

Образац 3.

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

2026 - 35/71

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

6. 3. 2026.

(Датум)

ЗАХТЕВ

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

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

**Развој порозне керамике на бази природних зеолита и глина за уклањање одабраних
катјона из раствора**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Технолошко инжењерство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Денис (Предраг) Динић

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

Универзитет у Београду,

Технолошко-металуршки факултет, Инжењерство заштите животне средине, мастер инжењер технологије

3. Година завршетка претходног нивоа студија: 2017.

4. Година уписа на докторске студије: 2020.
-

5. Назив студијског програма докторских студија:

Хемијско инжењерство

6. Датум подношења пријаве теме докторске дисертације:

5. 2. 2026.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

за кандидата **Денис Динић**

Име и презиме ментора: **др Сања Јевтић**

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

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Veljović, Đ., Matić, T., Stamenić, T., Kojić, V., Dimitrijević-Branković, S., Lukić, M. J., **Jevtić, S.**, Radovanović, Ž., Petrović R., Janačković Đ. (2019) Mg/Cu co-substituted hydroxyapatite – biocompatibility, mechanical properties and antimicrobial activity. *Ceramics International*, 45 22029-22039; ISSN 0272-8842; IF (2019) = 3,830. DOI: 10.1016/j.ceramint.2019.07.219
2. Kamberović, Ž., Gajić, N., Korać, M., **Jevtić, S.**, Sokić, M., Stojanović J. (2021) Technologically sustainable route for metals valorization from jarosite-PbAg sludge. *Minerals* 11, 255-285; ISSN 2075-163X; IF(2019) = 2,380. DOI: 10.3390/min11030255
3. Topalović, V., Nikolić, J., Matijašević, S., Stojanović, J., Karamanov, A., Grujić, S., **Jevtić S.** (2023) The effect of SrO and La₂O₃ addition on the crystallization characteristics and sintering behavior of distinct polyphosphate glasses, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 148, 721-732; ISSN 1388-6150; IF (2021) = 4,755. DOI: 10.1007/s10973-022-11777-8
4. Kamberović, Ž., Ranitović, M., Manojlović, V., **Jevtić, S.**, Gajić, N., Štulović M. (2023) Thermodynamic and kinetic analysis of jarosite Pb–Ag sludge thermal decomposition for hydrometallurgical utilization of valuable elements, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 148, 11799-11810; ISSN 1388-6150; IF (2021) = 4,755. DOI: 10.1007/s10973-023-12508-3
5. Štulović M., Radovanović, D., Dikić, J., Gajić, N., Đokić, J., Kamberović, Ž., **Jevtić S.** (2024) Utilization of Copper Flotation Tailings in Geopolymer Materials Based on Zeolite and Fly Ash, *Materials*, 17, 6115; ISSN 1996-1944; IF (2022) = 3,4. DOI. 10.3390/ma17246115

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 5. 3. 2026. године 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.

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

**Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и
у једном писаном примерку за архиву Универзитета**

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 33. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 5. 3. 2026. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације и одређивању ментора

Прихвата се Извештај Комисије о научној заснованости теме за израду докторске дисертације кандидата **Дениса Динића**, број индекса 2020/4015, под називом: **„Развој порозне керамике на бази природних зеолита и глина за уклањање одабраних катјона из раствора”**.

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

За ментора се одређује др Сања Јевтић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

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

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о оцени научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Дениса Динића, мастер инжењера технологије.

Одлуком бр. 35/31 од 5. фебруара 2026. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Дениса Динића, мастер инжењера технологије, под насловом „Развој порозне керамике на бази природних зеолита и глина за уклањање одабраних катјона из раствора“.

На основу материјала приложеног уз пријаву теме кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Денис Динић, маст. инж. технологије рођен је 17. марта 1991. године у Неготину. Основну школу започео је у селу Поповица, а завршио у Неготину. По завршетку Војне гимназије у Београду, школске 2010/2011. године уписао је основне академске студије на Војној академији Универзитета одбране у Београду на студијском програму Војнохемијско инжењерство. Основне академске студије завршио је 2014. године са просечном оценом 9,02. Школске 2014/2015. године уписао је мастер академске студије, студијски програм Инжењерство заштите животне средине на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, док је 2017. године одбраном завршног мастер рада под називом „Синтеза и карактеризација содалита и зеолита Х из летећег пепела термоелектране Морава“ успешно завршио мастер академске студије. Докторске академске студије уписао је школске 2020/2021. године на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Хемијско инжењерство.

По завршетку основних академских студија, вршио је дужности командира и инструктора у Центру атомско-биолошко-хемијске одбране у Крушевцу где је изводио обуку на домаћим и међународним курсевима из области атомско-биолошко-хемијске одбране.

Одлуком Наставно-научног већа Војне академије Универзитета одбране, Денис Динић је 2018. године изабран у звање асистента за ужу научну област „Материјали и заштита“. Одлуком Научног већа Војнотехничког института, Денис Динић је 2023. године изабран у истраживачко звање истраживач-приправник за област Техничко-технолошке науке – технолошко инжењерство.

Аутор је више радова и саопштења објављених у међународним и националним часописима, као и на научним скуповима, и то: једног рада у врхунском међународном часопису (M21a), три рада у истакнутом међународном часопису (M22) и два рада у међународном часопису (M23). Аутор је и три рада објављена у научним часописима националног значаја (M51 и M52), седам саопштења са међународних скупова штампаних у целини и два саопштења са међународних скупова штампана у изводу.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Денис Динић је током свог досадашњег рада стекао богато научноистраживачко искуство. Докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Хемијско инжењерство, уписао је школске 2020/2021. године и у оквиру њих положио све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 10. Завршни испит одбранио је 22. септембра 2022. године са оценом 10. Од почетка докторских академских студија бави се научноистраживачким радом у области порозне керамике, са нагласком на порозну керамику на бази природних зеолита, а у циљу израде докторске дисертације.

У табели 1 приказан је списак положених испита, са оценама и оствареним ЕСПБ бодовима.

Табела 1. Списак положених испита, са оценама и оствареним ЕСПБ бодовима

Р. бр.	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
1.	Хемијска термодинамика	10	5
2.	Феномени преноса у инжењерству материјала	10	5
3.	Одабрана поглавља нумеричке анализе	10	5
4.	Хемија чврстог стања	10	5
5.	Одабрана поглавља инструменталне анализе	10	7
6.	Неоргански адсорбенти-теоријски основи и примена	10	4
7.	Катализа у органској хемији	10	5
8.	Технологија припреме воде	10	5
9.	Креативни инжењеринг	10	5
10.	Виши курс аналитичке хемије	10	5
11.	Енглески језик	10	
12.	Завршни испит	10	30
13.		10	
Просечна оцена / Укупно бодова		10	81

Денис Динић је имао статус мировања у току студија током школске 2024/2025. године по питању неге детета до навршених годину дана.

Списак објављених научних радова

Категорија M21a:

1. **Dinić D.**, Sokić K., Anđić Z., Kamberović Ž., Dikić J., Jevtić S. (2025). Eco-friendly porous ceramics based on zeolite and bentonite: Preparation and assessment of adsorption efficiency toward lead, nickel, and cobalt ions. *Ceramic International*, 51(26), 49295-49306. (IF=5,6) (ISSN: 0272-8842) (<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2025.08.171>)

Категорија M22:

2. **Dinić D.**, Sokić K., Dikić J., Nikolić V., Marinković A., Anđić Z., Kamberović Ž., Jevtić S. (2024). Porous ceramic based on cost-effective natural zeolite and kaolin for removal of ammonium ions: preparation, characterization and application. *Science of Sintering*, (IF=1,5) (ISSN: 0350-820X) (<https://doi.org/10.2298/SOS240708038D>)
3. Stojisavljević P., Vulović N., Veličković Z., Mijin D., Stupar S., **Dinić D.**, Ivanković N. (2023). Investigation on the adsorption of the carbamate pesticide methomyl from aqueous solution using modified co-beta zeolite particles. *Science of Sintering*, 55(2), 269-287. (IF= 1,725) (ISSN: 0350-820X) (<https://doi.org/10.2298/SOS220618004S>)
4. Tanić M., **Dinić D.**, Kartalović B., Mihaljev Ž., Stupar S., Ćujić M., Onjia A. (2023). Occurrence, Source Apportionment, and Health Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil of Urban

Parks in a Mid-Sized City. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234, 484. (IF=2,984) (ISSN: 1573-2932) (<https://doi.org/10.1007/s11270-023-06504-4>)

Kategorija M23:

5. Supar S., Bučko M., Karanović J., Lazić D., **Dinić D.**, Tanić M., Karkalić R. (2021) Silver coated textiles as multifunctional flexible materials, *International Journal of Electrochemical Science*. 18, 31-37. (IF=1,541) (ISSN: 1452-3981) (<https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2023.01.008>)
6. Tanić M.; **Dinić D.**; Mihaljev Ž.; Kartalović B.; Daković M., (2021). Risk assessment of human exposure to radionuclides in soil of urban areas (public parks and open playgrounds) in Kruševac, Serbia. *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 36, 271-283. (IF=1,242) (ISSN: 1451-3994) (<https://doi.org/10.2298/NTRP2103271T>)

Kategorija M51:

7. Tanić M., Janković Mandić Lj., Čujić M., Onjia A., **Dinić D.**, Dragović S. (2018). Human health risk assessment due to natural radionuclides in soil affected by coal combustion: a case study from the surroundings of the largest thermoelectric power plant in Serbia, *Ecologica*, 25, 5-11. (ISSN 0354-3285)

Kategorija M52:

8. Nikolić V., Đokić J., **Dinić D.**, Marinković A., Jevtić S., Anđić Z., Kamberović M. (2023). Sinteza inovativnih keramičkih sorbenata i nosača katalizatora hijerarhijske poroznosti, *Tehnika – Novi materijali*, 32, 269-273. (ISSN: 0354-2300) (<https://doi.org/10.5937/tehnika2303269K>)
9. **Dinić D.**, Stojisavljević P., Stupar S., Veličković Z., Ivanković N., Tanić M., Anđelković M. (2023). Removal of methomyl from aqueous solutions using reactivated carbon microspheres, *Scientific Technical Review*, 73, 18-25. (ISSN: 1820-0206) (<https://doi.org/10.5937/str2301018D>)

Kategorija M33:

10. **Dinić D.**, Stojković B., Aksentijević D., Tanić M., Ivanković N., Jovanović N., Anđelković M. (2024). Portable Raman Spectroscopy For Detection Of Ammonium Nitrate–Fuel Oil Explosive Precursors, *11th International Scientific Conference on Defensive Technologies - OTEH 2024, Tara, Serbia, October 9-11* (pp 449-451). Belgrade: Military Technical Institute. (ISBN: 978-86-81123-94-2) (<https://doi.org/10.5937/OTEH24080D>)
11. Tanić M., **Dinić D.**, Stupar S. (2024). Determination of natural background radiation in an urban area as an aspect of nuclear security detection architecture: An example from the City of Kruševac, Serbia, *11th International Scientific Conference on Defensive Technologies - OTEH 2024, Tara, Serbia, October 9-11* (pp 518-523). Belgrade: Military Technical Institute. (ISBN: 978-86-81123-94-2) (<https://doi.org/10.5937/OTEH24093T>).
12. Stojković B., **Dinić D.**, Stupar S., Tomašević A., Mijin D., Stojisavljević P., Ivanković N. (2024). Removal Of Methomyl From Aqueous Solutions Using Thermal Regenerated Carbon Microspheres, *Zbornik Međunarodnog kongresa o procesnoj industriji – Procesing '24, May 29-30* (pp 109-117). Beograd: Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije (SMEITS), Društvo za procesnu tehniku. (ISBN: 978-86-85535-18-5) (<https://doi.org/10.24094/ptk.024.109>)
13. **Dinić D.**, Stupar S., Jovanović N., Tanić M., Jevtić S. (2023). Synthesis and characterization of porous ceramics based on copper slag, *XV International Mineral Processing and Recycling Conference, IMPRC 2023, Belgrade, Serbia, May 17-19* (pp 480-485). Bor: Technical Faculty in Bor, University of Belgrade. (ISBN: 978-86-6305-133-1)
14. Tanić M., **Dinić D.**, Stupar S., Čujić M., Anđelković A. (2022). Determination of gamma photon attenuation coefficient of lightweight building and insulation materials used for overbuilding in Serbia,

10th International Scientific Conference on Defensive Technologies, OTEH 2022, Belgrade, Serbia, October 13-14 (pp 429-433). Belgrade: Military Technical Institute. (ISBN: 978-86-81123-85-0)

15. Stupar S., Bučko M., Mijin D., **Dinić D.**, Tanić M., Knežević M., Karanović J. (2022). Silver coated textiles as electrochemical pseudocapacitive materials, *10th International Scientific Conference on Defensive Technologies, OTEH 2022, Belgrade, Serbia, October 13-14* (pp 412-417). Belgrade: Military Technical Institute. (ISBN: 978-86-81123-85-0)
16. Stupar S., Lazić D., Ivanković N., **Dinić D.** (2020). Thermal insulation properties of hollow glass microspheres/epoxy and ceramic microspheres/epoxy coatings, *9th International Scientific Conference on Defensive Technologies, OTEH 2020, Belgrade, Serbia, October 15-16* (pp 484-484). Belgrade: Military Technical Institute. (ISBN: 978-86-81123-83-6)

Категорија M34:

17. **Dinić D.**, Sokić K., Dikić J., Anđić Z., Kamberović Ž., Jevtić S. (2025). Evaluation of eco-friendly porous ceramics for removal of Zn^{2+} ion from aqueous solutions: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies, *6th Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe (MME SEE 2025) June 4-7* (pp 123). Book of abstracts. Trebinje, Bosnia and Herzegovina. (ISBN: 978-86-87183-34-6)
18. Sokić K., **Dinić D.**, Anđić Z., Kamberović Ž., Jevtić S. (2024). Ammonium adsorption by porous ceramic based on natural zeolite and kaolin, *XV Conference of chemists, technologist and environmentalists of Republic of Srpska, October 18-19* (pp 36). Book of Abstracts. Banja Luka: Bosnia and Herzegovina. (ISBN: 978-99976-14-09-4)

1.3. Оцена оспособљености кандидата за рад на предложеној теми

На основу рада кандидата током докторских академских студија и постигнутих научноистраживачких резултата, Комисија сматра да је Денис Динић стекао неопходна знања и компетенције за самосталан рад на предложеној теми докторске дисертације. Током израде експерименталног дела истраживања показао је висок ниво посвећености, систематичности и одговорности, као и способност критичке анализе и тумачења резултата. Научни допринос у оквиру предложене области потврђен је кроз више публикованих радова (M20 и M50) и саопштења на међународним конференцијама (M30). Имајући у виду наведено, Комисија сматра да Денис Динић у потпуности испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања ове докторске дисертације усмерен је на развој одрживе порозне керамике са унапређеним механичким својствима на бази еколошки прихватљивих сировина, природног зеолита и глина. Значај овог истраживања огледа се у комбинацији природних минерала и оптимизацији процеса припреме економски исплативе порозне керамике како би се добио адсорбент високе термичке и механичке стабилности погодан за примену у третману отпадних вода.

Брз индустријски развој и пораст броја становника довели су до повећане потрошње пијаће воде и количине отпадних вода, као и до потребе за технолошки изводљивим, еколошки прихватљивим и економичним поступцима њиховог третмана. Према референтним подацима о најбољим доступним техникама (ВАТ) које доноси Европска комисија у оквиру Директиве о индустријским емисијама, хемијска преципитација, седиментација, филтрација, флотација, адсорпција на активном угљу и реверсна осмоза препознате су као најбоље доступне технике за третман отпадних вода контаминираних јонима тешких метала и органским загађивачима. Недостаци ових метода су висока потрошња енергије, настанак секундарног опасног муља и високи оперативни трошкови посебно када се ради о ниским концентрацијама загађујућих супстанци [1]. За разлику од конвенционалних технологија, адсорпција се сматра једноставном и економичном методом, чија ефикасност у великој мери зависи од примењеног адсорбента.

Међу често коришћеним адсорбентима, порозна керамика на бази природних алумосиликата представља перспективан материјал за везивање различитих катјона присутних у воденим растворима [2]. Порозна керамика се дефинише као материјал са структуром саћа и порозношћу већом од 30% [3]. Развијене су различите методе за припрему порозне керамике, као што су метода реплике, метода жртвене фазе и метода директног формирања пене (директно пенење) [4]. Ове технике захтевају присуство органских једињења за формирање пора и стабилизацију суспензије, као што су порогени и везива које се уклањају термичким поступцима [5]. Употреба природних сировина има економске и еколошке предности у односу на синтетичке материјале, а природни зеолити и глине представљају значајне и широко доступне ресурсе. Директно пенење представља један од најчешће примењиваних поступака за синтезу порозне керамике. У оквиру ове методе, порозна структура се формира увођењем гаса у суспензију, при чему настају мехурићи који након очвршћавања материјала остају као поре. Алтернативни приступ директном пенењу заснива се на генерисању и инкорпорирању мехурића гаса унутар керамичке суспензије током саме хемијске реакције која се одвија у реакционом систему [4-6]. Иако описани поступци директног пенења омогућавају ефикасно обликовање контролисане порозне структуре избор полазне сировине има кључну улогу у дефинисању коначних својстава материјала. Све већа пажња посвећује се примени природних минералних сировина које поред погодности за формирање порозне структуре, поседују и изражена функционална својства.

Зеолити налазе широку примену у процесима третмана отпадних вода, пре свега захваљујући израженим адсорпционим и јоноизмењивачким својствима, доброј механичкој чврстоћи и термичкој стабилности, као и релативно ниској цени. Природни зеолити, у поређењу са синтетичким, представљају лако доступну, економичну и еколошки прихватљиву сировину за синтезу порозне керамике [7-9]. Управо ова комбинација структурних и функционалних својстава чини их посебно погодним за развој порозних керамичких материјала намењених третману отпадних вода.

Зеолити су хидратисани алумосиликати са равномерном порозношћу, високом кристаличношћу и развијеном специфичном површином. Решетка зеолита настаје повезивањем TO_4 тетраедара ($\text{T} = \text{Al}$ или Si) у тродимензионалну мрежу. Негативно наелектрисање решетке је последица делимичне супституције Si^{4+} јона Al^{3+} јонима. Електронеутралност се постиже присуством лако покретљивих катјона као што су Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и K^+ , који се смештају у канале и шупљине и могу се заменити другим јонима присутним у раствору. До данас је идентификовано више од 250 синтетичких и око 50 природних зеолита. Глине, попут монтморилонита, често се користе као неорганска везива ради постизања механичке чврстоће и структурне стабилности порозних керамичких материјала. Комбиновањем зеолита са глинама и другим компонентама могуће је добити композитне материјале са контролисаном порозношћу и задовољавајућим механичким карактеристикама. Ови материјали за третман отпадне воде најчешће се синтетишу поступком синтеровања, чиме се обезбеђује стабилизација структуре и формирање чврсте, функционалне порозне мреже погодне за примену у системима за пречишћавање воде.

Поред повољних механичких својстава, присуство зеолитне фазе у порозној керамици омогућава ефикасно уклањање јона тешких метала из водених раствора путем механизма јонске измене, адсорпције и површинског комплексирања, што овакве материјале чини перспективним за третман индустријских и комуналних отпадних вода. Квалитет природних водених ресурса, међутим, углавном зависи од присуства различитих загађивача насталих људским активностима.

Најчешћи извори загађења воде укључују органске материје, пестициде и боје, као и јоне неорганског порекла, попут фосфат-, нитрат- и амонијум-јона, јоне тешких метала Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Cr^{3+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Hg^{2+} и друге, као и радионуклиде попут ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs [10-12]. За разлику од неких других токсичних материја, тешки метали и радионуклиди нису биоразградиви због чега се акумулирају у живим организмима. У земљиште и воду доспевају као индустријски, електронски, грађевински и рударски отпад [13, 14]. Поред катјона метала, у отпадним водама врло често се јавља и амонијум јон, типичан облик азотног загађивача воде [15]. У водотокове углавном долази из индустријских и комуналних извора, као и процедних вода са депонија. Међутим, пољопривредне активности и прекомерна употреба амонијачних ђубрива такође могу изазвати акумулацију амонијака.

Имајући у виду потребу за развојем ефикасних и одрживих адсорбената за пречишћавање контаминираних вода циљ овог истраживања огледа се у синтези композитних материјала који

комбинују функционална својства природних минерала са оптимизованим процесом припреме, како би се добио нови производ високе термичке и механичке стабилности, погодан за примену у третману отпадних вода. На основу добијених резултата, очекује се да ће синтетисани адсорбенти представљати одрживо и ефикасно решење које се може интегрисати у практичне системе за пречишћавање воде.

У оквиру ове дисертације биће синтетисана порозна керамика методом директног формирања пене, уз примену водоник-пероксида као реагенса који омогућава *in situ* формирање гасне фазе у керамичкој суспензији. Користиће се природни зеолит из лежишта Сланци у околини Београда. Додатно, биће испитан утицај различитих врста глина као неорганског везива, као и улога органских везива током процеса синтезе. Такође ће се проучити како количина средства за пенење утиче на механичка својства добијеног материјала. Карактеризација синтетисаних узорака извешће се стандардним методама, укључујући рендгенску дифракцију, скенирајућу електронску микроскопију, рендгенску флуоресцентну спектроскопију, инфрацрвену спектрометрију са Фуријеовом трансформацијом, термогравиметријску анализу и одређивање специфичне површине методом адсорпције гаса. Поред тога, одредиће се и притисна чврстоћа, густина и укупна порозност.

У циљу испитивања адсорпционих својстава припремљених узорака порозне керамике одредиће се њихов капацитет за везивање одабраних катјона из водених раствора, укључујући NH_4^+ , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cs^+ и Sr^{2+} . Испитивања ће се извести у шаржном систему уз анализу утицаја различитих фактора као што су време адсорпције, температура, рН-вредност и концентрација јона у раствору. Поред тога, биће размотрена и могућност регенерације узорака и њихове поновне употребе, што је кључно за процену одрживости и практичне примене ових материјала у третману отпадних вода.

Познавање механизма адсорпције је веома важно код овакве врсте истраживања због чега ће се у овој дисертацији испитати интеракција система адсорбент - водени раствор математичким моделовањем процеса адсорпције. У ту сврху примениће се Лангмуиров, Фреундлицхов и Темкинов изотермски модел, као и кинетички модели псеудо-првог и псеудо-другог реда и Еловичев модел. Извршиће се шире поређење са зеолитима и другим порозним материјалима добијеним из различитих полазних сировина уз посебан акценат на њихову структуру, функционалност и ефикасност у адсорпцији истих јона из водених раствора [16–19].

Литература:

- [1] S.R. Dhokpande, S.M. Deshmukh, A. Khandekar, A. Sankhe, (2024). A review outlook on methods for removal of heavy metal ions from wastewater, *Separation and Purification Technology*. 350, 127868.
- [2] L. Velarde, M.S. Nabavi, E. Escalera, M.-L. Antti, F. Akhtar, (2023). Adsorption of heavy metals on natural zeolites: A review, *Chemosphere*. 328, 138508.
- [3] D.O. Obada, D. Doodoo-Arhin, M. Dauda, F.O. Anafi, A.S. Ahmed, O.A. Ajayi, (2016). Potentials of fabricating porous ceramic bodies from kaolin for catalytic substrate applications, *Applied Clay Science*. 132–133, 194.
- [4] A.R. Studart, U.T. Gonzenbach, E. Tervoort, L.J. Gauckler, (2006). Processing Routes to Macroporous Ceramics: A Review, *Journal of the American Ceramic Society*. 89, 1771.
- [5] Y. Chen, N. Wang, O. Ola, Y. Xia, Y. Zhu, (2021). Porous ceramics: Light in weight but heavy in energy and environment technologies, *Materials Science and Engineering: R: Reports*. 143, 100589.
- [6] L. Salvo, G. Martin, M. Suard, A. Marmottant, R. Dendievel, J.-J. Blandin, (2014). Processing and structures of solids foams, *Comptes Rendus Physique*. 15, 662.
- [7] T.V. Vakalova, I.B. Revva, (2022). Highly porous building ceramics based on «clay-ash microspheres» and «zeolite-ash microspheres» mixtures, *Construction and Building Materials*. 317, 125922.
- [8] Z. Tisler, J. Horacek, J. Safar, R. Velvarska, L. Peliskova, J. Kocik, Y. Gherib, K. Marklova, R. Bulanek, D. Kubicka, (2019). Clinoptilolite foams prepared by alkali activation of natural zeolite and their post-synthesis modifications, *Microporous Mesoporous Materials*. 282, 169.
- [9] O. Şan, M. Koç, H. Cengizler, (2019). Production of porous ceramic from clinoptilolite incorporating aluminum powder, *Ceramic International*. 45, 24037.
- [10] Stojisavljević P., Vulović N., Veličković Z., Mijin D., Stupar S., Dinić D., Ivanković N. (2023). Investigation on the adsorption of the carbamate pesticide methomyl from aqueous solution using modified co-beta zeolite particles. *Science of Sintering*, 55(2), 269.
- [11] X. Ma, Y. Li, D. Xu, H. Tian, H. Yang, (2022). Simultaneous adsorption of ammonia and phosphate using ferric sulfate modified carbon/zeolite composite from coal gasification slag. *Journal of Environmental*

Management. 305, 114404.

- [12] M.J. Zamzow, B.R. Eichbaum, K.R. Sandgren, D.E. Shanks, (1990). Removal of Heavy Metals and Other Cations from Wastewater Using Zeolites, *Separation Science and Technology*. 25, 1555.
- [13] P. Saravanan, V. Saravanan, R. Rajeshkannan, G. Arnica, M. Rajasimman, G. Baskar, A. Pugazhendhi, (2024). Comprehensive review on toxic heavy metals in the aquatic system: sources, identification, treatment strategies, and health risk assessment, *Environmental Research*. 258, 119440.
- [14] A. Singh, I. Kostova, (2024). Health effects of heavy metal contaminants Vis-à-Vis microbial response in their bioremediation, *Inorganica Chimica Acta*. 568, 122068.
- [15] B. Han, C. Butterly, W. Zhang, J. He, D. Chen, (2021). Adsorbent materials for ammonium and ammonia removal: A review, *Journal of Cleaner Production*. 283, 124611.
- [16] M. Lu, R. Wang, Y. Xue, L. Ren, S. Chen, J. Liu, M. Mei, T. Wang, J. Li, (2022). Eco-friendly ceramsite from dredged sediment/biomass for Pb(II) removal: Process optimization and adsorption mechanistic insights, *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 10, 108939.
- [17] H. Wi, H. Kim, D. Oh, S. Bae, Y. Hwang, (2019). Surface modification of poly(vinyl alcohol) sponge by acrylic acid to immobilize Prussian blue for selective adsorption of aqueous cesium, *Chemosphere*. 226, 173.
- [18] Y. Zhao, Y. Yang, S. Yang, Q. Wang, C. Feng, Z. Zhang, (2013). Adsorption of high ammonium nitrogen from wastewater using a novel ceramic adsorbent and the evaluation of the ammonium-adsorbed-ceramic as fertilizer, *Journal of Colloid and Interface Science*. 393, 264.
- [19] Z. Wu, Y. Fang, J. Zhou, K. Wang, B. Tan, J. Zhou, (2022). Succinic acid-assisted modification of a natural zeolite and preparation of its porous pellet for enhanced removal of ammonium in wastewater via fixed-bed continuous flow column, *Journal of Water Process Engineering*. 48, 102906.

3. Полазне хипотезе

Полазна основа овог истраживања заснива се на чињеници да третман индустријских и комуналних отпадних вода представља комплексни изазов, пре свега због присуства различитих загађујућих материја, као што су амонијум-јон, тешки метали, радионуклиди и загађујуће супстанце органског порекла. До сада познате конвенционалне методе пречишћавања воде често не обезбеђују довољну ефикасност и могу бити економски или еколошки недовољно прихватљиве. Имајући то у виду, јавила се потреба за развојем нових адсорпционих материјала који комбинују природне, економски и еколошки прихватљиве сировине са оптимизованим порозним структурама и функционалним својствима. Ова дисертација полази од хипотезе да се порозна керамика на бази природног зеолита и глина, синтетисана методом директног формирања пене може користити као ефикасан и одржив адсорбент за уклањање широког спектра јона из контаминираних водених раствора.

У складу са горе наведеним дефинисане су следеће полазне хипотезе:

- од природног зеолита и глина могуће је синтетисати порозну керамику која се може користити као адсорбент за уклањање NH_4^+ , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cs^+ и Sr^{2+} јона из воде,
- садржај водоник-пероксида утиче на укупну порозност и на механичка својства порозне керамике,
- повећање порозности директно утиче на повећање адсорпционог капацитета,
- врста глине утиче на процес синтезе порозне керамике,
- структура добијене порозне керамике утиче на њена адсорпциона својства, и то на адсорпциони капацитет везивања NH_4^+ , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cs^+ и Sr^{2+} јона, као и на степен излужења са zasiћеног адсорбента,
- синтезом порозне керамике на бази зеолита могуће је постићи ефикаснију адсорпцију,
- почетна концентрација јона у раствору, температура и рН вредност раствора утичу на процес адсорпције,
- порозна керамика на бази зеолита се може употребљавати у више циклуса адсорпције и десорпције.

4. Научне методе истраживања

Методологија овог истраживања заснива се на комбинацији теоријских анализа, лабораторијских испитивања и планираних експеримената у циљу постизања одговарајуће структуре и оптималних адсорпционих својстава синтетисане порозне керамике.

Током израде предложене докторске дисертације биће коришћене следеће методе:

- рендгенска дифракција праха (XRPD) за утврђивање кристаличности, фазног састава и структурних промена у материјалу након синтеровања,
- инфрацрвена спектрометрија са Фуријеовом трансформацијом (FTIR) за идентификацију функционалних група и праћење интеракција адсорбента и адсорбованих јона,
- термичка анализа (TG/DSC) са циљем испитивања термичке стабилности, као и одређивања карактеристичних температура фазних трансформација и оптималне температуре синтеровања,
- Архимедисова метода за одређивање отворене порозности синтерованих узорка,
- BET метода (Brunauer, Emmett i Teller) за одређивање специфичне површине узорака,
- амонијум-ацетатна метода као стандардни поступак за одређивање капацитета катјонске измене зеолита, глина и синтерованих узорака,
- скенирајућа електронска микроскопија (SEM) за анализирање морфологије, величине и расподеле пора, као и микроструктурних карактеристика порозне керамике,
- испитивање притисне чврстоће порозне керамике,
- рендгенска флуоресцентна спектроскопија (XRF) за одређивање елементног састава и концентрације метала у чврстим узорцима,
- атомска апсорпциона спектроскопија (AAS) за одређивање концентрација Pb^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} и Co^{2+} јона; масена спектрометрија са индуковано-спрегнутим плазмом (ICP-MS) за одређивање концентрације Cs^{+} и Sr^{2+} и UV/Vis спектрометрија за мерење концентрације амонијум-јона у растворима пре и после адсорпције.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани резултати истраживања у оквиру предложене докторске дисертације представљаће значајан научни допринос и основу за даља истраживања у области развоја и примене порозне керамике на бази природних алумосиликатних минерала – зеолита и глина.

Основни научни доприноси:

- развој методологије синтезе порозне керамике на бази зеолита и глина са високим адсорпционим капацитетом за везивање NH_4^{+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cs^{+} и Sr^{2+} јона, која пружа одрживо и економски исплативо решење за третман отпадних вода,
- дефинисање утицаја различитих везива и адитива на процес синтезе и формирање порозне структуре, чиме ће се извршити оптимизација састава керамичке суспензије у складу са жељеним физичко-хемијским својствима адсорбента,
- одређивање критичних параметара за механичку и термичку стабилност материјала и то укупне порозности, густине и притисне чврстоће добијене порозне керамике,
- дефинисање зависности адсорпционе ефикасности од морфолошких и структурних карактеристика порозне керамике, што ће допринети разумевању механизма интеракције између испитиваних катјона и активних центара на површини узорака,
- утврђивање метода за детаљну карактеризацију порозне керамике укључујући морфолошке, хемијске и физичке анализе, чиме ће се утврдити поступак за будућа истраживања,
- постављање основа за даље унапређење одрживих адсорпционих материјала, са могућношћу поновног коришћења у великом броју циклуса, који би допринели развоју иновативних технологија пречишћавања индустријских и комуналних отпадних вода, као и процени њихове применљивости у реалним условима.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање у оквиру ове докторске дисертације биће спроведено кроз више међусобно повезаних фаза које обухватају лабораторијски експериментални рад на развоју методологије и оптимизацији процеса синтезе порозне керамике, детаљну карактеризацију и испитивање адсорпционих својстава према одабраним катјонима из водених раствора.

Истраживање ће се одвијати у неколико фаза:

- преглед доступне литературе о адсорбентима на бази алумосиликатних минерала природног или синтетичког порекла и њиховој примени за уклањање загађујућих материја из воде, са нагласком на амонијум јон и катјоне метала,
- синтеза узорака порозне керамике и њихова детаљна карактеризација,
- испитивање адсорпционих својстава, као и могућности регенерације у циљу поновне употребе,
- испитивање механизма адсорпције анализом интеракција адсорбента и адсорбата применом математичког моделовања уз употребу различитих изотермских и кинетичких модела,
- системска обрада добијених резултата, дефинисање закључака и препорука за увођење добијених материјала у системе за пречишћавање отпадних вода.

Докторска дисертација ће бити структурисана кроз следећа поглавља: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература.

У поглављу Увод биће дефинисани предмет и циљ истраживања, представљен значај примене природних зеолита и порозне керамике на бази ових минерала у третману отпадне воде. Осим тога, биће приказани очекивани научни и практични доприноси предложене докторске дисертације, укључујући потенцијал примене развијених адсорбената у одрживим системима за пречишћавање отпадних вода.

Теоријски део докторске дисертације обухватиће систематичан преглед релевантне литературе о синтези и примени порозне керамике на бази природних зеолита и глина за везивање одабраних катјона из водених раствора, са посебним освртом на механизме адсорпције амонијум-јона и јона метала. Анализираће се интеракције између адсорбента и адсорбата, као и ограничења адсорбента у погледу ефикасности, могућности регенерације и практичне примене. Посебна пажња биће посвећена утицају порозности и физичко-хемијских својстава на адсорпциони капацитет, што ће пружити основу за развој оптимизованих материјала погодних за примену у одрживим системима за пречишћавање отпадних вода.

У Експерименталном делу дисертације биће описани коришћени материјали, лабораторијска опрема и методологија истраживања. Поглавље ће обухватити приказ синтезе порозне керамике методом директног формирања пене и испитивање адсорпционих својстава према NH_4^+ , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cs^+ и Sr^{2+} јонима. Испитаће се утицај врсте глине коришћене као неорганско везиво, присуства органских адитива, количине средства за пенење и услова синтеровања на морфологију, порозност и адсорпциони капацитет. Детаљно ће се испитати утицај температуре, рН-вредности, концентрације раствора и времена контакта на ефикасност адсорпције, као и могућност регенерације засићеног адсорбента.

У поглављу Резултати и дискусија биће приказани резултати лабораторијских испитивања и анализирана морфолошка, структурна и физичко-хемијска својства добијених материјала, као и адсорпциони капацитет према циљаним јонима. Приказаће се резултати добијени изотермским и кинетичким моделовањем експериментално добијених података на основу којих ће бити дефинисани оптимални услови синтезе, оправданост примене и могућност регенерације порозних адсорбената.

У Закључку ће бити сумирани најзначајнији резултати истраживања, истакнути научни и практични доприноси докторске дисертације и дате препоруке за примену добијених материјала у одрживим и економски исплативим системима за третмана отпадне воде.

Поглавље Литература ће обухватити све референце цитиране у докторској дисертацији, као и научне радове проистекле из истраживања спроведених у оквиру ове докторске дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу података о досадашњем раду и постигнутим резултатима, Комисија сматра да кандидат Денис Динић, мастер инжењер технологије, испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. Такође, на основу наведених података, Комисија сматра да је предложена тема докторске дисертације Дениса Динића под називом „Развој порозне керамике на бази природних зеолита и глина за уклањање одабраних катјона из раствора“ научно заснована и да ће резултати овог рада представљати значајан научни допринос научној области хемијског инжењерства. Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да кандидату Денису Динићу одобри израду докторске дисертације под наведеним насловом.

Такође, Комисија предлаже да се упути захтев Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Хемијско инжењерство, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. За ментора се предлаже др Сања Јевтић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

У Београду,
27. фебруар 2026. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Сања Јевтић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Жељко Камберовић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Ђорђе Вељовић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Јелена Дикић, виши научни сарадник
Иновациони центар Технолошко-металуршког факултета, Београд

.....
Др Зоран Анђић, научни саветник
Иновациони центар Хемијског факултета, Београд