Образац 3.

Факултет Рударско-геолошки **УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

(Датум)

З А Х Т Е В

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:

„ Мултифункционална примена отпадних муљева из постројења за пречишћавање отпадних вода хемијске индустрије“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Рударско инжењерство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:
   Неда (Драгиша) Нишић, маст. инж. рударства
2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм): Рударско инжењерство
   Универзитет у Београду– Рударско-геолошки факултет
3. Година завршетка претходног нивоа студија: 2019.
4. Година уписа на докторске студије: 2020/21.
5. Назив студијског програма докторских студија: Рударско инжењерство

На основу члана 40. Закона о високом образовању, члана 114. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и члана 34. Правилника о докторским студијама на Рударско-геолошком факултету, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 29.06.2023. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације **Неде Нишић, маст. инж. рударства**.
2. Одобрава се именованој израда докторске дисертације под насловом *„Мултифункционална примена отпадних муљева из постројења за пречишћавање отпадних вода хемијске индустрије*".
3. Тема докторске дисертација је оригинална идеја, од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.
4. За ментора се именује др Ивица Ристовић, ред. проф. и др Марија Стојменовић, виши научни сарадник Института за нуклеарне науке „Винча".
5. Сагласност на предлог теме докторске дисертације из ове одлуке даје Веће научних области техничких наука.

Д Е К А Н

др Биљана Аболмасов, ред. проф.

Достављено:
- Већу научних области техничких наука
- Ментору
- Именованој
- Одељењу за студентска питања

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Ивица Ристовић
Звање: Редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Šajn, R., **Ristović, I.,** Čeplak, B.: Mining and Metallurgical Waste as Potential Secondary Sources of Metals—A Case Study for the West Balkan Region. Minerals, 2022, 12(5), 547. **IF 2,818 (2021)**
2. **Ristović, I.,** Štyriaková, D., Štyriaková, I., Šuba, J., Širadović, E.: Bioleaching Process for Copper Extraction from Waste in Alkaline and Acid Medium. Minerals, 2022, 12(1), 100. **IF 2,818 (2021)**
3. Anna Pytlak, Anna Szafranek-Nakonieczna, Weronika Goraj, Izabela Śnieżyńska, Aleksandra Krążała, Artur Banach, **Ivica Ristović,** Mirosław Słowakiewicz, Zofia Stępniewska: A survey of greenhouse gases production in central European lignites. Science of the Total Environment, 2021, 800, 149551. **IF 10.237.**
4. Kragović, M., Ristić, N., Gulicovski, J., **Ristović, I.**, Stojmenović, M.: Application of lignite combustion waste slag generated in heating plants as a partial replacement for cement. Part II: Physical–mechanical and physical–chemical characterization of mortar and concrete. Minerals, 2021, 11(9), 925. **IF 2,818 (2021)**
5. Milentijević, G., Nedeljković, B., Lekić, M., Nikić, Z., **Ristović, I.**, Đokić, J., Application of a Method for Intelligent Multi-Critereia Analysis of the Environmental Impact of Tailing Ponds in Northern Kosovo and Metohija (2016), Energies, 9 (11), art. no. 935., DOI: 10.3390/en9110935. **IF 2,707**

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета
(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној _____ размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

_____

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

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

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Марија Стојменовић
Звање: Виши научни сарадник

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Kandic Irina, Kragovic Milan, Petrovic Jelena, Janackovic Pedja, Gavrilovic Milan, Momcilovic Milos, **Stojmenović, M.**: Heavy Metals Content in Selected Medicinal Plants Produced and Consumed in Serbia and Their Daily Intake in Herbal Infusions. Toxics, 2023, 11(2), 198. **IF 4,472 (2021)**
2. Kragovic Milan, **Stojmenovic Marija,** Ristic Nenad, Milicevic Sonja, Zivkovic Sanja, Liu Shanke, Gulicovski Jelena: Application of the Hazardous Waste Vitreous Enamel Generated in the Production Process of Heating Devices as a Partial Replacement for Cement. BUILDINGS, (2022), vol. 12 br. 8. **IF 3,324 (2021)**
3. Pagnacco Maja, Maksimovic Jelena, Nikolic Nenad, Bajuk-Bogdanovic Danica, Kragovic Milan, **Stojmenovic Marija,** Blagojevic Stevan, Sencanski Jelena: Indigo Carmine in a Food Dye: Spectroscopic Characterization and Determining Its Micro-Concentration through the Clock Reaction. MOLECULES, (2022), vol. 27 br. 15. **IF 4,927 (2021)**
4. Kandic Irina, Kragovic Milan, Krstic Jugoslav, Gulicovski Jelena, Popovic Jasmina, Rosic Milena, Karadzic Vesna, **Stojmenovic Marija**: Natural Cyanobacteria Removers Obtained from Bio-Waste Date-Palm Leaf Stalks and Black Alder Cone-Like Flowers. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH, (2022), vol. 19 br. 11. **IF 2,948 (2018)**
5. Kragović, M., Ristić, N., Gulicovski, J., **Ristović, I.**, Stojmenović, M.: Application of lignite combustion waste slag generated in heating plants as a partial replacement for cement. Part II: Physical–mechanical and physical–chemical characterization of mortar and concrete. Minerals, 2021, 11(9), 925. **IF 2,989 (2021)**

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета
(назив надлежног тела факултета)
на седници одржаној _____ размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

_____

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

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

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
РУДАРСКО – ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ
НАСТАВНО НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Научна заснованост теме докторске дисертације кандидата Неде Нишић, мастер инжењера рударства.

Научно наставно веће Рударско - геолошког факултета Универзитета у Београду на својој седници одржаној 15.05.2023. године, донело је Одлуку бр. 1/142 од 15.05.2023. године којом су именовани чланови Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Неде Нишић, мастер инжењера рударства, под насловом **"Мултифункционална примена отпадних муљева из постројења за пречишћавање отпадних вода хемијске индустрије".**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1.1. Биографски подаци

Неда Нишић, мастер инжењер рударства, рођена је 22.08.1996. године у Београду, Република Србија. Основну школу „Павле Савић" завршила је 2011. године у Београду, а Четрнаесту београдску гимназију завршила је 2015. године.

Основне академске студије завршила је 2019. године са просечном оценом 10,00 (десет) на Рударско - геолошком факултету, Универзитета у Београду, студијски програм Рударско инжењерство, модул Припрема минералних сировина, одбранивши дипломски рад под називом „Плива-тоне анализа угља лежишта Распоточје".

Мастер академске студије је уписала 2019. године и завршила 2020. године, такође на Рударско-геолошком факултету, Универзитета у Београду, са просечном оценом 10,00 (десет) одбранивши мастер рад под називом „Третман муља из процеса чишћења угља рудника Зеница" и тако стекла звање мастер инжењер рударства.

Била је учесник две интернационалне летње школе: International Summer Program CirCOOL- *The Value Life Cycle of Materials in the Circular Economy* у Леобену, Аустрији, која је организована од стране Монтан Универзитета у Леобену и RawD Trip Summer School by EIT Raw Materials Academy у Кракову, Пољској, која је организована од стране АГХ Универзитета Науке и Технологије. Похађала је две стручне праксе, и то у Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина у периоду новембар-децембар 2020. године и у Истиутуту за нуклеарне науке Винча у периоду мај-јун 2021. године. Обе праксе су спроведене у оквиру програма: *RC Adria Internship Programme*- RawMaterials Hub Regional Center Adria и Универзитет у Загребу.

Осим тога, примила је награду за најбољег студента своје генерације на Рударско-геолошком факултету и била носилац Доситејеве стипендије две године узастопно- како на основним, тако и на мастер академским студијама.

Докторске студије уписала је школске 2020/2021. године, на студијском програму Рударско инжењерство. Закључно са школском 2022/2023. године положила је испите предвиђене студијским планом и програмом са просечном оценом 10,00 (десет) и постинутим укупним бројем ЕСПБ бодова 150.

1.2. Стечено научно - истраживачко искуство

На докторским академским студијама положила је следеће испите:

Ознака	Назив	Оцена	ЕСПБ
20-ЗВКОР	Вишекритеријумско одлучивање у рударском инжењерству	10	10
20-ЗИДД1	Израда докторске дисертације 1	10	10
20-ЗЕСМЕ	Енергетски системи и моделирање у енергетици	10	10
20-ЗПММР	Примена метода меког рачунарства у рударском инжењерству	10	10
20-ЗИДД2	Израда докторске дисертације 2	10	10
20-ЗПРВ2	Прерада вода 2	10	10
20-ЗИДД3	Израда докторске дисертације 3	10	10
20-ЗУПОТ	Управљање отпадом	10	10
20-ЗСЗРС	Сигурност и заштита у рударским технолошким системима	10	10
20-ЗИДД4	Израда докторске дисертације 4	10	10
20-ЗТПФК	Теоријски принципи флотацијске концентрације	10	10
20-ЗАНЖЦ	Анализа животног циклуса	10	10
20-ЗИДД5	Израда докторске дисертације 5	10	25
20-ЗНИР1	Научно- истраживачки рад 1	10	5

Од априла 2021. године запослена је у Лабораторији за материјале (170) Института за нуклеарне науке „Винча“ Института од националног значаја за Републику Србију Универзитета у Београду, са звањем истраживача приправника. Приликом истраживачког рада у Лабораторији за материјале Института за нуклеарне науке "Винча" ангажована је на истраживањима која обухватају синтезу и карактеризацију иновативних, еколошки прихватљивих и економичних материјала, који у свом саставу имају извесни удео отпадних сировина као и проналажење употребне вредности и примене оваквих материјала у различитим индустријским гранама, као нпр. у грађевини и енергетици. Осим тога, бавила се испитивањем потенцијала и могућности коришћења овако синтетисаних материјала у различите сврхе: за израду ватросталних керамичких индустријских лепкова отпорних на изузетно високе температуре за производњу конструкција различитих грејних тела, за производњу различитих грађевинских материјала одличних физичко-механичких особина, који су еколошки безбедни, као и за израду високотемпературних заптивача, као једној од кључних компонената SOFC горивних ћелија која омогућава структурни интегритет самог уређаја.

Такође, ангажована је и на испитивањима која су се односила на развој и примену електролита за SOFC горивне ћелије са посебним освртом на SOFC технологију средњетемпературног опсега.

Током досадашњег рада у организационој јединици 170 - Лабораторији за материјале, овладала је бројним неопходним експерименталним и различитим инструменталним техникама које се примењују у циљу карактеризације материјала. Оспособљена је за самостално руковање на уређају за утврђивање структуре материјала-Рендгенском (XRD) дифрактометру, модел Ригаку и у софтверском програму PDXL2 за анализу добијених резултата, као и за руковање са разним високотемпературним пећима, сушницама и цилидричним пресама. Такође је добро упозната и са бројним другим научним методама, као што су скенирајућа електронска микроскопија (SEM) инфрацрвена спектроскопија (FTIR), UV/VIS спектрофотометрија, оптичка емисиона спектроскопија (ICP-OES) као и са радом на уређајима који се у наведеним истраживањима примењују. Учествовала је у извођењу лабораторијских тестова и проба функционалности одређених материјала у конкретним условима примене, као што је тестирање лабораторијске IT-SOFC горивне ћелије у отвореном колу.

Током докторских студија, Неда Нишић учествовала је у реализацији истраживачких пројеката у оквиру Института „Винча“, бр. 1702103: „Примена керамичких, угљеничних и чврстих композитних материјала у области енергетике и електронике“ (1.4.2021-31.12.2022, 9 истраживачких месеци), затим 1702203: „Примена керамичких, угљеничних и чврстих композитних материјала у области енергетике и електронике“ (2022-2023, 6 истраживачких месеци) и 1702205: „Нови материјали на бази алуминосиликата, отпадне биомасе и угљеничних материјала у функцији заштите животне средине“ (2022-2023, 6 истраживачких месеци) које финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја. Тренутно је учесник у реализацији истраживачких пројеката у оквиру Института „Винча“, бр. 1702303: „Примена керамичких, угљеничних и чврстих композитних материјала у области енергетике и електронике“ (2023-2024, 6 истраживачких месеци) и 1702305: „Нови материјали на бази алуминосиликата, отпадне биомасе и угљеничних материјала у функцији заштите животне средине“ (2023-2024, 6 истраживачких месеци) који се финансирају од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација.

Од почетка рада у Лабораторији за материјале, Неда Ништић је ко-аутор укупно дванаест радова из категорије М23, М51, М33 и учесник је три међународне стручне конференције.

1.3. Списак објављених научних и стручних радова и теме радова

- **Међународни конференција:**

Неда Ништић била је један од чланова Организационог одбора Девете међународне конференције Рударство и заштита животне средине - MEP 23 који је одржан од 24. до 27. маја 2023. године у Сокобањи, Србији- 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MINING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION (MEP23)

1. **Рад у међународном часопису (М23):**

- Stojmenović, M., **Nišić, N**, Žunić, M., Basoli, F., Gulicovski, J., Ristović, I., Kragović, M. Development of a new system of solid ionic conductors based on multi doped ceria for application in IT-SOFCs. PROCESSING AND APPLICATION OF CERAMICS, (2022), vol. 16 br. 4, str. 391-401. **IF - 1,815 (2021)**
- Nišić, D., Knežević, D., Cvjetić, A., **Nišić, N**., Jovanović, V. Consideration on the Applicability of the Risk Ranking Methodology Designed for Water Reservoirs to Tailings Storage Facilities, Journal of the Sauthern African Institute of Mining and Metallurgy, 2022. **IF - 0.928 (2021)**

2. **Рад у истакнутом националном часопису (М51):**

- Nišić, D., Pantelić, U., Aleksić, N., and **Nišić, N**. Klasifikacija deponija rudarskog otpada prema zakonskoj regulativi u Srbiji., Tehnika-Rudarstvo, Geologija i Metalurgija,72(5), p.575, 2021.

3. **Саопштење са међународног скупа штампано у целини (М33):**

- **Nišić, N**., Kragović, M., Gulicovski, J., Nikolić, K., Vasić, A., Žunić, M., Stijmenović, M. Characterization of innovative high-temperature resistant adhesives with addition of aluminosilicate waste, 9th International Conference - Muning and Environmental Protection, May 24-27, 2023, Sokobanja, Serbia, p. 312.
- **Nišić, N.,** Kragović, M., Žunić, M., Gulicovski, J., Vasić, A., Kandić, I., Stojmenović, M. Application of a new system of solid ionic conductors based on multidoped ceria as electrolytes for IT-SOFC technology - test in a single cell, 9th International Conference-Muning and Environmental Protection, May 24-27, 2023, Sokobanja, Serbia, p. 316.
- Nišić, D., **Nišić, N**. Variability of Accident Risk Level at Industrial Waste Landfills as a Result of Different Factors, 8th International Conference- Muning and Environmental Protection , September 22-25, 2021, Sokobanja, Serbia.
- Vasić, A., Stojmenović, M., Nikolić, K., **Nišić, N.,** Gulicovski, J., Lišanin, R., Kragović, M. Xanthate removal as a function of pH and the point of zero charge, 9th International Conference- Muning and Environmental Protection, May 24-27, 2023, Sokobanja, Serbia, p. 325.
- Nikolić, K., Kragović, M., Stojmenović, M., Vasić, A., Kandić, I., **Nišić, N**., Gulicovski, J. Activated carbon from fruit pits as low-cost material for electrochemical application, 9th International Conference- Muning and Environmental Protection, Sokobanja, 2023.
- Kandić, I., Kragović, M., Gulicovski, J., Nikolić, K., **Nišić, N.,** Karadžić, V., Stojmenović, M., Removal of potentially toxic cyanobacteria by using activated carbons obtained from biowaste, 9th International Conference- Muning and Environmental Protection, May 24-27, 2023, Sokobanja, Serbia, p. 308.
- Nedeljković, A., **Nišić, N**., Stojmenović, M., Gulicovski, J., Ristović, I., Jović, A., Kragović, M. Influence of the modification on the point of zero charge of the waste slag generated by lignite combustion in heating plants and its properties for xanthates removal from aqueous solutions, 8th International Conference- Muning and Environmental Protection , September 22-25, 2021, Sokobanja, Serbia.
- Nedeljković, A., **Nišić, N.**, Kandić, I., Ristić, N., Stojmenović, M., Gulicovski, J., Kragović, M. Potential use of slag generated from lignite combustion in heating plants,

15th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, 20-24 Septembar, 2021, Belgrade, Serbia.

- Vasić, A., **Nišić, N.**, Nikolić, K., Kandić, I., Stojimenović, M., Gulicovski, J., Kragović, M. Influence of pH of aqueous solutions on xanthates removal by using waste slag, 16th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, 26-30 September, 2022, Belgrade, Serbia.

4. **Саопштење са међународног скупа штампано у изводу- постерске презентације (М34):**

- **Nišić, N**., Kragović, M., Nedeljković, A., Kandic, I., Nikolić, K., Gulicovski, J., Stojmenović, M. Characterization of high temperature ceramic composite sealants (CCS) with addition of alumosilicate based waste material for the potential use in IT–SOFC, In Programme and the Book of Abstracts/6th Conference of The Serbian Society for Ceramic Materials- 6CSCS-2022, June 28-29, 2022, Belgrade, Serbia, Book of abstracts, p.48.
- **Nišić, N**., Gulicovski, J., Kragović, M, Nedeljković, A., Žunić, I., Rosić, M., Stojmenović, M. Novel glass-ceramic sealant with addition of aluminosilicate-based waste material for application in IT-SOFC, 8th International Conference- Muning and Environmental Protection , Sokobanja , 2021.
- Nedeljković, A., **Nišić, N.**, Nikolić, K., Kandić, I., Stojimenović, M., Gulicovski, J., Kragović, M. Xanthate absorpcion kinetics ac a function of the starting concentration with the use of the waste slag as adsorbent, In Programme and the Book of Abstracts/6th Conference of The Serbian Society for Ceramic Materials- 6CSCS-2022, June 28-29, 2022, Belgrade, Serbia, Book of abstracts, p.52.
- Kandić, I., Kragović, M., Vasić, A., **Nišić, N.**, Nikolić, K., Gulicovski, J., Stojmenović, M.,Characterization of active carbon materials obtained from biowaste for potential use in water purification, In Programme and the Book of Abstracts/6th Conference of The Serbian Society for Ceramic Materials- 6CSCS-2022, June 28-29, 2022, Belgrade, Serbia, Book of abstracts, p.38.
- Vasić, A., **Nišić, N**., Nikolić, K., Kandić I., Stojimenović, M., Gulicovski, J., Kragović, M. Influence of pH of aqueous solutions on xanthates removal by using waste slag, 16th

International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, September 26-30, 2022.

1.4. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Неда Ништић, мастер инжењер рударства, положила је све испите предвиђене акредитованим докторским академским студијама на студијском програму Рударско инжењерство закључно са школском 2021/22 годином са просечном оценом 10.00 (десет).

У Институту „Винча“ у коме ради већ преко две године укључена је на различитим пословима из области синтезе, карактеризације и практичне примене иновативних, еколошких и економичних материјала са извесним садржајем инкорпорираних отпадних сировина у различите индустријске сврхе (за производњу индустријских ватросталних лепкова у конструкцијама разних грејних тела, заптивних маса које повезују компоненте у структури SOFC уређаја, као и у производњи различитих грађевинских материјала задовољавајућих својстава). Нарочито темељно је упозната са развојем, унапређењем и изучавањем иновативних материјала који се примењују у енергетским системима који примењују технологију горивних ћелија (SOFC).

Током докторских студија и рада у Институту у оквиру којег је успешно спроводила сва планирана истраживања предвиђена пројектима, Неда Ништић се показала као посвећен, темељан и свестран истраживач са великом амбицијом ка напредовању и усавршавању. Током свог рада показала је велико интересовање и залагање за стицање нових вештина и знања и тиме знатно надоградила и проширила своје факултетско образовање и на друге научне области, сходно мултидисциплинарној природи истраживања у којима је била укључена, тиме унапредивши свој научно-истраживачки потенцијал. Осим тога, показала је ажурност у извршавању радних обавеза и дисциплину и стручност при раду. Треба поменути и да је током рада у Институту имала прилику да оствари сарадњу и са бројним стручњацима из области иновативних, напредних материјала и високих технологија из других националних Института као и са Факултета у оквиру Београдског Универзитета и самим тим размени и стекне мноштво знања и искуства од еминентних научника и професора из разних области. На тај начин,

представила се као одговоран сарадник, спреман на остварење заједничких научних циљева уз предан рад.

На основу приложених биографских података кандидата, опсежног стручног и научног ангажовања, као и извесног броја објављених научних радова, Комисија процењује да кандидат Неда Ништић, мастер инжењер рударства, испуњава услове за даљи рад на досадашњем истраживању у оквиру докторских студија чиме се потврђује његова подобност као носиоца предложене теме докторске дисертације.

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

2.1. Предмет истраживања

Ниво индустријализације сматра се важним одразом растуће економске моћи једне нације. Међутим, иако се сматра виталним показатељем технолошког развоја, брза индустријска револуција има веома штетан утицај на животну средину због огромних количина потенцијално опасних и токсичних отпадних материја које се генеришу у бројним значајним индустријским процесима. Сваке године се на светском нивоу произведу милиони тона чврстог отпада. Осим тога, количине отпада су из године у годину у сталном порасту с обзиром на готово експоненцијални раст становништва, наглу урбанизацију и напредак технологије који нужно условљавају проширење капацитета индустријске производње. Одлагање таквог отпадног материјала данас суштински представља један од највећих глобалних проблема и покретач је веома изазовних еколошких и економских питања.

Узимајући у обзир поменуте актуелности, владе многих земаља су недавно постале принуђене да се суочавају са прилично строгим протоколима у служби заштите животне средине и ригорозним законским нормама које се односе на управљање отпадом, као и на смањење емисија и укупног загађења ваздуха, воде и земљишта које може настати као последица излагања отпада животној околини. Суштина поменутих, све строжијих регулаторних захтева лежи у тежњи савременог друштва и научних кругова да доприносу

транзицији ка кружној економији и успостављању концепта одрживог развоја применом тзв. *zero waste* стратегија.

Још од седамдесетих година прошлог века, концепт циркуларне економије (ЦЕ) привлачи велику пажњу од стране академских заједница. Појавио се као економски модел супротан традиционалној линеарној економији који фаворизује формирање одрживих производних система заснованих на затварању материјалних и енергетских циклуса. Овај помак је постигнут смањењем употребе примарних ресурса тј. елиминисањем тзв. *end-of-life* концепата и формирање одрживих стратегија које ће укључивати рециклажу, поновну употребу и валоризацију отпадних материјала. У том контексту, основни циљ овакле идеологије своди се на трансформацију рециклабилног отпада у вредне сировине који се успешно могу применити у различитим индустријским областима.

Увођењем ових алтернативних начина за искоришћење отпадних материјала, може се обезбедити не само ублажавање проблема везаних за смањење капацитета одговарајућих депонија током времена акумулације, већ и одређене економске и еколошке користи, као и значајно смањење потрошње енергије. Главне предности претварања отпада у вредан полазни ресурс, као једног од главних стубова ЦЕ концептуалног модела, састоје се у значајном смањењу трошкова везаних за управљање и одлагање отпада, као и трошкова који произилазе из еколошких прописа и пореза за обезбеђивање позитивних еколошких исхода у циљу ублажавања загађења. Осим тога, замена скупљих примарних сировина са далеко приступачнијим, широко распрострањеним отпадним продуктима могла би да доведе до смањења цене финалних производа и постизање очувања природних ресурса. Све наведено даје објашњење зашто у последње време значајно расте мотивисаност за истраживање у овој научној области, као и интересовање модерног света и научне заједнице за минимизирањем количине отпада који се мора одлагати на депоније и за развојем нових алтернативних пракси за управљање и ревалоризацију отпада тј. враћање отпада у производни ланац.

Говорећи о свему овоме, треба истаћи да је потрошња воде, као суштински основног ресурса за одрживи развој на Земљи и неизбежног аспекта сваког сегмента индустрије, директно повезана са количином произведене отпадне воде која се мора пречистити и деконтаминирати. Због тога се постројења за пречишћавање индустријских отпадних вода сматрају значајним произвођачима велике количине чврстог отпада.

Отпадни муљ представља један од еколошки непожељних нус-производа који се сматра готово највећим током чврстог отпада који потиче од технолошких операција везаних за третман отпадних вода. Индустријски отпадни муљ представља хетерогену материју богатом органским састојцима која се састоји од различитих алумосиликатних минерала и високо вредних биополимера заједно са разним загађивачима укључујући и тешке метале који су врло токсични по живи свет. Због прилично проблематичног хемијског састава, индустријски муљ се већ дуго сматра небезбедним за животну средину. Стога су се успоставили веома строги еколошки прописи и захтевна регулаторна пракса везана за правилно управљање овако широко заступљеног отпадног производа у циљу избегавања угрожавања животне средине. Сходно томе, ЦЕ пословни модел постао је посебно популаран када је у питању рад у сектору отпадних вода. Штавише, постало је готово неопходно и да велика водоводна предузећа у потпуности усвоје овај концепт у сврху адекватног управљања својим ресурсима и развијања одрживих стратегија у будућности.

Водећи се свиме претходно наведеним, добијена је и мотивација да се у фокусу предложене докторске дисертације као главни предмет истраживања нађе развој унапређених, еколошки прихватљивих и јефтиних материјала, високе ефикасности и квалитета за примену у различите индустријске сврхе, који ће у свом саставу имати имплементиран одређен удео отпадног муља алумосиликатног састава насталог у процесима пречишћавања отпадних вода хемијских процеса. Конкретно, научни рад у оквиру тезе биће базиран на утврђивању могућности и услова примене оваквог отпадног производа у производњи три врсте нових материјала различите намене и то:

- различитих грађевинских материјала попут малтера и бетона,
- керамичких индустријских ватроотпорних лепкова за спајање делова грејних уређаја и
- SOFC заптивача за горивне ћелије средњетемпературног опсега.

Иновативни еколошки правци за производњу ефикасних и одрживих грађевинских материјала у данашње време привлаче значајну пажњу индустријски развијених земаља која је посебно интензивирана с обзиром да је грађевински сектор један од највећих и најбрже развијајућих у светској економији. Стога се грађевинска индустрија наметнула

као једна од најпогоднијих дестинација за инкорпорацију отпадних производа као што су, између осталог и различите врсте отпадних муљева из постројења за пречишћавање вода. Штавише, уграђивање оваквог муља индустријског порекла у производњу неких грађевинских материјала, као што је бетон, може омогућити сигурно уграђивање и дисперзију малих, али не и занемарљивих количина присутних тешких метала у цементну матрицу. То би довело до превенције испољавања могућих штетних ефеката њихове токсичности на животну средину Зарад добијања иновативних, исплативих и еколошки безбедних грађевинских материјала што бољих карактеристика и перформанси биће спроведена детаљна карактеризација различитим хемијским и физичко-хемијским методама и инструменталним техникама (SEM, XRD, ICP-OES, FTIR, BET) које су детаљније објашњене у поглављу 4 овог извештаја.

Са друге стране, потражња за економичнијим материјалима који се успешно могу применити за лепљење или заптивање делова уређаја, а могу да остваре високу ефикасност и стабилност при повишеним температурама тј да обезбеде добре термоотпорне везе између компоненти, драматично се повећала сходно недавним значајним достигнућима на пољу енергетике.

Наиме, производња неконвенционалних керамичких лепкова за потребе спајања конструкција грејних уређаја (првенствено пећи) може се с правом означити као значајно крајње одредиште за примену муља индустријских отпадних вода, нудећи ефикасна решења са изузетно ниским трошковима производње и значајне користи за животну средину. Осим тога, употреба лепкова отпорних на високе температуре данас је постала једна од најпогоднијих и најперспективнијих метода за спајање материјала који се користе у конструкцији грејних тела. Разлог је што лепљење не утиче на природно стање суседних материјала и смањује могућност корозије и тежину конструкције. Такође, ови лепкови играју важну улогу у термичкој заштити и уградњи система заптивки, што може значајно смањити и цену одржавања овакве опреме.

Средњетемпературне горива ћелије са чврстим оксидом (Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cells- IT-SOFC) чине значајну и перспективну алтернативну технологију којом се делимично може спречити исцрпљивање конвенционалних извора енергије наше планете, а такође представљају и једну од зелених технологија које највише привлаче пажњу научне заједнице захваљујући високој ефикасности конверзије енергије из

топлотне у елетричну и ултраниским емисијама загађења ваздуха. Обиман досадашњи научни рад у овој области посведочио је да један од највећих изазова и прекретница у комерцијализацији ове технологије лежи управо у развоју и производњи одговарајућих заптивача који могу ефикасно да раздвоје гориво, односно радну средину ћелије и животну околину и омогуће правилан рад уређаја и високе вредности излазне енергије.

Различитим екпериментaлним методама ће такође бити установљено да ли ће и при ком проценту уграђивања отпадног муља у састав ових материјала бити изводљиво постићи оптималне особине лепка или заптивача уз задовољавајућу ефикасност и термалну и механичку стабилност на температурама радне средине грејних уређаја или IT-SOFC ћелија. Осим тога, биће изведени и лабораторијски тестови у виду пробе функционалности ових материјала у конкретним оперативних условима (у самом постројењу), као што је рецимо тестирање индивидуалне IT-SOFC горивне ћелије у отвореном колу (тзв. Single Cell Test/Leakage Test) уз мерење волтаже и излазне струје.

2.2. Циљ истраживања

Општи циљ истраживања у оквиру ове докторске дисертације сводио би се на очување животне средине и решавање еколошких питања применом савременог приступа циркуларности материјала у природи, односно враћањем отпадних материја у употребни ланац проналажењем начина за њихову поновну примену у разним индустријским гранама.

Основна иницијатива се дакле базира на налажењу добрих практичних решења за адекватно финално управљање отпадом у складу са важећим законским захтевима, које би ублажило негативне еколошке утицаје и обезбедило одређене финансијске бенефите, углавном везане за смањење потрошње енергије и потребе за одговарајућим простором за депоновање, као и умањење еко такси. На тај начин, била би обезбеђена једна успешно студија које би у основи била усклађена са кључним принципима ЦЕ (Циркуларне Економије) и тзв. *zero waste* стратегијом развоја.

Сходно томе, ток истраживања би био усмерен на утврђивање употребне вредности отпадног материјала (који у овом истраживању чини отпадни муљ генерисан у постројењу за пречишћавање отпадних вода) у напредним технолошким решењима у оквиру различитих индустријских области са значајним нагласком на еколошке и економске

аспекте. То би се првенствено односило на демострацију успешне примене ових отпадних материја у производњи иновативних, еколошких, исплативих и високоефикасних материјала различитих намена.

Дакле, у оквиру наведеног општег циља могла би се дефинисати три специфична правца истраживања сходно циљаној намени датог отпадног муља и то су:

1. Испитивање могућности искоришћења отпадног муља из процеса пречишћавања отпадних вода у грађевинској индустрији у производњи малтера и бетона (као додатка цементној пасти);
2. Испитивање могућности искоришћења отпадног муља из процеса пречишћавања отпадних вода у производњи индустријских високотемпературних керамичких лепкова за израду конструкција грејних тела (пећи, сушница итд.);
3. Испитивање могућности искоришћења отпадног муља из процеса пречишћавања отпадних вода у технологији SOFC горивних ћелија средњетемпературног опсега за производњу заптивача који обезбеђују херметичности самог уређаја (развој јединственог, иновативног састава заптивача и утврђивање подобности добијеног материјала у смислу термостабилности, структурне интегрисаности и дуготрајног радног века, чиме ће се омогућити ефективно фунционисање горивне ћелије са задовољавајућим вредностима излазне струје)

2.3. Релевантна литература

За потребу израде докторске дисертације ће бити коришћена наведена релевантна публикована литература:

1. Usman M, Balsalobre-Lorente D. Environmental concern in the era of industrialization: Can financial development, renewable energy and natural resources alleviate some load?. Energy Policy. 2022 Mar 1;162:112780.
2. Nasrollahi Z, Hashemi MS, Bameri S, Mohamad Taghvaee V. Environmental pollution, economic growth, population, industrialization, and technology in weak and strong sustainability: using STIRPAT model. Environment, Development and Sustainability. 2020 Feb;22(2):1105-22.

3. Opoku EE, Aluko OA. Heterogeneous effects of industrialization on the environment: evidence from panel quantile regression. Structural Change and Economic Dynamics. 2021 Dec 1;59:174-84.
4. Hussain CM, Paulraj MS, Nuzhat S. Source Reduction and Waste Minimization. Elsevier; 2021 Aug 20.
5. Das S, Lee SH, Kumar P, Kim KH, Lee SS, Bhattacharya SS. Solid waste management: Scope and the challenge of sustainability. Journal of cleaner production. 2019 Aug 10;228:658-78.
6. Patil RA, Ramakrishna S. A comprehensive analysis of e-waste legislation worldwide. Environmental Science and Pollution Research. 2020 May;27(13):14412-31.
7. Neves SA, Marques AC. Drivers and barriers in the transition from a linear economy to a circular economy. Journal of Cleaner Production. 2022 Mar 20;341:130865.
8. Meath C, Karlovšek J, Navarrete C, Eales M, Hastings P. Co-designing a multi-level platform for industry level transition to circular economy principles: A case study of the infrastructure CoLab. Journal of Cleaner Production. 2022 May 1;347:131080.
9. Sillanpää M, Ncibi C. Chapter Four-circular economy in action: case studie s about the transition from the linear economy in the chemical, mining, textile, agriculture, and water treatment industries. InThe Circular Economy 2019 (pp. 111-206). Academic Press.
10. Nguyen MD, Thomas M, Surapaneni A, Moon EM, Milne NA. Beneficial reuse of water treatment sludge in the context of circular economy. Environmental Technology & Innovation. 2022 May 13:102651.
11. Gherghel A, Teodosiu C, De Gisi S. A review on wastewater sludge valorisation and its challenges in the context of circular economy. Journal of cleaner production. 2019 Aug 10;228:244-63.
12. Abouelela AR, Mussa AA, Talhami M, Das P, Hawari AH. Industrial sludge valorization and decontamination via lipid extraction and heavy metals removal using low-cost protic ionic liquid. Science of The Total Environment. 2022 Aug 20;835:155451.
13. Bekezhanov D, Omirali A, Aitimov B, Nurmukhankyzy D, Zhumagulov T. Environmental and legal framework for regulating consumer and industrial waste management. Journal of Environmental Management & Tourism. 2020 Apr 1;11(1 (41)):186-93.

14. Baldassarre, B., Schepers, M., Bocken, N., Cuppen, E., Korevaar, G., Calabretta, G., 2019. Industrial symbiosis: towards a design process for eco-industrial clusters by integrating circular economy and industrial ecology perspectives. J. Clean. Prod. 216, 446–460.
15. Charef R, Lu W, Hall D. The transition to the circular economy of the construction industry: Insights into sustainable approaches to improve the understanding. Journal of Cleaner Production. 2022 Jun 7:132421.
16. Basu D, Pal P, Prakash A. Utilization of waste sludge in cementitious Matrix: A feasibility study. Materials Today: Proceedings. 2022 Apr 22.
17. Gomes SD, Zhou JL, Li W, Long G. Progress in manufacture and properties of construction materials incorporating water treatment sludge: A review. Resources, conservation and recycling. 2019 Jun 1;145:148-59.
18. Limami H, Manssouri I, Cherkaoui K, Khaldoun A. Recycled wastewater treatment plant sludge as a construction material additive to ecological lightweight earth bricks. Cleaner Engineering and Technology. 2021 Jun 1;2:100050.
19. Heniegal AM, Ramadan MA, Naguib A, Agwa IS. Study on properties of clay brick incorporating sludge of water treatment plant and agriculture waste. Case Studies in Construction Materials. 2020 Dec 1;13:e00397.
20. Meda SR, Sharma SK, Tyagi GD. Utilization of Waste Sludge as a Construction Material-A Review. Materials Today: Proceedings. 2021 Jan 1;46:4195-202.
21. Dube ZN, Ikotun BD, Fanourakis GC. The physical characterization of wastewater dry sludges for concrete use. Materials Today: Proceedings. 2022 Jan 1;66:1716-9.
22. Nkuna SG, Olwal TO, Chowdhury SD. Assessment of thermochemical technologies for wastewater sludge-to-energy: An advance MCDM model. Cleaner Engineering and Technology. 2022 Jun 9:100519.
23. Zat T, Bandieira M, Sattler N, Segadães AM, Cruz RC, Mohamad G, Rodríguez ED. Potential re-use of sewage sludge as a raw material in the production of eco-friendly bricks. Journal of Environmental Management. 2021 Nov 1;297:113238.
24. Gomes SD, Zhou JL, Li W, Long G. Progress in manufacture and properties of construction materials incorporating water treatment sludge: A review. Resources, conservation and recycling. 2019 Jun 1;145:148-59.

25. Trang NT, Ho NA, Babel S. Reuse of waste sludge from water treatment plants and fly ash for manufacturing of adobe bricks. Chemosphere. 2021 Dec 1;284:131367.
26. Rabie GM, Abd El-Halim H, Rozaik EH. Influence of using dry and wet wastewater sludge in concrete mix on its physical and mechanical properties. Ain Shams Engineering Journal. 2019 Dec 1;10(4):705-12.
27. Ottosen LM, Thornberg D, Cohen Y, Stiernström S. Utilization of acid-washed sewage sludge ash as sand or cement replacement in concrete. Resources, Conservation and Recycling. 2022 Jan 1;176:105943.
28. Ching CY, Bashir MJ, Aun NC, Aldahdooh MA. Sustainable production of concrete with treated alum sludge. Construction and Building Materials. 2021 May 3;282:122703.
29. Sogancioglu M, Yel E, Aksoy S, Unal VE. Enhancement of concrete properties by waste physicochemical treatment sludge of travertine processing wastewater. Journal of Cleaner Production. 2016 Jan 20;112:575-80.
30. Vainder K, Siby J. Use of electroplating industry sludge as a construction material. MOJ Civil Engineering. 2017;2(1):28-34.
31. da Silva LF, Öchsner A, Adams RD, editors. Handbook of adhesion technology. Heidelberg: Springer; 2011 Jun 10.
32. Zhang J, Luo R, Jiang M, Xiang Q, Li J. The preparation and performance of a novel room-temperature-cured heat-resistant adhesive for ceramic bonding. Materials Science and Engineering: A. 2011 Mar 15;528(6):2952-9.
33. Chen Y, Wang X, Yu C, Ding J, Deng C, Zhu H. Properties of inorganic high-temperature adhesive for high-temperature furnace connection. Ceramics International. 2019 May 1;45(7):8684-9.
34. Boccaccini AR. Machinability and brittleness of glass-ceramics. Journal of Materials Processing Technology. 1997 Mar 1;65(1-3):302-4.
35. Luan X, Wang J, Zou Y, Cheng L. A novel high temperature adhesive for bonding Al2O3 ceramic. Materials Science and Engineering: A. 2016 Jan 10;651:517-23.
36. Wang L, Li YF, You SH, Sun L, Tong Y. A self-healing strategy for inorganic fillers: Toward practical applications of silicone resin treated at high temperatures for bonding ceramic joints. International Journal of Adhesion and Adhesives. 2018 Dec 1;87:73-8.

37. Chen W, Qiu H, Cui S. High-temperature resistance performance of an inorganic adhesive for concrete structures strengthened with CFRP sheets. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.. 2013 Oct;28(5):950-4.
38. Krivenko P, Petropavlovsky O, Vozniuk H. Development of mixture design of heat resistant alkali-activated aluminosilicate binder-based adhesives. Construction and Building Materials. 2017 Sep 15;149:248-56.
39. Wang M, Tao X, Xu X, Miao R, Du H, Liu J, Guo A. High-temperature bonding performance of modified heat-resistant adhesive for ceramic connection. Journal of Alloys and Compounds. 2016 Apr 5;663:82-5.
40. Wang M, Song Q, Gu Y, Wu C, Liu J, Zhou X, Du M. Multiple high-temperature resistant phases modified phosphate-based adhesive for engineering ceramic connection in extreme environment. Ceramics International. 2019 Jan 1;45(1):516-21.
41. Wang X, Wang J, Wang H. Preparation of high-temperature organic adhesives and their performance for joining SiC ceramic. Ceramics International. 2013 Mar 1;39(2):1365-70.
42. Černý M, Chlup Z, Strachota A, Schweigstillová J, Svítilová J, Halasová M. Rheological behaviour and thermal dilation effects of alumino-silicate adhesives intended for joining of high-temperature resistant sandwich structures. Journal of the European Ceramic Society. 2017 May 1;37(5):2209-18.
43. Wang C, Ding J, Huang Z, Zhuang Y, Li Y, Shi M, Qin Y. Ceramizable phenolic adhesive modified by different inorganic particles: A comparative study of thermal stability, bonding strength and bonding mechanism. Journal of the European Ceramic Society. 2023 Jan 1;43(1):64-72.
44. Luan XG, Chang S, Riedel R, Cheng L. An air stable high temperature adhesive from modified SiBCN precursor synthesized via polymer-derived-ceramic route. Ceramics International. 2018 May 1;44(7):8476-83.
45. Wang M, Liu J, Chen Z, Hu X, Zhai W, Tao X, Liu J. Joining zirconia with nickel-based superalloys for extreme applications by using a pressure-free high-temperature resistant adhesive. Ceramics International. 2022 Mar 15;48(6):8025-30.
46. Wen TL, Wang D, Chen M, Tu H, Lu Z, Zhang Z, Nie H, Huang W. Material research for planar SOFC stack. Solid State Ionics. 2002 Jun 2;148(3-4):513-9.

47. Fergus JW. Sealants for solid oxide fuel cells. Journal of Power Sources. 2005 Sep 9;147(1-2):46-57
48. Shi H, Su C, Ran R, Cao J, Shao Z. Electrolyte materials for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. Progress in Natural Science: Materials International. 2020 Dec 1;30(6):764-74.
49. Kim EA, Choi HW, Yang YS. Effects of Al2O3 on (1− x)[SrO–SiO2–B2O3]–xAl2O3 glass sealant for intermediate temperature solid oxide fuel cell. Ceramics International. 2015 Dec 1;41(10):14621-6.
50. Fallah Vostakola M, Amini Horri B. Progress in material development for low-temperature solid oxide fuel cells: A review. Energies. 2021 Feb 26;14(5):1280.
51. Huang J, Xie F, Wang C, Mao Z. Development of solid oxide fuel cell materials for intermediate-to-low temperature operation. International Journal of Hydrogen Energy. 2012 Jan 1;37(1):877-83.
52. Mori T, Buchanan R, Ou DR, Ye F, Kobayashi T, Kim JD, Zou J, Drennan J. Design of nanostructured ceria-based solid electrolytes for development of IT-SOFC. Journal of Solid State Electrochemistry. 2008 Aug;12:841-9.
53. Tarancón A. Strategies for lowering solid oxide fuel cells operating temperature. Energies. 2009 Nov 25;2(4):1130-50.
54. Sabato AG, Salvo M, De Miranda A, Smeacetto F. Crystallization behaviour of glass-ceramic sealant for solid oxide fuel cells. Materials Letters. 2015 Feb 15;141:284-7.
55. Nguyen XV, Chang CT, Jung GB, Chan SH, Lee WT, Chang SW, Kao IC. Study of sealants for SOFC. International Journal of Hydrogen Energy. 2016 Dec 14;41(46):21812-9.
56. Sharma S, Basu S, Shetti NP, Kamali M, Walvekar P, Aminabhavi TM. Waste-to-energy nexus: a sustainable development. Environmental Pollution. 2020 Dec 1;267:115501.
57. Gross SM, Federmann D, Remmel J, Pap M. Reinforced composite sealants for solid oxide fuel cell applications. Journal of Power Sources. 2011 Sep 1;196(17):7338-42.
58. Smeacetto F, De Miranda A, Chrysanthou A, Bernardo E, Secco M, Bindi M, Salvo M, Sabato AG, Ferraris M. Novel Glass- Ceramic Composition as Sealant for SOFC s. Journal of the American Ceramic Society. 2014 Dec;97(12):3835-42.

59. Rodríguez-López S, Wei J, Laurenti KC, Mathias I, Justo VM, Serbena FC, Baudín C, Malzbender J, Pascual MJ. Mechanical properties of solid oxide fuel cell glass-ceramic sealants in the system BaO/SrO-MgO-B2O3-SiO2. Journal of the European Ceramic Society. 2017 Sep 1;37(11):3579-94.
60. Rezaei N, Ghatee M. Barium-calcium aluminosilicate glass/mica composite seals for intermediate solid oxide fuel cells. Ceramics International. 2021 Aug 1;47(15):21679-87.
61. Hasanabadi MF, Malzbender J, Groß-Barsnick SM, Abdoli H, Kokabi AH, Faghihi-Sani MA. Micro-scale evolution of mechanical properties of glass-ceramic sealant for solid oxide fuel/electrolysis cells. Ceramics International. 2021 Feb 1;47(3):3884-91.
62. Wang SF, Lu HC, Liu YX, Hsu YF, Liu ZY. Characteristics of glass sealants for intermediate-temperature solid oxide fuel cell applications. Ceramics International. 2017 Aug 1;43:S613-20.
63. Reddy AA, Goel A, Tulyaganov DU, Kapoor S, Pradeesh K, Pascual MJ, Ferreira JM. Study of calcium–magnesium–aluminum–silicate (CMAS) glass and glass-ceramic sealant for solid oxide fuel cells. Journal of power sources. 2013 Jun 1;231:203-12.
64. Tulyaganov DU, Reddy AA, Kharton VV, Ferreira JM. Aluminosilicate-based sealants for SOFCs and other electrochemical applications− A brief review. Journal of power sources. 2013 Nov 15;242:486-502.
65. Irshad M, Siraj K, Raza R, Ali A, Tiwari P, Zhu B, Rafique A, Ali A, Kaleem Ullah M, Usman A. A brief description of high temperature solid oxide fuel cell's operation, materials, design, fabrication technologies and performance. Applied Sciences. 2016 Mar 9;6(3):75.

3. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ

Докторска дисертација ће се заснивати на следећим хипотезама:

- Полазна (нулта) хипотеза - Решавање еколошких проблема који проистичу из потребе за одлагањем велике количине потенцијално опасног отпадног материјала је могуће путем ревалоризације тј. њихове поновне употребе као полазних

сировина за различите намене уз истовремено остваривање вишеструке економске користи.

- Хипотеза I. - Отпадни муљ који настаје у процесима пречишћавања отпадних вода и чије депоновање представља првенствено еколошки проблем, али и економску потешкоћу може потенцијално имати употребну вредност, односно може се искористити у производњи вредних полазних сировина различите намене.
- Хипотеза II. - Отпадни муљ који настаје у процесима пречишћавања отпадних вода поседује потенцијал искористљивости као компонента за производњу различитих грађевинских материјала, попут малтера и бетона (различитим физичко-хемијским методама установиће се да ли новодобијени материјали са садржајем отпада поседују задовољавајуће перформансе са аспекта примене у грађевини, као и да ли су еколошки прихватљиви).
- Хипотеза III - Отпадни муљ који настаје у процесима пречишћавања отпадних вода може се успешно искористити као компонента у производњи ватросталних керамичких лепкова намењених за спајање делова различитих грејних тела попут пећи и сушница (дговарајућим екпериментaлним техникама утврдиће се оптимални процес производње и предтретмана датих материјала као и оптимални удео отпада у саставу којим ће се постићи добијање еколошког, исплативог и постојаног керамичког материјала са највећом ефикасношћи лепљења).
- Хипотеза IV - Отпадни муљ који настаје у процесима пречишћавања отпадних вода може се успешно имплементирати као компонента у производњи заптивача са применом у SOFC технологији средњетемпературног опсега (детаљном карактеризацијом и пробама самог заптивног материјала са додатком муља у реалним оперативним условима биће утврђено под којим условима је потребно је потребно фабриковати сам материјал и на који начин га третирати како би имао оптимални учинак у заптивању горивних ћелија).

4. НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Приликом израде докторске дисертације биће коришћене бројне различите методе за физичко - хемијску карактеризацију чврстих узорака: одређивање хемијског састава и садржаја тешких метала помоћу ICP-OES технике, одређивање специфичне површине (BET), рендгенске дифракционе анализе (XRD), скенирајуће електронске микроскопије (SEM), Фуријеове трансформисане инфрацрвене спектроскопије (FTIR) и др.

Одређивање хемијског састава и садржаја тешких метала у отпадном муљу биће урађено методом која се састоји од комбинације индуктивно спрегнуте плазме (ICP) и оптичке емисионе спектрометрије (OES) применом спектрометра Spectroflame (Spectro Analitical Instruments, Kleve, Germany). Текстурална својстава, односно специфична површина узорака отпадног муља биће добијена праћењем адсорпције азота на -196°C на уређају „Sorptomatic 1990 Thermo Finnigan" помоћу Brunauer – Emmett – Teller (BET) методе. Структурна својства и састав кристалне фазе узорака биће одређени помоћу рендгенске дифракционе анализе (XRD). За фазну анализу узорака биће коришћен дифрактометар Ultima IV Rigaku model са сцинтилационим бројачем и закривљеним графитним монохроматором. Испитивање морфолошких и микроструктурних својстава отпадног муља биће урађено употребом скенирајуће електронске микроскопије емисијом јаког поља (ФЕСЕМ) на инструменту TESCAN VEGA TS 5130MM. За одређивање типа фунционалних група на површини биће коришћен уређај марке Thermo SCIENTIFIC Nicolet iS10, FTIR Spectrometer за снимање FTIR спектара.

Такође, за израду докторске дисертације користиће се и физичко - механичке методе које су неопходне при испитивању материјала са садржајем отпадног муља намењених грађевинској индустрији а које укључују: испитивање пуцоланске активности, потреба за водом, почетак везивања, сталност запремине итд..

Осим тога, примениће се и поједине методе које се захтевају у оквиру испитивања материјала са отпадним муљем од којих се захтева да задрже ефикасност и постојаност на високим температурама, као што су и индустријски лепкови или SOFC заптивне масе. Ту првенстено спадају дилатометријски тестови којим се могу утврдити топлотна ширења

односно анализирати понашање материјала на повишеним температурама. У ове сврхе користиће се дилатометријска мерења са температурним опсегом од 200 до 800 C˚.

Кроз истраживање ће исто тако бити спроведена и испитивање механичких својстава материјала. Сва мерења механичких параметара узорака изводиће се на собној температури у ваздушној атмосфери коришћењем Универзалне машине за испитивање Model Instron 1196 са брзином попречне главе од 1 мм/мин. Карактеризација механичких својстава састојаће се од одређивања чврстоће на савијање, притисак и смицање, као и утврђивања микро-тврдоће Викерсовом методом.

Такође ће бити урађен тест испирања тј. излуживања „leching test" којих ће се утврдити мобилност појединих токсичних и потенцијално опасних елемената по животно окружење. Тиме ће се потврдити да ли су ови материјали безбедни и законски прихватљиви са становишта заштите животне средине.

Поред тога, биће изведени и лабораторијски тестови и пробе функционалности одређених материјала у конкретним условима примене , као што је рецимо тестирање IT-SOFC горивне ћелије у отвореном колу (тзв. Single Cell Test/Leakage Test).

Сва испитивања ће бити спроведена у складу са одговарајућим међународним стандардима која су дефинисана прописима везаним за примену материјала, било у грађевини или енергетском сектору.

5. ОЧЕКИВАНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

У предложеној докторској дисертацији биће истражена и анализирана проблематика добијања еколошки прихватљивог, економски исплативог и ефикасног материјала одређене намене, ревалоризацијом отпадног муља генерисаног у поступцима пречишћавања отпадних вода хемијске индустрије. Дакле, главни фокус у дисертацији биће стављен на развој иновативних, савремених, а притом јефтиних материјала добијених на бази отпада који је лако доступан у огромним количинама с вишеструком употребном вредношћу у различитим индустријским областима. Осим тога, спровешће се бројне анализе и донети одређени закључци који говоре о могућностима и условима

примене датих материјала у производњи различитих грађевинских материјала, керамичких индустријских ватроотпорних лепкова или IT-SOFC заптивача.

Као очекивани научни доприноси ове докторске дисертације истиче се:

- Проналажење употребне вредности отпадног муља која настаје у процесу пречишћавања отпадних вода хемијске индустрије;
- Развој различитих методологија и техника у циљу оптимизације саме производње и примене материјала са додатком овакве врсте отпадног муља или отпадних сировина сличног порекла и састава, као и постизања оптималних перформанси датих материјала у зависности од њихове конкретне сврхе;
- Развој савремених, еколошки прихватљивих економичних грађевинских материјала, попут малтера и бетона, који у себи садрже отпад, а показују задовољавајуће карактеристике у складу са критеријумима за њихову примену у индустријским размерама у области грађевине;
- Развој јефтиних и ефикасних керамичких материјала који у свом саставу имају одређени садржај отпада и који су изузетно постојани и отпорни на дејство високих температура, те се могу ефикасно применити у индустријској производњи грејних тела односно за конектовање делова пећи, сушара и обезбеђивање интегрисаности ових уређаја;
- Развој високоефикасних композитних материјала са извесним садржајем отпада који показују изврсну термалну и механичку стабилност на температурама и до 800 C° те се могу успешно применити за заптивање горивних ћелија и обезбеђивање њихове херметичности и функционалности;
- Примена иновативних, поузданих и ефикасних материјала на бази додатка отпадних сировина у индустријим размерама, а потпуности у складу са принципима ЦЕ (циркуларне економије) и *zero waste* стратегијама у оквиру одрживог развоја.

6. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА РАДА

План истраживања докторске дисертације обухватаће три етапе истраживања:

1. Испитивање употребне вредности отпадног муља из постројења за пречишћавање отпадних вода као компоненте за производњу грађевинских материјала- бетона и малтера .

У оквиру ове етапе биће спроведена комплетна карактеризација отпадног муља и добијеног материјала са инкорпорираним отпадом у свом саставу, која ће подразумевати: утврђивање физичко хемијских особина отпадног муља- анализа хемијског састава и садржаја тешких метала (ICP-OES), рендгенску дифракциону анализа (XRD), морфолошка испитивања (SEM), одређивање функционалних група и појачане тоталне рефлексије (FTIR и AT), одређивање специфичне површине (BET); испитивање пуцоланске активности добијених материјала (сталност запремине, индекс активности, потреба за водом, стандардна конзистенција, време везивања, сталност зспремине); одређивање параметара цементне пасте малтера, бетона и самоуграђујућег бетона са додатком отпадног муља (конзистенције малтера/бетона, запреминске масе свежег и очврслог малтера/бетона, механичких особине- чврстоће на савијање, притисак, затезање, скупљање при сушењу, испитивање секантног модула еластичности итд.)

2. Испитивање употребне вредности отпадног муља из постројења за пречишћавање отпадних вода као компоненте за производњу индустријских ватросталних керамичких лепкова који се користе за израду конструкција различитих грејних тела (пећи, сушница итд.)

У оквиру ове етапе биће спроведена бројна испитивања за више састава керамичких лепкова са различитим уделом отпадног муља, и то: испитивање термостабилности (термички циклуси), тестови реактивности материјала уз утврђивање морфологије (SEM) и фазног састава (XRD), испитивање хемијског састава, различитих механичких особина и дилатометријска испитивања.

3. Испитивање употребне вредности отпадног муља из постројења за пречишћавање отпадних вода као компоненте за производњу композитних заптивних маса који се користе као компоненте у горивним ћелијама средњетемпературног опсега (IT-SOFC) и обезбеђују ефикасно заптивање система на температури и до 800 C°.

Ова етапа ће такође подразумевати спровођење низа тестова којим је потребно испунити комплексне услове за применљивост материјала у IT-SOFC технологији и то: испитивање фазног састава ,морфологије и функционалних група површине (XRD, SEM, FTIR), испитивање механичких особина и густине, дилатометријска анализа, мерења електрична проводљивости (EIS), тестови излуживања тешких метала и испитивање цурења горива у ћелији (Leakage test / Single Cell Test).

Према томе, применом различитих експерименталних физичко-хемијских методологија показаће се да отпадни муљ из постројења за пречишћавање отпадних вода са економског и еколошког аспекта може бити погодан и перспективан материјал као једна од компоненти за коришћење у производњи различитих иновативних и високоефикасних материјала из области грађевине и енергетике.

Као резултат наведеног предложеног плана рада у оквиру израде докторске дисертације, очекује се да ће основну структуру чинити наредна поглавља:

I. Уводни део у ком ће бити дефинисан предмет и циљеви истраживања, односно проблематика којом ће се теза бавити и основне идеје и тенденције које ће се применити у сврху налажења решења, као и полазне хипотезе и преглед садржаја дисертације;

II. Део којим ће бити обухваћен литературни преглед, где ће бити речи о самим поступцима пречишћавања отпадних воде приликом којих се отпадни материјал и генерише, као и о самим отпадним муљевима, њиховим својствима, саставу, затим о утицају ових отпадних материја на животну средину као и о примени принципа Циркуларне Економије (ЦЕ). Коначно, биће изложен и осврт на досадашња спроведена истраживања из области поновне употребе отпадних муљева и сличних отпадних материјала у различите сврхе;

III. Наредно поглавље које ће се односити на материјале и методе и које ће бити подељено на три сегмента, односно на коришћење отпадног муља за производњу а)

грађевинских материјала, б) ватроотпорних индустријских лепкова и б) заптивача за SOFC уређаје;

IV. Део у ком ће бити изнети резултати испитивања и њихова дискусија, који ће такође бити подењен у сегменте сходно претходном поглављу (III) и

V. Последње поглавље које ће сумирати свеобухватно истраживање, дакле у ком ће бити изнети закључци и разматрања, као и опште смернице даљег научног рада и продубљивање дате проблематике у будућим потенцијалним студијама.

7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу увида у документацију за пријаву теме докторске дисертације кандидата **Неде Нишић,** мастер инжењера рударства, као и анализе наведене литературе која је подржава, Комисија сматра да кандидат испуњава све Законом предвиђене услове за пријаву теме докторске дисертације. Кандидат је успешно положио све испите предвиђене досадашњим планом и програмом докторских студија, на студијском програму „Рударско инжењерство“. Такође, кандидат располаже са високим нивоом истраживачког и научног искуства која је неопходан за изучавање и решавање предложене проблематике у оквиру докторске дисертације. Комисија исказује мишљење да је предложена тема под насловом **„МУЛТИФУНКЦИОНАЛНА ПРИМЕНА ОТПАДНИХ МУЉЕВА ИЗ ПОСТРОЈЕЊА ЗА ПРЕЧИШЋАВАЊЕ ОТПАДНИХ ВОДА ХЕМИЈСКЕ ИНДУСТРИЈЕ“** научно заснована и да иде у корак са актуелним истраживањима на глобалном нивоу. Такође, сматрамо да ће резултати планираних истраживања значајно допринети бољем познавању проблематике из области заштите животне средине у смислу примене отпадних материјала у различитим индустријским гранама, попут енергетике и грађевине, те да је у потпуности оправдано и уважено да наведена тема буде предмет предложене докторске тезе.

За менторе дате докторске дисертације предлажу се проф. др Ивица Ристовић, редовни професор на Катедри за пројектовање и планирање површинских копова Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и др Марија Стојменовић, виши научни сарадник у Институту за нуклеарне науке „Винча“- Институту од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду.

Комисија предлаже Наставно научном већу Рударско-геолошког факултета, Универзитета у Београду да одобри израду докторске дисертације под називом „**МУЛТИФУНКЦИОНАЛНА ПРИМЕНА ОТПАДНИХ МУЉЕВА ИЗ ПОСТРОЈЕЊА ЗА ПРЕЧИШЋАВАЊЕ ОТПАДНИХ ВОДА ХЕМИЈСКЕ ИНДУСТРИЈЕ**“, кандидата **Неде Нишић,** мастер инжењера рударства.

У Београду, 19.06.2023. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Ивица Ристовић, редовни професор
Рударско-геолошки факултет, Универзитета у Београду

_____

др Александар Цвјетић, редовни професор
Рударско-геолошки факултет, Универзитета у Београду

_____

др Предраг Лазић, редовни професор
Рударско-геолошки факултет. Универзитета у Београду

_____

др Милан Краговић, виши научни сарадник,
Институт за нуклеарне науке „Винча“
Институт од националног значаја за Републику Србију
Универзитета у Београду

_____

др Марија Стојменовић, виши научни сарадник,
Институт за нуклеарне науке „Винча“
Институт од националног значаја за Републику Србију
Универзитета у Београду

_____