

ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Датум)

ЗАХТЕВ

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

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

СИНТЕЗА, КАРАКТЕРИЗАЦИЈА И ФОТОКАЛИТИЧКА АКТИВНОСТ НАНОСТРУКТУРНИХ МАТЕРИЈАЛА НА БАЗИ ЦИНК-ОКСИДА ИЗ ИСТРОШЕНИХ ЦИНК-УГЉЕНИЧНИХ БАТЕРИЈА

НАУЧНА ОБЛАСТ: **Технолошко инжењерство**

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата: **Соња (Славиша) Станковић**
2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):
Технички факултет Бор, Технолошко инжењерство
3. Година завршетка претходног нивоа студија: **2020.**
4. Година уписа на докторске студије: **2020.**
5. Назив студијског програма докторских студија: **Технолошко инжењерство**
6. Датум подношења пријаве теме докторске дисертације: **12.05.2026.**

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: **Проф. др Милан Б. Радовановић**

Звање: **Редовни професор**

Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI) листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације (h-indeks=23, цитираност=1286, Scopus-база на дан 12.05.2026.):

1. S. Stanković, **M. Radovanović**, S. Đordievski, V. Nedelkovski, B. Markoli, S. Milić, M. Antonijević, Sustainable Production and Characterization of ZnO–GO Nanocomposites from Waste Zn–C Batteries for Photocatalytic Degradation of Malachite Green, *Metals*, 16 (1) (2026) 71.

DOI: 10.3390/met16010071

ISSN: 2075-4701

Impact factor (IF) 2,500/2024; *Materials Science, Multidisciplinary*, **M21**

Ključne reči: recycling of Zn–C batteries, ZnO–GO, photocatalysis, malachite green, RSM

<https://doi.org/10.3390/met16010071> _

2. V.Nedelkovski, **M. Radovanović**, D. Medić, S. Stanković, I. Hulka, D. Tanikić, M. Antonijević, Enhancing Wastewater Treatment Through Python ANN-Guided Optimization of Photocatalysis with Boron-Doped ZnO Synthesized via Mechanochemical Route. *Processes*, 13(7) (2025) 2240.

DOI: 10.3390/pr13072240

ISSN: 2227-9717

Impact factor (IF) 2,800/2024, *Engineering, Chemical*, **M22**

Ključne reči: optimization, doped ZnO, nanoparticles, neural networks, photocatalysis

<https://doi.org/10.3390/pr13072240> _

3. V. Nedelkovski, **M. Radovanović**, M. Antonijević, Advances in Photocatalytic Degradation of Crystal Violet Using ZnO-Based Nanomaterials and Optimization Possibilities: A Review. *ChemEngineering*, 9 (6) (2025) 120.

DOI: 10.3390/chemengineering9060120

ISSN: 2305-7084

Impact factor (IF) 3,400/2024, *Engineering, Chemical*, **M22**

Кључне речи: ZnO, crystal violet, photocatalytic degradation, advanced oxidation processes, artificial neural networks, wastewater treatment

<https://doi.org/10.3390/chemengineering9060120>

4. **M.B. Radovanović**, A.T. Simonović, M.B. Petrović Mihajlović, Ž.Z. Tasić, M.M. Antonijeвић Application of Graphite Electrodes Prepared from Waste Zinc–Carbon Batteries for Electrochemical Detection of Xanthine. *Chemosensors*, 13 (8) (2025) 282.

DOI:

10.3390/chemosensors130802

82 ISSN: 2227-9040

Impact factor (IF) 3,700/2024, *Chemistry, Analytical*, **M21**

Кључне речи: recycled carbon material, electroanalysis, chemosensors, food analysis, xanthine, real samples, green tea, beer

<https://doi.org/10.3390/chemosensors13080282> _

5. Ž.Z. Tasić, M.B.Petrović Mihajlović, **M.B. Radovanović**, A.T. Simonović, D.V. Medić, M.M. Antonijeвић, Electrochemical determination of L-tryptophan in food samples on graphite electrode prepared from waste batteries, *Scientific Reports*, 12 (1) (2022) 5469.

ISSN: 2045-2322

Impact factor (IF) 4,600/2022, *Multidisciplinary Sciences*, **M21a**

<https://doi.org/10.1038/s41598-022-09472-7>

Обавештавамо вас да је НАСТАВНО-НАУЧНО ВЕЋЕ ТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БОРУ на седници одржаној **18.06.2026.** 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

Проф. др Дејан Таникић

- 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

Универзитет у Београду
Технички факултет у Бору
Број: VI/4-11-11
Бор, 18. 06. 2026. године

На основу члана 49. Статута Техничког факултета у Бору и члана 35. Правилника о докторским студијама на Техничком факултету у Бору, Наставно-научно веће Факултета на седници одржаној 18. 06. 2026. године, донело је

О Д Л У К У

I Прихвата се предлог о испуњености услова о научној заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње **Соње Станковић**, студента докторских академских студија студијског програма Технолошко инжењерство.

II Одобрава се именованој израда докторске дисертације под називом: „**Синтеза, карактеризација и фотокаталитичка активност наноструктурних материјала на бази цинк-оксида из истрошених цинк–угљеничних батерија**“.

III За ментора се именује **др Милан Радовановић**, редовни професор Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору.

IV Одлуку доставити надлежном Већу научне области Универзитета у Београду, ради давања сагласности на Одлуку о прихватању теме и одређивању ментора.

Доставити:

- ВНО Универзитет у Београду
- именованој
- студентској служби
- архиви

**ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО- НАУЧНОГ ВЕЋА**

ДЕКАН

Проф. др Дејан Таникић

Универзитет у Београду

Технички факултет у Бору

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај Комисије о научној заснованости теме докторске дисертације кандидата Соње Станковић, академско звање: Мастер инжењер технологије

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, број VI/4-10-12 од дана 26.05.2026. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Соње Станковић, мастер инжењера технологије, под називом: „Синтеза, карактеризација и фотокаталитичка активност наноструктурних материјала на бази цинк–оксида из истрошених цинк–угљеничних батерија“. Предложена тема припада научном пољу Техничко–технолошких наука и научној области Технолошко инжењерство, за које Универзитет у Београду – Технички факултет у Бору има акредитоване докторске академске студије. На основу расположивог материјала, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Соња (Славиша) Станковић, рођена је 21.06.1994. године у Бору, Република Србија. Основну школу завршила је 2009. године у Бору, а средњу Медицинску школу у Зајечару завршила је 2013. године. Технички факултет у Бору, Универзитета у Београду, уписала је школске 2013/2014. године на студијском програму Технолошко инжењерство, модул Неорганско хемијска технологија. Основне академске студије завршила је септембра 2018. године одбраном завршног рада под називом: „Електрохемијско понашање титана у Рингеровом раствору са додатком амоксицилина“, са оценом 10. Просечна оцена током основних академских студија била је 9,14. Мастер академске студије, на студијском програму Технолошко инжењерство, на Техничком факултету у Бору, Универзитета у

Београду, уписала је школске 2018/2019. године, а завршила 2020. године одбраном мастер рада под називом: „Електрохемијско понашање титана и легуре Ti–6Al–4V у Рингеровом раствору са додатком фосфорне киселине, натријум–хидрогенкарбоната и водоник–пероксида“, са оценом 10 и стекла звање мастер инжењер технологије. Просечна оцена током мастер академских студија била је 10,00. Докторске академске студије на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду, студијском програму Технолошко инжењерство, уписала је школске 2020/2021. године. Током докторских студија, Соња Станковић је положила следеће испите:

1. Наука о материјалима: оцена 10 (десет) – 15 ЕСПБ,
2. Електрохемијска технологија: оцена 10 (десет) – 15 ЕСПБ,
3. Одабрана поглавља хемијске кинетике: оцена 10 (десет) – 15 ЕСПБ,
4. Теоријске основе ремедијације земљишта: оцена 10 (десет) – 15 ЕСПБ,
5. Заштита животне средине: оцена 10 (десет) – 15 ЕСПБ,
6. Докторска дисертација – студијски истраживачки рад 1: оцена 10 (десет) – 30 ЕСПБ,
7. Докторска дисертација – студијски истраживачки рад 2: оцена 10 (десет) – 30 ЕСПБ,
8. Докторска дисертација – студијски истраживачки рад 3: оцена 10 (десет) – 10 ЕСПБ,
9. Докторска дисертација – Теоријске основе за дефинисање теме: оцена 10 (десет) – 15 ЕСПБ,

чиме је стекла услов да пријави тему за израду докторске дисертације. Током студија била је корисник студентске стипендије Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије за школску 2014/2015. и 2015/2016. годину.

Радни однос на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду, засновала је новембра 2018. године као универзитетски сарадник у звању сарадника у настави. Октобра 2021. године изабрана је у звање асистента за ужу научну област Хемија, хемијска технологија и хемијско инжењерство. У претходним изборним периодима била је ангажована на реализацији лабораторијских и рачунских вежби на следећим предметима: Општа хемија (ОАС), Неорганска хемија (ОАС), Физичка хемија (ОАС), Теоријске основе хемијске технологије (ОАС), Општа хемијска технологија (ОАС), Корозија и заштита (ОАС), Пројектовање у хемијској технологији (ОАС), Хемијска кинетика (МАС) и Електрохемијско инжењерство (МАС), као и на организовању и вођењу Стручне праксе.

1.2. Стечено научно–истраживачко искуство

Кандидат Соња Станковић је континуално радила на свом стручном усавршавању где се издвајају следећи подаци из биографије. Августа 2017. године, учествовала је у теренским истраживањима у оквиру међународног пројекта под називом "Research on the Integration System of Spatial Environment Analyses and Advanced Metal Recovery to Ensure Sustainable Resource Development". Јуна 2023. године успешно је завршила обуку за ICP-OES

аналитичара на Институту Superlab у Врчину. Поред тога, учествовала је у четири ERASMUS+ програма мобилности:

- Априла 2025. године реализовала је стручну праксу на Машинском факултету, Политехничког Универзитета у Темишвару, Румунија (Faculty of Mechanics - Polytechnic University of Timișoara);
- Априла 2024. године учествовала је у Blended Intensive Programme: Sustainable materials 2024 у организацији Грађевинског факултета, Политехничког Универзитета у Темишвару (Polytechnic University of Timisoara, Faculty of Civil Engineering, Timișoara, Romania);
- Марта 2024. године боравила је на Природно-техничком факултету, Универзитета у Љубљани, Словенија (University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Ljubljana, Slovenia);
- Септембра 2023. године боравила је на Машинском факултету, Политехничког Универзитета у Темишвару, Румунија (Faculty of Mechanics - Polytechnic University of Timișoara).

Соња Станковић је активно учествовала у организацији манифестација које имају за циљ популаризацију науке, попут „Борска ноћ истраживача – БОНИС” и „Тимочки Научни Торнадо – ТНТ”. Вишегодишњи је члан организационог одбора међународних конференција International Conference Ecological Truth and Environmental Research – EcoTER и International Student Conference – ISC која се одржава у оквиру International October Conference on Mining and Metallurgy – IOC. Члан је Српског хемијског друштва.

Учествовала је у реализацији пројеката финансираних од стране Министарства, науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије по уговорима:

- 1) број: 451–03–65/2024–03/200131
- 2) број: 451–03–137/2025–03/200131
- 3) број: 451–03–34/2026–03/200131

о реализацији и финансирању научно–истраживачког рада НИО Техничког факултета у Бору (Универзитет у Београду) за 2024, 2025. и 2026. године.

Истраживачка интересовања кандидата Соње Станковић припадају областима наноматеријала, рециклажи батерија, заштите животне средине, као и областима хемијског, технолошког и електрохемијског инжењерства. Аутор/коаутор је 2 рада категорије M21, 1 рада категорије M22, 1 рада категорије M24, 1 рада категорије M51, 1 рада категорије M53, 19 саопштења са конференција међународног значаја штампана у целини и 1 саопштења са међународног скупа штампано у изводу.

Рад у водећем међународном часопису категорије M21

1. **Stanković, S.**, Radovanović, M., Đorđievski S., Nedelkovski, V., Markoli, B., Milić, S., Antonijević, M., Sustainable Production and Characterization of ZnO–GO Nanocomposites from Waste Zn–C Batteries for Photocatalytic Degradation of Malachite Green, *Metals*, 16 (2026) 71. (ISSN: 2075-4701) [Impact factor (IF) 2,4/2024, M21] <https://doi.org/10.3390/met16010071>
2. Đorđević, I., Medić, D., Gajić, N., Nujkić, M., Nedelkovski, V., **Stanković, S.**, Cvetković, A., Copper-Mediated Leaching of $\text{LiNi}_{0.65}\text{Co}_{0.25}\text{Mn}_{0.10}\text{O}_2$ in H_3PO_4 : Thermodynamics, Structural Evolution, and Redox Mechanism, *Molecules*, 31 (2026) 1502. (ISSN: 1420-3049) [Impact factor (IF) 4,6/2024, M21] <https://doi.org/10.3390/molecules31091502>

Рад у међународном часопису категорије M22

1. Nedelkovski, V., Radovanović, M., Medić, D., **Stanković, S.**, Hulka, I., Tanikić, D., Antonijević, M., Enhancing Wastewater Treatment Through Python ANN-Guided Optimization of Photocatalysis with Boron-Doped ZnO Synthesized via Mechanochemical Route. *Processes*, 13 (2025) 2240. (ISSN: 2227-9717) [Impact factor (IF) 2,8/2024, M22] <https://doi.org/10.3390/pr13072240>

Рад у националном часопису међународног значаја категорије M24

1. Nujkić, M., Tasić, Ž., Medić, D., Milić, S., **Stanković, S.**, Walnut shells as a potential biosorbent for Cu(II), Pb(II) and As(III)/(V) ions removal from river waters, *Acta Periodica Technologica*, 54 (2023) 187-196. (ISSN: 1450-7188) <https://doi.org/10.2298/APT2354187N>

Саопштење са међународног скупа штампано у целини M33

1. **Stanković, S.**, Nedelkovski V., Radovanović M., Đorđievski S., Medić D., Milić S., Sustainable production of graphene oxide and zinc oxide nanoparticles from spent Zn-C batteries, Proceedings of XVI International Mineral Processing and Recycling Conference, Belgrade, Serbia, 28.05.2025 - 30.05.2025, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor (2025) pp. 537-543, DOI: 10.5937/IMPRC255375, ISBN: 978-86-6305-158-4.
2. Nedelkovski V., Medić D., Cvetković A., **Stanković S.**, Tasić Ž., Radovanović M., Milić S., Anode nanomaterial recovered from spent batteries for peroxide-assisted crystal violet photocatalytic degradation, Proceedings of XVI International Mineral Processing and Recycling Conference, Belgrade, Serbia, 28.05.2025 - 30.05.2025, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor (2025) pp. 119-124, DOI: 10.5937/imprc25119n, ISBN: 978-86-6305-158-4.

3. Marilović, D., **Stanković, S.**, Bogdanović, G., Effect of temperature on the leaching copper from flotation tailings with ionic liquid, Proceedings of XVI International Mineral Processing and Recycling Conference, Belgrade, Serbia, 28.05.2025 - 30.05.2025, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor **(2025)** pp. 125-130, DOI: 10.5937/IMPRC25125M, ISBN: 978-86-6305-158-4.
4. Cvetković, A., Nedelkovski, V., Medić, D., **Stanković, S.**, Tasić, Ž., Radovanović, M., Milić, S., Waste to resource transformation: Innovative approaches to recycling cathode materials from Lithium-ion batteries, Proceedings of XVI International Mineral Processing and Recycling Conference, Belgrade, Serbia, 28.05.2025 - 30.05.2025, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor **(2025)** pp. 503-508, DOI: 10.5937/imprc25503c, ISBN: 978-86-6305-158-4.
5. Nujkić, M., Tasić, Ž., **Stanković, S.**, Medić, D., Optimizing cadmium ion adsorption: Predictive modeling based on literature data, Proceedings - 56th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor lake, Serbia, 22.10.2025.-25.10.2025, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor **(2025)** pp. 632-635, DOI: 10.5937/IOC25632N, ISBN: 978-86-6305-164-5.
6. **Stanković, S.**, Nedelkovski, V., Buzdugan, D., Hulka, I., Gorgievski, M., Milić, S., Radovanović, M., Influence of calcination temperature on the morphology, chemical composition, and structure of ZnO nanoparticles, Proceedings - 31st International Conference Ecological Truth and Environmental Research – EcoTER'24, Proceedings, 18-21 June 2024, Serbia, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor **(2024)** pp. 508-514, ISBN: 978-86-6305-152-2.
7. Nedelkovski, V., **Stanković, S.**, Medić, D., Buzdugan, D., Hulka, I., Milić, S., Radovanović, M., Photocatalytic properties of C-ZnO nanoparticles synthesized via mechanochemical method, Proceedings - 31st International Conference Ecological Truth and Environmental Research – EcoTER'24, 18-21 June 2024, Serbia, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor **(2024)** pp. 335-340, ISBN: 978-86-6305-152-2.
8. Medić, D., Milić, S., Milošević, N., Nujkić, M., Pešić, M., Nedelkovski, V., **Stanković, S.**, Application of the shrinking core model in the leaching process of LiNiMnCoO_2 , Proceedings - 31st International Conference Ecological Truth and Environmental Research – EcoTER'24, 18-21 June 2024, Serbia, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor **(2024)** pp. 441-447, ISBN: 978-86-6305-152-2.
9. Nujkić, M., Tasić, Ž., **Stanković, S.**, Medić, D., Milić, S., Nedelkovski, V., Potential application of mullein leaf as biosorbent for efficient biosorption of Cu(II) ions from synthetic solutions, International Scientific and professional conference Politehnika 2023, 15th December 2023, Belgrade, Serbia, The Academy of Applied Technical Studies Belgrade **(2023)** pp. 873-877, ISBN 978-86-7498-110-8.

10. **Stanković, S.**, Nedelkovski, V., Radovanović, M., Milić, S., Mechanism and kinetics of electrocatalytic oxidation of phenol, Proceedings - 30th International Conference Ecological Truth and Environmental Research – EcoTER'23, 20-23 June 2023, Serbia, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor **(2023)** pp. 341-347, ISBN 978-86- 6305-137-9.
11. **Stanković S.**, Nujkić, M., Tasić, Ž., Medić, D., Papludis, A., Milić, S., Modified membranes with graphene oxide – removal of dyes from wastewater, Proceedings - 30th International Conference Ecological Truth and Environmental Research – EcoTER'23, 20-23 June 2023, Serbia, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor **(2023)** pp. 506-511, ISBN 978-86-6305-137-9.
12. Nedelkovski, V., **Stanković, S.**, Radovanović, M., Tasić, Ž., Milić, S., Optimization of phenol electrochemical oxidation using modified Ti/SnO₂-type anodes, Proceedings - 30th International Conference Ecological Truth and Environmental Research – EcoTER'23, 20-23 June 2023, Serbia, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor **(2023)** pp. 494 – 499, ISBN 978 86-6305-137-9.
13. Ognjanović, N., Nedelkovski, V., **Stanković, S.**, Milić, S., Biopesticides in the environment, Proceedings - 30th International Conference Ecological Truth and Environmental Research – EcoTER'23, 20-23 June 2023, Serbia, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor **(2023)** pp. 185-190, ISBN 978 86-6305-137-9.
14. Nedelkovski, V., **Stanković, S.**, Radovanović, M., Antonijević, M., Synthesis and characterisation of Ti/SnO₂-Sb-type DSA anodes for wastewater treatment, Proceedings - 29th International Conference Ecological Truth And Environmental Research – EcoTER'22, 21-24 June 2022, Serbia, University of Belgrade, Technical faculty in Bor **(2022)** pp. 226 – 232, ISBN: 978-86-6305-123-2.
15. Papludis, A., Nujkić, M., Milić, S., Medić, D., Alagić, S., **Stanković, S.**, Influence of metallurgical activities on the content of manganese, strontium and chrome in chicory, Proceedings of XIV International Mineral Processing and Recycling Conference, 12–14 May 2021, Belgrade, Serbia, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor **(2021)** pp. 430–435, ISBN: 978–86–6305– 113–3.
16. **Stanković, S.**, Antonijević, M., Milić, S., Sources and availability of inorganic phosphorus in the soil, Proceedings - 28th International Conference Ecological Truth and Environmental Research, EcoTER'20, 16–19 June 2020, Kladovo, Serbia, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor **(2020)** pp. 116–121, ISBN: 978–86–6305–104–1.
17. Nujkić, M., Milić, S., Papludis, A., **Stanković, S.**, Radojević, A., Alagić, S., Spalović, B., Walnut shell as a biosorbent for removal of heavy metal ions from different sample solutions, Proceedings - 28th International Conference Ecological Truth and Environmental Research,

EcoTER'20, 16–19 June 2020, Kladovo, Serbia, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor **(2020)** pp. 106–110, ISBN: 978–86–6305–104–1.

18. Pešić, M., Milić, S., Nujkić, M., Medić, D., **Stanković, S.**, Application of simulation methods and analysis of the influence of precipitation regime on turbidity of karst aquifer: A case study of karst Zlot's spring (Bor, Serbia), Proceedings - 28th International Conference Ecological Truth and Environmental Research, EcoTER'20, 16–19 June 2020, Kladovo, Serbia, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor **(2020)** pp. 215– 220, ISBN: 978–86–6305–104–1.
19. Medić, D., Milić, S., Đorđević, I., Spalović, B., **Stanković, S.**, Kinetic models for acid leaching of cathode materials from spent lithium-ion batteries, Proceedings - 51st International October Conference on Mining and Metallurgy, 16–19 October 2019, Bor Lake, Serbia, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor **(2019)** pp. 276–279, ISBN: 978–86–6305–101–0.

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу M34

1. Tasić, Ž., Nujkić, M., Milić, S., Medić, D., **Stanković, S.**, Bogdanović, A., Dimitrijević, D., Catalysts based on red mud for catalytic removal of NO_x, CO and VOCs, Proceedings - 1st European GREEN Conference, 23-26 May, Vodice, Croatia **(2023)** pp. 120, ISSN: 2991-5171.

Рад у водећем националном часопису категорије M51

1. Medić, D., Štirbanović, Z., Banješević, M., Nedelkovski, V., **Stanković, S.**, Cvetković, A., Đorđević, S., Stellerite-stilbite and calcite paragenesis in a fracture cavity hosted by andesitic volcanoclastic rocks from the Timok magmatic complex, *Journal of Mining and Metallurgy A: Mining*, 61 (1) **(2025)** 73-81. (ISSN: 1450-5959) <https://doi.org/10.5937/jmma2501073m>

Рад у националном часопису категорије M53

1. Papludis, A.D., Alagić, S.Č., Milić, S.M., Medić, D.V., **Stanković, S.S.**, Nedelkovski, V.V., Cvetković, A.Z., Phytomonitoring of pyrene of atmospheric origin in the rural and urban/industrial sites of Bor's municipality using leaves and stems of *Hedera helix* L., *Chemia Naissensis*, 6 (2) **(2024)** 34–41. (ISSN: 2620-1895) DOI: 10.46793/chemn6.2.34p

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми докторске дисертације

Увидом у остварене резултате и стеченом искуству током докторских студија, као и научно–истраживачком раду, Комисија закључује да кандидат Соња Станковић поседује научно–стручну усмереност, способност и самосталност за научно–истраживачки рад у области којој припада предложена тема дисертације (научна област: Технолошко инжењерство) и оцењује је подобном за рад на предложеној теми. Поред тога, Комисија констатује да кандидат Соња Станковић поседује све потребне квалификације и испуњава све формалне услове за израду докторске дисертације под називом „Синтеза, карактеризација и фотокаталитичка активност наноструктурних материјала на бази цинк-оксида из истрошених цинк–угљеничних батерија“.

2. Предмет и циљ истраживања

Брз развој индустрије и континуирани раст производних капацитета довели су до све веће примене синтетичких боја у различитим областима савремене индустријске производње. Међу бројним синтетичким бојама издваја се малахит зелена, као једна од најчешће коришћених катјонских боја која налази широку примену у медицини, текстилној и прехранбеној индустрији.

Испуштањем индустријских отпадних вода малахит зелена боја доспева у водене екосистеме, при чему долази до смањења продора светлости, инхибиције процеса фотосинтезе и нарушавања природне равнотеже екосистема. Поред тога, малахит зелена боја чак и при јако ниским концентрацијама ($< 1 \text{ mg/L}$), због своје цитотоксичности, мутагености и канцерогености може довести до оштећења бубрега и јетре, срчане инсуфицијенције, смањења репродуктивне способности и појаве карцинома. Због тога је уклањање малахит зелене боје неопходно у циљу очувања здравља људи и заштите животне средине.

За третман вода контаминираних малахит зеленом бојом испитиване су бројне методе, при чему се фотокатализа издваја као ефикасна и еколошки прихватљива метода, којом се може постићи потпуна разградња малахит зелене боје до CO_2 и H_2O . Ефикасност и кинетика фотокаталитичких реакција зависе од природе примењеног катализатора. Међу бројним испитиваним фотокатализаторима, велику пажњу истраживача привукао је цинк-оксид (ZnO), због ниске токсичности, високе енергије везивања ексцитона, израженог оксидационог капацитета и добре хемијске стабилности. Међутим, његова реална примена је ограничена брзом рекомбинацијом фотогенерисаних носилаца наелектрисања и слабом апсорпцијом видљиве светлости. Како би се превазишли ови недостаци и побољшао фотоодзив ZnO предложено је неколико иновативних стратегија, попут модификације ZnO графен–оксидом и манганом–оксидом.

Иако су фотокатализатори на бази ZnO последњих деценија интензивно истраживани, развој одрживих метода синтезе ZnO и даље остаје актуелан истраживачки изазов. Због тога је све већа пажња усмерена ка примени секундарних сировина, као алтернативних прекурсора, за синтезу фотокатализатора на бази ZnO, чиме се истовремено доприноси смањењу потрошње природних ресурса и унапређењу принципа циркуларне економије.

Истрошене цинк–угљеничне батерије представљају значајан извор цинка, због чега су препознате као перспективна секундарна сировина за синтезу високо функционалних наноструктурних материјала. Zn-C батерије су примарне батерије, које се састоје од цинка као аноде, графитне електроде и прашкастог катодног материјала. Катодни материјал се састоји од манган(IV)–оксида импрегнираног електролитом (цинк–хлоридом или амонијум–хлоридом). Брз раст популације и технолошки развој довео је до значајног повећања производње и потрошње Zn-C батерија. На глобалном нивоу годишње се потроши око 31 милијарда Zn-C батерија. Нажалост, више од 80% искоришћених примарних батерија завршава на депонијама. Неправилно одлагање доводи до корозије батерија и ослобађања токсичних компоненти у земљиште и подземне воде, представљајући озбиљну претњу за екосистеме и људско здравље. С обзиром да истрошене Zn-C батерије садрже значајне количине Zn, Mn и C, не смеју се посматрати само као отпад, већ као значајан извор секундарних сировина. Анодни материјал Zn-C батерија може се искористити за синтезу ZnO, катодни материјал за добијање манган–оксида, док се графитна електрода може искористити за синтезу графен-оксида (ГО). Синтетисани графен–оксид и манган–оксид могу се накнадно искористити за модификацију ZnO и побољшање његове фотокаталитичке активности. Због тога, валоризација компоненти истрошених цинк–угљеничних батерија за синтезу фотокатализатора на бази ZnO представља перспективан приступ који повезује управљање електронским отпадом са развојем ефикасних наноструктурних материјала за разградњу органских загађујућих материја у води.

На основу свега наведеног, предмет истраживања ове докторске дисертације обухвата синтезу, карактеризацију и испитивање фотокаталитичке активности наноструктурних материјала на бази ZnO добијених валоризацијом компоненти истрошених цинк–угљеничних батерија. У оквиру истраживања ове докторске дисертације биће синтетисани ZnO, ZnO–GO, ZnO–Mn_xO_y и ZnO–GO–Mn_xO_y. Поред тога, у оквиру истраживања биће спроведена детаљна карактеризација синтетисаних наноматеријала, са циљем добијања потпунијих информација о утицају модификације и уделу допанта на структурна, морфолошка, оптичка и фотокаталитичка својства синтетисаних наноматеријала. Такође, предмет истраживања ове докторске дисертације је фотокаталитичка активност синтетисаних материјала за разградњу малахит зелене боје под дејством UV светлости. За оптимизацију процеса фотокаталитичке разградње и анализу утицаја процесних параметара биће примењена методологија одзивне површине (енг. Response Surface Methodology, RSM).

Циљ истраживања је развој високо ефикасних фотокатализатора на бази ZnO применом валоризованих компоненти из истрошених Zn-C батерија. Овакав приступ, који подразумева

истовремену валоризацију више компоненти отпадних батерија у циљу синтезе функционалних наноструктурних фотокатализатора, представља оригиналан научни допринос са потенцијално значајном применом у области одрживе синтезе наноматеријала и третмана отпадних вода.

2.1. Списак најзначајније научно–стручне литературе која ће се користити у дисертацији

Прегледом литературе, уочена је све већа заинтересованост научне и стручне јавности за развој одрживих метода синтезе наноструктурних материјала на бази ZnO из секундарних сировина, као и њихову примену у третману вода контаминираних синтетичким органским бојама. Полазна литература, која је подстакла истраживање и на основу које је предмет истраживања дефинисан дата је у наставку извештаја према абecedном редоследу:

Abdullah, F.H., Abu Bakar, N.H.H., Abu Bakar, M., Current advancements on the fabrication, modification, and industrial application of zinc oxide as photocatalyst in the removal of organic and inorganic contaminants in aquatic systems, *Journal of Hazardous Materials*, 424 (2022) 127416. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127416>

Abubakar, H.L., Tijani, J.O., Abdulkareem, A.S., Egbosiuba, T.C., Abdullahi, M., Mustapha, S., Ajiboye, E.A., Effective removal of malachite green from local dyeing wastewater using zinc-tungstate based materials, *Heliyon*, 9 (2023) e19167. <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19167>

Afridi, S.K., Umar, K., A novel bio-facilitated synthesis of GO/ZnO/Ag nanocomposite via Citrulline Lanatus and OPEFB for enhanced photocatalytic degradation of imidacloprid: Kinetics, mechanism and byproduct analysis, *Journal of Water Process Engineering*, 72 (2025) 107603. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107603>

Alcaraz, L., García-Díaz, I., González, L., Rabanal, M.E., Urbieta, A., Fernández, P., López, F.A., New photocatalytic materials obtained from the recycling of alkaline and Zn/C spent batteries, *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (2019) 2809–2818. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.04.020>

Al-Rawashdeh, N.A.F., Allabadi, O., Aljarrah, M.T., Photocatalytic Activity of Graphene Oxide/Zinc Oxide Nanocomposites with Embedded Metal Nanoparticles for the Degradation of Organic Dyes, *ACS Omega*, 5 (2020) 28046–28055. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c03608>

Al-Zahrani, S.A., Umar, K., Tweib, S.A., Rashd, J.A.M., Afridi, S.K., Bhawani, S.A., Otaibi, A.A., Masood, N., Mansour, D., Khan, A., et al. Biomass Mediated Synthesis of ZnO and ZnO/GO for the Decolorization of Methylene Blue Under Visible Light Source, *Catalysts*, 13 (2023) 409. <https://doi.org/10.3390/catal13020409>

Aydogan, S., Canpolat, N., Kocyigit, A., Yilmaz, M., Synergistic enhancement of simazine degradation using ZnO nanosheets and ZnO/GO nanocomposites: A sol-gel synthesis approach,

Ceramics International, 50 (2024) 25080–25094. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.04.236>

Baharudin, K.B., Abdullah, N., Derawi, D., Effect of calcination temperature on the physicochemical properties of zinc oxide nanoparticles synthesized by coprecipitation, *Materials Research Express*, 5 (2018) 125018. <http://doi.org/10.1088/2053-1591/aae243>

Chandra, S., Pandit, S., Gupta, A., Sahni, M., Rajeev, M., Fosso-Kankeu, E., Sustainable Mn-doped ZnO Nanoparticles as an Efficient Cathode Catalyst for Enhanced ORR and Photocatalytic Dye Degradation in Microbial Fuel Cells, *Water, Air, & Soil Pollution*, 236 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11270-025-08474-1>

Daoudi, C., Hamidi, F., Saidi-Bendahou, K., Chelihi, A., Karon, K., Cherif, C.Z., Application of mesoporous materials doped with magnesium for the photocatalytic degradation of malachite green under UV and solar irradiation, *Journal of the Indian Chemical Society*, 102 (2025) 102012. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2025.102012>

Davoise, D., Gasco, G., Almendros, P., Mendez, A., Advances in the potential application of froth flotation for the recovery of graphite from spent alkaline and Zn/C batteries, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 27 (2025) 4730–4747. <https://doi.org/10.1007/s10163-025-02402-5>

Ebrahimi Naghani, M., Negabi, M., Zadsar, M., Ahangar, H.A., Synthesis and characterization of linear/nonlinear optical properties of graphene oxide and reduced graphene oxide-based zinc oxide nanocomposite, *Scientific reports*, 13 (2023) 1496. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28307-7>

Elkady, M.F., Hassan, H.S., Photocatalytic Degradation of Malachite Green Dye from Aqueous Solution Using Environmentally Compatible Ag/ZnO Polymeric Nanofibers, *Polymers*, 13 (2021) 2033. <https://doi.org/10.3390/polym13132033>

Faaizatunnisa, N., Ediaty, R., Yusof, E.N.M.D., Fadlan, A., Karelius, K., Kulsum, U., Ariesta, M.N., Optimized photocatalytic degradation of 2-naphthol using ZnO/rGO nanocomposites synthesized from palm kernel shell waste, *Journal of Water Process Engineering*, 70 (2025) 106977. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.106977>

Farzana, R., Hassa; K., Sahajwalla, V., Manganese oxide synthesized from spent Zn-C battery for supercapacitor electrode application, *Scientific reports*, 9 (2019) 8982. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44778-z>

Farzana, R., Rajarao, R., Behera, P. R., Hassan, K., Sahajwalla, V., Zinc Oxide Nanoparticles from Waste Zn-C Battery via Thermal Route: Characterization and Properties, *Nanomaterials*, 8 (2018) 717. <https://doi.org/10.3390/nano8090717>

Farzana, R., Rajarao, R., Hassan, K., Behera, P.R., Sahajawalla, V., Thermal nanosizing: Novel route to synthesize manganese oxide and zinc oxide nanoparticles simultaneously from spent Zn-C battery, *Journal of cleaner production*, 196 (2018b) 478-488.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.055>

Gebrye, A.B., Mehari, B., Atlabachew, M., Photocatalytic performance of ZnO immobilized on bentonite for catalytic degradation of malachite green under sunlight irradiation, *Hybrid Advances*, 11 (2025) 100542. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2025.100542>

Gupta, S., Narayan, H., Jain, R.K., A review of some metal-oxide based nanocomposites for photocatalytic treatment of wastewater, *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 14 (2023) 043003. <https://doi.org/10.1088/2043-6262/ad002b>

Imtiaz, T., Shah, A., Ullah, N., Iftikhar, F.J., Shah, I., Shah, S.M., Shah, S.S., Electrochemical nanosensor for ultrasensitive detection of malachite green and monitoring of its photocatalytic degradation, *Clean Water*, 5 (2022) 69. <https://doi.org/10.1038/s41545-022-00213-x>

Karadeniz, D., Kahya, N., Erim, F.B., Effective photocatalytic degradation of malachitegreen dye by Fe(III)-Cross-linked Alginate-Carboxymethyl cellulose composites, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 428 (2022) 113867. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2022.113867>

Khan, S., Noor, T., Iqbal, N., Yaqoob, L., Photocatalytic Dye Degradation from Textile Wastewater: A Review. *ACS Omega*, 9 (20) (2024) 21751–21767. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c00887>

Khosravi-Far, M., Mohebat, R., Ghaedi, M., Tabatabaee, M., Efficient photocatalytic degradation of malachite green dye from wastewater using facilely synthesized ternary ZIF-8/Ag/Ag₂S nanocomposite: Optimization by RSM (CCD), *Process Safety and Environmental Protection*, 190 (2024) 46–62. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.08.036>

Le, G.H., Thanh, D.A., Pham, T.T.T., Tran, Q.V., Dao, N.N., Nguyen, K.T., Quan, T.T.T, Rapid and efficient removal of azo dye RR195 from textile wastewater using a Z-scheme silver vanadate/graphene oxide: Optimization, photocatalytic mechanism, and antibacterial activity, *Journal of Water Process Engineering*, 82 (2026) 109536. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2026.109536>

Loudiki, A., Matrouf, M., Azriouil, M., Laghrib, F., Farahi, A., Bakasse, M., Lahrich, S., El Mhammedi, M.A., Graphene oxide synthesized from zinc-carbon battery waste using a new oxidation process assisted sonication: Electrochemical properties, *Materials Chemistry and Physics*, 275 (2022) 125308. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.125308>

Madjene, F., Assassi, M., Chokri, I., Enteghar, T., Lebik, H., Optimization of photocatalytic degradation of rhodamine B using Box-Behnken experimental design: Mineralization and mechanism, *Water Environment Research*, 93 (2021) 112–122. <https://doi.org/10.1002/wer.1360>

Mahajan, M., Kumar, S., Gaur, J., Kaushal, S., Dalal, J., Singh, G., Misra, M., Ahlawat, D.S., Green Synthesis of ZnO nanoparticles using *Justicia adhatoda* for photocatalytic degradation of

malachite green and reduction of 4-nitrophenol, *RSC Advances*, 15 (2025) 2958. <https://doi.org/10.1039/D4RA08632E>

Mobarak, M.B., Hossain, M.S., Chowdhury, F., Tarannum, N., Mesbah, M.B., Tanvir, N.I., Akhtar, U.S., Ahmed, S., From discarded to desired: valorization of Zn–C battery waste into crystalline ZnO nanoparticles with crystallographic insights and antibacterial efficacy, *RSC Advances*, 15 (2025) 38454. <https://doi.org/10.1039/d5ra06684k>

Moussa, S.B. Box-Behnken design for the optimization of the photocatalytic degradation of methyl orange using gold-platinum bimetallic nanoparticles doped-1D titania, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 447 (2024) 115284. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2023.115284>

Navidpour, A.H., Dashti, A., Dil, E.A., Asadi, P., Zhou, J.L., Moshfegh, A., Altaee, A., Zinc oxide photocatalysis for pollutant degradation: a review of elemental doping, morphology, and microstructure, integrated with machine learning-based performance modelling, *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 9 (2026) 159. <https://doi.org/10.1007/s42114-026-01674-1>

Nguyen, N.T., Nguyen, V.A., Synthesis, Characterization, and Photocatalytic Activity of ZnO Nanomaterials Prepared by a Green, Nonchemical Rout. *Journal of Nanomaterials*, 2020 (2020) 1768371. <https://doi.org/10.1155/2020/1768371>

Parthenidis, P., Maroulas, K.N., Evgenidou, E., Kyzas, G.Z., Lambropoulou, D.A., Synthesis, characterization and application of GO-ZnO photocatalyst for the enhanced degradation of azole fungicides: Performance, activation of oxidants, transformation products and toxicity, *Journal of Water Process Engineering*, 74, (2025) 107824. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107824>

Rana, A.G., Minceva, M., Analysis of Photocatalytic Degradation of Phenol with Exfoliated Graphitic Carbon Nitride and Light-Emitting Diodes Using Response Surface Methodology, *Catalysts*, 11 (2021) 898. <https://doi.org/10.3390/catal11080898>

Rathod, P.P., Bhosle, V.K., Ubale, A.U., Khan, Z.S., Ultrasonically synthesized ZnO-GO nanocomposite for photocatalytic and antibacterial applications, *Composites Communications*, 57 (2025) 102457. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2025.102457>

Rawat, S., Singh, J., Synthesis of nZnO from waste batteries by hydrometallurgical method for photocatalytic degradation of organic pollutants under visible light irradiation, *Journal of Environmental Management*, 318 (2022) 115518. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115518>

Rout, D.R., Chaurasia, S., Jena, H.M., Enhanced photocatalytic degradation of malachite green using manganese oxide doped graphene oxide/zinc oxide (GO-ZnO/Mn₂O₃) ternary composite under sunlight irradiation, *Journal of Environmental Management*, 318 (2022) 115449. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115449>

Shaba, E.Y., Jacob, J.O., Tijani, J.O., Suleiman, M.A.T., A critical review of synthesis parameters

affecting the properties of zinc oxide nanoparticle and its application in wastewater treatment, *Applied Water Science*, 11 (2021) 48. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01370-z>

Sharma, V., Sharma, J.K., Kansay, V., Sharma, V.D., Sharma, A., Kmar, S., Sharma, A.K., Bera, M.K., The effect of calcination temperatures on the structural and optical properties of zinc oxide nanoparticles and their influence on the photocatalytic degradation of leather dye, *Chemical Physics Impact*, 6 (2023) 100196. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2023.100196>

Silva, R.M., Sperandio, G.H., da Silva, A.D., Okumura, L.L., da Silva, R.C., Moreira, R.P.L., Silva, T.A., Electrochemically reduced graphene oxide films from Zn-C battery waste for the electrochemical determination of paracetamol and hydroquinone, *Mikrochimica Acta*, 190 (2023) 273. <https://doi.org/10.1007/s00604-023-05858-0>

Silva, W.C.H., Zafar, M.A., Allende, S., Jacob, M.V., Tuladhar, R., Sustainable Synthesis of Graphene Oxide from Waste Sources: A Comprehensive Review of Methods and Applications, *Materials Circular Economy*, 6 (2024) 23. <https://doi.org/10.1007/s42824-024-00117-w>

Sperandio, G., Junior, I.M., Bernardo, E., Moreira, R., Graphene Oxide from Graphite of Spent Batteries as Support of Nanocatalysts for Fuel Hydrogen Production, *Processes*, 11 (2023) 3250. <https://doi.org/10.3390/pr11113250>

Tan, S.N., Yuen, M.L., Ramli, R.A., Photocatalysis of dyes: Operational parameters, mechanisms, and degradation pathway, *Green analytical chemistry*, 12 (2025) 100230. <https://doi.org/10.1016/j.greeac.2025.100230>

Wang, S., Chen, Z., Zhao, Y., Sun, C., Li, J., High photocatalytic activity over starfish-like La-doped ZnO/SiO photocatalyst for malachite green degradation under visible light, *Journal of Rare Earths*, 39 (2021) 772–780. <https://doi.org/10.1016/j.jre.2020.04.009>

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе овог истраживања засноване су на досадашњим научним сазнањима о фотокаталитичким процесима и примени ZnO као фотокатализатора, рециклажи истрошених Zn–C батерија, као и на актуелним научним и технолошким потребама за развојем фотокаталитички активних наноструктурних материјала на бази ZnO из секундарних сировина.

Прва хипотеза овог истраживања заснива се на претпоставци да фотокатализа представља ефикасну методу за разградњу малахит зелене боје у воденим растворима, као и да се развојем нових и модификованих наноструктурних материјала на бази ZnO може побољшати ефикасност и одрживост овог процеса.

Друга хипотеза овог истраживања полази од претпоставке да истрошене цинк–угљеничне батерије представљају потенцијално вредан секундарни извор Zn, Mn и C, који се у складу са принципима циркуларне економије могу ефикасно валоризовати и искористити као полазне супстанце за синтезу високофункционалних фотокатализатора.

Трећа хипотеза овог истраживања полази од претпоставке да се анодни материјал истрошених Zn-C батерија може искористити као прекурсор за добијање фазно чистог ZnO са стабилном хексагоналном кристалном структуром, контролисаном морфологијом и израженом фотокаталитичком активношћу за разградњу синтетичких органских боја.

Четврта хипотеза овог истраживања полази од претпоставке да брза рекомбинација фотогенерисаних парова електрон-шупљина представља лимитирајући фактор који може значајно смањити активност наночестица ZnO, те да се његовом модификацијом манган–оксидом или графен–оксидом може побољшати раздвајање фотогенерисаних носилаца наелектрисања и повећати ефикасност фотокаталитичких процеса.

Пета хипотеза овог истраживања полази од претпоставке да се рециклажом прашкастог катодног материјала из истрошених Zn-C батерија може добити манган–оксид, који се накнадно може искористити за модификацију наночестица ZnO, омогућавајући формирање композитних фотокатализатора са побољшаним фотоактивним својствима.

Шеста хипотеза овог истраживања се заснива на претпоставци да се графитна електрода, издвојена из истрошених цинк–угљеничних батерија, може искористити као полазна сировина за добијање графен–оксида модификованом Хамеровом методом. Синтетисани графен–оксид се накнадно може искористити за модификацију ZnO, што доводи до смањења рекомбинације фотогенерисаних носилаца наелектрисања, повећања специфичне површине, а самим тим и фотокаталитичке активности синтетисаних нанокompозита у односу на немодификовани ZnO.

Седма хипотеза овог истраживања полази од претпоставке да се истовременом модификацијом ZnO манган–оксидом и графен–оксидом може остварити синергетски ефекат који доприноси ефикаснијем раздвајању фотогенерисаних носилаца наелектрисања, смањењу њихове рекомбинације и повећању броја активних места на површини катализатора. Претпоставља се да ће композитни материјал, добијен двоструком модификацијом, показати већу фотокаталитичку активност за разградњу малахит зелене боје у односу на немодификовани ZnO. За синтезу нанокompозита могу се искористити све корисне компоненте истрошених Zn-C батерија, чиме се обезбеђује свеобухватна валоризација компоненти Zn-C батерија у складу са принципима циркуларне економије.

Осма хипотеза овог истраживања заснива се на претпоставци да се применом методологије одзивне површине може поуздано утврдити утицај процесних параметара на ефикасност фотокаталитичке деградације малахит зелене боје и дефинисати оптимални услови параметара процеса. Поред тога, развијени математички модели могу са високим

степеном поузданости и предиктивне тачности предвидети ефикасност фотокаталитичке разградње у оквиру испитиваних експерименталних услова.

4. Научне методе истраживања

Након детаљног проучавања научне и стручне литературе из области рециклаже Zn–C батерија, наноматеријала на бази ZnO и хетерогене фотокатализе, биће спроведено експериментално истраживање које обухвата:

- Механичку сепарацију истрошених цинк–угљеничних батерија на појединачне компоненте: анодни материјал, прашкасти катодни материјал са електролитом, графитну электроду, металне терминале, папирне и пластичне сепараторе.
- Синтезу наночестица ZnO из анодног материјала истрошених Zn–C батерија, применом методе хемијске преципитације;
- Испитивање утицаја температуре калцинације (400-700°C) на хемијски састав, структурна, морфолошка и фотокаталитичка својства наночестица ZnO;
- Синтезу манган оксида из прашкастог катодног материјала истрошених Zn–C батерија;
- Синтезу графен–оксида оксидацијом графитне електроде издвојене из истрошених Zn–C батерија применом модификоване Хамерове методе;
- Модификацију наночестица ZnO манган–оксидом, као и графен–оксидом у различитим масеним уделима (1, 2,5 и 5%) у циљу побољшања фотокаталитичке активности;
- Испитивање кристалне структуре и фазног састава синтетисаних наноматеријала применом рендгенске дифракционе анализе (XRD), одређивање параметара кристалне структуре, величине кристалита, микронапрезања, густине дислокација итд.
- Испитивање морфологије, величине и дистрибуције честица синтетисаних фотокатализатора применом скенирајуће електронске микроскопије (SEM);
- Испитивање елементарног састава синтетисаних наноматеријала из истрошених Zn–C батерија применом енергетски дисперзивне рендгенске спектроскопије (EDS);
- Идентификацију карактеристичних функционалних група применом инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовом трансформацијом (FTIR);
- Одређивања енергије забрањене зоне применом UV-Vis дифузно рефлексионе спектроскопије (DRS)
- Испитивања фотокаталитичке активности синтетисаних наноматеријала за разградњу малахит зелене боје под UV-A зрачењем ($\lambda = 395 \text{ nm}$; 100 W)

- Испитивање утицаја масе катализатора, почетне концентрације малахит зелене боје и времена UV зрачења на ефикасност фотокаталитичке разградње малахит зелене боје;
- Испитивања кинетике фотокаталитичке деградације малахит зелене боје;
- Анализе стабилности и поновне употребљивости синтетисаних наночестица ZnO, као и ZnO модификованог манган–оксидом и/или графен–оксидом током 5 узастопних циклуса;
- Оптимизације процеса фотокаталитичке разградње малахит зелене боје применом Методологије одзивне површине;
- Анализу добијених резултата и дискусија.

5. Очекивани научни допринос

На основу чињеница и претпоставки изнетих у претходним поглављима очекују се следећи научни доприноси:

- Успешна валоризација Zn, Mn и C и њихова поновна примена у синтези функционалних фотокаталитичких наноматеријала на бази ZnO.
- Синтеза фазно чистих наночестица ZnO високе кристаличности из анодног материјала истрошених Zn–C батерија и утврђивање утицаја температуре калцинације на њихова структурна, морфолошка, оптичка и фотокаталитичка својства.
- Синтеза и карактеризација манган–оксида и графен–оксида из истрошених Zn–C батерија, као и њихова накнадна примена за модификацију ZnO и синтезу нанокompозита.
- Развој одрживе методе синтезе нанокompозита ZnO–GO и ZnO–Mn_xO_y на собној температури применом компоненти добијених из истрошених Zn–C батерија.
- Синтеза и карактеризација ZnO–Mn_xO_y–GO нанокompозита, што у складу са принципима циркуларне економије омогућава ефикасно искоришћење свих корисних компоненти Zn–C батерија у синтези једног високофункционалног фотокатализатора и представља јединствени научни допринос ове дисертације.
- Очекује се да ће формирани нанокompозити показати побољшана фотокаталитичку активност за разградњу малахит зелене боје у односу на немодификовани ZnO.
- Висока стабилност синтетисаних наноматеријала и могућност поновне употребе у пет узастопних циклуса разградње малахит зелене боје.

- Успешна примена методологије одзивне површне за одређивање оптималних параметара процеса фотокаталитичке разградње малахит зелене боје.
- Примена методологије одзивне површине за предвиђање ефикасности фотокаталитичке разградње малахит зелене боје. Очекује се да ће развијени модел показати високу предиктивну способност ($R^2 > 0,9$) уз високу поузданост. Поред тога, очекује се да ће примена методологије одзивне површине омогућити утврђивање утицаја процесних параметара, као и дефинисање оптималних услова фотокаталитичке разградње за постизање максималне ефикасности процеса.

6. План истраживања и структура рада

6.1. План истраживања

План истраживања у оквиру ове докторске дисертације обухватиће:

1. Преглед релевантних литературних података;
2. Експериментална истраживања:
 - Механичка сепарација истрошених цинк–угљеничних батерија на појединачне компоненте;
 - Синтеза наночестица ZnO из анодног материјала истрошених Zn–C батерија;
 - Синтеза манган–оксида из катодног материјала истрошених Zn–C батерија;
 - Синтеза графен–оксида из графитне електроде издвојене из истрошених Zn–C батерија;
 - Модификације наночестица ZnO манган–оксидом и графен–оксидом;
 - Карактеризације синтетисаних наноматеријала (XRD, SEM/EDS, FTIR);
 - Одређивања енергије забрањене зоне;
 - Испитивања фотокаталитичке активности синтетисаних наноматеријала UV-Vis методом;
 - Испитивања кинетике фотокаталитичке деградације малахит зелене боје;
 - Анализе стабилности и поновне употребљивости синтетисаних наноструктурних материјала на бази ZnO;
3. Оптимизације процеса фотокаталитичке разградње малахит зелене боје применом Методологије одзивне површине;
4. Обрада и дискусија добијених резултата.

6.2. Структура докторске дисертације

Према датом плану истраживања може се очекивати следећа структура докторске дисертације: Увод, Теоријски део са литературним прегледом досадашњих истраживања,

Циљ и значај истраживања, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература.

7. Закључак и предлог

На основу података датих у пријави кандидата и образложења теме, Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације закључује да кандидат Соња Станковић, мастер инжењер технологије, испуњава све законске услове за рад на предложеној теми: „Синтеза, карактеризација и фотокаталитичка активност наноструктурних материјала на бази цинк-оксида из истрошених цинк–угљеничних батерија“, која припада научној области Технолошко инжењерство. На основу предмета истраживања, садржаја, циљева и очекиваног научног доприноса, Комисија такође сматра да је предложена тема научно утемељена и адекватна за израду докторске дисертације.

Комисија предлаже Наставно–научном већу Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, да се кандидату Соњи Станковић, мастер инжењеру технологије, одобри израда докторске дисертације под називом „Синтеза, карактеризација и фотокаталитичка активност наноструктурних материјала на бази цинк-оксида из истрошених цинк–угљеничних батерија“ и да се за ментора именује проф. др Милан Радовановић, редовни преофесор Универзитета у Београду – Техничког факултета у Бору.

У Бору, _____

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Жаклина Тасић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Технички факултет у Бору

др Ана Симоновић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Технички факултет у Бору

др Лидија Манчић, научни саветник
Институт техничких наука САНУ