

Образац 3.

Факултет ТЕХНОЛОШКО-
МЕТАЛУРШКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

2026 - 35/288

Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

9. 7. 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:

**Зелена синтеза наночестица цинк-оксида и биоугљених композита на бази цинк-оксида
коришћењем екстракта из плода *Pimpinella anisum* L.**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Инжењерство заштите животне средине

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

Милица (Милорад) Мишић

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: 2023.

4. Година уписа на докторске студије: 2023.

5. Назив студијског програма докторских студија:

Инжењерство заштите животне средине

6. Датум подношења пријаве теме докторске дисертације:

11. 6. 2026.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

за кандидата **Милица Мишић**

Име и презиме ментора: **др Маја Ђолић**

Звање: доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Agilee, N., Spasojević, T., Delić, M., Ogrizović, Đ., Gria, I., Prlainović, N., **Ђолић, М.** (2024). Hazelnut shells as a tenable biosorbent for Basic Red 18 azo dye removal. *Separations*, 11, 343. (IF=2.5) (ISSN: 2297-8739) (<https://doi.org/10.3390/separations11120343>)
2. . Spasojević, Tijana; Ћujić, Mirjana; Marjanović, Vesna; Veličković, Zlate; Kokunešoski, Maja; Perić-Grujić, Aleksandra; **Ђолић, Маја**. Mineral Heterostructures for Simultaneous Removal of Lead and Arsenic Ions, *Separations*, 2024, Vol. 11, broj 11, str. 324, IF(2023)=2,5. ISSN: 2297-8739. <https://doi.org/10.3390/separations11110324>
3. Nataša Karić, Alexandra S. Maia, Ana Teodorović, Nataša Atanasova, Guenter Langergraber, Grégorio Crini, Ana R.L. Ribeiro, **Маја Ђолић**, Bio-waste valorisation: Agricultural wastes as biosorbents for removal of (in)organic pollutants in wastewater treatment, *Chemical Engineering Journal Advances*, Elsevier, 2022, Volume 9, 15 March 2022, 100239. IF(2023)=5,5, ISSN: 2666-8211. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.100239>
4. Vesna Marjanović, Radmila Marković, Mirjana Steharnik, Silvana Dimitrijević, Aleksandar D. Marinković, Aleksandra Perić-Grujić, **Маја Ђолић**. Lignin Microspheres Modified with Magnetite Nanoparticles as a Selenate Highly Porous Adsorbent, *International Journal of Molecular Science*, 2022, 23(22), 13872; IF(2022)=5,6, ISSN: 1661-6596. <https://doi.org/10.3390/ijms232213872>
5. Ana L. Popović, Zlate Velicković, Zeljko Radovanović, **Маја Ђолић**, Vladimir Pavlović, Aleksandar D. Marinković, Jelena D. Gržetić, Hybrid amino-terminated lignin microspheres loaded with magnetite and manganese oxide nanoparticles: An effective hazardous oxyanions adsorbent, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 10, Issue 3, June 2022, 108009, IF(2022)=7,7, ISSN: 2213-2929 <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108009>

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ 2:

за кандидата **Милица Мишић**

Име и презиме ментора: **др Александар Јовановић**

Звање: научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Jovanović, A.**, Dimitrijević, J., Čutović, N., Kovač, J., Marković, T., & Petrović, J. (2026). Biosourced *Paeonia tenuifolia* L. petal-adsorbent for Pb²⁺ and methyl violet dye removal: kinetical, isothermal and reusability assays. *Journal of Environmental Management*, 404, 129601., IF(2024)= 8,4 ;ISSN 0301-4797 , <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2026.129601>.
2. **Jovanović, A.**, Bugarčić, M., Petrović, J., Simić, M., Žagar Soderžnik, K., Kovač, J., & Sokić, M. (2025). Thermally Activated Composite Y₂O₃-bTiO₂ as an Efficient Photocatalyst for Degradation of Azo Dye Reactive Black 5. *Molecules*, 31(1), 8., IF(2024)= 4,6; ISSN 1420-3049, <https://doi.org/10.3390/molecules31010008>.
3. Petrović, J., Ercegović, M., Simić, M., Koprivica, M., Dimitrijević, J., **Jovanović, A.**, & Janković Pantić, J. (2024). Hydrothermal carbonization of waste biomass: a review of hydrochar preparation and environmental application. *Processes*, 12(1), 207., IF(2023)=2.8; ISSN 2227-9717, <https://doi.org/10.3390/pr12010207>.
4. **Jovanović, A.**, Bugarčić, M., Sokić, M., Barudžija, T., Pavićević, V., & Marinković, A. (2024). Photodegradation of thiophanate-methyl under simulated sunlight by utilization of novel composite photocatalysts. *Hemijska industrija*, 78(3), 227-240., IF (2023) = 0,9; ISSN 2217-7426, <https://doi.org/10.2298/HEMIND230523004J>.
5. **Jovanović, A.**, Stevanović, M., Barudžija, T., Cvijetić, I., Lazarević, S., Tomašević, A., & Marinković, A. (2023). Advanced technology for photocatalytic degradation of thiophanate-methyl: Degradation pathways, DFT calculations and embryotoxic potential. *Process Safety and Environmental Protection*, 178, 423-443., IF (2023) = 7,8; ISSN 0957-5820; <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.08.054>.

