of Pb^{2+} , Cd^{2+} and Cu^{2+} from aqueous solutions, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18 (2012) 198-204.
3. Ahmad R., Kumar R., Haseeb S., Adsorption of Cu^{2+} from aqueous solution onto iron oxide coated eggshell powder: Evaluation of equilibrium isotherms, kinetics, and regeneration capacity, *Arab Journal of Chemistry*, 5 (2012) 353-359.
4. Anantha R.K., Kota S., An evaluation of the major factors influencing the removal of copper ions using egg shell (*Dromarius novaehollandiae*): chitosan (*Agaricus bisporus*) composite, *Biotech*, 3 (2016) 6:83.
5. Bakka A., Mamouni R., Saffaj N., Laknifli A., Benlhachemi A., Bakiz B., El Haddad M., Ait Taleb M., Roudani A., Faouzi A., The treated eggshells as a new biosorbent for elimination of carbaryl pesticide from aqueous solutions: kinetics, thermodynamics and isotherms, *Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 17(3) (2016) 271-284.
6. Balaž M., Eggshell membrane biomaterial as a platform for applications in materials science, *Acta Biomaterialia*, 10 (2014) 3827-3843.
7. Borhade A.V., Kale A.S., Calcined eggshell as a cost effective material for removal of dyes from aqueous solution, *Applied Water Science*, 7 (2017) 4255-4268.
8. Chambers J.R., Zaheer K., Akhtar H., Abdel-Aal E.S., Chapter 1 – chicken eggs, *Egg Inovation and Strategies for Improvements*, (2017) 1-9.
9. Chen H., Liu J., Cheng X., Peng Y., Adsorption for the removal of malachite green by using eggshell membrane in environment water samples, *Advanced Materials Research Vols.* 573-574 (2012) 63-67.
10. Chojnacka K., Biosorption of Cr(III) ions by eggshells, *Journal of Hazardous Materials*, B121 (2005) 167-173.
11. Daraei H., Mittal A., Mittal J., Kamali H., Optimization of Cr(VI) removal onto biosorbent eggshell membrane: experimental & theoretical approaches, *Desalination and Water Treatment*, 52 (2014) 1307-1315.
12. Elabbas S., Adjeroud N., Mandi L., Berrekhis F., Pons M.N., Leclerc J.P., Ouazzani N., Eggshell adsorption process coupled with electrocoagulation for improvement of chromium removal from tanning wastewater *international Journal of Environmental Analytical Chemistry*, (2020).
13. Eletta O.A.A., Ajayi O.A., Ogunleye O.O., Akpan I.C., Adsorption of cyanide from aqueous solution using calcinated chicken eggshells: equilibrium and optimisation studies, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1) (2016) 1367-1375.
14. Gabelman A., Adsorption basics: Part 1, *Chemical Engineering Progress*, 113 (2017) 48-53.
15. Gadd G.M., Biosorption: a critical review of scientific rationale, environmental importance and

- significance of pollution treatment, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 84 (2009) 13-28.
16. Gaetke L. M., Chow C. K., Copper toxicity, oxidative stress, and antioxidant nutrients, *Toxicology*, 189 (2003) 147-163.
 17. Ganesh Saratale R., Sun Q., Subbaiah Munagapati V., Dattatraya Saratale G., Park J., Kim D.S., The use of eggshell membrane for the treatment of dye-containing wastewater: Batch, kinetics and reusability studies, *Chemosphere*, 281 (2021) 130777.
 18. Grimm A., Zanzi R., Bjornbom E., Cukierman A.L., Comparison of different types of biomasses for copper biosorption, *Bioresource Technology*, 99 (2008), 2559-2565.
 19. Gunatilake S.K., Methods of removing heavy metals from industrial wastewater, *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS)*, 1 (2015) 12-18.
 20. Gurav V.L., Samant R.A., Application of waste egg shell for adsorption of Cd(II) and Pb(II) ions to protect environment: equilibrium, kinetic and adsorption studies, *Oriental Journal of Chemistry*, 37 (2021).
 21. Haddad B., Mittal A., Mittal J., Paolone A., Villemin D., Mansour D., Mimanne G., Habibi A., Hamidi Z., Boumediene M., Belarabi E., Synthesis and characterization of Egg shell (ES) and Egg shell with membrane (ESM) modified by ionic liquids, *Chemical Data Collections*, 33 (2021) 100717.
 22. Han Y., Trakulmututa J., Amornsakchai T., Boonyuen S., Prigyai N., Meejo Smith S., Eggshell-derived copper calcium hydroxy double salts and their activity for treatment of highly polluted wastewater, *ACS Omega*, 8 (2023) 46663-46675.
 23. Harripersadth C., Musonge P., Makarfi Isa Y., Garcia Morales M., The application of eggshells and sugarcane bagasse as potential biomaterials in the removal of heavy metals from aqueous solutions, *South African Journal of Chemical Engineering*, 34 (2020) 142-150.
 24. Ho, Y.S.; McKay, G. Pseudo-second order model for sorption processes, *Process Biochemistry*, 34 (1999) 451–465.
 25. Jendia A.H., Hamzah S., Abuhabib A.A., El-Ashgar N.M., Removal of nitrate from groundwater by eggshell biowaste, *Water Supply*, 20 (2020) 2514-2529.
 26. Khalid A., Kazmi M.A., Habib M., Jabeen S., Shahzad K., Kinetic and equilibrium modelling of copper biosorption, *Journal of Faculty Engineering & Technology*, 22(1) (2015).
 27. Kiew P.L., Ang C.K., Tan K.W., Yap S.X., Chicken eggshell as biosorbent: Artificial intelligence as promising approach in optimizing study, *MATEC Web of Conferences*, 60 (2016) 01007.
 28. Kose T.E., Kivanc B., Adsorption of phosphate from aqueous solutions using calcined waste eggshell, *Chemical Engineering Journal*, 178 (2011) 34-39.
 29. Koumanova B., Peeva P., Allen S.J., Gallagher K.A., Healy M.G., Biosorption from aqueous solutions by eggshell membranes and *Rhizopus oryzae*: equilibrium and kinetic studies, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 77 (2002) 539-545.
 30. Lesnierowski G., Stangierski J., What's new in chicken egg research and technology for human health promotion? – A review, *Trends in Food Science & Technology*, 71 (2018) 46-51.
 31. Liu J., Zheng X., Qin P., Pan M., Remove of congo red from wastewater by adsorption onto eggshell membrane, *Advanced Materials Research*, 599 (2012) 391-394.
 32. Liu N., Liu Y., Luan Y., Hu X., The elimination of heavy metal-containing wastewater by

- eggshells membrane, *Applied Mechanics and Materials*, 299 (2013) 207-210
33. Metwally S., Rizk H., Gasser M., Biosorption of strontium ions from aqueous solution using modified eggshell materials, *Radiochimica Acta*, 105 (2017) 1021-1031.
 34. Michalak I., Chojnacka K., Witek-Krowiak A., State of the art of the biosorption process – a review, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 170 (2013) 1389-1416.
 35. Mohadi R., Anggraini K., Riyanti F., Lesbani A., Preparation of calcium oxide (CaO) from chicken eggshell, *Sriwijaya Journal of Environment*, 1(2) (2016) 32-35.
 36. Mohammad S.G., Ahmed S.M., El-Sayed M.M.H., Removal of copper (II) ions by eco-friendly raw eggshells and nano-sized eggshells: a comparative study, *Chemical Engineering Communications*, 209(1) (2020) 83-95.
 37. Naja G.M., Volesky B., Biosorption for industrial applications, *Comprehensive Biotechnology* (Second Edition), 6 (2011) 685-700.
 38. Oke I.A., Olarinoye N.O., Adewusi S.R.A., Adsorption kinetics for arsenic removal from aqueous solutions by untreated powdered eggshell, *Adsorption*, 14 (2008) 73-83.
 39. Pettinato M., Chakraborty S., Arafat H. A., Calabro V., Eggshell: a green adsorbent for heavy heavy metal removal in an MBR system, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 121 (2015) 57-62.
 40. Podstawczyk D., Witek-Krowiak A., Chojnacka K., Sadowski Z., Biosorption of malachite green by eggshells: Mechanism identification and process optimization, *Bioresource Technology*, 160 (2014) 161-165.
 41. Pornchai T., Putkham A.I., Putkham A., Effect of calcination time on physical and chemical properties of CaO-catalyst derived from industrial-eggshell wastes, *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 35(6) (2016).
 42. Rápó E., Szép R., Keresztesi Á., Suciú M., Tonk S., Adsorptive removal of cationic and anionic dyes from aqueous solutions by using eggshell household waste as biosorbent, *Acta Chimica Slovenica*, 65 (2018) 709-717.
 43. Ronda A., Calero M., Blazquez G., Perez A., Martin-Lara M.A., Optimization of the use of a biosorbent to remove heavy metals: Regeneration and reuse of exhausted biosorbent, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 51 (2015) 109-118.
 44. Saha P.D., Chowdhury S., Mondal M., Sinha K., Biosorption of direct red 28 (congo red) from aqueous solutions by eggshells: batch and column studies, *Separation Science and Technology*, 47 (2012) 112-123.
 45. Tonk S., Majdik C., Szep R., Suciú M., Rapo E., Nagy B., Niculae A. G., Biosorption of Cd(II) ions from aqueous solution onto eggshell waste kinetic and equilibrium isotherm studies, *Revista de Chimie*, 68 (2017) 1951-1958.
 46. Tsai W.T., Yang J.M., Lai C.W., Cheng Y.H., Lin C.C., Yeh C.W., Characterization and adsorption properties of eggshells and eggshell membrane, *Bioresource Technology*, 97 (2006) 488-493.
 47. Vijayaraghavan K., Joshi U.M., Chicken eggshell remove Pb(II) ions from synthetic wastewater, *Environmental Engineering Science*, 30 (2013) 67-73.
 48. Waheed M., Yousaf M., Shehzad A. inam-Ur-Raheem M., Kashif Iqbal Khan M., Rafiq Khan M., Ahmad N., Abdullah, Muhammad Aadil R., Channelling eggshell waste to valuable and utilizable products: A comprehensive review, *Trends in Food Science & Technology*, 106 (2020) 78-90.
 49. Wang H., Gao B., Fang J., Ok Y. S., Xue Y., Yang K., Cao X., Engineered biochar derived from eggshell-treated biomass for removal of aqueous lead, *Ecological Engineering*, 121 (2018) 124-129.
 50. Wang S., Wei M., Huang Y., Biosorption of multifold toxic heavy metal ions from aqueous water onto food residue eggshell membrane functionalized with ammonium thioglycolate, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61 (2013) 4988-4996.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За испитивање физичких, хемијских и физичко-хемијских особина сирових и жарених љуски од кокошијих јаја, као и за испитивање процеса адсорпције јона бакра, у докторској дисертацији, коришћене су следеће методе:

- Карактеризација сирових и жарених љуски од кокошијих јаја:
 - Испран узорак сирових љуски од кокошијих јаја сушен је у сушници 1 h на 100 °C, при чему је из разлике у маси одређен садржај влаге. Узорак је потом жарен у коморној пећи 1 h на 900 °C, и одређен садржај пепела.
 - Хемијски састав узорка љуски од јаја одређен је анализом добијеног пепела ICP-OES методом, на уређају Optima 8300 (Perkin Elmer).
 - Садржај органских материја у води од прања узорака одређен је волуметријски, титрацијом са KMnO_4 .
 - Капацитет измене катјона сирових и жарених љуски од кокошијих јаја одређен је методом јонске измене са NH_4Cl .
 - Морфологија површине узорака пре и након процеса адсорпције испитана је SEM-EDS методом на SEM уређају ознаке VEGA 3 LMU TESCAN са енергетско-дисперзивном рендгенском анализом X-act SDD 10 mm² (Oxford Instruments).
 - Термијска анализа љуски од јаја урађена је DTA-TGA методом, на DSC-TGA уређају ознаке SDT Q600 (TA Instruments).
 - Улога функционалних група, присутних у структури сирових и жарених љуски од кокошијих јаја, у процесу адсорпције испитана је FTIR методом, помоћу уређаја Smart iTR Nicolet iS50 (Thermo Fisher Scientific, USA).
 - Тачке нултог наелектрисања сирових и жарених љуски од кокошијих јаја одређене су методом са KNO_3 у опсегу pH вредности од 2 до 12.
 - Присутне фазе у сировим и жареним љускама од кокошијих јаја одређене су XRD методом, на RigakuMiniFlex 600 уређају опремљеном D/teXUltra 250 детектором.
- pH вредност раствора мерена је pH метром JENCO VisionPlus.
- Кондуктивност раствора мерена је на уређају WTW inoLab cond – 720.
- Концентрација јона бакра у раствору одређивана је помоћу спектрофотометра Spectroquant Pharo 300 (Merck).
- Степен адсорпције и капацитет адсорпције одређивани су математичким путем, помоћу адекватних израза.
- Кинетика процеса адсорпције испитана је помоћу кинетичких модела: псеудо-првог реда, псеудо-другог реда, модела међучестичне дифузије и Elovich-евог кинетичког модела.
- Равнотежа процеса адсорпције испитана је помоћу Langmuir-овог, Freundlich-овог и Temkin-овог модела адсорпционих изотерми.
- Термодинамика процеса адсорпције анализирана је помоћу одговарајућих термодинамичких израза.
- Предикција оптималних фактора, то јест одређивање оптималних вредности неких од параметара који утичу на ефикасност процеса адсорпције, урађена је статистичким моделовањем процеса, помоћу методе одзива површине (Response Surface Methodology

- RSM). План и моделовање експеримената оптимизације урађени су помоћу BBD методе (Box-Behnken Design).

Методe примењене за испитивања у оквиру ове докторске дисертације су потпуно оправдане и адекватне за наведене врсте истраживања.

3.4. Применљивост остварених резултата

На основу резултата добијених током израде дисертације може се закључити да је остварен значајан научни допринос у истраживаној области. Изнети резултати и изведени закључци потврђују могућност примене сирових и жарених љуски од кокошијих јаја као биосорбената за адсорпцију јона бакра из водених раствора. Испитивања су, такође, показала да жарење љуски вишеструко повећава њихову адсорпциону моћ, при чему је добијени капацитет адсорпције жарених љуски скоро десет пута већи у односу на сирове љуске од кокошијих јаја. Урађена истраживања оптимизације процеса адсорпције указала су на оптималне услове за његово извођење.

Експериментални резултати приказани у овој дисертацији представљају добру основу за даља истраживања у овој области, у погледу испитивања адсорпционе моћи поменутих биосорбената за третман реалних отпадних вода, као и за испитивање процеса адсорпције у колони.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самосталан научни рад

На основу анализе и дискусије добијених резултата, као и публикованих научних радова проистеклих из докторске дисертације, може се закључити да је кандидат Миљан Марковић, мастер инж. металургије, у потпуности оспособљен за самосталан научно-истраживачки рад, као и за активно учешће у тимском раду. Током реализације докторске дисертације, кандидат је показао висок ниво стручности и самосталности у претраживању и анализи релевантне литературе, као и у осмишљавању, планирању и спровођењу експерименталних истраживања, обради и анализи резултата, и доношењу конкретних закључака.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Докторска дисертација на тему „Примена сирових и жарених љуски од кокошијих јаја као биосорбента за уклањање јона бакра из водених раствора“ кандидата Миљана Марковића доноси значајан научни допринос кроз свеобухватно истраживање које се огледа у карактеризацији сирових и жарених љуски од кокошијих јаја, анализи процеса адсорпције јона бакра коришћењем ових материјала као биосорбената, оптимизације процеса адсорпције коришћењем RSM-BBD статистичке методе, и испитивањем процеса адсорпције и десорпције

у више циклуса. Научни допринос се може сумирати кроз следеће:

- Сprovedена је детаљна физичка, хемијска и физичко-хемијска карактеризација узорака сирових и жарених љуски од кокошијих јаја, чиме су добијене детаљније информације о овим биоматеријалима.
- Испитиван је потенцијал сирових и жарених љуски од кокошијих јаја за адсорпцију јона бакра из водених раствора, при чему је утврђено да је адсорпциона моћ жарених љуски око десет пута већа у односу на сирове љуске од јаја. Тиме је утврђено да је модификација овог биосорбента, у погледу његовог жарења, оправдана.
- У циљу бољег разумевања брзине, механизма и утицаја температуре на испитивани систем, спроведена су испитивања кинетике, равнотеже и термодинамике процеса адсорпције јона бакра на сировим и жареним љускама од кокошијих јаја.
- Испитиван је утицај параметара попут рН вредности раствора, почетне концентрације јона бакра, почетне масе биосорбената, и брзине мешања на ефикасност процеса адсорпције. Резултати истраживања дају јаснију слику о начину утицаја битних параметара на процес адсорпције јона бакра на сировим и жареним љускама од кокошијих јаја.
- Урађена је оптимизација процеса адсорпције јона бакра на сировим и жареним љускама од кокошијих јаја, коришћењем методе одзива површине (Response Surface Methodology - RSM). План и моделовање експеримената оптимизације урађени су помоћу помоћу BBD методе (Box-Behnken Design). Тиме је добијена јаснија слика о оптималним условима за извођење овог процеса.
- Урађена истраживања десорпције јона бакра, као и адсорпције/десорпције у више циклуса дала су информације о могућности ремедијације адсорбованих јона бакра, као и о могућности поновног коришћења биосорбената у више циклуса.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у докторску дисертацију, може се закључити да су експериментална испитивања добро осмишљена, што потврђују добијени резултати. Кандидат је током израде дисертације у потпуности спровео претходно постављене циљеве истраживања. Добијени резултати истраживања пружају важне информације о сировим и жареним љускама јаја као потенцијалним биосорбентима, као и информације о могућности њихове примене за адсорпцију јона бакра из водених раствора и параметрима који утичу на поменути процес. Значај се огледа у томе што је утврђено да љуске од кокошијих јаја представљају, захваљујући својим физичким, хемијским и физичко-хемијским особинама, као и својој адсорпционој моћи квалитетан биосорбент за адсорпцију јона бакра. Такође је утврђено да је модификација биосорбента у погледу његовог жарења оправдана, с обзиром да је модификовани биосорбент показао вишеструко већу адсорпциону моћ према јонима бакра од сировог.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос докторске дисертације под називом „Примена сирових и жарених љуски од кокошијих јаја као биосорбента за уклањање јона бакра из водених раствора“ кандидата Миљана Марковића верификован је публикацијама на којима је кандидат првопотписани аутор, а које су проистекле као резултат истраживања која су спроведена у оквиру ове докторске дисертације. Списак објављених радова који верификују рад кандидата на докторској дисертацији следи у даљем тексту Реферата.

Рад у водећем међународном часопису категорије M21:

1. **M. Marković**, M. Gorgievski, N. Štrbac, V. Grekulović, K. Božinović, M. Zdravković, M. Vuković: Raw Eggshell as an Adsorbent for Copper Ions Biosorption—Equilibrium, Kinetic, Thermodynamic and Process Optimization Studies, *Metals*, 13 (2) (2023), 206 [Impact factor (IF) 2.8/2024] (<https://doi.org/10.3390/met13020206>)
ISSN 2075-4701

Рад у међународном часопису категорије M23:

1. **M. Marković**, M. Gorgievski, N. Štrbac, V. Grekulović, M. Zdravković, M. Marković, Analysis and statistical modeling of copper ions biosorption onto calcined chicken eggshell, *Journal of the Serbian Chemical Society*, 90 (5) (2025), pp. 661-680 [Impact factor (IF) 0.9/2024] (<https://doi.org/10.2298/JSC241107017M>)
ISSN 0352-5139

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Анализом докторске дисертације под називом „Примена сирових и жарених љуски од кокошијих јаја као биосорбента за уклањање јона бакра из водених раствора“, као и увидом у верификован научни допринос кроз објављене радове у часописима (2 рада у међународним часописима категорије M20), може се закључити да је кандидат Миљан Марковић, мастер инж. металургије, успешно формулисао и реализовао комплексна истраживања на дату тему, и да испуњава све законске и остале услове за одбрану докторске дисертације.

Такође, Комисија закључује, да је ова докторска дисертација написана према свим стандардима научно-истраживачког рада, да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Стандардима за акредитацију, као и Статутом и Правилником о докторским судијама Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору. Стога, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору, да прихвати позитиван Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Миљана Марковића, мастер инж. металургије, под називом: „Примена сирових и жарених љуски од кокошијих јаја као биосорбента за уклањање јона бакра из водених раствора“, да исти упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, и да након тога кандидата позове на јавну одбрану дисертације.

У Бору, новембар 2025. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Нада Штрбац, редовни професор,
Универзитет у Београду - Технички факултет у
Бору

др Весна Грекуловић, редовни професор,
Универзитет у Београду - Технички факултет у
Бору

др Драгана Божић, виши научни сарадник,
Институт за рударство и металургију Бор