

Факултет ТЕХНОЛОШКО-  
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/331

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев  
упућује)

12.1.2023.

(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:

Лигнин микросфере као адсорбенти за уклањање текстилних боја и носачи за  
имобилизацију ензима(Lignin microspheres as adsorbents for textile dyes removal and  
supports for immobilization of enzymes)

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Rabab (Almabrouk) Salih

---

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

Универзитет  
Сингидунум,

**Футура – Факултет за примењену екологију, Мастер студије, Мастер аналитичар заштите животне средине**

---

3. Година завршетка  
претходног нивоа студија: 2017.

---

4. Година уписа на докторске студије: 2018.

---

5. Назив студијског програма  
докторских студија:

Инжењерство заштите животне средине

---

## ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 1 :

Име и презиме ментора: др Александар Маринковић

Звање: редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитет у Београду

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Mladen Bugarčić, Zorica Lopičić, Tatjana Šoštarić, **Aleksandar Marinković**, Jelena D. Rusmirović, Dragana Milošević, Milan Milivojević, Vermiculite enriched by Fe(III) oxides as a novel adsorbent for toxic metals removal, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 9, No. 5, pp. 106020, 2021, ISSN: 2213-3437, (IF(2020)=5,909), <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106020>.
2. Dragan Crnković, Zoran Sekulić, Dušan Antonović, Aleksandar Marinković, Slađana Popović, Jasmina Nikolić, Saša Drmanić, Origins of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments from the Danube and Sava Rivers and Their Tributaries in Serbia, *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 29, No. 3, pp. 2101-2110, 2020, ISSN 1230-1485, (IF(2020)=1,699), DOI: [10.15244/pjoes/111319](https://doi.org/10.15244/pjoes/111319)
3. Maja Đolić, Milica Karanac, Dragana Radovanović, Ana Umićević, Ana Kapidžić, Zlate Veličković, **Aleksandar Marinković**, Željko Kamberović, Closing the loop: As(V) adsorption onto goethite impregnated coal-combustion fly ash as integral building materials, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 303, pp. 126924, 2021, ISSN 0959-6526, (IF(2020)=9.297), <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126924>.
4. Milica Karanac, Maja Đolić, Đorđe Veljović, Vladana Rajaković, Ognjanović Zlate Veličković, Vladimir Pavićević, **Aleksandar Marinković**, The removal of Zn<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, and As(V) ions by lime activated fly ash and valorization of the exhausted adsorbent, *Waste Management*, Vol. 78, pp. 366-378, 2018, ISSN 0956-053X, (IF(2018)=5.431), <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.052>.
5. Milica Karanac, Maja Đolić, Zlate Veličković, Ana Kapidžić, Valentin Ivanovski, Miodrag Mitrić, **Aleksandar Marinković**, Efficient multistep arsenate removal onto magnetite modified fly ash, *Journal of Environmental Management*, Vol. 224, pp. 263-276, 2018, ISSN 0301-4797, (IF(2018)=4.865), <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.051>.

## ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 2:

Име и презиме ментора: др Катарина Бањанац

Звање: научни сарадник Универзитета у Београду, Иновациони центар Технолошко–металуршког факултета

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Milaš Bebić J., **Banjanac K.**, Rusmirović J., Ćorović M., Milivojević A., Simović M., Marinković A., Bezbradica D.: *Amino-modified kraft lignin microspheres as a support for enzyme immobilization*, - RSC Advances, Vol. 10, No. 36, 2020, pp. 21495-21508. (IF(2020)=3,240; ISSN: 2046-2069)
2. Bebić J., **Banjanac K.**, Ćorović M., Milivojević A., Simović M., Marinković A., Bezbradica D.: *Immobilization of laccase from *Myceliophthora thermophila* on functionalized silica nanoparticles: Optimization and application in lindane degradation*, - Chinese Journal of Chemical Engineering, Vol. 28, No. 4, 2020, pp. 1136-1144. (IF(2019)=2,770; ISSN: 1004-9541)
3. Katić K., **Banjanac K.**, Simović M., Ćorović M., Milivojević A., Marinković A., Bezbradica D.: *Development of protease nanobiocatalysts and their application in hydrolysis of sunflower meal protein isolate*, - International Journal of Food Science & Technology, Vol. 56, No. 9, 2021, pp. 4287-4297. (IF(2021)=3,713; ISSN: 0950-5423)
4. Milivojević A., Ćorović M., Simović M., **Banjanac K.**, Bezbradica D.: *Flavonoid esters synthesis using novel biocatalytic systems - CAL B immobilized onto LifeTech™ ECR supports*, - Biochemical Engineering Journal, Vol. 163, No. 2020, pp. 107748. (IF(2021)=3,978; ISSN: 1369-703X)
5. Veljković M., Simović M., **Banjanac K.**, Ćorović M., Milivojević A., Milivojević M., Bezbradica D.: *Heterofunctional epoxy support development for immobilization of fructosyltransferase from Pectinex® Ultra SP-L: batch and continuous production of fructo-oligosaccharides*, - Reaction Chemistry & Engineering, Vol. 7, No. 0, 2020, 2518. (IF(2021)=5,200; ISSN: 2058-9883)

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

---

Проф.дрПетарУскоковћ

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



Република Србија  
Универзитет у Београду  
Технолошко-металуршки факултет

Бр. 20/3-2  
04. 02. 2021 год.  
БЕОГРАД

На основу чл. 100. Статута Универзитета и чл. 75. Статута Технолошко-металуршког факултета, а на лични захтев студента, доноси се

## РЕШЕЊЕ

Усваја се захтев који је упутио, **Rabab Salih**, студент ДАС, број индекса 2018/4036, и одобрава мировање права и обавеза у школској 2020/2021. години, на основу приложених докумената.



Декан

*[Signature]*  
Проф. др Петар Ускоковић

ДП

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 29.12.2022. 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 **Rabab Salih**, број индекса 4036/18, под називом: „**Лигнин микросфере као адсорбенти за уклањање текстилних боја и носачи за имобилизацију ензима (Lignin microspheres as adsorbents for textile dyes removal and supports for immobilization of enzymes)**“.

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

За менторе се одређују др Александар Маринковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Катарина Бађанац, научни сарадник Универзитета у Београду, Иновациони центар Технолошко-металуршког факултета.

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

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић



**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Подобност теме и кандидата Рабаб Салих (Rabab Salih), мастер аналитичар за заштиту животне средине, за израду докторске дисертације.

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, број одлуке 35/275, на седници одржаној 22.11.2022. године именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Рабаб Салих, мастер аналитичар за заштиту животне средине, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Лигнин микросфере као адсорбенти за уклањање текстилних боја и носачи за имобилизацију ензима (Lignin microspheres as adsorbents for textile dyes removal and supports for immobilization of enzymes)“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

**РЕФЕРАТ**

**1. Подаци о кандидату**

**1.1. Биографски подаци**

Рабаб Салих је рођена 20.10.1985. године у Алзавија (Alzawiyah), држава Либија (Libya). Рабаб Салих је дипломирала 2009. године на Природно-математичком факултету у Алзавија, држава Либија. Током 2010. године завршила је међународни курс за компјутерске програме (International Computer Driving Licence - ICDL) (Excel, Word, PowerPoint, Access, Internet), као и курс обуке у медицинској лабораторији, болница Алзавија и обуку из области серологије у Националном центру медицинских наука. Мастер студије, у области заштите животне средине, завршила је на Универзитету ФУТУРА 2017. године, у Републици Србији. Школске 2018/2019. године Рабаб Салих је уписала докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, смер Инжењерство заштите животне средине. Положила је све испите као и завршни испит на докторским студијама. Говори арапски и енглески језик. У Новембру 2022. године пријавила је тему за израду докторске дисертације Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета.

**1.2. Стечено научноистраживачко искуство**

У оквиру досадашњег рада на изради докторске дисертације, Рабаб Салих се бавила проучавањем и оптимизацијом поступка синтезе и функционализације високо ефикасних адсорбената на бази природног материјала лигнина, тј. његовом модификацијом са акрилним умреживачима добијеним из природних ресурса. Синтетисане лигнин микросфере су коришћене у процесима уклањања полутаната, пре свега текстилних боја из отпадних вода. Додатно, Рабаб Салих је проучавала поступак модификације лигнина и могућност примене овако добијених материјала на бази лигнина као носача за имобилизацију ензима, и то комерцијалног ензимског препарата лаказа Novozyme® 51003, произвиђача Novozyme, Bagsværd, Данска. Извршена је оптимизација поступка имобилизације лаказе на Лигнин микросфере варирањем најугицајнијих улазних параметара имобилизације (рН вредност, температура, време, почетна концентрација протеина). Одабране имобилисане препарате лаказе на лигнинским микросферама је користила за деградацију полутаната – текстилних боја. Такође, у циљу максималног искоришћења адсорбента извршена је оптимизација адсорпционих услова применом Методе одзивних површина.

У оквиру докторских студија Рабаб Салих положила је све испите предвиђене планом и програмом. Завршни испит (приступни рад за израду докторске дисертације) под називом „Биолошки третмани отпадних вода применом реактора високе ефикасности (Biological

treatment of wastewaters using high-efficiency reactors), одбранила је септембра 2021. године пред комисијом у саставу: др Александар Маринковић, ванредни професор, др Владимир Павићевић, доцент, и др Драган Повреновић, редовни професор. Списак положених испита, остварени бодови и оцене на докторским студијама приказани су у наредној табели:

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

| РБ  | Предмет                                    | ЕСПБ | Оцена |
|-----|--------------------------------------------|------|-------|
| 1.  | Одабрана поглавља нумеричке анализе        | 5    | 8     |
| 2.  | Хемијска кинетика                          | 5    | 7     |
| 3.  | Индустријска екологија                     | 5    | 8     |
| 4.  | Економија животне средине и одрживи развој | 4    | 7     |
| 5.  | Хемијска термодинамика                     | 5    | 8     |
| 6.  | Мерење јонизујућег и нејонизујућег зрачења | 5    | 8     |
| 7.  | Хемија метал-органичких једињења           | 5    | 10    |
| 8.  | Органске загађујуће супстанце              | 4    | 10    |
| 9.  | Хеометрија                                 | 5    | 6     |
| 10. | Физика материјала                          | 4    | 8     |
| 11. | Одабрана поглавља биофизике                | 4    | 8     |
| 12. | Завршни испит                              | 30   | 10    |
|     | Укупно/средња оцена                        | 81   | 8,17  |

Научноистраживачки рад Рабаб Салих припада области инжењерства заштите животне средине и усмерен је на синтезу и карактеризацију адсорбената на бази природних материјала, њихову примену за пречишћавање отпадних вода и имобилизацију ензима за деградацију одабраних загађујућих материја. Рабаб Салих је као коаутор до сада учествовала у изради и публикацији два научна рада објављених у часописима међународног значаја (два рада категорије M21) и једног саопштења на скупу међународног значаја (M33).

Библиографија научних и стручних радова

#### Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. **Salih R.**, Veličković Z., Milošević M., Pavlović P. V., Cvijetić I., Sofrenić V.I., Gržetić D. J., Marinković A.: *Lignin based microspheres for effective dyes removal: Design, synthesis and adsorption mechanism supported with theoretical study*, - Journal of Environmental Management, Vol. 326, No. 0, 2023, pp. 116838. (IF(2021)=8,910; ISSN 0301-4797), DOI: [10.1016/j.jenvman.2022.116838](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116838).
2. **Salih R.**, Banjanac K., Vukočić A., Gržetić J., Popović A., Veljković M., Bezbradica D., Marinković A.: *Acrylic modified kraft lignin microspheres as novel support for immobilization of laccase from *M. thermophila* expressed in *A. oryzae* (Novozym® 51003) and application in degradation of textile dyes*, - Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol. 11, No. 1, 2023, Article number 109077. (IF(2021)=7,968; ISSN 2213-2929), DOI: [10.1016/j.jece.2022.109077](https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.109077).

#### Саопштења на скупу међународног значаја штампани у целини (M33)

3. Bošnjaković J., Bugarčić M., Milošević M., Prlainović N., **Salih R.**, Batinić P., Popović A., Đolić M.: *Application of nano-  $MnO_2$  modified lignin – based adsorbent for removal of dichromate ions and diclofenac from water*, Proceedings of the 29<sup>th</sup> International Conference Ecological Truth and Environmental Research - EcoTER'22, Sokobanja 2022., pp. 49 - 54, ISBN: 978-86-6305-123-2.

### 1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

У свом досадашњем раду током докторских студија, Рабаб Салих, постигла је значајне резултате, чиме је показала склоност, самосталност и способност за бављење научноистраживачким радом. На основу биографских података и досадашњих остварених резултата током докторских студија и у оквиру научноистраживачког рада, Комисија оцењује да кандидат испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

## **2. Предмет и циљ истраживања**

Предмет истраживања докторске дисертације односи се на оптимизацију поступка синтезе микросфера на бази лигнина (ЛМС), модификованог са акрилном киселином (лигнин-акрилат), и синтетисаним акрилним умреживачима из природних извора, триметилпропан-триакрилата (ТМПТА), и испитивање могућности њихове примене за ефикасно уклањање текстилних боја из воде процесом адсорпције. Такође, на лигнин микросфере, синтетисане на бази лигнин-акрилата и комерцијалног акрилног умреживача диетиленгликол-диметакрилатом (ДЕГДМА), биће имобилисан ензим оксидоредуктаза лаказа (ЕС 1.10.3.2, урисхиол оксидаза, п-дифенолна оксидаза), а добијени имобилисан ензим ће бити примењен за деградацију текстилних боја (Lanaset® violet B, Lanaset® blue 2 R, C.I. Acid Green 40, Sudan Orange G).

Загађење животне средине и воде је тренутно једно од највећих проблема и изазова за човечанство. Отпуштање токсичних материја, у које спадају и текстилне боје, из различитих извора у реципијенте, представља озбиљну претњу по живи свет [1] Боје доспевају у воду различитим људским активностима и подложне су у одређеној мери биолошкој разградњи, а познато је да се могу акумулирати у ткивима. До сада су коришћени поступци за уклањање загађујућих материја из воде попут таложења, коагулације, мембранских поступака, нанофилтрације, јонске измене, напредних оксидационих поступака, електрохемијских метода итд., и сви они имају бројне недостатке у погледу ефикасности и економичности због којих се јавља потреба за развојем нових и побољшаних метода као што су адсорпција и биосорпција. Такође, постоји потреба и за развојем природних материјала на бази лигноцелулозе [2]; деривата лигнина [3], као и хитина и хитозана [4] услед њихове биообновљивости. Један од могућих начина да се повећа ефективност адсорпције неког природног материјала је примена хемијске модификације. Под хемијском модификацијом, тј. функционализацијом материјала подразумева се увођење функционалних група (као што су: аминок, карбоксилне, фосфатне, сулфатне/сулфонске итд.) на површину материјала, чиме се повећава њихов адсорпциони потенцијал као и могућност њиховог коришћења као носача за имобилизацију ензима.

Генерално, могућност шире примене ензима у индустрији, између осталог и у процесима биоремидијације вода, је ограничена јер при екстремним експерименталним условима (јонска јачина, температура, рН, присуство различитих реагенаса органског порекла) може да дође до денатурације ензима при чему он губи своја каталитичка својства [5]. Такође, постоји и проблем немогућности одвајања слободног ензима из реакционе смеше, а самим тим и његове поновне употребе (током више реакционих циклуса). Један од начина да се превазиђу ови проблеми је физичко или хемијско везивање ензима на површину природних и синтетских носача или „заробљавањем“ ензима унутар матрице носача, тј. применом поступка имобилизације ензима [6]. Применом поступка имобилизације ензима се може добити имобилисан ензимски препарат повећане каталитичке активности, стабилности и селективности према супстрату у односу на слободан ензим, имобилизацијом ензима олакшано је и одвајање ензима из реакционе смеше, а омогућена је и њихова употреба у више реакционих циклуса што директно доводи до смањења трошкова ензимског процеса на

индустријском нивоу [6]. Имајући увиду чињеницу да већина синтетских материјала и комерцијалних носача (као што су нпр. полиметакрилатне и полистиренске смоле) који се користе за имобилизацију ензима нису еколошки (проблем са одлагањем након завршеног поступка) и економски прихватљиви (висока цена), последњих година су истраживања усмерена на примену природних материјала („биоматеријали“ (агароза, целулоза, хитозан, алгинат и др.) и агро-индустријски отпад (љушка кокоса, јајета, житарица и пистаћа, перје животиња и др.)) као носача за имобилизацију ензима [7]. С обзиром да је императив направити материјал који ће бити и економски и еколошки прихватљив, потребно је истаћи да су природни материјали пре свега биодеградибилни, јефтини, доступни, лаки за синтезу, поседују различите функционалне групе на својој површини за које се могу директно везати ензими, као и које је могуће једноставно модификовати применом различитих модификујућих агенаса, разумљиво је што је и све већи број истраживања усмерен управо на искоришћење потенцијала природних материјала као носача за имобилизацију ензима. У склопу ове докторске дисертације биће изучавана могућност примене природног материјала на бази лигнина као носача за имобилизацију ензима [8].

Конкретно, лаказе (ЕС 1.10.3.2) су ензими који припадају групи оксидоредуктаза које имају способност да оксидују различита ароматична једињења (*орто*- и *пара*-дифенолна, и аминоксенолна једињења, полифеноле, полиамине, лигнин и арилдиамине) користећи кисеоник као акцептор електрона и дајући молекул воде као нуспроизвод. Треба напоменути да су лаказе гликопротеини који у својој структури могу да садрже и до четири атома бакра, као и да се примењују у многим индустријским гранама (прехрабрана индустрија, фармацеутска индустрија, индустрија хартије и др.), укључујући и текстилну индустрију. Значајна је њихова примена у биоремедијацији вода која се заснива на њиховој способности да разграђују органске загађујуће материје (пестициди, текстилне боје и др.), а која по својој хемијској структури су фенолна једињења [9]. На основу до сада објављених резултата истраживања, лаказе су успешно имобилисане на различите синтетске носаче органског и неорганског порекла као што су носачи на бази силицијум-диоксида, угљеничне наночестице и влакна, магнетне и златне наночестице, графен и др. Од природних материјала, лаказа је имобилисана на микросфере хитозана и алгината, као и на сфере добијене од боровог дрвета и наноцелулозе [10]. Треба напоменути да је најчешће примењивана техника имобилизације лаказе физичка адсорпција, потом „заробљавање“ лаказе унутар матрикса и на крају, као најзахтевнија метода имобилизације је ковалентна имобилизација. Посебно треба истаћи да је за успешну ковалентну имобилизацију најчешће неопходно функционализовати површину носача како би се увеле адекватне функционалне групе (карбоксилне, епоксидне, алдехидне и др.) за формирање ковалентне везе између ензима и носача [10].

Циљ истраживања у оквиру предложене докторске тезе ће се односити на испитивање могућности примене природног материјала лигнина, хемијски модификованог акрилном киселином (лигнин-акрилат) са умреживачем добијеним из природних ресурса, у синтези лигнин микросфера, ЛМС, које ће се користити као адсорбенти полутаната, првенствено текстилних боја. Додатно, биће разматрана могућност примене ЛМС-а, добијених кополимеризацијом лигнин-акрилата и дитиленгликол-диметакрилата (ДЕГДМА), као носача за имобилизацију ензима и то пре свега комерцијалног препарата лаказа Novozyme® 51003, произвођача Novozyme, Bagsværd, Данска.

Релевантни библиографски извори повезани са предметом истраживања ове докторске дисертације, који уједно представљају основу за даљи ток истраживања су:

- [1] Sandin G., Peters G. M.: *Environmental impact of textile reuse and recycling – A review*, - Journal of Cleaner Production, Vol. 184, No. 1, 2018, pp. 353-365. (IF(2021)=9,290; ISSN: 0959-6526), DOI: [10.1016/j.jclepro.2018.02.266](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266)
- [2] Roa K., Oyarce E., Boulett A., Alsamman M., Oyarzún D., Pizarro G. D. C., Sánchez J.: *Lignocellulose-based materials and their application in the removal of dyes from water: A review*, - Sustainable Materials and Technologies, Vol. 29, 2021, Article number E00320. (IF(2021)=7,053; ISSN: 2214-9937), DOI: [10.1016/j.susmat.2021.e00320](https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00320)
- [3] Popović A. L., Rusmirović J. D., Veličković Z., Radovanović Ž., Ristić M., Pavlović V. P., Marinković D. A.: *Novel amino-functionalized lignin microspheres: High performance biosorbent with enhanced capacity for heavy metal ion removal*, - International Journal of Biological Macromolecules, Vol. 156, No. 1, 2020, pp. 1160-1173. (IF(2021)=6,953; ISSN: 0141-8130), DOI: [10.1016/j.ijbiomac.2019.11.152](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.152)
- [4] Kyzas G. Z., Bikiaris D. N., Mitropoulos A. C.: *Chitosan adsorbents for dye removal: a review*, - Polymer International, Vol. 66, No. 12, 2017, pp. 1800-1811. (IF(2021)=2,990; ISSN: 0959-8103) DOI: [10.1002/pi.5467](https://doi.org/10.1002/pi.5467)
- [5] Tran D. N., Balkus K. J.: *Perspective of Recent Progress in Immobilization of Enzymes*, - ACS Catalysis, Vol. 1, No. 8, 2011, pp. 956-968. (IF(2021)=13,084; ISSN: 0002-7863), DOI: [10.1021/cs200124a](https://doi.org/10.1021/cs200124a)
- [6] Bickerstaff G. F. 1997. Immobilization of Enzymes and Cells. In: Bickerstaff G. F. (ed.) *Immobilization of Enzymes and Cells*. Totowa, NJ: Humana Press.
- [7] Girelli A. M., Astolfi M. L., Scuto F. R.: *Agro-industrial wastes as potential carriers for enzyme immobilization: A review*, - Chemosphere, Vol. 244, No. 1, 2020, Article number 125368. (IF(2021)=7,086; ISSN: 0045-6535), DOI: [10.1016/j.chemosphere.2019.125368](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125368)
- [8] Alvarado-Ramírez L., Rostro-Alanis M., Rodríguez-Rodríguez J., Castillo-Zacarias C., Sosa-Hernández J. E., Barceló D., Iqbal H. M. N., Parra-Saldívar R.: *Exploring current tendencies in techniques and materials for immobilization of laccases – A review*, - International Journal of Biological Macromolecules, Vol. 181, No. 1, 2021, pp. 683-696. (IF(2021)=6,953; ISSN: 0141-8130), DOI: [10.1016/j.ijbiomac.2021.03.175](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.175)
- [9] Mojsov K.: *Biotechnological applications of laccases in the textile industry*, - Advanced technologies, Vol. 3, No. 1, 2014, pp. 76-79. (IF(2021)=/; ISSN: 2406-2979), DOI: [10.5937/savteh1401076M](https://doi.org/10.5937/savteh1401076M)
- [10] Datta S., Veena R., Samuel M. S., Selvarajan E.: *Immobilization of laccases and applications for the detection and remediation of pollutants: a review*, - Environmental Chemistry Letters, Vol. 19, No. 1, 2021, pp. 521-538. (IF(2021)=9,027; ISSN: 1610-3661), DOI: [10.1007/s10311-020-01081-y](https://doi.org/10.1007/s10311-020-01081-y)

### 3. Полазне хипотезе

На основу досадашњих литературно познатих испитивања, предложена истраживања у оквиру ове докторске дисертације полазе са основног становишта да ће се модификацијом лигнина и синтезом ЛМС микрофера добити ефикасан адсорпциони материјал за уклањање текстилних боја: Малахитно зелено (Malachite Green – MG), Тартразин (Tartrazine – T), и Метил црвено (Methyl Red - MR), из воде, као и адекватан носач за имобилизацију ензима лаказа што ће имати за последицу да ће добијени имобилисани ензимски препарати лаказа успешно деградирати текстилне боје (Lanaset® violet B, Lanaset® blue 2 R, C.I. Acid Green 40, Sudan Orange G) присутне у отпадним индустријским водама.

Полазне хипотезе су следеће:

- Синтеза ЛМС микрофера поступком инверзне суспензионе радикалске кополимеризације између лигнина-акрилата и акрилног реактанта, биотриметилпропан-триакрилата (ТМПТА), у циљу добијања порозних ЛМС микрофера које ће се користити за уклањање текстилних боја из отпадних вода и имобилизацију ензима,
- Додатак оптималне количине емулгатора (дилаурил-динатријум-сулфосукцинат и натријум-лаурилсулфат) и порогена (триацетин) током синтезе ЛМС микрофера утиче

се на структуру, пречник и порозност ЛМС, као и на доступност функционалних група које могу да ступе у различите интермолекулске интеракције са бојама, као и за имобилизацију лаказе,

- Модификација лигнина акрилном киселином допринеће реактивности ових прекурсора које ће градити ковалентне везе током синтезе, а самим тим и умрежену структуру лигнин микросфера. Наведена методологија ће се спровести у циљу добијања стабилног материјала и побољшања адсорпционих својстава,
- Добијени адсорпциони материјали биће применљиви у шаржним и проточним системима за уклањање боја из отпадних вода,
- Услед својстава површине синтетисаних ЛМС и присутних функционалних група материјали ће бити примењиви у више циклуса пречишћавања отпадних вода,
- Спровешће се студија о могућностима имобилизације лаказе на ЛМС синтетисане на бази лигнин-акрилата и ДЕГДМА,
- Испитаће се активност и стабилност добијених имобилизованих ензимских препарата у циљу утврђивања могућности употребе ЛМС као носача за имобилизацију лаказа.
- Одабрани имобилизовани ензимски препарат лаказа на ЛМС ће се применити за деградацију текстилних боја присутних у отпадним водама.

#### 4. Научне методе истраживања

Карактеризација полазних сировина и добијених адсорбената, као и испитивање процеса адсорпције и имобилизације биће извршена применом следећих метода:

- Синтеза ЛМС микросфера на бази биообновљивих материјала лигнина-акрилата и акрилних реактанта ТМПА или комерцијалног ДЕГДМА које ће се користити за уклањање текстилних боја из отпадних вода и имобилизацију ензима,
- Морфологија материјала биће испитана методом скенирајуће електронске микроскопије (FE–SEM), (енгл. *Scanning Electron Microscopy, SEM*),
- Тачка нултог наелектрисања и садржај функционалних група (фенолне, хидроксилне итд.) у модификованом узорку биће одређен применом волуметријских и потенциометријских метода, (енгл. *The Point of Zero Charge,  $pH_{pzc}$* ),
- Фазни састав биће одређен применом рендгенске фотоелектронске спектроскопије (енгл. *X-ray photoelectron spectroscopy, XPS*),
- Идентификација функционалних група биће одређена применом инфрацрвене спектроскопске анализе (енгл. *Attenuated Total Reflectance Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, ATR–FTIR*) и Раманске спектроскопије,
- Специфична површина материјала биће испитана BET методом (енгл. *Brunauer–Emmett–Teller, BET*),
- Термичка својства биће извршена употребом TG–DTA технике (енгл. *Thermogravimetry Differential Thermal Analysis*),
- Концентрације боја пре и након адсорпције биће одређене применом ултраљубичасте-видљиве апсорпционе спектроскопије (UV–Vis) и Течне хроматографије високих перформанси (енгл. *High Performance Liquid Chromatography, HPLC*),
- Анализа адсорпционих резултата остварених у шаржном систему ће се вршити применом адсорпционих изотерми и кинетичких модела, као и анализом дифузионих процеса (Dunwald-Wagner, Elovich, HSDM, Urano Tashukawa, Bangham модел),
- Применом Вант Хофових (Van't Hoff) једначина одредиће се термодинамички параметри процеса,
- Одредиће се допринос екстерне и интерне дифузије укупном отпору транспорта

полутанта до адсорпционог места,

- Анализа резултата остварених у проточном систему ће се вршити применом семи-емпиријских једначина (Bohart-Adams, Yoon-Nelson, Thomas итд.) као и ПСДМ модела (енгл. *Pore Surface Diffusion Model*),
- Квантно-механичка израчунавања ће се применити у циљу одређивања инетнезитета интеракција полутанта и модел структура лигнина присутног у ЛМС адсорбенту,
- Оптимизоваће се поступак десорпције у односу на десорпционо средство и услове,
- Испитаће се ефикасност пречишћавања на примеру реалне воде,
- Оптимизација имобилизације лаказа на синтетисане лигнин микросфере (активност слободног и имобилисаног ензима, као и кинетика везивања ензима на лигнин микросфере) биће одрађена применом спектрофотометрије (SPF),
- Праћење реакције разградње текстилних боја применом добијених имобилисаних ензимских препарата вршиће се применом спектрофотометрије (SPF) и течне хроматографије високих перформанси (HPLC),
- Употребом софтвера Design-Expert, Software Version 9 (Stat-Ease, Inc. 2021 E. Hennepin Ave. Suite 480 Minneapolis, USA) вршиће се планирање експеримената у циљу оптимизације синтезе адсорбента, оптимизације имобилизације ензима на носач (активност слободног и имобилисаног ензима, као и кинетика везивања ензима на носач), а графички приказ предикције резултата адсорпције применом методе одзивних површина (енгл. *Response Surface Methodology, RSM*),
- Статистичка метода Анализа варијансе (АНОВА) из овог програмског пакета користиће се за анализу добијених резултата.

## 5. Очекивани научни допринос

Научни допринос на бази резултати који ће проистећи из предложене тематике докторске ће се огледати у следећем:

- Синтеза акрилоил модификованих деривата лигнина (лигнин-акрилата) и ТМПТА на бази обновљивих сировина,
- Синтетисане ЛМС микросфере, на бази лигнин-акрилата и био-ТМПТА, као нови адсорпциони материјали побољшаних својстава биће примењени за ефикасно уклањање текстилних боја Malachite Green (MG), Tartrazine (T), and Methyl Red (MR),
- Карактеризација полазних и модификованих материјала пре и после процеса адсорпције текстилних боја из воде,
- Оптимизација модификације и синтезе материјала, као и адсорпционих процеса.
- Моделовање адсорпционих података пименом адсорпционих и кинетичких модела, као и израчунавање термодинамичких и активационих параметара,
- Тумачење адсорпционог механизма, утицај својства материјала и експерименталних услова на ефикасност адсорпције,
- Примењени семи-емпиријски и квантно-хемијски прорачуни допринеће дефинисању доприноса неспецифичних и специфичних интреакција између адсорбената и адсорбата укупном механизму адсорпције,
- Моделовање процеса адсорпције у колони,
- Одређивање десорпционих својстава и решавање питања отпадне воде након десорпције,
- Оптимизација услова имобилизације (pH, време, температура, почетна концентрација протеина) ензима лаказа на носач (лигнин микросфере),
- Одређивање кинетике везивања лаказе на синтетисане микросфере лигнина,

- Одређивање каталитичке активности, оперативне и термичке стабилности добијених имобилисаних препарата лаказа,
- Синтетисане ЛМС микросфере, на бази лигнин-акрилата и ДЕГДМА, за имобилизацију изабраног ензима биће примењени у реакцији разградње текстилних боја (Lanaset® violet B, Lanaset® blue 2R, C.I. Acid Green 40, Sudan Orange G),

Очекује се да ће резултати који ће проистећи из предложене тематике докторске дисертације значајно допринети решавању проблематике уклањања текстилних боја из воде коришћењем природних (биодеградабилних) материјала на бази лигнина. Добијање економски исплативог и еколошки прихватљивог адсорбента и носача ензима од природног полимера из отпадних сировина, у складу је са начелима одрживог развоја и циркуларне економије и представља врло корисно решење за пречишћавање воде.

## 6. План истраживања и структура рада

Предвиђено је да предложена докторска дисертација обухвата следећа поглавља: *Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература.*

У поглављу **Увод** биће размотрени актуелни трендови, дефинисани предмет и циљ истраживања, као и очекивани научни допринос дисертације.

У **Теоријском** делу ће бити изложен преглед доступне литературе у области истраживања докторске дисертације и достигнућа у науци који се односе на следеће области:

- Детаљан приказ порекла и добијања лигнина, структуре, физичкохемијских својстава и примене лигнина,
- Опис метода синтезе акрилних умреживача из природних ресурса,
- Опис метода модификације лигнина помоћу природних акрилних умреживача, и меотде синтеза микросфера за примену у адсорпционим процесима,
- Порекло и токсичност загађујућих материја у отпадним водама са посебним освртом на текстилне боје,
- Технике пречишћавања отпадних вода применом процеса адсорпције са посебним освртом на ензимску деградацију,
- Адсорпционе изотерме, термодинамика и модели кинетиких једначина које се користе за испитивање адсорпционих процеса у шаржном систему,
- Приказ математичких модела за описивање процеса адсорпције у проточном систему,
- Приказ техника имобилизација ензима на различите природне носаче са посебним освртом на примену микросфера на бази лигнина,
- Методе карактеризације које ће се користити у експерименталном делу.

У **Експерименталном** делу биће детаљно описани експериментални поступци примењени током израде дисертације, а конкретно ће бити:

- Описан материјал и методе коришћене за синтезу адсорпционих материјала/носача ензима, укључујући све хемикалије и реагенсе,
- Представљен поступак модификације лигнина са акрилним умреживачима природног порекла у циљу добијања лигнин микросфера,
- Описан поступак испитивања процеса адсорпције текстилних боја у шаржном и проточном систему и математички модели који ће се користити за обраду података,
- Представљен поступак имобилизације ензима на лигнин микросферама,
- Описан поступак карактеризације добијених имобилисаних препарата лаказа на лигнинским микросферама,
- Описан поступак разградње текстилних боја применом имобилисаних лаказа на лигнинске микросфере,
- Детаљно описане све методе физичко-хемијске карактеризације, уз навођење опреме и софтверских пакета коришћених током експерименталног рада и обраде резултата.

У поглављу **Резултати и дискусија** биће детаљно приказани, размотрени и дискутовани сви резултати добијени током израде докторске дисертације. У том смислу, део резултати и дискусија ће садржати следеће:

- Резултате оптимизације поступака синтезе и модификације материјала,
- Резултате структурних, физичко-хемијских и морфолошких карактеризација лигнина и добијених адсорбената,
- Резултате испитивања процеса адсорпције у шаржном систему и колони,
- Резултате моделовања добијених применом адсорпционих изотерми, термодинамичких једначина и кинетичких модела,
- Одређивања кинетике испитиваних процеса адсорпције и објашњење утицаја температуре на адсорпцију,
- Морфологију и састав материјала пре и након адсорпције,
- Дискусију добијених експерименталних резултата, моделовања и финална дискусија након анализе свих добијених резултата у циљу разумевања механизма адсорпције,
- Дискусија резултата квантно-хемијских израчунавања у циљу појашњења механизма адсорпције тј. специфичних интеракција адсорбат/адсорбент,
- Резултати одређивања оптималних услова регенерације адсорбената, и резултати десорпције,
- Приказ резултата употребе синтетисаних Лигнин микросфера као носача за имобилизацију лаказа у односу кључне параметре који утичу на успешност имобилизацију лаказе Novozyme® 51003, произвиђача Novozyme, Bagsværd, као што су: кинетика везивања ензима на носач (mg/g носача), капацитет носача за везивање ензима (mg протеина по g носача), принос имобилизације протеина (%), концентрација везане активности (IU/g носача), специфична активност (IU/mg протеина) и принос имобилизације активности (%),
- Приказ резултата оптимизације процеса имобилизације лаказе на ЛМС микросфере, одређивањем оптималне рН, времена имобилизације, почетне концентрације протеина (mg понуђених протеина по g носача),
- Приказ и дискусија резултата који се односе на утврђивање механизма везивања ензима на ЛМС добијених праћењем кинетике имобилизације (одређивањем масе везаних протеина и активности у току времена) као и утицаја кључних параметара као што је однос концентрације ензима и носача на ефикасност имобилизације,
- Резултате испитивања оперативне и термичке стабилности имобилисане лаказе на изабране Лигнин микросфере (могућности примене у више циклуса), и
- Резултате испитивања који се односе на могућности примене имобилисане лаказе Novozyme® 51003 на лигнин микросфере у реакцији разградње текстилних боја присутних у отпадним водама.

Поглавље **Закључак** ће сумирати резултате целокупног истраживања и закључке до којих ће кандидат доћи у току израде ове докторске дисертације, уз осврт на њихову иновативност и потенцијалну примену.

У поглављу **Литература** ће бити наведени радови и литературни извори цитирани у дисертацији, као и радови проистекли из спроведених истраживања.

## 7. Закључак и предлог

Комисија сматра да је тема докторске дисертације „Лигнин микросфере као адсорбенти за уклањање текстилних боја и носачи за имобилизацију ензима (Lignin microspheres as adsorbents for textile dyes removal and supports for immobilization of enzymes)“, коју је предложила Рабаб Салих (Rabab Salih), мастер аналитичар заштите животне средине., научно заснована и подобна за даље истраживање, те предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да прихвати израду предметне дисертације. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Инжењерство заштите животне средине, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Докторска дисертација ће бити писана на Енглеском језику. За менторе се предлажу др Александар Маринковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и Катарина Бањанац, научни сарадник Иновационог центра Технолошко-металуршког факултета у Београду доо.

У Београду, 20.12.2022. године

Комисија:

1. Др Александар Маринковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко–металуршки факултет,
2. Др Катарина Бањанац, научни сарадник Универзитета у Београду, Иновациони центар Технолошко–металуршког факултета у Београду доо,
3. Др Маја Ђолић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко–металуршки факултет,
4. Др Дејан Безбрадица, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко–металуршки факултет,
5. Др Јелена Гржетић, виши научни сарадник Војнотехничког института.

