

Образац 3.

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/170

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

30.06.2022.

(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације
и о одређивању ментора

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

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

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

Ања (Велимир) Антанасковић

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Универзитет у Београду,

Технолошко-металуршки факултет, Мастер студије, Мастер инжењер технологије

3. Година завршетка
претходног нивоа студија: 2019.
-

4. Година уписа на докторске студије: 2019.
-

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Биохемијско инжењерство и биотехнологија

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ :

Име и презиме ментора: Др Милан Миливојевић

Звање: ванредни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **M. Milivojevic**, I. Pajic-Lijakovic, S. Pavlou, B. Bugarski, Dependence of slip velocity on operating parameters of air-lift bioreactors, Chem. Eng. J. 123 (2007) pp. 117-123. (ISSN: 1385-8947, IF=2.813)
2. **M. Milivojevic**, S. Pavlou, B. Bugarski, Liquid velocity in a high-solids-loading three phase external-loop airlift reactor, J. Chem. Technol. Biotechnol. 87 (11) (2012), pp. 1529-1540. (ISSN: 0268-2575, IF 2012=2.504)
3. A. Zdujic, K. Trivunac, B. Pejic, M. Vukčević, M. Kostić, **M. Milivojević**, A Comparative Study of Ni (II) Removal from Aqueous Solutions on Ca-Alginate Beads and Alginate-Impregnated Hemp Fibers, Fibers and Polymers 2021, 22(1), pp 9-18, (ISSN 1229-9197 IF=2.153)
4. M. Bugarčić, Z. Lopičić, T. Šoštarić, A. Marinković, J. D. Rusmirovic, D. Milošević, **M. Milivojević**, Vermiculite enriched by Fe(III) oxides as a novel adsorbent for toxic metals removal, Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(5), 2021, (ISSN 2213-2929 IF=5.909)
5. M. Jonović, M. Žuža, V. Đorđević, N. Šekuljica, **M. Milivojević**, B. Jugović, B. Bugarski, Z. Knežević-Jugović, Immobilized alcalase on micron- and submicron-sized alginate beads as a potential biocatalyst for hydrolysis of food proteins, Catalysts, 11(3):305. (2021), pp. 305, (ISSN 2073-4344 IF 2020=4.146)

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 2:

Име и презиме ментора: др Зорица Р. Лопичић

Звање: Научни сарадник

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Anastopoulos, I., Milojković, J.V., Tsigkou, K., Zafiri, C., **Lopičić, Z.R.**, Kornaros, M., Pashalidis, I., *A nappies management by-product for the treatment of uranium-contaminated waters*, Journal of Hazardous Materials, 2021, 404, part A, 124147, ISSN: 0304-3894, IF(2020) = 10,588;
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124147>
2. Mladen Bugarčić, **Zorica Lopičić**, Tatjana Šoštarić, Aleksandar Marinković, Jelena D. Rusmirovic, Dragana Milošević, Milan Milivojević, *Vermiculite enriched by Fe(III) oxides as a novel adsorbent for toxic metals removal*, Journal of Environmental Chemical Engineering, 2021, 9, 106020, ISSN: 2213-3437, IF(2020) = 5,909;
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106020>
3. **Zorica Lopičić**, Jelena Avdalović, Jelena Milojković, Anja Antanasković, Marija Lješević, Nikoleta Lugonja, Tatjana Šoštarić, *Removal of Diesel Pollution by Biochar – Support in Water Remediation*, Hemijska Industrija, 2021, 75 (6), pp: 329-339; IF(2020)=0,627;
<https://doi.org/10.2298/HEMIND210514029L>
4. Šoštarić, T., Petrović, M., Stojanović, J., Marković, M., Avdalović, J., Hosseini-Bandegharai, A., **Lopičić, Z.**: *Structural changes of waste biomass induced by alkaline treatment: the effect on crystallinity and thermal properties*. Biomass Conversion and Biorefinery, 2020, ISSN 2190-6815, IF(2020) = 4,987;
<https://doi.org/10.1007/s13399-020-00766-2>
5. **Lopičić Z.**, Stojanović, M., Marković S., Milojković J., Mihajlović, M., Kaluđerović Radoičić T., Kijevčanin, M.: *Effects of different mechanical treatments on structural changes of lignocellulosic waste biomass and subsequent Cu(II) removal kinetics*, Arabian Journal of Chemistry, 2019, 12, pp. 4091-4103. ISSN 1878-5352, IF (2019) = 4,762;
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.04.005>
6. Mihajlović, M., Petrović, J., Maletić, S., Isakovski, M., Stojanović, M. **Lopičić, Z.**, Trifunović, S.: *Hydrothermal carbonization of Miscanthus x giganteus: Structural and fuel properties of hydrochars and organic profile with the ecotoxicological assessment of the liquid phase*, Energy conversion and management, 2018, 159, pp. 254-263. ISSN 0196-8904, IF (2018) = 7,181;
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.01.003>
7. **Lopičić, Z.**, Stojanović, M., Kaluđerović Radoičić, T., Milojković, J., Petrović, M., Mihajlović, M., Kijevčanin, M.: *Optimization of the process of Cu(II) sorption by mechanically treated Prunus persica L. - Contribution to sustainability in food processing industry*, Journal of Cleaner Production, 2017, 156, pp. 95-105. ISSN 0959-6526, IF(2017) = 6,352.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.041>

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Петар Ускоковћ

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

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.43. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 30.06.2022. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **Ање Антанасковић**, број индекса 4006/2019, под називом: **„Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе“**.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За менторе се одређују др Милан Миливојевић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Зорица Лопичић, научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минераних сировина у Београду.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, менторима, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Ање Антанасковић за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета бр 35/136 од 02.06.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Ање Антанасковић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме: **„Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе“.**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Ања Антанасковић, мастер инжењер биотехнологије, рођена је 24.02.1995. године у Београду, где је завршила основну и средњу Медицинску школу (образовни профил-Фармацеутски техничар). Основне студије на Технолошко-металуршком факултету у Београду, уписала је 2014. године на студијском програму Биохемијско инжењерство и биотехнологија. У септембру 2018. године, дипломирала је одбравивши рад: “Избор опреме за добијање биогаса на сеоским домаћинствима”. Мастер академске студије уписала је 2018. године на истом факултету, на студијском програму Прехрамбена биотехнологија. Мастер рад под називом: „Оправданост примене предтретмана у процесу производње биогаса“, одбранила је у септембру 2019. године и тиме стекла звање мастер инжењер биотехнологије. Током студирања волонтирала је у фирми SAGAL-FOOD д.о.о., што је укључивало рад у лабораторији, пријем и контролу узорака, израда узорака за дегустацију и усаглашавање декларације према важећим законима Републике Србије. У току израде дипломског и мастер рада Ања Антанасковић је показала самосталност, као и опредељеност ка научно–истраживачком раду и стручном и научном усавршавању. Школске 2019/2020. године уписала је докторске студије на смеру Биохемијско инжењерство и биотехнологија. Положила је све испите предвиђене планом и програмом докторских студија на Технолошко–металуршком факултету, са просечном оценом 9,83.

Од октобра 2019. године запослена је у Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина (ИТНМС) у Београду. У оквиру Центра за заштиту животне средине

ИТНМС-а, кандидат обавља експериментална истраживања у области синтезе, карактеризације и примене различитих материјала у циљу заштите животне средине и ревалоризације отпадних токова. Такође, кандидат учествује у текућим пословима ИТНМС-а укључујући израде студија о процени утицаја на животну средину.

1.2. Стечено научно-истраживачко искуство

У звање истраживач приправник Ања Антанасковић је изабрана у октобру 2019. године. Била је ангажована на пројекту **“Развој биосорбената на бази отпадне биомасе и минералних сировина у циљу производње безбедне хране”** (евиденциони број пројекта: ТР 31003) који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

У оквиру докторских студија Ања Антанасковић је положила све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 9,83. Списак положених испита, оцене и остварени ЕСПБ бодови на докторским студијама приказани су у Табели 1.

Табела 1. Списак положених испита, оцене и остварени ЕСПБ бодови на докторским студијама

Редни бр.	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
1.	Одабрана поглавља нумеричке анализе	10	5
2.	Хемијска кинетика	8	5
3.	Биохемијска кинетика	10	5
4.	Санитарна микробиологија	10	4
5.	Отпорност материјала	10	5
6.	Метода коначних елемената у инжењерству материјала	10	4
7.	Индустријска микробиологија	10	5
8.	Одабрана поглавља биохемије-витамини	10	5
9.	Одабрана поглавља технологије микробне биомасе	10	5
10.	Одабрани микробиолошки процеси у заштити животне средине	10	4
11.	Биомаса као извор енергије	10	4
12.	Енглески језик	10	
13.	Завршни испит	10	30
Просечна оцена / Укупно бодова		9,83	81

Завршни испит (приступни рад за израду докторске дисертације) под називом „Избор материјала на бази споредних производа прехранбене и агроиндустрије за развој биосорбената“, одбранила је у септембру 2021. године.

У свом досадашњем раду Ања Антанасковић је публиковала један научни рад у међународном часопису (М23), четири саопштења са међународног скупа штампана у целини (М33), шест саопштења са међународног скупа штампана у изводу (М34), један рад у врхунском часопису националног значаја (М51) и два саопштења са скупа националног значаја штампана у целини (М63).

Рад у међународном часопису (M23)

1. Lopičić Z., Avdalović J., Milojković J., **Antanasković A.**, Lješević M., Lugonja N., Šoštarić T.: *Removal of Diesel Pollution by Biochar – Support in Water Remediation*, Hemijska Industrija, Vol 75, No. 6, 2021, pp. 329- 338. ISSN: 0367 598X , IF: 0.627. <https://doi.org/10.2298/HEMIND210514029L>

Саопштења са скупова међународног значаја штампана у целини (M33)

1. Milivojević M., Jocić M., Bugarčić M., **Antanasković A.**, Pjanović R., Lopičić Z.: *Removal of fluoride ions from water solutions by hydroxyapatite loaded aluminium gelled alginate particles*, Proceedings of 9th International scientific conference on defensive technologies, Belgrade 2020, pp. 513-518. ISBN: 978-86-81123-83-6.
2. **Antanasković A.**, Lopičić Z., Milojković J., Anastopoulos I., Randelović D., Adamović V., Šoštarić T.: *Peach stone biochar as efficient adsorbent for Cd(II) removal from aqueous phase*, Proceedings of VII International Congress “Engineering, Environment and Materials in Process Industry“, Jahorina 2021, pp. 276-283. ISBN: 978-99955-81-40-4.
3. Mikavica I., Šoštarić T., **Antanasković A.**, Randelović D., Petrović J., Jovanović G., Lopičić Z.: *Invasive acer negundo L. Biomass as lead sorbent from aqueous solution*, Proceedings of VII International Congress “Engineering, Environment and Materials in Process Industry“, Jahorina 2021, pp. 268-275. ISBN: 978-99955-81-40-4.
4. Lopičić Z., Milojković J., **Antanasković A.**, Šoštarić T., Adamović V., Mihajlović M., Dimitrijević J.: *Comparative analysis of Pb(ii) removal kinetics by Immobilized biowaste materials*, Proceedings of 8th International Conference „MINING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION“, Sokobanja 2021, pp. 194-199. ISBN: 978-86-7352-372-9.

Саопштења са скупова међународног значаја штампана у изводу (M34)

1. **Antanasković A.**, Bulatović M., Rakin M., Lopičić Z., Šoštarić T., Rakin M.: *Effect of corn straw pretreatment on efficiency of biogas production process: Computer simulation*, Programme and the Book of Abstracts of Young Researches Conference YOURS 2020, Belgrade 2020, p.23, ISBN 978-86-84231-50-7.
2. **Antanasković A.**, Lopicic Z., Adamovic V., Sostaric T., Rakin M., Rakin M., Smiljanic D.: *Assessment of sorption capability of alginate immobilized peach stone particles for lead removal from water*, Book of Abstracts of International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies CNN TECH, Zlatibor, 2021, p.100, ISBN: 978-86-6060-077-8.
3. Mikavica I., Šoštarić T., **Antanasković A.**, Randelović D., Petrović J., Jovanović G., Lopičić Z.: *Lead sorption from wastewaters by invasive acer negundo l. Biomass*, Book of Abstracts of International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies CNN TECH, Zlatibor, 2021, p.97, ISBN:978-86-6060-077-8.
4. **Antanasković A.**, Lopičić Z., Šoštarić T., Milojković J., Adamović V., Vučković K., Milivojević M.: *Effective sorption of toxic brilliant green using lignocellulosic waste biomasses and derived biochar samples*, Program and the Book of Abstracts of Nineteenth Young Researchers Conference – Materials Science and Engineering, Belgrade 2021, p.23, ISBN 978-86-80321-36-3.
5. **Antanasković A.**, Lopičić Z.: *Application of cherry stones for the removal of brilliant green*, Book of Abstracts of 7th International student conference on technical SCIENCES, Bor 2021, p.15, ISBN 978-86-6305-120-1.
6. **Antanasković A.**, Lopičić Z., Šoštarić T., Adamović V., Milojković J., Orlić M., Milivojević M.: *From waste to eco materials – the application of sour cherry stone*

Рад у врхунском часопису националног значаја (M51)

1. **Antanasković A.**, Bulatović M., Rakin M., Lopičić Z., Šoštarić T., Rakin M.: *Effect of corn straw pretreatment on efficiency of biogas production process: Computer simulation*, Journal of Applied Engineering Science, Vol 18, No. 4, 2020, pp. 561-564. ISSN: 1451-411, [DOI: 10.5937/jaes0-26966](https://doi.org/10.5937/jaes0-26966)

Саопштења са скупова националног значаја штампана у целини (M63)

1. Milojković J., Šoštarić T., Mihajlović M., **Antanasković A.**, Adamović V., Lopičić Z.: *Modifikacija biomase za uklanjanje polutanata sa osvrtom na biočad i imobilizovanu biomasu*, Zbornik radova sa 41. Međunarodne konferencije "Vodovod i kanalizacija '20", Kraljevo 2020, str. 13-16, ISBN: 978-86-82563-23-5.
2. Adamović V., Šoštarić T., **Antanasković A.**, Lopičić Z.: *Močvarna zemljišta kao prirodna zaštita od poplava*, Zbornik radova sa 42. Međunarodne konferencije "Vodovod i kanalizacija '21", Vrnjačka Banja 2021, str. 68-73. ISBN: 978-86-80067-47-6.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег рада и остварених резултата током докторских студија и у оквиру научно-истраживачког рада, Ања Антанасковић показала је заинтересованост, стручност и самосталност за бављење научно-истраживачким радом. Из области којој припада тема предложене докторске дисертације, кандидат је коаутор једног научног рада објављеног у међународном часопису (M23), као и аутор и коаутор више саопштења са међународних и националних скупова. На основу приложених података о кандидату, који укључују ангажовање у научно-истраживачком раду и квалитету остварених научних резултата, Комисија сматра да Ања Антанасковић испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања предвиђених овом докторском дисертацијом односиће се на испитивање могућности примене термо-хемијски модификоване отпадне лигноцелулозне биомасе пореклом из прехранбене и агроиндустрије за развој мултифункционалних материјала. Добијене биочађи биће детаљно окарактерисане одговарајућим физичко – хемијским методама, а на основу прегледа литературе и добијених резултата испитаће се могућност њихове примене, уз оптимизацију процеса за добијање финалних производа.

Отпад који се свакодневно генерише из прехранбене и агроиндустрије представља значајно оптерећење за животну средину, изазивајући негативан утицај на земљиште, ваздух и водне ресурсе, чиме се угрожава одрживост екосистема, као и здравље људи [1]. Овај отпад обично је лигноцелулозне природе и већим делом се састоји од целулозе, хемицелулозе и лигнина, а њихов садржај варира у зависности од порекла, односно извора сировине. У Србији се од укупно генерисаног отпада рециклира свега 3%, што је значајно испод просека Европске Уније, због чега је неопходно наћи адекватан начин његовог збрињавања.

Искуство показује да је широка распрострањеност, обновљива природа и ниска цена условила све већи развој и разноликост материјала на бази отпадне лигноцелулозне биомасе [2]. Имајући у виду њихове физичко-хемијске особине, разумљиво је да су ови материјали често испитивани за уклањање различитих органских и неорганских полутаната [3]. Нативни материјали често имају низак сорпциони капацитет и могу се понашати као извор

секундарног загађења, али се одговарајућом модификацијом могу развити материјали са побољшаним карактеристикама у односу на полазни узорак.

Термо-хемијским предтретманом отпадне лигноцелулозне биомасе у инертној атмосфери (пиролизом) добија се биочађ, која због своје нетоксичне природе и бројних позитивних карактеристика има широку примену [4]. Успешно се користи као енергент, катализатор, додатак земљишту и сточној храни или као сорбент [5, 6]. Захваљујући изванредним својствима, као што су високо развијена порозна структура, висок капацитет катјонске измене и велики број присутних функционалних група, све више се разматра употреба биочађи као сорбента за уклањање полутаната из отпадних вода [7]. Пречишћавање отпадних вода данас је неопходно ради очувања целокупног екосистема и здравља људи, а један од процеса који има широку примену због своје поузданости, доступности и једноставности јесте сорпција [8]. До сада су извршена бројна истраживања примене биочађи као сорбента за уклањање тешких метала, антибиотика, боја и пестицида али не постоје литературни подаци о примени биочађи припремљене од коштица брескве/вишње/шљиве за уклањање катјонске боје *Brilliant green* (БГ), која ће бити размотрена у оквиру будуће дисертације. *Brilliant green* је позната као текстилна боја, која се користи за бојење памука, вуне, свиле, коже и папира [9]. Поред тога, има примену и у микробиологији, ветерини и медицини. Као и остале катјонске боје, БГ има токсичан ефекат чак и при веома ниским концентрацијама. Код људи може да изазове иритацију ока, коже и респираторног тракта, као и трајна оштећења појединих органа [10, 11]. Као резултат разградње ове боје настаје угљен-диоксид, као и оксиди сумпора и азота, који додатно загађују животну средину због чега је неопходно њено уклањање из водених система [12].

Последњих година, у области биотехнологије, све се више разматра употреба биочађи као носача за имобилизацију ензима. Ензими су биохемијски катализатори који снижавају енергију активације и на тај начин убрзавају хемијску реакцију. Употреба слободних ензима смањује њихову стабилност, онемогућава поновну употребу и проузрокује високе оперативне трошкове [13]. Имобилизација ензима на чврстој подлози је од великог значаја, јер омогућава поновну употребу ензима, побољшава њихову стабилност и активност, обезбеђује континуалност, као и лакшу контролу процеса [14, 15]. За развој матрица за имобилизацију ензима до сада су истраживани различити материјали, органски, неоргански и хибридни [16]. Због све веће потребе за употребом еколошки прихватљивих материјала, последњих пар година разматра се примена биочађи као носача за имобилизацију ензима. Захваљујући развијеној површини, термичкој стабилности, великом броју функционалних група и великој доступности, биочађ показује обећавајуће резултате [14]. Међутим, честице са имобилисаним ензимима могу да буду оштећене услед контакта са деловима реактора или услед смицајних сила које са јављају током процеса мешања. Да би се то превазишло пожељно је да се за такве системе користе пнеуматски реактори са рецикулацијом (Air-lif reactors) који осим малих смицајних сила имају многе друге погодности у поређењу са другим типовима реактора, а посебно у области реакција течно/чврсто и течно/гас/чврсто [17,18].

Узевши у обзир да постоји мало литературних података о имобилизацији ензима на биочађи, очекује се да ће ова дисертација допринети развоју ефикасних и еколошки прихватљивих носача. Имобилисани ензими на биочађи имају разноврсну примену, као што је: производња биогорива, ензимска и протеолитичка деградација, уклањање различитих полутаната, употреба као биосензора и др [19].

Ефикасна примена лигноцелулозне биомасе у виду биочађи доприноси концепту циркуларне економије кроз поновну употребу и недепоновање отпадног материјала, чиме се смањује емисија гасова са ефектом стаклене баште, доприноси концепту чистије производње и одрживом развоју.

У овој дисертацији биће испитана могућност добијања биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе коштица воћа (брескве, вишње и шљиве) пореклом из прехранбене индустрије. Биочађ ће, након детаљне карактеризације и модификације, бити примењена као сорбент за уклањање боје али и као носач за имобилизацију ензима. Као модел једињења боје користиће се *БГ*, при чему ће сорпциона испитивања бити обављена у изотермском шаржном систему са мешањем, уз оптимизацију процесних параметара и моделовање експерименталних резултата одговарајућим моделима. Такође ће се испитати и утицај мешања на сорпционе карактеристике биочађи у систему са механичким и пнеуматским мешањем (*air lift* реактор). Поред овога, испитаће се могућност употребе биочађи као носача ензима, као и могућност деградације боје применом ензима претходно имобилисаних на произведеној биочађи. Оптимизовани процесни параметри и резултати уклањања испитиваних полутаната ће послужити за израду одговарајућег модела, применом вештачких неуронских мрежа (или других математичких алата). Циљ је да се добијени модел искористи за предвиђање ефикасности уклањања других полутаната [20].

Релевантна библиографија која представља основу за истраживања и експерименте за израду ове докторске дисертације:

[1] Duque-Acevedo M., Belmonte-Ureña L.J., Cortés-García F.J., Camacho-Ferre F.: *Agricultural waste: review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses*, Global Ecology and Conservation, Vol 22, 2020, pp. e00902.

[2] Karić N., Maia A.S., Teodorović A., Atanasova N., Langergraber G., Crini G., Ribeiro A.R., Đolić M.: *Bio-waste valorisation: Agricultural wastes as biosorbents for removal of (in) organic pollutants in wastewater treatment*, Chemical Engineering Journal Advances, Vol 9, 2022, pp. 100239.

[3] Singh N.B., Nagpal G., Agrawal S., Rachna.: *Water purification by using Adsorbents: A Review*, Environmental Technology & Innovation, Vol 11, 2018, pp. 187–240.

[4] Srivatsav P., Bhargav B.S., Shanmugasundaram V., Arun J., Gopinath K.P., Bhatnagar A.: *Biochar as an Eco-Friendly and Economical Adsorbent for the Removal of Colorants (Dyes) from Aqueous Environment: A Review*, Water, Vol 12, 2020, pp. 3561.

[5] Lehmann J., Joseph S.: *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*, (second ed.) 2015.

[6] Li D., Zhao R., Peng X., Ma Z., Zhao Y., Gong T., Sun M., Jiao Y., Yang T., Xi B.: *Biochar-related studies from 1999 to 2018: a bibliometrics-based review*, Environmental Science and Pollution Research, Vol 27, 2020, pp. 2898-2908.

[7] Li L., Zou D., Xiao Z., Zeng X., Zhang L., Jiang L., et al.: *Biochar as a sorbent for emerging contaminants enables improvements in waste management and sustainable resource use*, Journal of Cleaner Production, Vol 210, 2019, pp. 1324-1342.

[8] Turk Sekulic M., Pap S., Stojanovic Z., Boskovic N., Radonic JSolevic Knudsen T.: *Efficient removal of priority, hazardous priority and emerging pollutants with Prunus armeniaca functionalized biochar from aqueous wastes: experimental optimization and modeling*, Science of The Total Environment, Vol 613–614, 2018, pp. 736-750.

[9] Baidya K.S., Kumar U.: *Adsorption of brilliant green dye from aqueous solution onto chemically modified areca nut husk*, South African Journal of Chemical Engineering, Vol 35, 2021, pp. 33-43.

[10] Mansour R. A., El Shahawy A., Attia A., Beheary M.S.: *Brilliant Green Dye Biosorption Using Activated Carbon Derived from Guava Tree Wood*, International Journal of Chemical Engineering, 2020, pp. 12.

- [11] Abbas M.: *Removal of brilliant green(BG) by activated carbon derived from medlar nucleus (ACMN) – Kinetic, isotherms and thermodynamic aspects of adsorption*, Adsorption Science & Technology, Vol 38, No. 9-10, 2020, pp. 1-19.
- [12] Kismir Y., Aroguz A.Z.: *Adsorption characteristics of the hazardous dye brilliant green on saklikent mud* Chemical Engineering Journal, Vol 172, No. 1, 2011, pp. 199–206.
- [13] Sheldon R.A., Brady D.: *The limits to biocatalysis: pushing the envelope*, Chemical Communications, Vol 54, No. 48, 2018, pp. 6088-6104.
- [14] Kaur N., Bhardwaj P., Singh G., Arya S.K.: *Applicative insights on nascent role of biochar production, tailoring and immobilization in enzyme industry -A review*, Process Biochemistry, Vol 107, 2021, pp. 153-163.
- [15] Sharma S., Gupta S., Princy., Kumar Arya S., Kaur A.: *Enzyme immobilization: Implementation of nanoparticles and an insight into polystyrene as the contemporary immobilization matrix*, Process Biochemistry, Vol 120, 2022, pp. 22-34.
- [16] Pandey D., Daverey A., Arunachalam K.: *Biochar: Production, properties and emerging role as a support for enzyme immobilization*, Journal of Cleaner Production, Vol 255, 2020, pp. 120267.
- [17] Milivojevic M., Pajic-Lijakovic I., Pavlou S., Bugarski B.: *Dependence of slip velocity on operating parameters of air-lift bioreactors*, Chemical Engineering Journal, Vol 123, 2007, pp. 117-123.
- [18] Milivojevic M., Pavlou S., Bugarski B.: *Liquid velocity in a high-solids-loading three phase external-loop airlift reactor*, Journal of Chemical Technology & Biotechnology, Vol 87, 2012, pp. 1529-1540.
- [19] Kaur N., Bhardwaj P., Singh G., Arya S.K.: *Applicative insights on nascent role of biochar production, tailoring and immobilization in enzyme industry—a review*, Process Biochemistry, Vol 107, 2021, pp. 153–163.
- [20] Ke B., Nguyen H., Bui X-N., Bui H-B., Choi Y., Zhou J., Moayedi H., Costache R., Nguyen-Trang T.: *Predicting the sorption efficiency of heavy metal based on the biochar characteristics, metal sources, and environmental conditions using various novel hybrid machine learning models*, Chemosphere, Vol 276, 2021, 130204.

3. Полазне хипотезе

На основу досадашњих испитивања познатих у научној литератури, предложена истраживања у оквиру ове докторске дисертације полазе са основног становишта да се процесом пиролизе отпадне лигноцелулозне биомасе добије биочађ, која има широку примену за везивање полутаната и имобилизацију ензима.

Полазне хипотезе које су основа за научно-истраживачки рад у оквиру ове докторске дисертације су следеће:

- решавање проблема депоновања отпадне лигноцелулозне биомасе;
- синтеза биочађи као ефикасног и еколошки прихватљивог материјала који показује висок сорпциони капацитет према циљаним једињењима;
- примена синтетисаних биочађи за имобилизацију ензима и примена имобилисаног ензима за деградацију боје;
- утицај мешања на сорпциона својства биочађи као и активност/стабилност имобилисаног ензима у систему са механичким и пнеуматским мешањем.
- развој модела који ће омогућити да се предвиде ефекти употребе синтетисаних биочађи на различите полутанте, применом вештачких неуронских мрежа или других техника машинског учења.

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације базираће се на претходно наведеним хипотезама и сходно томе извршиће се оптимизација потребних услова за синтетисање мултифункционалних материјала на бази биочађи.

4. Научне методе истраживања

Почетни материјали од којих ће се синтетисати биочађ, представљају отпадну лигноцелулозну биомасу. Нативни узорци биће опрани и осушени на собној температури, након чега ће се механички третирати на одговарајућем млину до жељене гранулације.

Опште физичко-хемијске особине и структурна анализа биочађи (одређивање садржаја влаге, пепела, испарљивих материјала, везаног угљеника, елементарног састава и неорганских елемената) биће одређена одговарајућим техникама.

Морфологија синтетисаних биочађи биће одређена методом скенирајуће електронске микроскопије са енергетском дисперзионом спектроскопијом (SEM-EDS).

Расподела величине честица биочађи биће одређена методом дифракције ласерске светлости.

Фазни састав синтетисаних биочађи вршиће се мерењем интензитета дифрактованих X-зрака на спрашеном узорку (XRD).

Идентификација функционалних група на површини биочађи биће одређена применом инфрацрвене спектроскопске анализе са Фуријеовим трансформацијама (FTIR).

Специфична површина и порозност биочађи биће одређена адсорпцијом течног азота на узорцима и одређивањем параметара Brunauer- Emmett-Teller (BET) изотерме.

Термалном анализом (TG) добиће се увид у потенцијалне термијске карактеристике узорака и њихову термичку стабилност.

Тачка нултог наелектрисања биће одређена уравнотежавањем посебних проба, док ће зета потенцијал биће одређен применом Зетаметра.

Одређивање садржаја боје пре и након уравнотежавања, активост резидуалног раствора, као и имобилисаног ензима, одредиће се спектрофотометријски, при чему ће се спектрофотометрија користити и за утврђивање параметара самог процеса у различитим системима.

С обзиром да се очекује да ће математичка повезаност ефикасности уклањања полутаната са одговарајућим индикаторима бити нелинеарна, за израду модела за предвиђање ефикасности уклањања других полутаната помоћу синтетисане биочађи користиће се вештачке неуронске мреже (или други одговарајући математички алати).

5. Очекивани научни допринос

Очекивани научни допринос ове докторске дисертације се огледа у следећем:

- синтеза и потпуна карактеризација еколошки прихватљивог материјала-биочађи, која може послужити као основ за синтезу сличних материјала од полазних узорака сличних карактеристика;

- повећање фундаменталног познавања промене структурних својстава лигноцелулозне биомасе индукованих термо-хемијском конверзијом;

- дефинисање оптималних услова за примену различитих врста биочађи као сорбента полутаната/носача ензима;

- дефинисање кинетичких и изотермских модела уз успостављање модела механизма везивања испитиваних сорбата (боја и ензим) на синтетисаним биочађима;

- испитивање утицаја мешања на процес везивања боје/ензима у „аир лифт“ реактору;

- ензимска деградација боје применом имобилисаног ензима на биочађи, као и њихова стабилност/активност у различитим системима;

- предвиђање ефекта синтетисаних биочађи на различите загађујуће материје применом развијеног модела.

6. План истраживања и структура рада

У докторској дисертацији биће приказана следећа поглавља: *Увод*, *Теоријски део*, *Експериментални део*, *Резултати и дискусија*, *Закључак* и *Литература*.

У поглављу *Увод* биће истакнут значај и предмет истраживања, дефинисани предмет и циљ истраживања и описан научни допринос дисертације.

У поглављу *Теоријски део* биће дат преглед и анализа литературних података релевантних истраживања везаних за проблематику предложене дисертације која обухватају:

- отпадна лигноцелулозна биомаса;
- сорпција-појам и дефиниција;
- модификација отпадне лигноцелулозне биомасе пиролизичким поступком;
- биочађ-појам и карактеристике;
- употреба биочађи у сорпционе сврхе;
- биолошки активни молекули-ензими;
- технике механичког учења.

У поглављу *Експериментални део* биће приказано следеће:

- припрема лигноцелулозне отпадне биомасе;
- карактеризација синтетисаних биочађи;
- процес сорпције у шаржном систему са мешањем и у систему са пнеуматским мешањем;
- процес имобилизације ензима;
- процес биоразградње у шаржном систему;
- стабилност/активност ензима у системима са механичким и пнеуматским мешањем.

У поглављу *Резултати и дискусија* биће приказани и анализирани резултати карактеризације произведених биочађи, сорпција боје, оптимални параметри сорпције, кинетика сорпције и сорпционе изотерме. Биће приказана могућност примене биочађи као носача ензима, разградња боје применом имобилизованих ензима као и уочена разлика између стабилности/активности ензима у системима са механичким и пнеуматским мешањем. Такође ће бити приказани и резултати предвиђања ефикасности уклањања других полутаната применом одговарајућих техника механичког учења.

У поглављу *Закључак* биће сумирани најважнији закључци до којих ће доћи кандидат у току израде докторске дисертације, уз осврт на њихову иновативност и потенцијалну примену, као и могући правци даљих истраживања.

У поглављу *Литература* биће наведени сви цитирани наводи, као и радови проистекли током истраживања као резултат израде ове докторске дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу свега изложеног Комисија сматра да кандидат Ања Антанасковић, мастер инжењер биотехнологије, испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. Такође, на основу изложених података, комисија сматра да је тема предложене докторске дисертације: „Синтеза, карактеризација и примена мултифункционалних биочађи на бази отпадне лигноцелулозне биомасе” научно заснована и да ће резултати истраживања дати значајан допринос научној области Технолошко инжењерство, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да кандидату Ањи Антанасковић одобри израду докторске дисертације под насловом наведеним у Закључку. За менторе се предлажу др Милан Миливојевић, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета и др Зорица Лопичић, научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина у Београду.

У Београду, 20.06.2022. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Милан Миливојевић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Зорица Лопичић, научни сарадник
Институт за технологију нуклеарних и других минералних
сировина

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

Др Ивана Пајић-Лијаковић, научни саветник
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

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