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

Проф. др Мирјана Кијевчанин

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 9. 7. 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

ДП

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 33. Правилника о докторским студијама ТМФ-а на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 9. 7. 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 **Милице Мишић, број индекса 2023/4011, под називом: „Зелена синтеза наночестица цинк-оксида и биоугљених композита на бази цинк-оксида коришћењем екстракта из плода *Pimpinella anisum* L. ”.**

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

За менторе се одређују др Маја Ђолић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Александар Јовановић, научни сарадник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, менторима, 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 кандидаткиње Милице Мишић, мастер инжењера технологије

Одлуком бр. 2026/35-219 од 11. јуна 2026. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње Милице Мишић под насловом „Зелена синтеза наночестица цинк-оксида и биоугљених композита на бази цинк-оксида коришћењем екстракта из плода *Pimpinella anisum* L.“.

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

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Милица Мишић, рођена је 10. јула 1998. године у Београду, где је завршила основну школу и Техничку школу за дизајн коже, смер техничар за заштиту животне средине, као носилац дипломе „Вук Караџић“. Основне академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, уписала је школске 2017/2018 године на Катедри за инжењерство заштите животне средине, а дипломирала је 2022. године, са просечном оценом 8,18, одбравивши завршни рад на тему „Одређивање брзине нитрификације и денитрификације при биолошком уклањању азота из отпадних вода“ под менторством проф. др Драгана Повреновића са оценом 10. Мастер академске студије на истом факултету и студијском програму завршила је 2023. године, одбравивши завршни мастер рад под називом „Примена нитрификације у пречишћавању индустријских отпадних вода са високим садржајем азотних једињења“, такође под менторством проф. др Драгана Повреновића са оценом 10, и остварила општи успех са просечном оценом 9,00. По завршетку мастер студија, уписала је докторске академске студије школске 2023/2024 године на Катедри за инжењерство заштите животне средине Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду. Област истраживања кандидаткиње је инжењерство заштите животне средине. Током докторских студија учествовала је на више научних конференција међународног и националног значаја, а била је и члан организационог одбора међународне конференције „6th Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe (MMESEE)“, одржане у Требињу, Босна и Херцеговина, 2025. године. Кандидаткиња говори и пише енглески језик.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Милица Мишић је у оквиру докторских академских студија, положила све испите предвиђене студијским програмом, са просечном оценом 9,78. У новембру 2023. године стиче звање истраживач-приправник и заснива радни однос у Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина (ИТНМС) у Београду. Њена истраживања у сектору за металуршку технологију и заштиту животне средине, под менторством др Александра Јовановића, научног сарадника Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, фокусирана су на синтезу и карактеризацију

наноматеријала на бази титанијум-диоксида и цинк-оксида, са акцентом на њихову примену у унапређеним оксидационим процесима за пречишћавање отпадних вода. У септембру 2025. године, одбранила је завршни испит под називом „Фотокаталитичко уклањање органских загађујућих материја из отпадних вода применом фотокатализатора на бази цинк-оксида добијеног из биобазираних извора“ са оценом 10, пред комисијом у саставу: др Ивана Матић Бујагић, доцент, др Драган Повреновић, ред. проф. и др Владимир Павићевић, ван. проф.

Ангажована је на билатералном пројекту са Словачком Републиком: „Advanced photocatalytic leaching of chalcopyrite – APLEACH“ за период 2026-2027, под руководством др Александра Јовановића (ИТНМС).

Списак положених испита и остварених бодова у оквиру докторских академских студија:

Редни број	Предмет	Оцена	ЕСПБ
1.	Масена спектрометрија у заштити животне средине	10	6
2.	Одабрана поглавља нумеричке анализе	10	6
3.	Одабрана поглавља технологије воде	10	7
4.	Методологија научно-истраживачког рада	9	5
5.	Одабрана поглавља моделовања загађења ваздуха	9	7
6.	Одабрана поглавља инструменталне анализе	10	7
7.	Одабрани мембрански и напредни оксидациони процеси	10	5
8.	Индустријска екологија	10	7
9.	Докторска дисертација – научно истраживачки рад 1	ОД	25
10.	Докторска дисертација – уводни семинари и научно истраживачки рад 1	ОД	5
11.	Докторска дисертација – уводни семинари и научно истраживачки рад 2	ОД	5
12.	Израда докторске дисертације 1	ОД	5
13.	Завршни испит	10	30
Средња оцена/Укупно бодова:		9,78	120

*ОД - одбрањено

Милица Мишић је аутор или коаутор једног рада у међународном часопису категорије М22, једног рада објављеног у водећем националном часопису категорије М24, пет саопштења са међународног скупа штампаног у целини (М33), осам саопштења са међународних скупова штампаних у изводу (М34), два рада у домаћем часопису који се први пут категоризује (М54) и седам саопштења са скупова националног значаја штампаних у целини (М64).

Милица Мишић је као аутор или коаутор до сада учествовала у изради укупно 24 научних публикација. Из области истраживања којој припада предложена тема докторске дисертације, кандидаткиња је аутор и коаутор 15 научних публикација. У наставку је дат списак објављених радова у вези са докторском дисертацијом.

Рад у међународном часопису категорије М22:

1. Jovanović A., **Mišić M.**, Vuković N., Stojanović J., Sokić, M. (2025). Photocatalytic activity of novel obtained biobased mandarin peels/TiO₂ particles toward textile dye. *Science of Sintering* (Online First). (IF=1,3), ISSN: 1820-7413, <https://doi.org/10.2298/SOS250619034J>

Рад у водећем националном часопису категорије М24:

1. Dimitrijević J., Jevtić S., Simić M., Koprivica M., Jovanović A., **Mišić M.**, Petrović J. (2024). Turning Agricultural Waste into a Powerful Solution: Enhanced Lead Removal via Chemically Modified Oat Straw. *Lekovite Sirovine*, 44(1), 1–7. ISSN: 2560-3965, <https://doi.org/10.61652/leksi2444011D>

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33):

1. Bugarčić M., Jovanović A., **Mišić M.**, Milivojević M., Knežević N., Bošnjaković J., Sokić M., (2024). Removal of methyl orange using layered double hydroxide originated from spent acid liquor. Book of Abstracts, Karličić N., Obradović M., Stanojević M., Jovović A. (Eds.), *Processing '24 - 37. Međunarodni kongres o procesnoj industriji*, May 29th-31st, Belgrade, Serbia, pp. 320-326, ISBN: 978-86-85535-18-5
2. **Mišić M.**, Jovanović A., Vuković N., Anđić D., Mikavica I., Sokić M. (2025). Determination of the morphology of TiO₂ particles obtained by green synthesis using waste biomass. Book of Abstracts, Manojlović V., Jovanović G., Jovanović A. (Eds.), *6th Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe*, June 4-7th, Bosnia and Herzegovina, pp. 271-276, ISBN: 978-86-87183-34-6, doi.org/10.30544/MMESEE87
3. Lopičić Z., Antanasković A., Milojković J., Adamović V., **Mišić M.**, Janjićijević A., Šoštarić T., (2025). Physicochemical characterization and stability of biochars intended to be applied as soil amendments. Book of Abstracts, Manojlović V., Jovanović G., Jovanović A. (Eds.), *6th Metallurgical & Materials Engineering Congress of South-East Europe*, June 4-7th, Bosnia and Herzegovina, pp. 200-204, ISBN: 978-86-87183-34-6, doi.org/10.30544/MMESEE54

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34):

1. **Mišić M.**, Bugarčić M., Jovanović A., Pavićević V., Povrenović D., (2024). Treatment of industrial wastewater with a high content of nitrogen compounds in the simultaneous nitrification and denitrification system. Book of Abstracts, Marco A., Rubio I., Sáez C., Zapater C., Canals A., Vidal L. (Eds.), *24th European Meeting on Environmental Chemistry*, November 26th-29th, Alicante, Spain, pp.195-195
2. Jovanović A., Bugarčić M., **Mišić M.**, Knežević N., Vuković N., Sokić M., Pavićević V. (2024). Novel photocatalyst for advanced photocatalytical degradation of methyl orange. Book of Abstracts, Marco A., Rubio I., Sáez C., Zapater C., Canals A., Vidal L. (Eds.), *24th European Meeting on Environmental Chemistry*, November 26th-29th, Alicante, Spain, pp. 200-200
3. Jovanović A., Sokić M., **Mišić M.**, Simić M., Bugarčić M., (2025). Structural and morphological properties of Y-TiO₂. Book of Abstracts, Bikić F. (Ed.), *15th Scientific/Research Symposium with International Participation „METALLIC AND NONMETALLIC MATERIALS“* 24-25th April, Bosnia and Herzegovina, pp. 6, ISSN: 2566-4352
4. **Mišić M.**, Jovanović A., Dimitrijević J., Tomašević A., Sokić M., (2025). Photocatalytic degradation of methyl violet dye using ZnO. Book of Abstracts, Pašti I. & Dobrota A. (Eds.), *5th International Meeting on Materials Science for Energy Related Applications*, 25-26th of September, Belgrade, Serbia, pp 127-128, ISBN: 978-86-82139-96-6
5. Jovanović A., **Mišić M.**, Mikavica I., Dimitrijević J., Obradović M., Koprivica M., Sokić M. (2025). Waste peels as source for greener materials: Treatment of dye wastewater. Book of Abstracts, Belanović Simić S., & Stajić B. (Eds.), *Serbian-Chinese Forestry Forum "Forests for the Future: Challenges, Opportunities and Integrated Approaches"*, December 10-12th, Belgrade, Serbia, ISBN: 978-86-7299-389-9

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63):

1. **Mišić M.**, Jovanović A., Bugarčić M., (2024). Modelovanje disperzije azotnih jedinjenja u površinskim vodama prilikom akcidentnih situacija. Knjiga izvoda, Kerkez Đ., Rađenović D., Tomašević Pilipović D. (Ured.), *11. Memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine „Docent dr Milena Dalmacija“ 2024*, 1-4. april, Novi Sad, Srbija, str. 37-42, ISBN: 978-86-7031-664-5.
2. Jovanović A, Bugarčić M., **Mišić M.**, Anđić D., Sokić M., Pavićević V. (2024). Potencijal primene procesa fotokatalize u tretmanu industrijskih otpadnih voda. Knjiga izvoda, Vlahović B. (Ured.), *45. međunarodna konferencija „Vodovod i kanalizacija '24“*, 08-11. oktobar, Kopaonik, Srbija, str. 411-420, ISBN: 978-86-82563-30-3
3. **Mišić M.**, Jovanović A., (2025). Rudničke vode: Uticaj na životnu sredinu i inovativne metode tretmana. Knjiga izvoda, Kerkez Đ., Rađenović D., Tomašević Pilipović D. (Ured.), *12. Memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine „Docent dr Milena Dalmacija“*, 1-4. april, Novi Sad, Srbija, str. 54-59, ISBN: 978-86-7031-712-3

4. Jovanović A., **Mišić M.**, Dimitrijević J., Anđić D., Stojanović M., Petrović J., Sokić M., (2025). Fotokatalizovano uklanjanje katjonske boje iz otpadnih voda tekstilne industrije. Knjiga izvoda, Đurkić A. (Ured.), 46. *Međunarodna konferencija Vodovod i kanalizacija '25*, 7-10. oktobar, Borsko jezero, Srbija, str. 311-315, ISBN: 978-86-82563-34-1
5. Jovanović A., **Mišić M.**, Stojanović M., Anđić D., Vujović N., Dimitrijević J., Sokić M. (2025). Adsorptivno uklanjanje kritičnih elemenata iz rudničkih otpadnih voda. Knjiga izvoda, Ignjatović M. (Ured.), 16. *simpozijum sa međunarodnim učešćem "Rudarstvo 2025"*, vol. 16 str. 58-65, ISBN: 978-86-80420-29-5, DOI: 10.30544/rudar45

1.3. Оцена оспособљености кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег рада и постигнутих резултата током докторских академских студија и у оквиру научноистраживачког рада, комисија оцењује да је Милица Мишић показала мотивацију, професионалност, експедитивност и способност за бављење научноистраживачким радом. У току експерименталног рада, показала је велику одговорност у реализацији истраживања у области инжењерства заштите животне средине као и обради добијених резултата, нарочито у области пречишћавања отпадних вода загађених органским и неорганским загађујућим материјама. Комисија из свега наведеног оцењује да је Милица Мишић, мастер инж. технологије, показала висок степен самосталности и способност за обављање научноистраживачког рада, те да је подобна за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Савремени проблеми загађења вода условљени су, између осталог, и присуством различитих органских загађујућих материја које потичу из отпадних индустријских и комуналних струја, а које услед непрестаног раста популације и индустријализације доспевају у природне водотокове. Ове супстанце су често перзистентне, склоне биоакумулацији и веома токсичне за човека, биљке и водене организме, при чему могу изазвати тератогене, канцерогене и мутагене ефекте. Конвенционалне методе пречишћавања воде често нису довољно ефикасне за њихово ефикасно уклањање, што је подстакло потребу за развојем унапређених и одрживијих хибридних процеса и решења. У том контексту, комбинација техника адсорпције и хетерогене фотокатализе издвојила се као посебно обећавајућа стратегија, јер обједињује најбоље карактеристике оба присупа. У процесу хетерогене фотокатализе, наночестице фотокатализатора апсорбују зрачење, при чему долази до генерисања реактивних парова електрон-шупљина, који затим учествују у оксидо-редукционим реакцијама са молекулама загађујућих материја адсорбованим на површини посматраног фотокатализатора. Адсорпција има улогу у повећању ефикасности фотокатализе, захваљујући великом односу површине и запремине, јер обезбеђује интензивиране интеракције између молекула загађујућих материја и реактивних група на површини наночестица фотокатализатора, што је основни предуслов за њихову деградацију.

Цинк-оксид је један од најчешће коришћених полупроводничких материјала у хетерогеној фотокатализи, захваљујући његовој хемијској и биолошкој стабилности, нерастворљивости у води, великој специфичној површини, нетоксичности, приступачној цени, антимикробној активности и изузетној фотокаталитичкој активности. Његовом употребом могуће је оксидовати различите органске загађујуће материје из воде. Међутим, постоје ограничења у вези са његовом применом: велики енергетски процеп, висока стопа рекомбинације реактивних парова електрон/шупљина, склоност ка фотокорозији, могућност агрегације честица, што може знатно допринети смањењу укупне ефикасности процеса. Поред тога, синтеза цинк-оксида физичким и хемијским методама изискује скупу опрему, специфичне реакционе услове, рад на високим температурама и притиску, велику потрошњу енергије, употребу токсичних хемикалија, итд.

Како би се превазишли ови проблеми, последњих година све више расте интересовање за новим материјалима за хетерогену фотокатализу са побољшаним карактеристикама. Посебан допринос развоју ове технологије има примена зелене синтезе наночестица. Основни принципи зелене синтезе подразумевају смањење настанка отпада, коришћење мање токсичних хемикалија и растварача, као и примену обновљивих сировина.

Биљни екстракти природно богати различитим фитохемикалијама (полифенолима, флавоноидима, сапонинима, алкалоидима, терпеноидима, фенолима, кетонима, итд.) користе се као донори електрона за редукцију металних јона и/или неутрализацију слободних радикала, али и као средства

за стабилизацију, која спречавају агрегацију наночестица. Тренутно, најчешће коришћена зелена метода синтезе је контролисана преципитација. Раствор прекурсора се контролисано меша са биљним екстрактом, а реакциони параметри се пажљиво прате (температура, време реакције, концентрација екстракта, брзина мешања, рН, итд.). Издвајање талога је први показатељ формирања наночестица. Након филтрације и сушења, добијени прах се калцинише у циљу добијања кристалних наночестица. Током калцинације материјала на одређеним температурама, органске материје пореклом из биљног екстракта испаравају, што може допринети формирању порозније структуре и повећању специфичне површине материјала. Додатно, може доћи до настанка кисеоничних празнина у кристалној структури материјала, што може допринети смањењу енергетског процепа и бољој апсорпцији видљиве светлости. Услови жарења (температура, време, додатак помоћних хемикалија за синтеровање), значајно утичу на њихову кристалну структуру, величину кристалита и морфологију. Ове промене се директно одражавају на фотокаталитичку активност материјала.

Екстракти такође значајно утичу на морфологију, величину честица, порозност, као и на стабилност синтетисаних наночестица, при чему ова својства у великој мери зависе од врсте биљке и састава коришћеног екстракта, с обзиром на то да различите биљке садрже различите врсте и концентрације фитохемикалија. Поред тога, састав екстракта зависи и од методе екстракције корисних компонената и методе сушења биомасе.

Предности зелене синтезе су: (1) избегавање или смањење употребе токсичних хемикалија, (2) једноставност примене, (3) извођење на умереним, амбијенталним условима, а као резултат добијају се стабилне наночестице са високом фотокаталитичком активношћу.

Предмет истраживања у предложеној докторској дисертацији је синтеза фотокатализатора на бази наночестица цинк-оксида и испитивање њихових фотокаталитичких перформанси за уклањање органских загађујућих материја из воде које се конвенционалним методама третмана не могу ефикасно уклонити (попут боја, пестицида, фармацеутика, вештачких заслађивача). Синтетисаће се наночестични прах цинк-оксида употребом екстракта плода биљке *Pimpinella anisum* L. и композити на бази цинк-оксида и биочађи добијене пиролизом преосталог дела биљке након екстракције. Као извор зрачења биће коришћена лампа која симулира природно Сунчево зрачење. Како би се испитао утицај методе екстракције (мацерација, микроталасна и ултразвучна екстракција) на синтезу наночестица, екстракт *Pimpinella anisum* L. ће се добити применом екстракција чврсто-течно уз коришћење дејонизоване воде, метанола и њихове смеше као растварача.

Фотокатализатор ће бити припремљен методом контролисане ко-преципитације уз коришћење соли цинка као прекурсора ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ и $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) и екстракта плода биљке *Pimpinella anisum* L. раствореног у води. Избор лековите биљке заснован је на високом садржају *trans*-анетолу у њеном екстракту, као и присуству других биолошки активних једињења са израженим антиоксидативним и антимикробним својствима, која могу имати значајну улогу у процесу зелене синтезе, у формирању наночестица и њиховој стабилизацији.

Приликом синтезе, варираће се следећи параметри у циљу оптимизације: 1) концентрација екстракта (редукционог агенса), 2) концентрација соли метала, 3) рН вредност, 4) време реакције, 5) брзина мешања и 6) температура.

У оквиру планиране докторске дисертације, истраживање ће бити усмерено на развој еколошки прихватљивих и одрживих метода синтезе наночестица цинк-оксида уз примену биљних екстраката *Pimpinella anisum* L., и искоришћење преостале биомасе након екстракције за добијање биочађи и синтезу нанокомпозитног материјала на бази цинк-оксид/биочађ. Формирањем нанокомпозита цинк-оксид/биочађ, очекује се побољшање фотокаталитичких својстава материјала услед повећања специфичне површине, боље адсорпције полутаната и смањења енергетског процепа чиме се омогућава коришћење и видљивог дела спектра за активацију фотокатализатора и успорава рекомбинација реактивних парова електрон/шупљина. Примена видљиве светлости ради активације нанокомпозита има позитиван економски аспект, јер се за активацију потенцијално може користити Сунчево зрачење и избећи коришћење UV зрачења. Коришћење отпадног биљног материјала након екстракције повећава еколошку одрживост процеса.

Циљ је добијање материјала са унапређеним фотокаталитичким перформансама и процена његове ефикасности и потенцијала за будућу примену у третману отпадних вода. Експерименти ће бити усмерени на испитивање фотодеградације различитих класа органских загађујућих материја, варирањем операционих параметара као што су: (1) концентрација фотокатализатора, (2) почетна концентрација посматраног полутанта, (3) време озрачивања и (4) утицај ометајућих једињења. Поред тога, битан правац испитивања односиће се и на процену антимикробне активности припремљених материјала, као и поређење екотоксиколошког потенцијала раствора пре и након третмана у циљу

процене њиховог утицаја на живе организме. Посебан фокус биће на поређењу перформанси термички модификованог комерцијалног цинк-оксида и материјала синтетисаних зеленим путем, ради процене њиховог потенцијала за примену у пречишћавању отпадних вода.

До сада је у литератури посвећено доста пажње деградацији и уклањању различитих боја из водених раствора, у односу на деградацију других органских загађујућих материја. Из тог разлога, главни циљ ове докторске дисертације биће деградација различитих класа органских загађујућих материја попут пестицида, фармацеутика и вештачких заслађивача који се најчешће детектују у отпадним водама, а деградација катјонске и анјонске боје (метил виолет и метил оранж), служиће као модел за поређење са доступном литературом.

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

1. Adeyemi, J. O., Oriola, A. O., Onwudiwe, D. C., & Oyediji, A. O. (2022). Plant Extracts Mediated Metal-Based Nanoparticles: Synthesis and Biological Applications. In *Biomolecules* (Vol. 12, Issue 5). MDPI. <https://doi.org/10.3390/biom12050627>
2. Akinawo, S. O., & Ediagbonya, T. F. (2025). Advances on modification of photocatalyst for degradation/removal of organic pollutants from water. *Cleaner Chemical Engineering*, 11, 100176. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2025.100176>
3. Aldaghri, O. (2025). Efficient photocatalytic degradation of indigo carmine dye by CoFe₂O₄@g-C₃N₄ nanocomposite. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 10(4). <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2025.100988>
4. An, Z., Sánchez-Montes, I., Chelme-Ayala, P., Chen, C., & Gamal El-Din, M. (2024). Efficient degradation of naphthenic acids in water using a sustainable engineered biochar/ZnO composite under simulated solar light. *Chemical Engineering Journal*, 489. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.151308>
5. Anik, A. B., Hossen Akash, M., Alam, M. A., Alam, M. Z., Sarker, D., & Sultana, N. (2025). Green synthesis of ZnO nanoparticles using *Justicia adhatoda* for effective photocatalytic degradation of methylene blue dye. *RSC Advances*, 15(54), 45874–45888. <https://doi.org/10.1039/D5RA06656E>
6. Ghosh, A., Saleh-e-In, M. M., Abukawsar, M. M., Ahsan, M. A., Rahim, M. M., Bhuiyan, M. N. H., Roy, S. K., & Naher, S. (2019). Characterization of quality and pharmacological assessment of *Pimpinella anisum* L. (Anise) seeds cultivars. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(4), 2672–2685. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00188-3>
7. Gonçalves, M. G., da Silva Veiga, P. A., Fornari, M. R., Peralta-Zamora, P., Mangrich, A. S., & Silvestri, S. (2020). Relationship of the physicochemical properties of novel ZnO/biochar composites to their efficiencies in the degradation of sulfamethoxazole and methyl orange. *Science of the Total Environment*, 748. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141381>
8. Hosny, M., Fawzy, M., & Eltaweil, A. S. (2022). Green synthesis of bimetallic Ag/ZnO@Biochar nanocomposite for photocatalytic degradation of tetracycline, antibacterial and antioxidant activities. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11014-0>
9. Hussain, R. T., Hossain, M. S., & Shariffuddin, J. H. (2024). Green synthesis and photocatalytic insights: A review of zinc oxide nanoparticles in wastewater treatment. In *Materials Today Sustainability* (Vol. 26). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2024.100764>
10. Ijaz, I., Gilani, E., Nazir, A., & Bukhari, A. (2020). Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles. In *Green Chemistry Letters and Reviews* (Vol. 13, Issue 3, pp. 59–81). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/17518253.2020.1802517>
11. Jing, H., Ji, L., Wang, Z., Guo, J., Lu, S., Sun, J., Cai, L., & Wang, Y. (2021). Synthesis of ZnO nanoparticles loaded on biochar derived from *Spartina alterniflora* with superior photocatalytic degradation performance. *Nanomaterials*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/nano11102479>
12. Leichtweis, J., Silvestri, S., & Carissimi, E. (2020). New composite of pecan nutshells biochar-ZnO for sequential removal of acid red 97 by adsorption and photocatalysis. *Biomass and Bioenergy*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105648>
13. Mankomal, Kaur, H., & Roy, T. (2024). Sustainable removal of organic pollutants using biochar based ZnO composites: Experimental and theoretical studies of remediation process. *Surfaces and Interfaces*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.surf.2024.104399>
14. Natrayan, L., Janardhan, G., Nadh, V. S., Srinivas, C., Kaliappan, S., & Velmurugan, G. (2024). Eco-friendly zinc oxide nanoparticles from *Moringa oleifera* leaf extract for photocatalytic and

- antibacterial applications. *Clean Technologies and Environmental Policy*.
<https://doi.org/10.1007/s10098-024-02814-1>
15. Pare, B., Barde, V. S., Solanki, V. S., Agarwal, N., Yadav, V. K., Alam, M. M., Gacem, A., Alsufyani, T., Ben Khedher, N., Park, J. W., Park, S., & Jeon, B. H. (2022). Green Synthesis and Characterization of LED-Irradiation-Responsive Nano ZnO Catalyst and Photocatalytic Mineralization of Malachite Green Dye. *Water (Switzerland)*, 14(20).
<https://doi.org/10.3390/w14203221>
 16. Petrauskienė, J., Onoriode-Afunzie, M.-A. O., & Šulčiūtė, A. (2025). Temperature-dependent synthesis of ZnO: effects on photoelectrochemical performance. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. <https://doi.org/10.1007/s10973-025-14716-5>
 17. Quy, B. M., Thu, N. T. N., Xuan, V. T., Hoa, N. T. H., Linh, N. T. N., Tung, V. Q., Le, V. T. T., Thao, T. T., Ngan, N. T. K., Tho, P. T., Hung, N. M., & Ha, L. T. (2025). Photocatalytic degradation performance of a chitosan/ZnO-Fe₃O₄ nanocomposite over cationic and anionic dyes under visible-light irradiation. *RSC Advances*, 15(3), 1590–1603. <https://doi.org/10.1039/d4ra08262a>
 18. Radulescu, D. M., Surdu, V. A., Fica, A., Fica, D., Grumezescu, A. M., & Andronescu, E. (2023). Green Synthesis of Metal and Metal Oxide Nanoparticles: A Review of the Principles and Biomedical Applications. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 24, Issue 20). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ijms242015397>
 19. Raghav, S., Chavda, V., Yadav, A., Mansi, G., Raghav, J., Jain, P., & Kumar, D. (2025). Advanced MOF-based materials for adsorptive and photocatalytic removal of emerging organic pollutants from wastewater. In *Applied Materials Today* (Vol. 46). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.apmt.2025.102865>
 20. Ramasubramanian, A., Selvaraj, V., Chinnathambi, P., Hussain, S., Ali, D., Kumar, G., Balaji, P., & Sagadevan, S. (2023). Enhanced photocatalytic degradation of methylene blue from aqueous solution using green synthesized ZnO nanoparticles. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(18), 17271–17282. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04992-2>
 21. Ranjbari, A., Kim, J., Kim, J. H., Yu, J., Demeestere, K., & Heynderickx, P. M. (2023). Enhancement of commercial ZnO adsorption and photocatalytic degradation capacity of methylene blue by oxygen vacancy modification: Kinetic study. *Catalysis Today*, 413–415.
<https://doi.org/10.1016/j.cattod.2022.12.007>
 22. Saidani, A., Boudraa, R., Fendi, K., Benouadah, L., Benabbas, A., Djermoune, A., Salvestrini, S., Bollinger, J. C., Alayyaf, A. A., & Mouni, L. (2025). Effect of Calcination Temperature on the Photocatalytic Activity of Precipitated ZnO Nanoparticles for the Degradation of Rhodamine B Under Different Light Sources. *Water (Switzerland)*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/w17010032>
 23. Tharayil, J. M., Chinnaiyan, P., Ramasamy, B., & Sathasivan, A. (2025). Biogenic synthesis of Cu/ZnO functionalized biochar composite: A sustainable approach for visible light-photocatalytic degradation. *Environmental Technology and Innovation*, 39.
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104337>
 24. Vasiljevic, Z., Vunduk, J., Bartolic, D., Miskovic, G., Ognjanovic, M., Tadic, N. B., & Nikolic, M. V. (2024). An Eco-friendly Approach to ZnO NP Synthesis Using *Citrus reticulata* Blanco Peel/Extract: Characterization and Antibacterial and Photocatalytic Activity. *ACS Applied Bio Materials*, 7(5), 3014–3032. <https://doi.org/10.1021/acsabm.4c00079>

3. Полазне хипотезе

Основне хипотезе које се могу издвојити као полазна основа за започињање научноистраживачког рада у оквиру ове дисертације су следеће:

- Биљни екстракти плода *Pimpinella anisum* L. могу успешно да делују као агенси у зеленој синтези наночестица цинк-оксида, захваљујући присутним фитохемикалијама које делују као редукциона и стабилизациона средства;
- Метода екстракције биљног материјала утиче на хемијски састав екстракта, а самим тим и на процес формирања наночестица цинк-оксида и својства добијених честица (морфологију, структуру, степен агрегације);
- Термичка обрада комерцијалног цинк-оксида утиче на његову кристалну структуру и морфологију, што се одражава на фотокаталитичку активност;
- Могуће је користити отпадну биомасу након екстракције за синтезу композита цинк-оксид/биочађ;

- Зелено синтетисани материјали на бази цинк-оксида успешно могу да се примене као фотокатализатори за деградацију циљаних органских загађујућих материја;
- Синергијски ефекат нанокмпозита цинк-оксид/биочађ побољшава ефикасност деградације органских загађујућих материја;
- Добијеним зелено синтетисаним фотокатализаторима и нанокмпозитима се помера праг апсорпије из UV области ка видљивом делу спектра, што омогућава коришћење природног Сунчевог зрачења као извора зрачења;
- Зелено синтетисани цинк-оксид материјали и пратећи екстракти показују антимикробно дејство;
- Претпоставља се да ће екотоксиколошки тестови на изабраном организму потврдити високу токсичност почетних раствора одабраних загађујућих материја, док ће након фотокаталитичке деградације доћи до значајног смањења екотоксичности.

4. Научне методе истраживања

Синтеза материјала

- Термичка активација комерцијалног цинк-оксида на различитим температурама;
- Припрема биљних екстраката плода *Pimpinella anisum* L. различитим методама екстракције (мацерација, микроталасна и ултразвучна екстракција);
- Зелена синтеза наночестица цинк-оксида, методом контролисане преципитације применом припремљених екстраката;
- Пиролитичко добијање биочађи из заостале биомасе;
- *In situ* синтеза нанокмпозита цинк-оксид/биочађ, од праха цинк-оксида добијеног претходно оптимизованом зеленом синтезом и отпадне биомасе термичким третманом трансформисане у биочађ.

Структурна карактеризација материјала

- Термогравиметријска анализа (TGA) за одређивање фазних трансформација приликом калцинације материјала и биомасе;
- Рендгенска дифракција (XRD) за одређивање кристалографско-морфолошких својстава материјала;
- Скенирајућа електронска микроскопија са енергетско-дисперзивном спектрометријом (SEM-EDS) за одређивање морфологије и мапирање површине честица;
- Инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовим трансформацијама (FTIR) за идентификацију функционалних синтетисаних композита;
- Ултразубичасто-дифузно рефлексиона спектроскопија (UV-DRS) за испитивање оптичких својстава и ширине енергетског процепца синтетисаних материјала;
- Фотолуминисценција (PL) за испитивање површинских ваканција материјала и преноса наелектрисања;
- Brunauer-Emmett-Teller анализа (BET) за одређивање специфичне површине и расподеле величине пора материјала.

Анализа екстраката

- FTIR спектроскопија за идентификацију функционалних група биомолекула у екстракту и праћење промена у хемијском саставу екстракта пре и након синтезе;
- Гасна хроматографија спрегнута са масеном спектрометријом (GC-MS) за одређивање молекуларног састава екстракта и заступљености типичних једињења;
- UV-Vis апсорпциона спектрофотометрија за одређивање укупног садржаја полифенола и флавоноида, као и антиоксидативне активности.

Испитивање фотокаталитичке активности синтетисаних материјала

- UV-Vis спектрофотометрија и течна хроматографија у спрези са масеном спектрометријом (HPLC-MS) за одређивање концентрација полутаната (одабрани пестициди, фармацеутици, вештачки заслађивачи) у раствору пре, током и након фотокаталитичког третмана.

Испитивање антимикробне активности синтетисаних материјала

- Тестирање антимикробне активности према одабраним патогеним грам-позитивним, грам-негативним бактеријама и гљивицама (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* и *Candida albicans*);
- Одређивање зоне инхибиције засејаних култура на агар подлогама.

Екотоксиколошки тестови

- Испитивање ембриотоксичности добијених раствора пре и након деградације применом изабраних модел организама.

5. Очекивани научни допринос

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

- разумевању утицаја различитих метода синтезе и модификације наночестица цинк-оксида на њихова структурна и функционална својства;
- разумевању утицаја различито добијених биљних екстраката у процесу формирања наночестица цинк-оксида;
- постављању одрживог приступа који укључује истовремену синтезу материјала и искоришћење отпадне биомасе;
- испитивању ефикасности деградације различитих класа емергентних органских загађујућих материја из водених раствора, који се не уклањају у конвенционалним постројењима за третман отпадних вода (као што су пестициди, фармацеутици и вештачки заслађивачи);
- испитивању деградације катјонских и ањонских боја уз одређивање кинетичких параметара фотокатализованих реакција и процену универзалности примене синтетисаних материјала;
- квантификовању ефикасности фотокаталитичких система кроз примену композита цинк-оксид/биочађ;
- развоју фотокатализатора на бази цинк-оксида који ће имати померен праг апсорпције зрачења ка видљивој светлости;
- оперативној примени материјала у више циклуса и структурној стабилности синтетисаних фотокатализатора;
- евалуацији антимикробне активности синтетисаних материјала и могућности њихове примене као мултифункционалних материјала за заштиту животне средине;
- потврди еколошке прихватљивости примењеног процеса тремана са становишта екотоксикологије.

6. План истраживања и структура рада

Предложена докторска дисертација ће обухватити следећа поглавља: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература.

У *Уводном делу* тезе биће приказани предмет и циљеви докторске дисертације, као и научни значај и очекивани допринос рада.

Теоријски део докторске дисертације ће обухватити детаљну анализу литературе о:

- загађењу вода органским загађујућим материјама у Републици Србији и свету,
- методама за уклањање органских загађујућих материја из водених средина,
- процесима фотокаталитичке деградације органских загађујућих материја,
- методама зелене синтезе наночестица оксида метала помоћу различитих екстраката биљака,
- садржају и својствима биоактивних компонената у екстракту плода *Pimpinella anisum* L.,
- методама синтезе нанокомпозита на бази биочађи,

- досадашњим истраживањима о синтези и примени фотокатализатора на бази цинк-оксида,
- утицају параметара синтезе на структуру и физичкохемијска својства синтетисаних наночестица и нанокмпозита,

У поглављу *Експериментални део*, биће наведени сви материјали и хемикалије који су коришћени приликом синтезе материјала, биће описани поступци синтезе материјала, методе и технике за њихову карактеризацију, као и испитивање антимикуробне активности и екотоксиколошких метода.

У поглављу *Резултати и дискусија*, биће приказани, анализирани и дискутовани резултати истраживања у циљу анализе и успостављања корелације између структурних, морфолошких и физичкохемијских својстава синтетисаних материјала и фотокаталитичке деградације органских загађујућих материја од значаја, у циљу потенцијалне примене у третману отпадних вода.

Добијени резултати ће бити груписани и анализирани на следећи начин:

- Карактеризација термички модификованог цинк-оксида (елементарни састав, фазни састав, морфологија);
- Карактеризација биљних екстраката и зелено добијених честица цинк-оксида применом екстраката плода *Pimpinella anisum* L.;
- Хемијска анализа екстраката уз испитивање антиоксидативне активности екстраката;
- Структурна карактеризација композитних материјала цинк-оксид/биочађ;
- Анализа ефикасности добијених фотокатализатора за деградацију одабраних органских загађујућих материја под утицајем симулираног Сунчевог зрачења, уз оптимизацију процесних параметара (рН раствора, почетна концентрација изабраног полутанта, време озрачивања, маса катализатора, однос чврсто/течно у реакционом систему, утицај ометајућих једињења);
- Параметри кинетике деградационих процеса (константа брзине реакције и време полураспада);
- Вишециклусна употребе материјала у узастопним, радним циклусима;
- Антиоксидативна активност добијених екстраката и антимикуробна активност добијених екстраката и синтетисаних материјала;
- Константе екотоксиколошких тестова на добијеним растворима пре и након процеса деградације уз мерење вредности хемијске потрошње кисеоника (ХПК).

У *Закључку* ће бити сумирани закључци добијени на основу изведених истраживања. Такође, биће истакнут научни допринос рада, као и представљене могућности даље примене развијених и испитаних технологија за добијање честица цинк-оксида из наведених биобазираних материјала у индустријским условима.

У поглављу *Литература*, биће приказане све публикације које су допринеле изради докторске дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу изложеног, Комисија сматра да је тема предложене докторске дисертације под насловом „Зелена синтеза наночестица цинк-оксида и биоугљених композита на бази цинк-оксида коришћењем екстракта из плода *Pimpinella anisum* L.“ кандидаткиње Милице Мишић, мастер инжењера технологије, научно заснована и да представља значајан допринос научној области инжењерство заштите животне средине, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да кандидаткињи Милице Мишић одобри израду докторске дисертације под наведеним насловом. За менторе ове докторске дисертације Комисија предлаже др Мају Ђолић, доценткињу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Александра Јовановића, научног сарадника Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина у Београду.

У Београду,
1. јул 2026. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Маја Ђолић, доцент
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Александар Јовановић, научни сарадник
Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина

.....
Др Татјана Ђуркић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Марија Вукчевић, доцент
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Никола Вуковић, научни сарадник
Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина