

Факултет Технолошко-металуршки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/221

(Број захтева)

29. 8. 2025.

(Датум)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

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

Молимо да, сходно чл. 48 ст. 5 тач. 3) Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“ бр. 201/2018, 207/2019, 213/2020, 214/2020, 217/2020, 230/21, 232/22, 233/22 и 236/22), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације::

КАНДИДАТ **Ања (Велимир) Антанасковић**

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму: **Биохемијско инжењерство и биотехнологија**

пријавио је докторску дисертацију под називом:

Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасеиз научне области: **Технолошко инжењерство**

Универзитет је дана 4. 7. 2022. својим актом под бр. 61206-2822/2-22 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе

Име и презиме ментора: др Милан Миливојевић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Име и презиме ментора 2: др Зорица Лопичић, виши научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној 26. 6. 2025.одлуком факултета под бр. 35/165, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Сузана Димитријевић-Бранковић	редовни професор	Биохемијско инжењерство и биотехнологија	ТМФ
2.	Др Владимир Адамовић	научни сарадник	Инжењерство заштите животне средине	ИТНМС
3.	Др Катарина Михајловски	виши научни сарадник	Биохемијско инжењерство и биотехнологија	ТМФ

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности 7. 7. 2025.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана 28. 8. 2025.

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној **28. 8. 2025.**

одлуком факултета под бр. 35/221, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Сузана Димитријевић-Бранковић	редовни професор	Биохемијско инжењерство и биотехнологија	ТМФ
2.	Др Владимир Адамовић	научни сарадник	Инжењерство заштите животне средине	ИТНМС
3.	Др Катарина Михајловски	виши научни сарадник	Биохемијско инжењерство и биотехнологија	ТМФ

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

Студент је уписан на докторске студије школске 2019/2020. године.

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

др Мирјана Кијевчанин, редовни професор

-
- Прилози:**
1. Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације
 2. Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
 3. 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

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 41. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 28. 8. 2025. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Извештаја о оцени докторске дисертације

Прихвата се Извештај Комисије у саставу: др Сузана Димитријевић-Бранковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Владимир Адамовић, научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд и др Катарина Михајловски, виши научни сарадник Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе“** коју је поднела **Ања Антанасковић**, мастер инжењер технологије и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Ање Антанасковић, под називом **„Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе“** Одлуком број: 61206-2822/2-22 од 4. 7. 2022. године. Верификација научних доприноса:

Категорија M21:

1. **Antanasković, A.**, Lopičić, Z., Pehlivan, E., Adamović, V., Šoštarić, T., Milojković, J., Milivojević, M. (2023). Thermochemical conversion of non-edible fruit waste for dye removal from wastewater. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 14, 18649–18665. (IF=3.5) (ISSN: 2190-6823) (<https://doi.org/10.1007/s13399-023-04083-2>).

Категорија M22:

1. **Antanasković, A.**, Lopičić, Z., Dimitrijević-Branković, S., Ilić, N., Adamović, V., Šoštarić, T., Milivojević, M. (2024). Biochar as an Enzyme Immobilization Support and Its Application for Dye Degradation. *Processes*, 12, 2418. (IF= 3.0) (ISSN: 2227-9717) (<https://doi.org/10.3390/pr12112418>).

Категорија M23:

1. **Antanasković, A.**, Lopičić, Z., Šoštarić, T., Adamović, V., Cvetković, S., Perendija, J., Milivojević, M. (2024). Toxic dye removal by thermally modified lignocellulosic waste in a three-phase air-lift reactor: Kinetic insights. *Hemijska Industrija*, 78, 241-252. (IF=0.8) (ISSN: 0367-598X) (<https://doi.org/10.2298/HEMIND230607015A>).

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

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

ДУ

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 41. и 42. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 28. 8. 2025. године, донета је

О Д Л У К А

о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације

Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације **Ање Антанасковић**, мастер инжењера технологије, са темом под називом **„Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе“**, у саставу:

1. Др Сузана Димитријевић-Бранковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
2. Др Владимир Адамовић, научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд,
3. Др Катарина Михајловски, виши научни сарадник Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

Одлуку доставити: Одлуку доставити: члановима Комисије, Универзитету у Београду, Служби за наставно-студентске послове и Архиви Факултета.

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата **Ање В. Антанасковић**.

Одлуком бр. 2025-35/163 од 26. јуна 2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидата Ање В. Антанасковић под насловом „Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе“.

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

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Школске **2019/2020.** године кандидат Ања В. Антанасковић, мастер инжењер технологије, уписала је докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, смер Биохемијско инжењерство и биотехнологија.

24. маја 2022. године, Ања В. Антанасковић је Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду пријавила тему за израду докторске дисертације под називом: „Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе“.

2. јуна 2022. године на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је одлука (бр. 35/136) о именовању чланова Комисије за оцену подобности теме и кандидата Ање В. Антанасковић, мастер инжењера технологије, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме: „Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе“ у саставу: др Милан Миливојевић, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, др Сузана Димитријевић-Бранковић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Зорица Лопичић, научни сарадник, Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина.

30. јуна 2022. године, Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета донело је Одлуку (бр. 35/170) о прихватању реферата Комисије за оцену подобности теме „Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе“ кандидата Ање В. Антанасковић за израду докторске дисертације. За менторе докторске дисертације именовани су др Милан Миливојевић, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Зорица Лопичић, научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина.

4. јула 2022. године на седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност (Одлука 02 број: 61206-2822/2-22) на предлог теме докторске дисертације Ање В.

Антанасковић, мастер инжењера технологије под називом: „Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе“.

26. јуна 2025. године на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је Одлука (бр. 2025-35/163) о именовању чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Ање В. Антанасковић, мастер инжењера технологије, под називом: „Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе“ у саставу: др Сузана Димитријевић-Бранковић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, др Владимир Адамовић, научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина и др Катарина Михајловски, виши научни сарадник Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Биохемијско инжењерство и биотехнологија, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментори ове докторске дисертације су др Милан Миливојевић, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Зорица Лопичић, виши научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, који на основу искуства и објављених публикација испуњавају све неопходне услове да руководе израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Ања (Велимир) Антанасковић рођена је 24. фебруара 1995. године у Београду. Основну и средњу Медицинску школу (образовни профил – фармацеутски техничар) завршила је у Београду. Школске 2014/2015. године уписала је основне академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Биохемијско инжењерство и биотехнологија. Мастер академске студије уписала је 2018. године на истом факултету, на смеру Прехрамбена технологија и 2019. године одбранила завршни мастер рад. Током студија волонтирала је у компанији SAGAL-FOOD д.о.о. Београд и у Музеју науке и технологије Универзитета у Патрасу, у Грчкој. Докторске академске студије уписала је школске 2019/2020. године на Технолошко-металуршком факултету, на смеру Биохемијско инжењерство и биотехнологија, и положила све испите предвиђене студијским програмом са просечном оценом 9,83. Завршни испит на докторским студијама под називом „Избор материјала на бази споредних производа прехрамбене и агроиндустрије за развој биосорбената“ одбранила је са оценом 10 у септембру 2021. године.

У октобру 2019. године добила је звање истраживача приправника и запослила се у Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина у Београду, у Центру за заштиту животне средине, где је током рада ангажована на неколико значајних пројеката. Од октобра 2019. године била је ангажована на пројекту „Развој технологије и производа на бази минералних сировина и отпадне биомасе за заштиту ресурса за производњу безбедне хране“ (ТР31003), који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. У периоду од 2023. до 2024. године учествовала је као члан тима на билатералном пројекту сарадње са Француском, под називом „Биочађ као подршка циркуларној (био)економији – синтеза материјала на бази лигноцелулозног отпада са мултифункционалном применом: пречишћавање вода, ремедијација и технолошко обогаћивање земљишта“, који је финансиран од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије. Од 2023. године ангажована је као члан тима на пројекту „Од отпада до хране и оплемењивања земљишта – минимализација отпада применом принципа циркуларне економије у индустрији прераде воћа и поврћа“ који се реализује у оквиру програма ПРИЗМА (пројекат бр. 7439) и који је финансиран од стране Фонда за науку Републике Србије. Од 2025. године члан је тима на билатералном пројекту сарадње са Француском, под називом „Унапређење својстава материјала на бази биочађи и проширење његове примене за ремедијацију и обогаћивање земљишта“, који је финансиран од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије.

Аутор и коаутор је 8 радова у часописима међународног значаја, 2 рада у домаћим новопокрнутим часописима, као и 34 саопштења са међународних и националних конференција.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Ање В. Антанасковић, мастер инжењера технологије под називом „Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе“ написана је на 118 страна, садржи 56 слика, 19 табела и 222 литературна навода. Докторска дисертација садржи шест целина: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература. На почетку дисертације дата је Захвалница, Сажетак на српском и енглеском језику и Садржај. На крају дисертације дата је биографија кандидата, као и изјаве о ауторству, истоветности електронске и штампане верзије докторске дисертације и о коришћењу, и оцени извештаја о провери оригиналности докторске дисертације. По својој форми и садржају, поднети рад задовољава све стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу **Увод** представљени су предмет и циљ докторске дисертације. У овом поглављу указано је на глобални проблем отпада од хране и његов негативни утицај на животну средину, као и на потенцијал овог отпада за развој нових производа. Истиче се процес пиролизе као ефикасан метод за збрињавање отпада из прехранбене индустрије и производњу биочађи. Указано је на значај биочађи као материјала са широком применом, посебно у областима одрживог управљања ресурсима и заштити животне средине. Посебно је наглашена примена биочађи као адсорбента за уклањање катјонских боја из отпадних вода, као и носача за имобилизацију ензима у циљу развоја ефикасних и одрживих технолошких решења.

Теоријски део садржи шест тематских целина (Лигноцелулозна биомаса, Биочађ - појам и карактеристике, Ензими, Адсорпција - појам и карактеристике, Боје и Вештачке неуронске мреже) и представља детаљну анализу литературних података. У првом поглављу описана је лигноцелулозна биомаса, њене физичко-хемијске особине и различити извори. Посебан акценат стављен је на биомасу пореклом из прехранбене индустрије на територији Републике Србије, као значајан и доступан отпадни материјал. Такође су представљене различите методе модификације лигноцелулозне биомасе у циљу побољшања њених својстава и применљивости. У другом поглављу детаљно је описан појам биочађи, са посебним освртом на факторе и параметре који утичу на њена физичко-хемијска својства. Представљене су и методе активације биочађи, које омогућавају прилагођавање њених карактеристика специфичним потребама и применама. Посебна пажња посвећена је различитим могућностима примене биочађи. Ово поглавље пружа темељно разумевање биочађи као мултифункционалног материјала са значајним потенцијалом за одрживи развој. У трећем поглављу описани су биолошки активни молекули — ензими, као и фактори који утичу на њихову активност, са посебним освртом на лаказу и њену могућност примене у различитим процесима. Поред тога, представљен је поступак имобилизације ензима, као и различити носачи који се користе за ту сврху. У четвртом поглављу описане су боје, њихово присуство у воденој средини и утицај на људско здравље и животну средину. Посебна пажња посвећена је катјонским бојама, са акцентом на брилијантно зелену боју (БЗ), због њене изразите токсичности. У петом поглављу објашњене су вештачке неуронске мреже, укључујући њихову структуру, начин функционисања и принципе обучавања.

У поглављу **Експериментални део** приказан је сажет преглед изведених експеримената, уз навођење коришћених хемикалија. Ова целина обухвата опис синтезе биочађи, као и детаљан приказ метода примењених за њихову карактеризацију. Поред тога, описан је поступак адсорпције боје применом синтетисаних биочађи уз оптимизацију процесних параметара (величина честица, рН, доза адсорбента, време контакта, температура, иницијална концентрација боје). Посебна пажња посвећена је проучавању кинетике адсорпције боје у шаржном и *air-lift* систему, као и моделима адсорпционих изотерми примењених за обраду резултата добијених у шаржном систему. У овом поглављу описана је и активација биочађи у циљу што ефикасније имобилизације лаказе, као и оптимизација параметара

(pH, температура, време контакта) који утичу на процес имобилизације. Након тога, описана је поступак разградње боје применом имобилисане лаказе на биочађи у шаржном систему, уз оптимизацију параметара (иницијална концентрација боје, pH, температура, време контакта), као и разградња боје у *air-lift* реактору (ALR). Поред тога, објашњен је и поступак поновне употребе лаказе имобилисане на биочађи за разградњу боје у шаржном систему. На крају, описан је и поступак развоја модела применом вештачких неуронских мрежа за предвиђање адсорпционог капацитета синтетисаних биочађи према катјонским бојама.

У поглављу **Резултати и дискусија** приказани су резултати добијени у експерименталном делу ове дисертације, њихова анализа и дискусија која укључује поређење са литературним подацима. Ово поглавље се састоји од четири целине. У првој целини приказани су резултати карактеризације синтетисаних биочађи применом различитих инструменталних и физичко-хемијских анализа. У другој целини приказани су резултати примене синтетисаних биочађи као адсорбента за уклањање БЗ из водених раствора. Приказани су резултати утицаја различитих процесних параметара (величина честица, pH, доза адсорбента, време контакта, температура, иницијална концентрација боје) на процес адсорпције у шаржном систему. Такође, приказани су резултати анализе кинетике адсорпције применом различитих кинетичких модела (псеудо-први ред, псеудо-други ред и Weber-Morris-ов модел). Поред тога објашњен је и механизам адсорпције боје на синтетисаним биочађима применом изотермних модела (Langmuir, Freundlich и Sips). На основу оптимизованих процених параметара, приказани су резултати адсорпције боје у ALR, са објашњењем утицаја мешања на кинетику адсорпције. У овој целини детаљно је објашњена и разлика у ефикасности уклањања боје у шаржном и *air-lift* систему. Приказани су и резултати FTIR-ATR анализе који потврђују адсорпцију боје на биочађи. У трећој целини приказани су резултати процеса хемијске активације синтетисаних биочађи, као и процес имобилизације лаказе на њиховој површини. Посебна пажња посвећена је испитивању утицаја pH вредности, температуре и времена контакта на имобилизацију лаказе. Успешност имобилизације лаказе на биочађи потврђена је применом SEM-EDX и FTIR-ATR анализа. Поред тога, приказани су резултати карактеризације слободне и имобилисане лаказе на хемијски активираној биочађи, који обухватају одређивање pH и температурног оптимума релативне активности. У овој целини приказани су резултати испитивања ефикасности разградње БЗ, коришћењем имобилисане лаказе на биочађи у шаржном систему уз оптимизацију процесних параметара (иницијална концентрација боје, pH, температура и време контакта). На крају су представљени и резултати разградње боје у ALR применом имобилисане лаказе на биочађи, као и упоредна анализа ефикасности ензимске разградње у шаржном и *air-lift* систему. У четвртој целини представљени су резултати развијеног модела применом вештачких неуронских мрежа за предвиђање адсорпционог капацитета синтетисаних биочађи према катјонским бојама (брилијантно зелена, малахит зелена, кристално љубичаста), уз детаљан осврт на добијене статистичке показатеље перформанси модела.

У поглављу **Закључак** сумирани су најважнији резултати и сазнања до којих се дошло у оквиру ове докторске дисертације.

У поглављу **Литература** наведене су све референце цитиране у овој докторској дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Резултати истраживања у оквиру докторске дисертације Ање Антанасковић су оригинални и у потпуности усклађени са потребама и истраживањима савремених светских трендова. Стални раст светске популације праћен је све већом потребом за храном, што директно доприноси повећању количине отпада из прехранбене индустрије, који представља један од највећих изазова савременог друштва. Отпад из прехранбене индустрије, обично је лигноцелулозне природе и, уколико се не третира на адекватан начин, може довести до озбиљног загађења животне средине, са директним последицама на здравље људи и живих бића. Са друге стране, лигноцелулозни отпад пореклом из прехранбене индустрије, представља јефтин, лако доступан и обновљив ресурс, са значајним потенцијалом за добијање различитих вредних производа. Међутим, због неуједначеног и хетерогеног састава отпада из прехранбене индустрије, његова хемијска и биолошка конверзија у вредне производе

је ограничена и економски изузетно захтевна. Пиролиза, као термохемијски процес конверзије, представља обећавајућу методу за рециклажу овог отпада, уз синтезу вредног производа вишеструке намене – биочађи. Пиролитичким третманом, не само да би се смањило одлагање лигноцелулозног отпада на депонијама, већ би се истовремено омогућила његова конверзија у производе нове употребне вредности, чиме се доприноси одрживом управљању отпадом и циркуларној економији. Биочађ, захваљујући својим особинама, попут велике специфичне површине, развијене порозне структуре и присуства различитих функционалних група, налази широку примену у различитим областима и привлачи све више пажње за даља истраживања.

Истраживања у оквиру ове тезе била су усмерена на синтезу биочађи из отпадних коштица воћа (брескве, вишње и шљиве), у циљу развоја јефтиног и еколошки прихватљивог материјала, са потенцијалном применом у адсорпцији катјонских боја и као носача за имобилизацију ензима.

Оригиналност ове дисертације огледа се у примени отпадних коштица воћа за производњу биочађи намењених за адсорпцију катјонске боје, како у шаржном, тако и у ALR, при чему је постигнута висока ефикасност уклањања. На основу добијених резултата, применом вештачких неуронских мрежа развијен је модел за предвиђање адсорпционог капацитета произведених биочађи према другим катјонским бојама, што омогућава потенцијалну примену ових материјала у третману отпадних вода контаминираних бојама сличних својстава и структуре. Поред тога, синтетисане биочађи су испитиване и као носачи за имобилизацију ензима, при чему је остварена висока ефикасност имобилизације, а имобилизовани ензими су успешно примењени у процесу ензимске разградње боје, како у шаржном, тако и у *air-lift* систему. Употреба биочађи као носача за имобилизацију ензима представља иновативан и еколошки одржив приступ који доприноси развоју ефикаснијих и економичнијих биокаталитичких система.

Остварени резултати потврђују значај и оригиналност спроведених истраживања. На основу опсежног прегледа релевантне литературе, може се закључити да се резултати добијени у оквиру ове докторске дисертацију уклапају у светске трендове и указују на значај и актуелност проучавање проблематике.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Приликом израде докторске дисертације, кандидат је спровео свеобухватну анализу релевантне научне и стручне литературе из области спроведених истраживања. У оквиру дисертације цитирано је укупно 222 референце, од којих је већина научних радова објављена у врхунским међународним часописима током последње деценије. Наведене референце коришћене су за планирање експерименталног рада, као и за анализу и тумачење добијених резултата. Осим радова који су објављени у међународним часописима, у литератури су заступљени и уџбеници и докторске дисертације из сродне области, као и радови Ање Антанасковић настали на основу истраживања спроведеног у оквиру ове докторске дисертације који су објављени у међународним часописима.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Биочађи испитиване у овој докторској дисертацији добијене су процесом пиролизе на 500 °C у инертној атмосфери аргона током 90 минута. Након тога, применом савремених научних метода, извршена је свеобухватна карактеризација произведених биочађи.

Елементарни састав биочађи испитан је методом елементарне анализе, док је садржај неорганских елемената одређен применом атомске апсорпционе спектрометрије (AAC). Морфолошке карактеристике биочађи анализиране су применом скенирајуће електронске микроскопије (SEM), док је енергетско-дисперзиона рендгенска спектроскопија (EDX) коришћена за мапирање присуства одређених елемената на површини материјала. Порозност и специфична површина биочађи одређивани су применом Brunauer-Emmett-Teller (BET) методе, док су кристалне фазе и микроструктурни параметри успешно идентификовани рендгеноструктурном анализом (XRD). Идентификација површинских група урађена је применом инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовом трансформацијом и пригушеном тоталном рефлексијом (FTIR-ATR), док је термичка деградација узорака праћена одговарајућим термогравиметријским анализама (TGA/DTG).

Промена концентрације боје у раствору праћена је применом ултраљубичасто-видљиве апсорпционе спектроскопије (UV/VIS). За одређивање активности слободне и имобилисане лаказе коришћена је спектрофотометријска метода (UV/VIS), мерењем оксидације ABTS-a, док је концентрација протеина одређена стандардном методом по Bradfordu.

За обраду експерименталних резултата коришћени су кинетички модели (псеудо-први ред, псеудо-други ред и Weber–Morrisov) и модели адсорпционих изотерми (Langmuirov, Freundlichov и Sipsov). За развој модела за предвиђање адсорпционог капацитета синтетисаних биочађи према катјонским бојама у овој дисертацији коришћена је вештачка неуронска мрежа са методом пропагације грешке уназад (BPNN), применом софтвера NeuroShell 2.

Све методе примењене у овој докторској дисертацији су научно оправдане и у потпуности прилагођене постављеним циљевима истраживања, због чега се сматрају адекватним за анализу и тумачење резултата ове тезе.

3.4. Применљивост остварених резултата

Тема ове докторске дисертације је изузетно актуелна и релевантна. На основу спроведених истраживања и добијених резултата може се закључити да рад има значајан допринос у области збрињавања отпадне лигноцелулозне биомасе пореклом из прехранбене индустрије у циљу развоја мултифункционалних материјала-биочађи.

Произведене биочађи успешно су примењене као адсорбенти за катјонску боју БЗ, при чему је, оптимизацијом процених параметара, постигнут висок адсорпциони капацитет, што потврђује потенцијал овог материјала као новог, економичног и ефикасног адсорбента за уклањање боја из водених раствора. Применом ALR у порцесу адсорпције БЗ постигнута је приближно иста ефикасност уклањања боје као и у шаржном систему, али за дупло краће време, чиме се ALR издваја као ефикасан и економичан систем за брзо и енергетски повољно уклањање боје из контаминираних вода. На основу експерименталних резултата развијен је модел заснован на вештачким неуронским мрежама, који показује високу тачност предикције адсорпционог капацитета синтетисаних биочађи према катјонским бојама. Ови резултати указују на могућности широке примене вештачких неуронских мрежа у избору одговарајуће биочађи задовољавајућег адсорпционог капацитета за уклањање одређене катјонске боје, што би довело до смањења броја експеримената, а самим тим и укупне потрошње употребљених хемикалија.

Истраживање је такође показало да хемијском активацијом производне биочађи могу послужити као ефикасни носачи за имобилизацију ензима. Примена биочађи као носача, представља алтернативу скупим и тешко доступним комерцијалним носачима, у складу са савременим принципима одрживих и еколошки прихватљивих стратегија у индустрији ензима. Имобилисани ензим на биочађи показао је високу ефикасност разградње БЗ у шаржном систему, и могућност примене у чак девет узастопних циклуса, што указује на добру стабилност имобилисаног ензима на биочађи. Поновна употреба имобилисаног ензима на биочађи у процесу разградње боје, отвара могућност примене у реалним системима, јер значајно смањује трошкове уклањања боје, које често захтева велика финансијска улагања. Примена ALR за ензимску разградњу БЗ на биочађи довела је до готово потпуног обезбојавања раствора за знатно краће време, што потврђује значај овог система у процесима пречишћавања контаминираних вода.

Резултати и закључци изнети у дисертацији указују на оправданост спроведених испитивања, као и на потенцијал за даљи развој и примену отпада из прехранбене индустрије у производњи биочађи за примену у различитим областима индустрије.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

У свом досадашњем истраживачком раду, кандидат Ања В. Антанасковић, мастер инжењер технологије, показала је висок степен самосталности и стручности у претраживању и критичкој анализи научне литературе, планирању и реализацији експеримената, као и у анализи и обради добијених резултата. Током истраживања у потпуности је овладала великим бројем експерименталних

техника и инструменталних метода. На основу досадашњих залагања и постигнутих резултата Комисија је мишљења да кандидат поседује све квалитете неопходне за самостални научноистраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

На основу добијених резултата, у оквиру ове докторске дисертације остварени су вишеструки научни доприноси, који се огледају у следећем:

- Отпадне коштице воћа брескве (КБ), вишње (КВ) и шљиве (КШ) пореклом из прехранбене индустрије, успешно су искоришћене као сировина за добијање биочађи (КББ, КВБ и КШБ), чиме је постигнуто одрживо управљање биоотпадом у складу са принципима циркуларне економије.
- Захваљујући великој специфичној површини, порозној структури, негативном наелектрисању површине и присуству различитих функционалних група, синтетисане биочађи су се показале као ефикасни адсорбенти катјонске боје БЗ у шаржном систему, остваривши високе адсорпционе капацитете: 114,46 mg/g за КББ, 101,11 mg/g за КВБ и 100,38 mg/g за КШБ.
- Адсорпција БЗ применом КББ и КВБ одвијала се изузетно брзо, без значајног утицаја граничног слоја на кинетику процеса. Насупрот томе, код узорка КШБ, услед мање развијене порозне структуре и мање специфичне површине, процес адсорпције био је контролисан дифузијом, што је довело до кашњења почетка адсорпције за 1,08 минута.
- На основу добијених резултата развијен је модел предикције адсорпционих капацитета синтетисаних биочађи према катјонским бојама, који показује високу ($MAPE < 10\%$) и добру ($MAPE 10\text{--}20\%$) тачност предвиђања, чиме се смањује потреба за експерименталним испитивањима уз значајну уштеду времена и ресурса.
- Адсорпција БЗ у ALR применом КВБ као адсорбента, постигнута је практично иста ефикасност уклањања боје, али за дупло краће време, што указује да ALR побољшава процес адсорпције, јер смањује утицај граничног слоја и отпор преносу масе.
- Произведене биочађи су се након хемијске активације показале као погодни носачи за имобилизацију ензима, при чему се узорак КВБ, захваљујући најразвијенијој порозној структури и присуству различитих функционалних група, издвојио као најефикаснији.
- Имобилисана лаказа на КВБ успешно је примењена за разградњу боје БЗ, при чему је у шаржном систему постигнута ефикасност уклањања од 93% након 4 h, док је у ALR постигнута већа ефикасност (98%) за 2,5 пута краће време. Бржи и ефикаснији процес ензимске разградње у ALR је резултат аерације, која омогућава ефикасан пренос кисеоника кроз раствор, што је од кључне важности за оксидативни каталитички механизам лаказе.
- Имобилисана лаказа на КВБ показала је добру стабилност, задржавши ефикасност уклањања боје већу од 80% и након девет узастопних циклуса обезбојавања у шаржном систему, што указује на могућност њене поновне употребе и примене у континуираним процесима третмана отпадних вода.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Резултати проистекли из ове докторске дисертације представљају значајан допринос савременој науци, с обзиром на усклађеност резултата са актуелним истраживачким правцима усмереним ка збрињавању лигноцелулозног отпада, одрживом развоју и заштити животне средине. Приказани резултати дају детаљан увид у физичко-хемијске особине биочађи добијене пиролизом коштица воћа, укључујући и њихове међусобне разлике у зависности од порекла. На основу прегледане литературе, може се са сигурношћу констатовати да биочађ произведена од коштица воћа до сада није коришћена као адсорбент брилијантно зелене боје ни у шаржном ни у *air-lift* систему. Такође, ова дисертација пружа детаљан увид у утицај интензитета мешања у ALR на кинетику адсорпције боје. Развијени модел за предикцију адсорпционих капацитета биочађи према катјонским бојама показао је задовољавајући ниво тачности, чиме се значајно смањује потреба за обимним експерименталним радом и употребом хемикалија. Произведене биочађи успешно су коришћене као носачи за имобилизацију комерцијалне

лаказе у процесу разградње БЗ. Иако постоји неколико студија о имобилизацији лаказе на различитим врстама биочађи, до сада нису објављени резултати који се односе на примену биочађи пореклом из коштица воћа као носача. Новина овог истраживања огледа се у развоју исплативог и еколошки прихватљивог решења које интегрише употребу биочађи добијене из отпадних коштица воћа и ензима, што омогућава ефикасно уклањање токсичне боје. Ова студија пружила је детаљан увид у разградњу боје применом имобилисане лаказе на биочађи у шаржном и *air-lift* систему, чиме је допринела проширењу постојећих знања у области примене ензима у третману отпадних вода.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Ања В. Антанасковић је резултате својих истраживања током израде ове докторске дисертације потврдила објављивањем радова у врхунским и међународним часописима. Из ове докторске дисертације проистекли су следећи резултати:

Категорија M21:

1. **Antanasković, A.**, Lopičić, Z., Pehlivan, E., Adamović, V., Šoštarić, T., Milojković, J., Milivojević, M. (2023). Thermochemical conversion of non-edible fruit waste for dye removal from wastewater. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 14, 18649–18665. (IF=3.5) (ISSN: 2190-6823) (<https://doi.org/10.1007/s13399-023-04083-2>).

Категорија M22:

1. **Antanasković, A.**, Lopičić, Z., Dimitrijević-Branković, S., Ilić, N., Adamović, V., Šoštarić, T., Milivojević, M. (2024). Biochar as an Enzyme Immobilization Support and Its Application for Dye Degradation. *Processes*, 12, 2418. (IF= 3.0) (ISSN: 2227-9717) (<https://doi.org/10.3390/pr12112418>).

Категорија M23:

1. **Antanasković, A.**, Lopičić, Z., Šoštarić, T., Adamović, V., Cvetković, S., Perendija, J., Milivojević, M. (2024). Toxic dye removal by thermally modified lignocellulosic waste in a three-phase air-lift reactor: Kinetic insights. *Hemijaska Industrija*, 78, 241-252. (IF=0.8) (ISSN: 0367-598X) (<https://doi.org/10.2298/HEMIND230607015A>).

5. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду, бр. 204 од 22. јуна 2018. године), коришћењем програма iThenticate (27. јуна 2025. године) извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидата Ање В. Антанасковић под називом „Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе“. Извештај, који садржи резултате провере оригиналности, ментори су добили дана 27. јуна 2025. Утврђени проценат подударности је 12%. Овај степен подударности је последица преклапања у употреби стручних термина, назива коришћених метода и њихових скраћеница, као и личних имена, цитата и инструмената који су саставни део наведене дисертације. На основу свега изложеног Комисија сматра да је докторска дисертација кандидата Ање В. Антанасковић оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега наведеног, Комисија сматра да докторска дисертација Ање В. Антанасковић, мастер инжењера технологије, под насловом „Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе“ представља значајан и оригиналан научни допринос у области биотехнологије, хемијског инжењерства и заштите животне средине. Оригиналност докторске дисертације кандидата потврђена је објављивањем радова у међународним часописима и презентовањем резултата на скуповима међународног значаја. У оквиру овог истраживања, кандидат је успешно показао потенцијал примене отпада из прехранбене индустрије у развоју мултифункционалних биочађи. Комисија је установила да су предмет и циљеви докторске дисертације постављени у пријави теме у потпуности остварени и да докторска дисертација испуњава све захтеване критеријуме.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих и приказаних резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе“ кандидата Ање В. Антанасковић прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, у складу са одредбама Закона о високом образовању и Правилником о докторским студијама Универзитета у Београду, као и да након завршетка ове процедуре позове кандидаткињу на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду,
3. јул 2025. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Сузана Димитријевић-Бранковић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Владимир Адамовић, научни сарадник
Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина

.....
Др Катарина Михајловски, виши научни сарадник
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет