

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/211

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

2. 9. 2024.

(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:

„Адсорбенти на бази целулозне мембране и био-силицијум оксида модификовани са слојевитим двоструким хидроксидима за уклањање анјонских загађујућих материја из воде”

“Adsorbents based on cellulose membrane and biosilica modified with layered double hydroxide for anionic pollutants removal from water”

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ

ИНЖЕЊЕРСТВО ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Muna (Abdualatif) Abduarahman

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: 2021.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Инжењерство заштите животне средине

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 1:

Име и презиме ментора: др Александар Маринковић

Звање: Редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Vesna Nikolić, Nataša Tomić, Mladen Bugarčić, Miroslav Sokić, **Aleksandar Marinković**, Zlate Veličković, Željko Kamberović, *Amino-modified hollow alumina spheres: effective adsorbent for Cd^{2+} , Pb^{2+} , As(V), and diclofenac removal*, Environmental Science and Pollution Research, Vol. 28 No. 21, 2021, 27174 -27192, ISSN 0944-1344, IF(2020)=4,223, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12157-1>
2. Mladen Bugarčić, Zorica Lopičić, Tatjana. Sostarić, **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, 2021, 106020, ISSN 2213-2929, IF(2021)=7,968, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106020>,
3. Maja Đolić, Milica Karanać, 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, 2021, 126924, ISSN 0959-6526, IF(2020)=9,297, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126924>
4. Ana Popović, Zlate Veličković, Željko Radovanović, Maja Djolić, Vera Pavlović, **Aleksandar D. Marinković**, Jelena D Grzetić, *Hybrid amino-terminated lignin microspheres loaded with magnetite and manganese oxide nanoparticles: an effective hazardous oxyanions adsorbent*, Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol. 10 No. 3, 2022, 108009, ISSN 2213-2929, IF(2021)=7,968, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108009>
5. Vesna Marjanović, Radmila Marković, Mirjana Steharnik, Silvana Dimitrijević, **Aleksandar D. Marinković**, Aleksandra Perić-Grujić, Maja Đolić, *Lignin Microspheres Modified with Magnetite Nanoparticles as a Selenate Highly Porous Adsorbent*, International Journal of Molecular Science Vol. 23 No. 22, 2022, 13872, ISSN 1422-0067, IF(2020)=6,208, <https://doi.org/10.3390/ijms232213872>

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Петар Ускоковић

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 2.:

Име и презиме ментора: др Адела Егеља

Звање: научни сарадник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке
„Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Marija M. Vuksanović, **Adela Egelja**, Tanja Barudžija, Nataša Tomić, Miloš Petrović, Aleksandar Marinković, Vesna Radojević, Radmila Jančić Heinemann, *Inorganically modified particles FeAl-LDH@SiO₂ as reinforcement in poly (methyl) methacrylate matrix composite*, Royal Society Open Science Vol. 8 No. 9 (2021) 210835, ISSN 2054-5703, (Multidisciplinary Sciences 30/74), IF (2021) = 3,653, <https://doi.org/10.1098/rsos.210835>
2. **Adela Egelja**, Andrija Savić, Marjetka Savić, Maja J. Kokunešoski, Krstimir Pantić, Milica Rančić, Marija M. Vuksanović, *Application of Fe-Al layered double hydroxides on silica for phosphate and arsenate removal from water*, Science of Sintering, Vol. No. (2023) 51. ISSN 0350-820X, IF (2021) = 1,725, (Materials Science, Ceramics 16/28), <https://doi.org/10.2298/SOS230926051E>.
3. Asma Alazreg, Marija M. Vuksanović, Ivana O. Mladenović, **Adela Egelja**, Ljiljana Janković-Mandić, Aleksandar Marinković, Radmila Jančić Heinemann, *Dental material based on poly(methyl methacrylate) with magnesium-aluminum layered double hydroxide (MgAl-LDH) on bio-silica particles*, Materials Letters, Vol.354 (2024) 135354, ISSN 0167-577X, IF (2022) = 3,0, (Materials Science, Multidisciplinary 183/345), <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2023.135354>.
4. Asma Alazreg, Marija M. Vuksanović, **Adela Egelja**, Ivana O. Mladenović, Željko Radovanović, Miloš Petrović, Aleksandar Marinković, Radmila Jančić Heinemann, *Mechanical properties of acrylate matrix reinforced with manganese-aluminum layered double hydroxide (MnAl-LDH)*, Polymer Composites Vol.44 No.10 (2023) 6783-6792, ISSN 0272-8397, IF (2022) = 5,2 (Materials Science, Composites 8/28), <https://doi.org/10.1002/pc.27597>.
5. Tomic N.Z., Saleh M.N., Vuksanovic M.M., **Egelja A.**, Obradovic V., Marinkovic A., Heinemann R.J., *Tailored adhesion properties of acrylate adhesives on al alloys by the addition of Mn-Al-Ldh*, Polymers, Vol. 13, No. 9 (2021) 1525, ISSN 2073-4360, IF (2021) = 4,967, (Polymer Science 16/90), <https://doi.org/10.3390/polym13091525>.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Петар Ускоковић

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

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 28.8.2024. 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 **Muna Abdualatif Abduarahman**, број индекса 4048/21, под називом: **„Адсорбенти на бази целулозне мембране и био-силицијум оксида модификовани са слојевитим двоструким хидроксидима за уклањање анјонских загађујућих материја из воде”**

“Adsorbents based on cellulose membrane and biosilica modified with layered double hydroxide for anionic pollutants removal from water”.

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 Адела Егеља, научни сарадник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију.

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 Муне Абдуархман (Muna Abdualatif Abduarahman), за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, број одлуке 35/74, на седници одржаној 03.07.2024. године именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Муне Абдуархман, мастер аналитичара заштите животне средине, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме: „Адсорбенти на бази целулозне мембране и био-силицијум оксида модификовани са слојевитим двоструким хидроксидима за уклањање анјонских загађујућих материја из воде” (“Adsorbents based on cellulose membrane and biosilica modified with layered double hydroxide for anionic pollutants removal from water”).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Муна Абдуарахман (Muna Abdualatif Emhemed Abduarahman) је рођена 14.03.1987., место рођена Субрата (Subratah), држава Либија (Libya). Муна Абдуарахман је завршила високу школу 2006. године на Високој школи за природне науке у Al-Alalqah Subratah – специјализацију у медицинским наукама. Дипломирала је на Биологији 2009. године, Subratah, Libya, на Факултету за науку и уметност. Мастер студије, у области примењивих науку у заштити животне средине, завршила је на Факултету за примењену екологију ФУТУРА 2017. године, Србија. Током периода од септембра 2010. године до марта 2013. радила је као помоћни предавач на Факултету за науку и уметност у Субрати (Subratah), Универзитет у Завији (Zawia), Либија.

Школске 2021/2022. године Муна Абдуарахман је уписала докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду.

Сертификати и вештине: Microsoft Office (Excel, Word, PowerPoint, Access); радионица: “How to write a search proposal”, (online) - септембар 2022, предавач: ванредни проф. др Herma Dina Setiabudi.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Докторске академске студије Муна Абдурахман је уписала школске 2021/2022. године на Технолошко-металуршком факултету, студијски програм Инжењерство заштите животне средине, под менторством др Маје Ђолић. У оквиру докторске дисертације Муна Абдуархман је радила на процесу синтезе и хемијске модификације материјала за пречишћавање, десорпцију и правилно одлагање ефлуента десорпционе воде/истрошеног адсорбата како би се створио круг одрживе технологије са минималним утицајем на животну средину. Под хемијском модификацијом, тј. функционализацијом материјала подразумева се увођење функционалних група као што су: аминок, карбоксилне, фосфатне, сулфатне/сулфонске групе, итд., на површину полазног материјала применом различитих еколошки прихватљивих агенаса. Модификација целулозних влакана и ЛДХ (енгл. *Layered double hydroxide* – LDH) је рађена применом силана и синтетисаних модификатора на биобазу. Као извор целулозе користио се материјал добијен из отпадних паклица цигарета.

У оквиру докторских студија Муна Абдуархман положила је све испите предвиђене планом и програмом. Завршни испит (приступни рад за израду докторске дисертације) под називом: “Целулозне мембране модификоване слојевитим двоструким хидроксидима за ефективно уклањање анионских полутаната” (“Layered double hydroxide modified cellulose-based membrane for effective removal of anionic pollutants”), одбранила је пред комисијом у саставу: др Маја Ђолић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Александар Маринковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, и др Владимир Павићевић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

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 математичке анализе	5	10
2.	Хемијска кинетика	5	6
3.	Индустријска екологија	5	7
4.	Економија животне средине и одрживи развој	4	10
5.	Термодинамика чврстог стања	5	10
6.	Зелена хемија	5	10
7.	Квантификација визуелних информација	5	9
8.	Катализа у органској хемији	5	10
9.	Хемија металорганских једињења	5	10
10.	Структурна анализа органских молекула	6	10
11.	Завршни испит	30	10
Укупно/средња оцена		80	10

Укупно остварено 90 ЕСПБ, општи успех 9,27 (девет и 27/100).

Научноистраживачки рад Муне Абдуархман припада области Инжењерства заштите животне средине. У наставку је списак објављених научноистраживачких радова Муне Абдуархман.

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. **Muna Abdualatif Abduarahman**, Marija Vuksanović, Milena Milošević, Adela Egelja, Andrija Savić, Zlate Veličković, Aleksandar Marinković, *Mn-Fe layered double hydroxide modified Cellulose-based membrane for sustainable anionic pollutant removal*, - Journal of Polymers and the Environment, Vol. 32, 2024, pp. 3776-3794 (ISSN 1566-2543, EISSN 1572-8900, IF(2023)=4.7, M22 22/54 Engineering, Environmental), <https://doi.org/10.1007/s10924-024-03192-x>

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. Milena Milošević, **Muna Abdualatif Abduarahman**, Marija M. Vuksanović, Zlate Veličković, Nataša Knežević, Božidar Najdanović, Aleksandar Marinković, Cellulose based membrane for cationic pollutants removal from water, 31th International Conference Ecological Truth and Environmental Research - EcoTER'24, 18-21 June 2024, Sokobanja, Serbia, pp 363-368, ISBN: 978-86-6305-152-2.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег рада током докторских студија, Муна Абдуархман, постигла је значајне резултате, чиме је показала склоност, самосталност и способност за бављење научноистраживачким радом. Муна Абдуархман је први аутор рада у врхунском међународном часопису категорије M21 (IF 5,2).

На основу биографских података и на основу претходног приказа резултата током докторских студија и у оквиру научноистраживачког рада, као и објављених радова Комисија оцењује да кандидат испуњава све неопходне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања докторске дисертације обухвата област инжењерства заштите животне средине, са фокусом на примену биобновљивих и секундарних сировина у процесима пречишћавања отпадних вода. Истраживање се односи на процесе синтезе материјала од природних и обновљивих ресурса у циљу смањења трошкова, очувања биодеградабилности и трансформације и коришћења материјала у наредним процесима (продужење животног века). Посебан акценат је стављен на њихову модификацију, проучавање физичко-хемијских својстава, као и испитивање адсорпционих својстава, укључујући термодинамику, кинетику и начин везивања загађујућих материја на површини адсорбента.

Пољопривреда, индустријска постројења, комуналне отпадне воде и људска насеља представљају значајне изворе загађења водених токова и других водних ресурса [1]. Ови водотокови често садрже разне штетне материје, попут пестицида, индустријских боја и тешких метала, које представљају озбиљну претњу по живи свет [1]. Конвенционални материјали за третман воде, као што су зеолит, активни угаљ, силика гел и полимерне смоле, често показују лошу селективност, високу цену, компликоване процесе регенерације и ограничену могућност поновне употребе [2]. Поред тога, постојећи поступци за уклањање загађујућих материја из воде, као што су таложње, нанофилтрација и електрохемијске методе [3], имају значајне недостатке у погледу ефикасности и економичности.

Ефикасност адсорпционих материјала огледа се у великој специфичној површини, високој порозности и великом броју активних места [4]. Један од циљева ове дисертације је добијање порозних модификованих адсорбената који се могу користити за ефикасно уклањање анјонских загађујућих материја из водених раствора. Истраживања ће обухватити карактеризацију материјала, дефинисање оптималних услова адсорпционих експеримената, као и испитивање могућности поновне употребе искоришћеног адсорбента и решавање питања раствора за десорпцију који садржи загађујуће материје.

Подаци из литературе указују на то да ЛДХ и његови композити дају добре резултате у процесу пречишћавања воде адсорпцијом, нарочито у уклањању анјона, тешких метала и разних органских једињења [4]. У циљу побољшања порозности и повећања капацитета адсорпције, многи природни и синтетички материјали комбинују се са ЛДХ. У последње време, примећено је повећано интересовање за развој адсорбената на бази природних материјала који су еколошки и економски прихватљиви, биоразградиви, јефтини, доступни и лаки за синтезу.

Као природни, обновљиви ресурс у овим истраживањима користи се целулозни материјал, који се одликује биоразградивошћу и обновљивошћу. Захваљујући великом броју функционалних група, целулоза омогућава бројне хемијске промене, што је чини погодном за адсорпцију загађивача различитог порекла [5]. Такође, додавање ЛДХ целулози може повећати њену термичку стабилност, водоотпорност и отпорност на пламен [6]. Литерарни подаци показују да постоји велико интересовање за употребу целулозних и ЛДХ мембрана у различитим применама [7, 8].

У складу са наведеним еколошким изазовима, истраживања у оквиру ове дисертације усмерена су ка развоју ефикасне технологије пречишћавања воде, десорпције и правилног одлагања отпадне воде и искоришћеног адсорбата, са циљем да се заокружи одржива технологија са минималним негативним утицајем на животну средину. У сврху решавања питања штетности вода које настају након десорпције примењују се различите методе као што су фотокаталитичка деградација [9] или ензиматска деколоризација раствора [10].

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

- [1]. Iftekhar, S., Küçük, M.E., Srivastava, V., Repo, E., Sillanpää, M.: *Application of zinc-aluminium layered double hydroxides for adsorptive removal of phosphate and sulfate: Equilibrium, kinetic and thermodynamic*, - Chemosphere, Vol 209, 2018, pp. 470–479. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.11>
- [2]. Zubair, M.I., Ihsanullah, H., Abdul Aziz, M. Azmier Ahmad, M.A. Al-Harhi, *Sustainable wastewater treatment by biochar/layered double hydroxide composites: Progress, challenges, and outlook*, Bioresource Technology, Vol 319, 2021, pp. 124128. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124128>
- [3]. Torres, E.: *Biosorption: A Review of the Latest Advances*, - Processes. Vol 8, 2020, pp. 1584. <https://doi.org/10.3390/pr8121584>
- [4]. Othman, M.R., Helwani, Z., Martunus and Fernando, W.J.N.: *Synthetic hydrotalcites from different routes and their application as catalysts and gas adsorbents: a review*, - Applied Organometallic Chemistry, Vol 23, 2009, pp. 335–346. <https://doi.org/10.1002/aoc.1517>
- [5]. Hokkanen, S., Bhatnagar, A., Sillanpää, M.: *A review on modification methods to cellulose-based adsorbents to improve adsorption capacity*, Water Research, Vol 91, 2016, pp. 156–173. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.01.00>

- [6]. Jiang, Z., Luo, P., Xie, C., Zhang, A.: *Facile construction of cellulose/layered double hydroxides nanocomposite membranes with high strength and antibacterial properties*, - Journal of Applied Polymer Science, Vol 138, 2021, pp. 51845. <https://doi.org/10.1002/app.51845>
- [7]. Abbasi, M., M.M. Sabzehmeidani, M.M.. Ghaedi, M., Jannesar R., Shokrollahi, A.: *Synthesis of grass-like structured Mn-Fe layered double hydroxides/PES composite adsorptive membrane for removal of malachite green*, - Applied Clay Science, Vol 203, 2021, pp. 105946. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.10594>
- [8]. Y. Wang, Y. Gao, Z. Zhu, L. Zhang, N. Zhao, Y. Fang, Y. Zhu, G. Liu, *Enhanced Arsenic Removal from Aqueous Solution by Fe/Mn-C Layered Double Hydroxide Composite*, - Adsorption Science & Technology, Vol 2021, 2021, pp. 1–12. DOI: [10.1155/2021/8891643](https://doi.org/10.1155/2021/8891643)
- [9]. Jovanović, A., Stevanović, M., Barudžija, T., Cvijetić, I., Lazarević, S., Tomašević, A., Marinković, A.: *Advanced technology for photocatalytic degradation of thiophanate-methyl: Degradation pathways, DFT calculations and embryotoxic potential*, - Process Safety and Environmental Protection, Vol 178, 2023, pp. 423–443. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.08.054>
- [10]. 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 anthraquinone textile dyes*, - Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol 11, 2023, pp. 109077. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.109077>.

3. Полазне хипотезе

У односу на до сада литературно позната решења, предложена истраживања у оквиру ове докторске дисертације полазе са основног становишта да ће се модификацијом целулозних влака и синтезом мембране, као и био-силицијум диоксида модификованог са ЛДХ добити веома ефикасни адсорпциони материјал за уклањање текстилних боја анјонског типа и оксианјона (As(V), Cr(VI)) и фосфата). За синтезу MnFe-LDH и MgAl-LDH користиће се метод копреципитације. Предност копреципитације у односу на друге методе је добијање једињења високе чистоће и кристаличности подешавањем молских односа ректаната и рН. Такође синтеза не захтева дуг рад, полазне супстанце су јефтине и сам процес је еколошки прихватљив. Извор целулозних влакана који потиче из комуналног отпада (слојеви паковања кутије цигарета) представља лако доступну, јефтину и еколошку сировину. Био-силицијум диоксид ће се добити поступком уклањања целулозног материјала киселом хидролизом љуске пиринча и термичким третманом у циљу добијања задовољавајуће чистоће и нано-димензија производа. Производња адсорбената на бази биообновљивих сировина и њихово коришћење у процесима адсорпције и решавање питања отпадних материјала (искоришћеног адсорбента и отпадних вода након десорпције) су битна питања за које се мора наћи решење у циљу испуњавања захтева одрживог развоја као концепта који постаје нераскидиви део праваца будућег развоја човечанства.

Полазне хипотезе, које су кључне за започињање и успешно извођење експерименталног дела дисертације, пратиће предвиђена истраживања:

- Синтеза MnFe-LDH и MgAl-LDH у базној средини процесом копреципитације даће познате материјале који ће се користити за синтезу сложених адсорбената побољшаних својстава;

- Модификацијом отпадних целулозних влакана (wCell) са силианом (епокси функционализација) даће wCell/Glymo, амино функционализација даће wCell-NH₂ валкна, а уз коришћење модификованог MnFe-LDH са силианом, Mn-Fe_LDH/Glymo, и лизина као умреживача даће мембрану добрих механичких и адсорптивних својстава према анјонским бојама и оксианјонима;
- Добијање био-силицијум оксида из љуске пиринча и модификација са MgAl-LDH поступком контролисаног таложења у циљу добијања MgAl-LDH@SiO₂ адсорбента погодног за уклањање анјонских загађујућих материја из воде;
- Коришћени материјали као и поступак синтезе адсорбената, wCell/Mn-Fe_LDH мембране и MgAl-LDH@SiO₂, пружају могућност развијања технологија за њихову трансформацију у корисне производе након истека времена употребе;
- Адсорпциона и кинетичка испитивања у шаржном систему на различитим температурама омогућиће одређивања активационих и термодинамичких параметара,
- Компетитивна адсорпциона испитивања, као и коришћење модел система природних вода даће могућност одређивања адсорпционих карактеристика датих материјала;
- Студија адсорпције/десорпције мембране у проточном систему даће јаснију слику о могућностима коришћења синтетисаних материјала у реалним условима,
- Развој одговарајућих технологија збрињавања искоришћене мембране (биодеградација), и водених раствора након десорпције (стабилизација As(V), фотодеградације раствора који садржи анјонску боју, нпр AG25 (Acid green 25) уз помоћ TiO₂ катализатора и процесима деколоризације коришћењем имобилисаног ензима на носачу),
- Изоловањем био-силицијум диоксида из истрошеног MgAl-LDH@SiO₂ адсорбента и синтезом незасићене полиестарске смоле (б-НПС) на бази отпадног полиетилентерефталата (ПЕТ) и биосировина отвориће могућност за освајање технологије добијање композитних материјала који имају нову вредност;
- Развој технологија збрињавања адсорбента MgAl-LDH@SiO₂ процесима растварања и селективног таложења хидроксида алуминијума и магнезијума који ће се користити као адитиви за смањење горивости (ватроотпорност) формираних композита на бази б-НПС;
- Развој наведених технологија допринеће имплементацији технологија у оквиру целовитог процеса од производње адсорбената, процеса пречишћавања вода и збрињавања материјала након периода употребе које укључују принципе одрживог развоја.

4. Научне методе истраживања

Карактеризација добијених адсорбената биће извршена применом инструменталних техника:

- одређивање специфичне површине методом адсорпције гаса (енгл. *Brunauer–Emmett–Teller, BET*),
- скенирајућа електронска микроскопија (енгл. *Scanning Electron Microscopy, SEM*),
- рендгенска дифракциона анализа (енгл. *X-Ray Diffraction, XRD*),
- рендгенска фотоелектронска спектроскопија (енгл. *X-ray photoelectron spectroscopy, XPS*),
- инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом (енгл. *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, FTIR*),
- тачка нултог наелектрисања (енгл. *The Point of Zero Charge, pH_{pzc}*),
- капацитет размене катјона (енгл. *cation exchange capacity, CEC*),
- одређивање вредности хемијске потрошње кисеоника (ХПК),
- анализа слике, порозност мембране и величина пора мембране (*Software Image-Pro Plus*)

6.0),

- волуметријске методе за одређивање садржаја амино и карбоксилних група,
- одређивање тежине еквивалента епоксидног броја (енгл. *epoxide equivalent weight*, EEB),
- одређивање бубрења wCell мембране,
- одређивање специфичне густине адсорбента,
- концентрације органских загађивача (боја) у раствору пре и након третмана биће одређене применом ултраљубичасте-видљиве апсорпционе спектроскопије (енгл. *Ultraviolet–Visible Spectroscopy*, UV-Vis) и хроматографије високих перформанси на високом притиску (енгл. *High Performance Liquid Chromatography*, HPLC).

Оптимизације синтеза адсорбената ће се вршити са следећим циљем:

- Повећања удела био-обновљивих сировина и јефтиних реагенса;
- Постизања порозности и структурних карактеристика у циљу смањења дифузионих ограничења а тиме и ефикаснијег уклањања загађујућих материја из воде;
- Постизање максималних адсорпционих перформанси;
- Синтеза адсорбената дефинисаног састава који се након истека периода експлоатације могу пријемљивати у освојеним технологијама трансформације у корисне сировине/производе. У том циљу ће се синтетисати б-НПС која ће се користити као матрица за уградњу материјала, добијених трансформацијама искоришћених адсорбената, у циљу добијања нових материјала побољшаних својстава који имају употребну вредност.

Адсорпциони експерименти биће усмерени ка проучавању ефикасности адсорбената за уклањање загађујућих материја уз оптимизацију параметара који утичу на процес адсорпције: време контакта и однос количине адсорбата и адсорбента, почетна концентрација загађивача, рН вредност раствора, температура. Добиејни адсорпциони резултати ће бити обрађени у циљу разумевања процеса и дефинисања адсорпционих механизма:

- Применом адсорпционих изотерми биће описана интеракција између адсорбата и адсорбента у стању равнотеже. Моделовање адсорпционих резултата ће се реализовати коришћењем следећих модела: Ленгмир (енгл. *Langmuir*), Фројндлих (енгл. *Freundlich*), Дубинин-Радускевич (енгл. *Dubinin–Radushkevich*), Темкин (енгл. *Temkin*) у циљу одређивања адсорпционих равнотежних параметара;
- Израчунавањем квалитета регресије експерименталних података и параметара различитих модела, за добијене материјале, биће оцењен на основу вредности функција: R^2 и χ^2 . На основу вредности математичких функција грешака биће одабрани најприкладнији модели за описивање адсорпционих изотерми и модели који покажу најбоље слагање са експерименталним подацима биће представљени у раду. У обзир ће бити узет број параметара који фигуришу у једначини адсорпционе изотерме и разлика између линеарног и нелинеарног извођења регресионе анализе;
- Израчунавање термодинамичких параметара, на основу резултата адсорпционих експеримената добијених на 25, 35 и 45 °C, Гибсове слободне енергије ($\Delta G^\ominus$), енталпије ($\Delta H^\ominus$) и ентропије ($\Delta S^\ominus$) ће се вршити на основу Вант-Хофових (енгл. *Van 't Hoff*) једначина;
- Моделовање кинетичких података ће бити вршено применом различитих кинетичких једначина: модел псеудо-првог реда (енгл. *Lagergreen*), псеудо-другог реда (енгл. *Ho-McKay*) применом линеарне и нелинеарне методе. Моделовање дифузионих процеса ће бити урађено коришћењем Вебер–Морисовог (енгл. *Weber-Morris*) дифузионог модела, Дунвалд-Вагнеровог (енгл. *Dunwald-Wagner*) модела и модела хомогене дифузије (енгл. *HSDM*);
- Вршиће се испитивање процеса адсорпције у конкуритивним условима,

- Студије десорпције ће се спроводити са циљем испитивања ефикасности регенерације адсорбента и одређивања броја циклуса регенерације;

Након дефинисања адсорпционо-десорпционог потенцијала адсорбената, разматраће се поступци трансформације истрошених адсорбената и стабилизација анјона/деградација боја насталих у процесима десорпције. Из тог разлога, примениће се следеће методе:

- Фотодеградације у присуству фотокатализатора раствора боја након десорпције у циљу постизања минерализације и квалитета воде која задовољава законску регулативу;

- Технологија искоришћавања засићеног адсорбента wCell/Mn-Fe_LDH фосфатима као ђубрива кроз процес биодеградације мембране;

- Технологије производње био-силицијум оксида и хидроксид алуминијума и магнезијума на бази истрошеног MgAl-LDH@SiO₂ који ће се користити додаци композитима на бази б-НПС за побољшање механичких својстава и негоривности;

- Методе преципитације/стабилизације оксианјона у виду нерастворних соли;

НПС узорци ће бити тестирани стандардним методама истезања и методом испитивања запаљивости пластичних материјала (UL-94). Карактеризација б-НПС ће се вршити применом ATR-FTIR и нуклеарне магнетне резонанантне спектроскопије (енгл. *Nuclear magnetic resonance spectroscopy, NMR*).

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће резултати истраживања у оквиру ове докторске дисертације дати вишеструки научни допринос који се огледа у следећем:

- Функционализацији отадних целулозних влакана у циљу добијања епокси и аминокиселинских влакана, wCell/Glymo и wCell-NH₂, који са Mn-Fe_LDH/Glymo и лизином ће дати wCell/Mn-Fe_LDH мембрану погодну за уклањање анјонских боја и оксианјона;
- Функционализацији био-силицијум оксида са MgAl-LDH у циљу добијања MgAl-LDH@SiO₂ адсорбента са побољшаним адсорпционим својствима за ефикасно уклањање анјонских загађујућих материја из воде;
- Карактеризацији немодификованих и модификованих материјала пре и после процеса адсорпције применом различитих инструменталних техника у циљу дефинисања адсорпционог механизма;
- Испитивању процеса адсорпције у шаржном и проточном систему,
- Тумачењу и дефинисању адсорпционих резултата применом одговарајућих адсорпционих модела и израчунавању термодинамичких и кинетичких параметара,
- Испитивању могућности регенерације адсорбената и стабилизације адсорбата као еколошки прихватљивог метода одлагања отпада;
- Потврди еколошке прихватљивости примењеног процеса третмана са становишта биодеградације искоришћених мембрана;
- Одређивању ефикасности фотодеградације водених раствора након десорпције применом поступка фотокаталитичке деградације;
- Синтези незасићене полиестарске смоле (НПС) и формирању композита са пунилима као што су био-силицијум оксид и Mg(OH)₂ и Al(OH)₃, добијених из истрошеног MgAl-LDH@SiO₂ адсорбента, са циљем добијања композитних материјала побољшаних механичких и ватроотпорних својстава;

Поред тога очекује се да ново добијени сорбенти допринесу бољем и ефикаснијем решавању проблематике уклањања анјонских загађујућих материја из воде. Развојем одрживих технологија ће се значајно смањити негативан ефекат на животну средину.

6. План истраживања и структура рада

Предмет рада ове докторске дисертације се односи на освајање процеса хемијске модификације целулозних материјала у циљу производње мембране модификоване са MnFe-LDH и производње био-силицијум диоксида модификованог са MgAl-LDH, карактеризацијом добијених материјала, њиховом применом као адсорбената за уклањање анјонских загађујућих материја из водених раствора. Развијање технологије трансформације истрошених адсорбената и отпадних вода насталих након процес десорпције ће се заокружити циклус трансформације у нове производе без генерисања отпадних материјала штетних по животну средину.

Предвиђа се да ће у докторској дисертацији бити приказана следећа поглавља: *Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак, Литература.*

У поглављу *Увод* биће речи о проблематици везаној за загађење вода, порекло загађења, значају добијања модификованих целулозних материјала и LDH, њиховим својствима, циљу рада и потенцијалној примени добијених адсорбената, као и регенерисаних полутаната. Осим тога дискутоваће се значај и примена одрживог развоја у примењеним процесима.

Теоријски део дисертације обухватиће преглед, литературно приказаних релевантних података и садржаће следеће:

- Опис проблематике везане за присуство анјонских загађујућих материја у води и последице по људско здравље и актуелне законске регулативе,
- Приказ постојећих метода које се користе у уклањању анјонских загађујућих материја из воде,
- Приказ природних материјала који су се користили као адсорбенти за уклањање анјонских загађујућих материја из воде;
- Преглед литературних података који се односе на поступке модификације целулозних материјала, њихове примене у заштити животне средине,
- Преглед литературних података који се односе на поступке добијања и модификације LDH, и њихове примене,
- Преглед литературних података који се односе на збрињавање десорбованих полутаната и њихова поновна еколошки прихватљива употреба.

У *Експерименталном делу* дисертације биће наведени материјали и хемикалије коришћени током синтеза и производње адсорбената, приказани поступци модификације, као и поступци производње адсорбената у облику мембране.

Експериментални део ће обухватити:

- Условe и поступак добијања модификованих целулозних материјала и поступак добијања мембране модификоване са MnFe-LDH,
- Условe и поступак добијања био-силицијум оксида и поступак таложења MgAl-LDH,
- Условe адсорпционих експеримената за уклањања анјонских загађујућих материја у шаржном и проточном систему;
- Одређивање концентрације јона метала *AAS* методом, и органских полутанта *UV-Vis* и *HPLC* метода;

- Математичке моделе адсорпционих изотерми, кинетичких и термодинамичких параметара, као и методе за одређивање механизма адсорпције;
- Методологију коришћену за статистичку обраду експерименталних података,
- Технологије збрињавања истрошених адсорбената поступцима биодеградације и/или превођењем у корисне производе водених раствора насталих регенерацијом адсорбената,
- Синтезу НПС и производњу композита,
- Методе које ће се користити за карактеризацију адсорбената и других материјала који настају као резултат имплементације одрживих технологија.

У поглављу *Резултати и дискусија* биће приказани и дискутовани експериментални резултати. Ово поглавље ће садржати:

- Приказ и дискусију резултата оптимизације поступака модификације целулозних материјала која ће се пратити применом ATR-FTIR, и морфолошке и површине анализе на основу резултата скенирајуће електронске микроскопије (SEM);
- Испитивање адсорпционих резултата добијених материјала у шаржном и проточном систему;
- Одређивање капацитета адсорпције применом адсорпционих модела и термодинамичких величина;
- Одређивање кинетичких параметара процеса у једнокомпонентним или у мултикомпонентним системима како би се дефинисала селективност коришћеног адсорбента;
- Одређивање кинетичких параметара на различитим температурама ће послужити за рачунање активационих параметара;
- Дискутоваће се ефикасност уклањања оксианјона и анјонских боја и описаће се механизми адсорпције;
- Резултате статистичке анализе успешности обраде експерименталних резултата.
- Приказаће се технологије и резултати који ће се односити на процесе решавања отпадних воде које ће настати у процесима десорпције било поступцима фотокаталитичке деградације или ензиматске деколоризације растовра боја;
- Приказаће се технологије и резултати који ће се односити на процесе третмана истрошених адсорбената који ће се дефинисаним технологијама преводити у корисне материјале за производњу композитних материјала на бази б-НПС. Приказаће се резултати механичких испитивања, као и резултата процене горивости композита.

У *Закључку* ће бити сумирани добијени резултати, уз осврт на најважније резултате добијених у истраживањима.

Литература ће садржати наводе цитиране у дисертацији, као и радове проистекле истраживањем у оквиру ове докторске дисертације.

7. Закључак и предлог

Комисија сматра да је тема докторске дисертације „Адсорбенти на бази целулозне мембране и био-силицијум оксида модификовани са слојевитим двоструким хидроксидима за уклањање анјонских загађујућих материја из воде” (“Adsorbents based on cellulose membrane and biosilica modified with layered double hydroxide for anionic pollutants removal from water”). коју је предложила Муна Абдуархман (Muna Abdualatif Abduarahman) научно заснована, 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 Технолошко-металуршког факултет, Универзитет у Београду и др Адела Егеља, научни сарадник, Института за нуклеарне науке "Винча" – Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду.

У Београду, 02.08.2024. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Александар Маринковић, редовни професор Универзитета
у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
др Адела Егеља, научни сарадник Универзитета у Београду,
Институт за нуклеарне науке "Винча", Институт од
националног значаја за Републику Србију

.....
др Антоније Оџија, редовни професор Универзитета у
Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
др Марија Вуксановић, виши научни сарадник Универзитета у
Београду, Институт за нуклеарне науке "Винча", Институт од
националног значаја за Републику Србију

.....
др Маја Ђолић, доцент Универзитета у Београду,
Технолошко-металуршки факултет