

Секретар Већа научних области техничких наука

Универзитет у Београду,

Стефан Ћалић

Предмет: Накнадни материјал за 27. електронску седницу Већа научних области техничких наука Универзитет у Београду

Поштовани,

У прилогу Вам достављамо накнадни материјал за 27. електронску седницу Већа научних области техничких наука Универзитет у Београду – реферат о завршеној докторској дисертацији за кандидата, Андријану Васић.

Имајући у виду да је седница Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета одржана дана, 22.05.2025. године, а да је кандидат везан роковима за избор у наредно звање, Факултет није био у могућности да благовремено достави наведени материјал, молимо Вас да достављени материјал накнадно уврстите у дневни ред Већа.

С поштовањем,

Декан

Рударско-геолошког факултета

Проф. др Александар Цвјетић

Факултет Рударско-геолошки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука
(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на одлуке о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и о именовању комисије за одбрану**

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације:

КАНДИДАТ Андријана (Милорад) Васић, маг. инж. заштите животне средине (девојачко презиме Недељковић)
(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму Рударско инжењерство

пријавио је докторску дисертацију под називом:

„Истраживање могућности валоризације отпада из процеса сагоревања лигнита у ложиштима термоелектрана и топлана у Републици Србији“

из научне

области: Рударско инжењерство

Универзитет је дана 01.07.2021. год. својим актом под бр. 61206-2664/2-21 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„Истраживање могућности валоризације отпада из процеса сагоревања лигнита у ложиштима термоелектрана и топлана у Републици Србији“

Име и презиме ментора др Ивица Ристовић, ред. проф.
др Милан Краговић, виши научни сарадник

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној 27.03.2025. год. одлуком факултета под бр. 1/68, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1. <u>др Александар Цвјетић, ред. проф.</u>		Заштита на раду и заштита животне средине	Рударско-геолошки факултет у Београду
2. <u>др Предраг Лазић, ред. проф.</u>		Припрема минералних сировина	Рударско-геолошки факултет у Београду
3. <u>др Марија Стојменовић, научни саветник</u>		Природно-математичке науке	Институт за нуклеарне науке „Винча“
4. _____			
5. _____			

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности: 11.04.2025. год.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници

одржаној дана: 22.05.2025. год.

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној

22. 05.2025. год.

одлуком факултета под бр. 1/143 , у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1. др Александар Цвјетић, ред. проф.		Заштита на раду и заштита животне средине	Рударско-геолошки факултет у Београду
2. др Предраг Лазић, ред. проф.		Припрема минералних сировина	Рударско-геолошки факултет у Београду
3. др Марија Стојменовић, научни саветник		Природно-математичке науке	Институт за нуклеарне науке „Винча“
4.			
5.			

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Александар Цвјетић

- Прилози:**
- Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације
 - Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
 - Примедбе на извештај Комисије о оцени докторске дисертације (уколико их је било) и мишљење Комисије о примедбама

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

На основу члана 181. став 6. Статута Универзитета у Београду и члана 175. став 6. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на својој седници одржаној 26.09.2024. године, донело је

О Д Л У К У

Одобрава се продужење рока за завршетак докторских студија на лични захтев **Андријани Васић, маг. инж. заш. жив. средине**, тема под насловом *„Истраживање могућности валоризације отпада из процеса сагоревања лигнита у ложиштима термоелектрана и топлана у Републици Србији“*, највише до троструког броја школских година потребних за реализацију студијског програма.

Д Е К А Н

др Биљана Аболмасов, ред. проф.

Достављено:

- Ментору
- Именованој
- Одељењу за студентска питања

На основу члана 40. Закона о високом образовању, члана 114. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и члана 39. и 40. Правилника о докторским студијама на Рударско-геолошком факултету, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 22.05.2025. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену докторске дисертације **Андријане Васић, магист. инж. заштите животне средине**, под насловом *„Истраживање могућности валоризације отпада из процеса сагоревања лигнита у ложиштима термоелектрана и топлана у Републици Србији“*, уз образложење да је завршена докторска дисертација у складу са одобреном темом, као и да наводи садржани у извештају потврђују да су се стекли услови за одбрану докторске дисертације.
2. Универзитет у Београду је дана 01.07.2021. године дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.
3. Рад из научног часописа са листе која је утврђена као релевантна за вредновање научне компетенције у одређеном научном пољу:
 - Nedeljković, A., Stojmenović, M., Gulicovski, J., Ristić, N., Milićević, S., Krstić, J., Kragović, M. (2020). Waste slag from heating plants as a partial replacement for cement in mortar and concrete production. Part I—Physical–chemical and physical–mechanical characterization of slag. *Minerals*, 10(11), 992. M21 IF= 2,989
4. Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације именованог у саставу: др Александар Цвјетић, ред. проф.; др Предраг Лазић, ред. проф.; др Марија Стојменовић, научни саветник Универзитет у Београду - Института за нуклеране науке „Винча“.
5. Комисија за одбрану бира председника из реда својих чланова.
6. Докторска дисертација из става 1. ове одлуке подобна је за одбрану након добијања сагласности од Већа научних области техничких наука.
7. О термину одбране благовремено се обавештава стручна служба ради обављања претходних активности.

Д Е К А Н

др Александар Цвјетић, ред. проф.

Достављено:

- Већу научних области техничких наука
- Комисији
- Именованој
- Одељењу за студентска и наставна питања

ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ:

Име и презиме: Проф. др Александар Цвјетић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују за учешће у Комисији за оцену докторске дисертације:

1. Pantelic, U., Lilic, P., **Cvjetic, A.**, Lilic, N. Environmental noise impact assessment for large-scale surface mining operations in Serbia, Sustainability, 2023;15(3), 1798., <https://doi.org/10.3390/su15031798>, IF=3.6, M23,
2. Nisic, D., Knezevic, D., **Cvjetic, A.**, Nisic, N., Jovanovic, V. Applicability of the risk ranking methodology designed for water reservoirs to tailings storage facilities, Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2022; 122(11), 673-679, <https://doi.org/10.17159/2411-9717/1492/2022>, IF=1, M23,
3. Josimović, B. D., **Cvjetić, A.**, Manić, B. Strategic environmental assessment in the application of preventive protection for wind farm noise—case study: Maestralski ring wind farm. Energies, 2021 ;14(19), 6174, <https://doi.org/10.3390/en14196174>, IF=3.33, M23,
4. Josimović, B., **Cvjetić, A.**, Furundžić, D. Strategic Environmental Assessment and the precautionary principle in the spatial planning of wind farms—European experience in Serbia. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021;136, 110459, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110459>, IF= 17.55, M21a,
5. Lilic, N., **Cvjetic, A.**, Knezevic, D., Milisavljevic, V., Pantelic, U. Dust and noise environmental impact assessment and control in Serbian mining practice. Minerals, 2018; 8(2), 34, <https://doi.org/10.3390/min8020034>, IF=2.453, M22.

ДЕКАН

Рударско-геолошког факултета

Проф. др
Александар Цвјетић

ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ:

Име и презиме: Проф. др Предраг Лазић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују за учешће у Комисији за оцену докторске дисертације:

1. Kostović M., **Lazić P.**, Vučinić D., Deušić S., Tomanec R., Factorial experimental design for selective flotation of chalcopyrite from copper sulphide ore with moderate content, Journal of Mining Science, (2015); <https://doi.org/10.1134/S1062739115020246>, IF=0.321, M23,
2. Cvetičanin L., Vučinić D., **Lazić P.**, Kostović M., The Effect Galena Particle Size on Flotation Kinetics, Journal of Mining Science, (2015), <https://doi.org/10.1134/S1062739115030230>, IF=0.321, M23.
3. Niksic, D., **Lazic, P.**, Kostovic, M. Flotability of Chalcopyrite from the Rudnik Deposit. Journal of Mining Science, 2021; 57, 523-530, <https://doi.org/10.1134/S1062739121030170>, IF=0.41, M23,
4. **Lazic, P.**, Niksic, D., Tomanec, R., Vucinic, D., Cveticanin, L. Chalcopyrite floatability in flotation plant of the Rudnik mine. Journal of Mining Science, 2020; 56, 119-125, <https://doi.org/10.1134/S1062739120016552>, IF=0.405, M23,
5. Cvetičanin, L., **Lazić, P.**, Vučinić, D. A Comparative Analysis of the Effect of Galena Grain Size and Collector Concentration on Flotation Recovery and Flotation Kinetics. Journal of Mining Science, 2018; 54, 485-490, <https://doi.org/10.1134/S1062739118033894>, IF=0.317, M23.

ДЕКАН

Рударско-геолошког факултета

Проф. др
Александар Цвјетић

ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ:

Име и презиме: др Марија Стојменовић

Звање: Научни саветник

Списак радова који квалификују за учешће у Комисији за оцену докторске дисертације:

1. Stojmenović, M., Gulicovski, J., Nišić, N., Ristić, N., Liu, S., Lored, J., Kragović, M. Sustainable Application of Waste Sludges from the Wastewater Treatment Plant Generated during the Production of Heating Devices in the Construction Industry, Materials, 2024; 17(5):1089, <https://doi.org/10.3390/ma17051089>, IF=3.4, M22,
2. Stojmenović, M., Nišić, N., Kragović, M., Gulicovski, J., Basoli, F., Bajuk-Bogdanović, D., Žunić, M. Multidoped CeO₂ single-phase as electrolyte for IT-SOFC. Solid State Ionics. 2024; 414:116645, <https://doi.org/10.1016/j.ssi.2024.116645>, IF=3.2, M22,
3. Vasić, A., Gulicovski, J., Stojmenović, M., Nišić, N., Nikolić, K., Nuić, I., Kragović, M. Removal of Ethyl Xanthate Anions from Contaminated Aqueous Solutions Using Hazardous Waste Slag Generated by Lignite Combustion, Water, 2024, 16(14), 2037, <https://doi.org/10.3390/w16142037>, IF=3.3, M22,
4. Kragović, M., Ristić, N., Gulicovski, J., Nedeljković, A., Pašalić, S., Ristović, I., Stojmenović, M. Application of Lignite Combustion Waste Slag Generated in Heating Plants as a Partial Replacement for Cement. Part II: Physical–Mechanical and Physical–Chemical Characterization of Mortar and Concrete, Minerals, 2021;11(9), 925, <https://doi.org/10.3390/min11090925>, IF=2.989, M21,
5. Nedeljković, A.; Stojmenović, M.; Gulicovski, J.; Ristić, N.; Milićević, S.; Krstić, J.; Kragović, M. Waste Slag from Heating Plants as a Partial Replacement for Cement in Mortar and Concrete Production. Part I—Physical–Chemical and Physical–Mechanical Characterization of Slag. Minerals 2020, 10, 992., <https://doi.org/10.3390/min1011099>, IF=2,989, M21.

ДЕКАН

Рударско-геолошког факултета

Проф. др
Александар Цвјетић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
РУДАРСКО - ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ
Наставно - научном већу

Одлуком Наставно - научног већа Рударско - геолошког факултета бр. 1/68 од 01.04.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидата Андријане Васић под насловом

**„ИСТРАЖИВАЊЕ МОГУЋНОСТИ ВАЛОРИЗАЦИЈЕ ОТПАДА ИЗ ПРОЦЕСА
САГОРЕВАЊА ЛИГНИТА У ЛОЖИШТИМА ТЕРМОЕЛЕКТРАНА И
ТОПЛАНА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ ”**

На основу прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ И ДИСЕРТАЦИЈИ

Андријана (Милорад) Васић, је рођена 29.09.1994. године у Београду, Република Србија. Основну школу „Кнез Лазар” завршила је 2009. године у Лазаревцу, а Гимназију Лазаревац завршила је 2012. године. Основне академске студије завршила је 2017. године са просечном оценом 8,20 (осам и 20 / 100) на Рударско – геолошком факултету, Универзитета у Београду, студијски програм Рударско инжењерство, модул Заштита животне средине, одбранивши дипломски рад под називом „Процена утицаја на животну средину површинског копа Цинка и Олова Западна Структура”. Мастер академске студије уписала је 2017. године и завршила је 2018. године, такође на Рударско – геолошком факултету, Универзитета у Београду, са просечном оценом 9,70 (девет и 70 / 100) одбранивши мастер рад под називом „Моделирање дисперзије прашине у ваздуху на подручју површинског копа Велики Кривељ” и тиме стекла звање мастер инжењер заштите животне средине. Докторске академске студије на Рударско – геолошком факултету, студијски програм Рударско инжењерство уписала је школске 2018/2019. године.

Од 08.08.2019. године запослена је у Лабораторији за материјале (170) Института за нуклеарне науке „Винча” – Институт од националног значаја за Републику Србију Универзитета у Београду као истраживач приправник. Звање истраживач сарадник је стекла у октобру 2021. године. Током истраживачког рада у Лабораторији за материјале Института за нуклеарне науке „Винча” ангажована је на пословима који се односе на синтезу, карактеризацију и примену материјала у различите сврхе као што су: уклањање различитих органских и неорганских загађивача из контаминираних вода и водених ресурса (на пример: ксантати, тешки метали – олово, бакар, кадмијум али и цијанобактерије, цијанотоксини, итд.), као и на проналажењу употребне вредности и

примени отпадних материјала у различитим индустријама. Такође, ангажована је и на пословима који се односе на развој и примену материјала у енергетици, а пре свега за добијање SOFC горивних ћелија. У оквиру рада у Лабораторији, овладала је свим неопходним експерименталним и различитим инструменталним техникама као што су: инфрацрвена спектроскопија (ФТИР), УВ/ВИС спектрофотометрија, рендгенска спектрометрија (XRD), а такође упознала се и са другим методама карактеризације. Своја истраживања представила је на разним међународним конференцијама, укључујући МЕР 2019, МЕР 2021, МЕР 2023 и 6CSCS-2022.

Кандидат је коаутор 21 рада од чега су 2 у врхунским међународним часописима категорије М21, 2 у међународним часописима категорије М22. Кандидат је коаутор и 1 рада у часопису националног значаја категорије М51, 16 саопштења на међународним научним скуповима категорије М33 и М34.

1.1. Наслов и обим дисертације

Наслов докторске дисертације кандидата Андријане Васић, дипломираног мастер инжењера заштите животне средине, гласи: „Истраживање могућности валоризације отпада из процеса сагоревања лигнита у ложиштима термоелектрана и топлана у Републици Србији”.

Докторска дисертација садржи:

- 126 страна рачунарски обрађеног текста А4 формата, укључујући додатке, односно 109 страна текста А4 формата без додатака,
- 26 табела у тексту дисертације,
- 62 илустрације (графика и слика) у тексту дисертације,
- 3 прилога - Изјава о ауторству, Изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу, и
- 116 литературна навода у списку литературе.

1.2. Хронологија одобравања и израде дисертације

Одлуком Наставно – научног већа Рударско – геолошког факултета Универзитета у Београду бр. 1/115 од 24.05.2021. године, а на основу пријаве теме докторске дисертације кандидата Андријане Васић рођена Недељковић, дипломирани мастер инжењер заштите животне средине, под називом „Истраживање могућности валоризације отпада из процеса сагоревања лигнита у ложиштима термоелектрана и топлана у Републици Србији”, формирана је Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације, кандидата у саставу: др Ивица Ристовић, редовни професор, Универзитет у Београду – Рударско – геолошки факултет, др Александар Цвјетић, редовни професор, Универзитет у Београду – Рударско – геолошки факултет, др Предраг Лазич, редовни професор, Универзитет у Београду – Рударско – геолошки факултета, др Милан Краговић, виши научни сарадник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча” – Институт од националног значаја за Републику Србију, др Марија Стојменовић, виши научни сарадник, Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча” – Институт од националног значаја за Републику Србију.

Наставно – научно веће Рударско – геолошког факултета Универзитета у Београду је одлуком бр 1/156 од 18.06.2021., усвојило позитиван извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата и за ментора именовало др Ивицу Ристовића, редовног професора Универзитета у Београду – Рударско – геолошког факултета и др Милана Краговића, вишег научног сарадника Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча” – Институт од националног значаја за Републику Србију. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 01.07.2021. године донело одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације кандидата Андријане Васић рођена Недељковић под називом „Истраживање могућности валоризације отпада из процеса сагоревања лигнита у ложиштима термоелектрана и топлана у Републици Србији” (Одлука бр. 61206-2664/2-21 од 01.07.2021.).

Кандидат Андријана Васић, мастер инжењер заштите животне средине је 11.03.2025. године поднела Молбу за именовање комисије за оцену докторске дисертације (бр 1/57 од 11.03.2025.) под називом „Истраживање могућности валоризације отпада из процеса сагоревања лигнита у ложиштима термоелектрана и топлана у Републици Србији”. На основу молбе кандидата, Катедра за Заштиту на раду и заштиту животне средине Рударско – геолошког факултета Универзитета у Београду је, својом одлуком (бр 1/68 од 01.04.2025.) предложила Наставно – научно веће Рударско – геолошког факултета Универзитета у Београду формирање Комисије за оцену докторске дисертације кандидата у следећем саставу: др Александар Цвјетић, редовни професор Универзитета у Београду, Рударско - геолошки факултет, др Предраг Лазић, редовни професор Универзитета у Београду, Рударско - геолошки факултет, др Марија Стојменовић научни саветник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча” – Институт од националног значаја за Републику Србију.

1.3. Место дисертације у одговарајућој научној области

Докторска дисертација „Истраживање могућности валоризације отпада из процеса сагоревања лигнита у ложиштима термоелектрана и топлана у Републици Србији” припада научној области „Рударско инжењерство”. Докторска дисертација је урађена у лабораторији за Материјале, Института за нуклеарне науке „Винча”- Институт од националног значаја за Републику Србију. За менторе су именовани: др Ивица Ристовић, редовни професор Рударско – геолошког факултета, Универзитета у Београду и др Милан Краговић, виши научни сарадник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча” – Институт од националног значаја за Републику Србију.

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ

Предмет истраживања предложене докторске дисертације био је да се развије еколошки прихватљив, лако доступан и јефтин материјал за примену у различите индустријске сврхе, који ће у свом саставу садржати отпадну шљаку која настаје сагоревањем лигнита у топланама и термоелектранама у Републици Србији за уклањање и адсорпцију етил - ксантата из загађених вода које потичу из рудничких јаловишта. Такође, предмет истраживања је и испитивање отпадне шљаке као потенцијалног грађевинског материјала, што би било у складу са принципима одрживог развоја

рударства, с обзиром да се тежи примени „зелене” технологије и самим тим би се отпадна шљака поново користила по принципима циркуларне економије.

Циљ докторске дисертације је да се допринесе очувању животне средине и реше еколошки проблеми кроз савремене приступе принципа циркуларне економије. То укључује враћање отпадних материјала у употребу развијањем практичних решења која омогућавају њихову поновну употребу у разним индустријским гранама.

У оквиру овог општег циља могу се издвојити два правца истраживања, у зависности од предвиђене намене отпадне шљаке из топлане и термоелектране и то су:

1. Коришћење отпадне шљаке за уклањање токсичних ксантата из рудничких отпадних вода поштујући већ наведен принцип циркуларне економије;
2. Испитивање употребне вредности отпадне шљаке из топлана и термоелектрана у грађевинској индустрији с обзиром на њену широку распрострањеност као једно од везива у малтеру и бетону.

3. ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ И ПОЛАЗНИ ПОДАЦИ

Докторска дисертација заснива се на следећим хипотезама:

- Полазна хипотеза – решавање еколошких проблема употребом материјала који представљају еколошке проблеме, а да се при томе добије и економска корист.
- Хипотеза 1. – отпадне шљаке могу се користити као адсорбенти етил - ксантата из контаминираних јаловишних и индустријских отпадних вода. Одговарајућим методама модификације, и испитивањем утицаја различитих параметара на ефикасност уклањања етил - ксантата (утицај рН, утицај концентрације етил – ксантата, маса адсорбента темпетарута, време, итд.) биће постигнуто добијање еколошког материјала који ће бити потпуно предвидивих особина, ефикасан у уклањању етил – ксантата.
- Хипотеза 2. – отпадна шљака која настаје сагоревањем лигнита у топланама и термоелектранама која је еколошки проблем, може имати употребну вредност. Кроз различите методе карактеризације као што су одређивање хемијског састава помоћу класичне хемијске анализе, термогравиметријске (ТГА) и диференцијалне термичке анализе (ДТА), одређивања специфичне површине (БЕТ), рендгенске дифракционе анализе (XRD), скенирајуће електронске микроскопије (ФСЕМ) и инфрацрвене спектроскопске анализе са Фуријеовом трансформацијом (ФТИР), као и испитивања пуцоланске активности, упијања воде, време почетака и краја везивања, сталности запремине, теста лужења „leaching test”, као и применом различитих метода модификације, може се показати да су испитиване отпадне шљаке економски и еколошки погодне за коришћење у грађевинској индустрији при производњи малтера и бетона.

4. ОПИС САДРЖАЈА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација кандидата Андријане Васић садржи 11 поглавља:

1. Увод,
2. Отпадна шљака,
3. Ксантати у животној средини,
4. Предмет и циљ рада,
5. Преглед литературе,
6. Материјали и методе,
7. Резултати,
8. Закључак и
9. Литература.
10. Биографија
11. Прилози

Докторска дисертација обухвата: насловну страну на српском и енглеском језику, страницу са саставом комисије и именима ментора, резиме на српском и енглеском језику, изјаву захвалности, списак скраћеница, садржај, списак литературе и прилоге.

На крају дисертације приложени су Биографски подаци кандидата, као и три изјаве: Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу.

4.1. Кратак приказ појединачних поглавља

У **уводном делу** докторске дисертације дат је преглед области од важности за тему којом се дисертација бави. Дат је преглед литературе релевантних чињеница и фактора везаних за отпадну шљаку која је била предмет истраживања, али и за угаљ из којег отпадна шљака настаје, као и за етил – ксантат чијом се адсорпцијом теза бави.

Прво потпоглавље увода говори о пореклу, старости, намени и другим својствима угља. Посебан акценат стављен је на лигнит, с обзиром на његово широко коришћење на територији Републике Србије. Такође, дат је и преглед лежишта ПК Колубара и ПК Костолац који су били извор отпадне шљаке која је коришћена у овом истраживању. Поред тога, објашњене су разлике лигнита у односу на друге врсте угља и сходно томе приказане су разлике између различитих типова отпадне шљаке и пепела који из њих настају.

Друго потпоглавље увода односи се на отпадну шљаку. На почетку је дат преглед хемијског састава различитих врста отпадних шљака. Такође, објашњено је како различити типови котлова утичу на настанак отпадне шљаке. Након тога, анализирано је која употребна вредност би се могла дати отпадној шљаци, пре свега као грађевинског материјала. Затим је дискутовано о потенцијалним еколошким проблемима које отпадна шљака може стварати путем аеросоли, воде или земљишта. Додатно је анализиран приступ циркуларне економије који би наведене еколошке проблеме могао ублажити или потпуно уклонити. На послетку је објашњен хемијски састав цемента са посебним нагласком на Портланд цементу чија би замена отпадном шљаком могла допринети економичности у грађевинској индустрији.

Треће потпоглавље увода се бави структуром и хемијским понашањем етил – ксантата, при чему је посебан фокус дат на дисоцијацију. Затим је вршено упоређивање понашања етил – ксантата у киселој и базној средини и објашњено зашто етил – ксантат има боље флотационе перформансе на високим рН вредностима. Поред тога, анализирана су оксидо – редукциона својства етил – ксантата и потенцијални проблеми које ови процеси могу изазвати приликом флотације из сулфидних руда. Додатно је дато објашњење формирања дисулфида (CS_2) у присуству бакра и гвожђа. Упоредо са употребом етил – ксантата анализиран је његов значај као загађивача у животној средини. Посебан фокус стављен је на токсичност етил – ксантата и сходно томе су дати предлози за његово ефикасно уклањање из водених раствора: преципитацијом, оксидацијом, коагулацијом, биоразградњом и адсорпцијом. Прегледом литературе, закључено је да је адсорпција најједноставнија и најефикаснија метода за уклањање етил – ксантата, те су наведени различити адсорбенти који би се могли користити у те сврхе: бентонити, зеолити, активни угаљ и пирогени силицијум и отпадна шљака. Предност је дата отпадној шљаци, обзиром да је мало радова истаживало отпадну шљаку као ефикасног адсорбента за уклањање етил – ксантата.

Друго поглавље обухвата „ **Предмет и циљ рада**”, где су дефинисани основни циљеви истраживања о употреби отпадне шљаке као адсорбента и потенцијалног грађевинског материјала. Из наведених праваца истраживања произашли су специфични циљеви:

1. Употреба отпадне шљаке у циљу уклањања етил – ксантата као загађивача поштујући принципе циркуларне економије.
2. Испитивање могућности примене отпадне шљаке из топлана и термоелектрана у грађевинској индустрији уз фокус на економичност процеса.

У трећем поглављу дат је преглед литературе која је коришћена при изради докторске дисертације.

Четврто поглавље састоји се из три дела који се баве различитим **Методама карактеризације** испитиваног материјала. У даљем раду, коришћени материјал узоркован је са индустријске депоније у Ваљеву и из термоелектране Костолац. Затим су обе отпадне шљаке испране дестилованом водом и модификоване Бакар (II) – нитрат трихидратом ($Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$) и гвожђе (III) – нитрат нонхидратом ($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$). Након тога, модификованој отпадној шљаци је додат етил – ксантат. У првом делу дат је преглед физичко – хемијских метода карактеризације полазне, испране, модификоване и модификоване отпадне шљаке контаминираних етил – ксантатом и то: хемијски састав и садржај тешких метала, термогравиметријска и диференцијална термичка анализа (ТГА/ДТА), одређивање текстуалних особина (БЕТ), рендгенска дифракциона анализа (XRD), инфрацрвена спектроскопија са Фуријевом трансформацијом (ФТИР), скенирајућа електронска микроскопија (ФСЕМ) и одређивање тачке нултог наелектрисања (pH_{pzc}). Други део поглавља описује методе карактеризације адсорпционих особина модификоване отпадне шљаке за уклањање етил – ксантата из водених раствора. У складу са тиме, испитивана је хемијска стабилност ксантата, утицај рН на адсорпцију етил – ксантата, утицај масе адсорбента, утицај концентрације етил – ксантата, кинетика везивања, адсорпционо – десорпционе методе и испитивање отпадне шљаке као адсорбента за уклањање етил – ксантата из отпадне воде флотацијског постројења за прераду руде бакра и племенитих метала у Бору. Трећи део четвртог поглавља бави се физичко – механичким методама, којима је отпадна шљака окарактерисана као грађевински материјал. У ту сврху, описане су следеће методе: испитивање пуцоланске активности, индекс активности, потреба за водом, почетак и крај

везивања и сталност запремине отпадне шљаке. Поред ових метода, испитиване су и методе за потенцијалну примену отпадне шљаке као замене за цемент у производњи малтера и бетона: одређивање конзистенције малтера, запреминске масе свежег малтера, запреминске масе очврслог малтера, чврстоће на савијање и на притисак малтера, упијања воде под атмосферским притиском и коефицијент упијања воде услед капиларног дејства, скупљања услед сушења, адхезије малтера за бетонску површину, одређивање конзистенције бетона, запреминске масе свежег бетона, садржаја ваздуха у свежем бетону, запреминске масе очврслог бетона у водозасићеном стању, чврстоће на савијање и притисак бетона.

Пето поглавље пружа увид у **Резултате** докторске дисертације који се састоје из три потпоглавља. У првом потпоглављу дати су резултати **Физичко – хемијске карактеризације обе отпадне шљаке**. Анализа хемијског састава полазне отпадне шљаке из топлане у Ваљеву (ПОШВ) показала је да се највећим делом састоји од оксида: SiO_2 , Fe_2O_3 и Al_2O_3 ($> 10\%$). Однос Si/Al износио је 1,35 што је указивало на релативну хидрофилност материјала. Код полазне отпадне шљаке из термоелектране Костолац (ПОШК) показана је још већа заступљеност наведених оксида (SiO_2 , Fe_2O_3 и Al_2O_3), што указује на потенцијално већу стабилност, кристалност и термијску отпорност материјала. Однос Si/Al код ПОШК износио је 2,17 што указује на већу хидрофобност отпадне шљаке из термоелектране Костолац. Модификована отпадна шљака из топлане у Ваљеву (МОШВ) показала је повећање заступљености оксида Fe_2O_3 (31,65 %) што је у складу са извршеном модификацијом. Такође, проценат осталих оксида, пре свега SiO_2 и Al_2O_3 се смањује, што је примећено и код модификоване отпадне шљаке из термоелектране Костолац (МОШК). Резултати анализе садржаја тешких метала код обе отпадне шљаке су показали високе концентрације никла и антимоана, док је отпадна шљака из топлане у Ваљеву показала и недозвољене концентрације хрома и олова. То обе отпадне шљаке чини опасним отпадом према правилнику о категоријама, испитивању и класификацији отпада, „Службени гласник” Републике Србије бр. 56/2010.

ТГА/ДТА анализа показала је разлику у термијској стабилности између отпадне шљаке из топлане у Ваљеву и термоелектране Костолац. Губитак масе жарењем до $1000\text{ }^\circ\text{C}$ код ПОШВ износио је 35,27 % што је релативно висок губитак масе који пре свега потиче од дехидратације и оксидације органских компоненти (уочен је пик на $732\text{ }^\circ\text{C}$). Континуални губитак масе није уочен код ПОШК, али су на ДТА дијаграму уочени пикови на $523\text{ }^\circ\text{C}$ и $839\text{ }^\circ\text{C}$, што је указивало на присуство органских компоненти и код ове отпадне шљаке. Губитак масе код МОШВ износио је 28,75 % што је нижа вредност него код ПОШВ, а слично је било уочено и код МОШК, па се за обе отпадне шљаке може тврдити да модификација бакром и гвожђем доприноси њиховој термијској стабилности.

Анализа текстуралних особина материјала (БЕТ) показала је да су полазне отпадне шљаке доминантно непорозни материјали, а да се модификацијом бакром и гвожђем постиже повећање површине материјала и до 25 пута ($170,46\text{ m}^2/\text{g}$ ЗА МОШВ и $181,62\text{ m}^2/\text{g}$ за МОШК). Ово указује да модификација доприноси повећању површине доступне за адсорпцију етил – ксантата. Модификовани материјали показали су тип IV хистерезне петље и доминантно мезопорну природу материјала (запремина мезопора: $0,0795\text{ cm}^3/\text{g}$ за МОШВ и $0,1153\text{ cm}^3/\text{g}$ за МОШК).

XRD анализа потврдила је присуство кварца (SiO_2) у обе отпадне шљаке, што је у складу са хемијским саставом. Кристали фелдспата и албита су били потврђени редом код ПОШВ и ПОШК, али у мањој количини од оне очекиване на основу анализе хемијског састава. То је указивало да је алуминијум већински присутан у аморфној фази. Присуство магнетита потврђено је код ПОШВ док је халкопирит био уочен код ПОШК, што је била главна разлика између ових отпадних шљака. То је у складу са различитим саставом ових отпадних шљака и тиме што је код ПОШК примећена већа количина бакра. Модификацијом обе отпадне шљаке дошло је до губитка кристалне структуре материјала што је потврдило да јони бакра и гвожђа коришћени у процесу модификације могу да наруше постојеће кристалне структуре.

ФТИР анализа показала је присуство ОН група, тј. спектралне траке на 3786 и 3697 cm^{-1} за полазну отпадну шљаку из топлане у Ваљеву које су одговарале истежућим вибрацијама хидроксилних група Al-OH и Si-OH . Слични резултати су уочени и код отпадне шљаке из термоелектране Костолац, па се може закључити да обе отпадне шљаке имају сличан састав. Поред наведеног поклапања уочено је и неколико значајних разлика: ароматичне спектралне траке од 1400 до 1500 cm^{-1} су знатно израженије код ПОШВ, док су слабо уочљиве биле код ПОШК. То се уклапало са мањим садржајем угљеника који је уочен код ПОШК. Такође, спектралне траке карактеристичне за магнетит на 1109 и 1546 cm^{-1} су уочене код ПОШВ, али и не код ПОШК, што се слагало са резултатима XRD анализе који су показали одсуство спектралних трака магнетита код ПОШК. Напошетку, обе отпадне шљаке су након модификације показале спектралну траку која је потицала од Cu-OH вибрације на око 1340 cm^{-1} .

СЕМ анализом при увећањима од $3500\times$ и $10000\times$ уочене су минималне разлике у морфолошким особинама између ПОШВ и ПОШК. Обе отпадне шљаке показале су хетерогену структуру и површину са присутним пукотинама и шупљинама које су потицале од непотпуног сагоревања лигнита. Међутим, овај ефекат је био уочљивији код ПОШВ, што је указало да је код ПОШК дошло до потпунијег сагоревања лигнита, што је у складу са мањим садржајем угљеника показаним ЕДС анализом. Величина честица обе полазне отпадне шљаке износила је око 54 nm , док је након модификације величина честица била 44 nm . Код обе отпадне шљаке након модификације уочено је повећање заступљености Cu и Fe , што је у складу са коришћеним реагенсима приликом модификације.

Одређивање тачке нултог наелектрисања (pH_{pzc}) потврдило је сличност између ПОШВ и ПОШК, с обзиром да се вредности њихових pH_{pzc} нису значајно разликовале (мање од 5%). Слично је показано и код МОШВ и МОШК, као и код обе модификоване отпадне шљаке контаминирани етил – ксантатом (МОШХВ, МОШХК). Ово је указивало на њихово слично електростатичко понашање. Разлика је уочена у пуферској области која је код ПОШВ била у интервалу од 3 до 10 , а код ПОШК $4,80$ до $9,50$. Ужи опсег pH вредности код ПОШК указивало је да је овај тип отпадне шљаке осетљивији на промену pH раствора.

У другом потпоглављу дати су резултати **Испитивања адсорпције етил – ксантата из водених раствора за обе отпадне шљаке након модификације.**

Хемијска стабилност етил – ксантата испитивана је спектроскопским мерењем на различитим таласним дужинама. На основу тога, уочене су две карактеристични таласне дужине: 301 nm (потиче од ксанто групе) и 206 nm (потиче од дисулфид – карбида). Уочено је да са повећањем pH вредности расте вредност апсорбанце раствора етил –

ксантата, тј. његова хемијска стабилност. Највећа стабилност примећена је на рН 10, па је ова вредност коришћена у даљим експериментима.

Утицај рН вредности на адсорпцију етил – ксантата проучаван је како би се одабрала најпогоднија рН вредност за уклањање загађивача. Утврђено је да је уклањање етил – ксантата најефикасније на рН 10 (98,12 %). Са порастом рН изнад 10 дошло је до пада у проценту уклањања етил – ксантата на 80 %, али је везивање адсорбата било и даље изражено, што је указивало на чињеницу да се поред електростатичког везивања, етил – ксантат везује и хемијским везама и хидрофобним интеракцијама. Како је већ показано да је етил – ксантат најстабилнији на рН 10, а и овим експериментом да се адсорбат најбоље уклањао при овој рН вредности, онда је она коришћена у даљим испитивањима.

Утицај масе адсорбента на уклањање етил – ксантата испитиван је мерењем процента уклањања адсорбата са повећањем масе адсорбента, али и изражавањем адсорбоване количине етил – ксантата по граму отпадне шљаке. За обе отпадне шљаке уочено је да се повећањем масе адсорбента повећава количина уклоњеног етил – ксантата, што је било у складу са чињеницом да се повећао број везивних места доступних за уклањање адсорбата. Међутим, ефикасност адсорпције изражена у mg/g адсорбента показала је да ефикасност опада са повећањем количине отпадне шљаке, што се могло објаснити агрегацијом честица приликом повећања количине адсорбента, чиме се уклањао одређени број доступних везивних места за адсорбат. Како би се нашао компромис између ова два уочена ефекта, одабрана је маса адсорбента од 200 mg/dm³ (10 mg/ 50 cm³) која је била коришћена у даљем раду. Добијене вредности ефикасности уклањања етил – ксантата за обе отпадне шљаке поређене су са осталим адсорбентима (AgNPs-clinoptilolite, Al-Be, Be-Cu-Fe₂O₄ и Mn-Ce-Al₂O₃), при чему је била потврђена супериорност обе отпадне шљаке у односу на друге адсорбенте приликом уклањања етил – ксантата.

Утицај концентрације етил – ксантата на ефикасност адсорпције испитиван је мерењем количине адсорбованог етил – ксантата при различитим иницијалним концентрацијама адсорбата (0 до 100 mg/dm³) на температурама од 25 °C, 35 °C и 45 °C. Утврђено је да је код обе отпадне шљаке адсорпција била подељена у две зоне: 1) зона наглог пораста адсорбоване количине при нижим концентрацијама етил – ксантата и 2) зона споријег везивања етил – ксантата при вишим концентрацијама адсорбата. Максималне адсорбоване количине етил – ксантата за отпадну шљаку из топлане у Ваљеву у првој зони износиле су: 210 mg/g , 240 mg/g и 317 mg/g, док су за отпадну шљаку из термоелектране Костолац износиле редом: 260 mg/g, 302 mg/g и 320 mg/g. То је указивало на нешто већи адсорпциони потенцијал отпадне шљаке из термоелектране Костолац. Добијени резултати обе отпадне шљаке су били фитовани према три карактеристична модела: Лангмиров, Фројндлихов и Темкинов модел. За отпадну шљаку из топлане у Ваљеву, резултати су показали да се најбоље слагање постигло са Фројндлиховим моделом за све три температуре редом ($R^2 = 0,96; 0,98; 0,99$), што је указивало на хетерогену природу материјала и вишеслојну адсорпцију етил – ксантата. Поред овога, добро слагање показао је и Темкинов модел за све три температуре, али је закључено да се он може примењивати уз одређена ограничења. Значајан допринос овог модела био је у одређивању константи адсорпције (K_f и b) које су показале да је процес адсорпције етил – ксантата егзотерман. Фројндлихове константе (K_f) за све три температуре указивале су на висок капацитет адсорпције отпадне шљаке из топлане у Ваљеву, па су даље коришћене за израчунавање вредности Гибсове слободне енергије везивања адсорбата. Добијене вредности су износиле редом: - 27,80 KJ/mol ; -28,17 KJ/mol и -30,80 KJ/mol, што је према литератури указивало на средњу јачину интеракција између адсорбента и

адсорбата, те да је у питању била јака физисорпција или слаба хемисорпција. Отпадна шљака из термоелектране Костолац је показала другачије резултате у односу на отпадну шљаку из топлане у Ваљеву. Наиме, отпадна шљака из термоелектране Костолац најбоље слагање је показала са Лангмировим моделу на температурама 25 °C и 35 °C ($R^2 = 0,92$), што је указивало на хомогеност материјала и једнослојну адсорпцију етил – ксантата. Међутим, при температури од 45 °C резултати су показали боље слагање са Темкиновим модел ($R^2 = 0,93$). То је показало да се са повећањем температуре смањила енергија везивања етил – ксантата. Израчунате вредности Гибсове слободне енергије су износиле редом: -29,9 KJ/mol; -30,19 KJ/mol и -30,23 KJ/mol, што је као и код отпадне шљаке из топлане у Ваљеву указивало на средњу јачину интеракција између адсорбента и адсорбата. На основу овога је закључено да је највероватније реч о Ван дер Валсовим силама, хидрофобним интеракцијама и slabим хемијским везама.

Кинетика везивања етил - ксантата за површину отпадне шљаке је утврдила да су обе отпадне шљаке добри адсорбенти за уклањање етил – ксантата на температурама 25 °C, 35 °C и 45 °C. У случају отпадне шљаке из топлане у Ваљеву у првих 245 минута, при концентрацији адсорбата од 20 mg/dm³, адсорбована је већина етил – ксантата (слично време уклањања показала је отпадна шљака из термоелектране Костолац). Даљим испитивањем дошло је до постизања равнотеже у 828 минути код ПОШВ и 600 минути код ПОШК за исту концентрацију адсорбата. За више концентрације етил – ксантата (50 mg/dm³ и 90 mg/dm³) није долазило до постизања равнотеже у првих 24 сата, што је било у складу са повећаном количином адсорбата. Такође, и у овом случају уочено је нагло повећање адсорпције етил – ксантата на почетку експеримента. Добијени резултати указали су на висок адсорпциони капацитет обе отпадне шљаке. Резултати су потом били фитовани према четири кинетичка модела: псеудо модел првог реда, псеудо модел другог реда, Вебер – Морисов модел и Бојдов модел. Из добијених резултата закључено је да је псеудо модел првог реда био погодан само за ниже концентрације етил – ксантата (20 mg/dm³) јер су вредности R^2 параметра биле испод 0,90 на вишим концентрацијама адсорбата (50 mg/dm³ и 90 mg/dm³). Псеудо модел другог реда је показао знатно боље слагање за све три концентрације етил – ксантата на све три температуре код обе отпадне шљаке ($R^2 > 0,90$). Обзиром да овај модел указује на хемисорпцију резултат се уклапао са претходно добијеним вредностима Гибсове слободне енергије и Фројндлихових константи код отпадне шљаке из топлане у Ваљеву, док је отпадна шљака из термоелектране Костолац показала боље слагање са Лангмировим моделом, те је за објашњење њеног кинетичког понашања било потребно применити још кинетичких модела. Вебер – Морисов модел је показао добро слагање за обе отпадне шљаке при свим концентрацијама адсорбата, што је указивало на одвијање адсорпције и у унутрашњости адсорбента. Уочене су три зоне у мултилинеарном графику: 1) формирање филма адсорбата на површини адсорбента, 2) везивање етил – ксантата за површину адсорбента и 3) дифузија етил – ксантата у поре адсорбента. Константа брзине била је највећа код првог временског интервала, што је указивало на лимитирајући корак адсорпције у другом временском интервалу приликом уласка адсорбата у поре адсорбента. Напоследку, Бојдов модел је показао добро слагање за обе отпадне шљаке при свим концентрацијама адсорбата, што је указивало на одвијање адсорпције етил – ксантата на површини отпадне шљаке. Када су добијени резултати протумачени заједно, закључено је да је код обе отпадне шљаке адсорпција била вишестепени и сложени процес који укључује везивање етил – ксантата на површини као и унутрашњим каналима и шупљинама адсорбента и да се најбоље слагање постиже са псеудо моделом другог реда, што упућује на слабу хемисорпцију.

Испитивање адсорпционо – десорпционих процеса је показало да код обе отпадне шљаке након више десорпционих корака није долазило до десорпције етил – ксантата, већ до

додатног везивања адсорбата, с тим да је са порастом засићења од 20 % до 75 % адсорбата долазило до повећања адсорбоване количине етил – ксантата након десорпционих корака. То је указивало на могућност безбедног коришћења обе отпадне шљаке, обзиром да је показано да наведени материјали не отпуштају етил – ксантат.

Испитивање отпадне шљаке као адсорбента за уклањање етил – ксантата из отпадне воде флотацијског постројења за прераду руде бакра и племенитих метала у Бору је указивало да обе отпадне шљаке доводе до смањења етил – ксантата у рудничкој отпадној води, што је показало да су ефикасни адсорбенти. Отпадна шљака из топлане у Ваљеву је успела да уклони 75 % почетне концентрације адсорбата, док је отпадна шљака из термоелектране Костолац уклонила 81,5 % етил – ксантата што је указивало на њену већу ефикасност. Међутим, вредности добијене на реалном узорку су биле ниже од вредности добијених у воденим растворима, што је указивало на постојање одређених компоненти у рудничкој отпадној води које су потенцијално могле ометати процес адсорпције. С обзиром да ниједна од двеју врста отпадних шљака нису успеле да уклоне етил – ксантат испод границе токсичности ($<1 \text{ mg/dm}^3$), закључено је да је потребно применити вишестепену адсорпцију како би се наведени материјали користили као безбедни адсорбенти. На основу свега наведеног, закључено је да 1000 l рудничке отпадне воде може бити пречишћена са 250 g отпадне шљаке што је чини економичним адсорбентом.

У трећем потпоглављу дати су резултати **Испитивања физичко – механичких особина отпадне шљаке у грађевинској индустрији као замена за цемент у производњи малтера и бетона**. У првом делу трећег потпоглавља испитивано је одређивање пуцоланске активности и утицај замене цемента отпадном шљаком из топлане у Ваљеву и термоелектране Костолац. У ту сврху су биле испитиване следеће особине обе отпадне шљаке: пуцоланска активност, индекс активности, потреба за водом, почетак и крај везивања и сталност запремине. Резултати су показали да отпадна шљака из топлане у Ваљеву у свом изворном облику није поседовала пуцоланску активност али да се она може активирати минималним додатком силикатне прашине (однос шљаке и силикатне прашине 88 / 12 %), док је отпадна шљака из термоелектране Костолац показала да у свом изворном облику поседује пуцоланска својства, што је чинило погодном за делимичну замену цемента приликом израде цементних композита. У другом делу трећег потпоглавља рађена су испитивања малтера на бази Портланд цемента, природног песка и обе отпадне шљаке као додатка. У ту сврху испитиване су следеће физичко – механичке особине: конзистенција, запреминска густина свежег малтера, запреминска маса очврслог матера, чврстоћа на савијање, чврстоћа на притисак, одређивање упијања воде на атмосферском притиску, одређивање коефицијента упијања воде услед капиларних појава при очвршћавању цемента, скупљање, одређивање адхезивне чврстоће очврслог малтера. У трећем делу трећег потпоглавља рађена су испитивања бетона на бази Портланд цемента, природног агрегата и додате отпадне шљаке из топлане у Ваљеву и термоелектране Костолац. У те сврхе испитиване су следеће методе: конзистенција, запреминска маса бетона, садржај ваздуха у свежем бетону, запреминска маса бетона у очврслом стању, чврстоћа на савијање, чврстоћа на притисак. Резултати су показали да су малтер и бетон у којима су обе отпадне шљаке коришћене као делимична замена за цемент показали добре физичко – механичке карактеристике: конзистенцију и пластичност у свежем стању, чврстоћу на савијање и притисак, адхезивне особине и друге битне карактеристике. То је указивало на то да су обе отпадне шљаке биле погодне за употребу у грађевинској индустрији, што би могло да допринесе економичности процеса, с обзиром на велику производњу отпадне шљаке на годишњем нивоу чиме би се смањила цена производње малтера и бетона и смањио негативан утицај депоноване отпадне шљаке на животну средину.

5. ОСТВАРЕНИ РЕЗУЛТАТИ И НАУЧНИ ДОПРИНОС

5.1. Савременост, оригиналност и значај

Докторска дисертација „Истраживање могућности валоризације отпада из процеса сагоревања лигнита у ложиштима термоелектрана и топлана у Републици Србији” је оригинални научни рад који припада областима „Рударско инжењерство” и „Заштита животне средине”.

Како би се одређена метода користила у сврхе заштите животне средине, било је потребно извршити детаљна испитивања фактора при којима би се она могла примењивати, што је било постигнуто бројним физичко – хемијским анализама. Тематика докторске дисертације укључивала је испитивање адсорпционих особина отпадних шљака добијених сагоревањем лигнита у ложиштима топлана и термоелектрана у Републици Србији. Имајући у виду да су наведени материјали били означени као опасан отпад, значај дисертације огледа се у решавању еколошких проблема које овакав отпад ствара у животној средини. Његовом применом у циљу адсорпције опасних супстанци постиже се позитиван ефекат у светлу циркуларне економије. Поред тога, примена отпадне шљаке у грађевинској индустрији била би у складу са наведеним приступом.

Оригиналност докторске дисертације поред предмета којим се бави огледа се и у јединственом приступу који је укључивао мултифакторску анализу, како у лабораторијским условима, тако и на реалном узорку рудничке отпадне воде из флотацијског јаловишта рудника бакра и племенитих метала у Бору. Значај дисертације евидентан је како са становишта фундаменталне области рударског инжењерства тако и са становишта заштити животне средине, потенцијалном применом отпадне шљаке у грађевинској индустрији. Савременост и оригиналност потврђени су и објављивањем радова у међународним часописима, те објављеним радовима и саопштењима на међународним скуповима.

Оригиналност докторске дисертације Андријане Васић, дипломираног мастер инжењера Заштите животне средине под називом „Истраживање могућности валоризације отпада из процеса сагоревања лигнита у ложиштима термоелектрана и топлана у Републици Србији”, проверена је у складу са поступком дефинисаним у „Правилнику о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду”. Провером у софтверу „iThenticate” утврђено је да подударане по сличности износи 4 %.

На основу ових параметара, сматрамо да је оригиналност докторске дисертације кандидата Андријане Васић, дипломираног мастер инжењера заштите животне средине потврђена.

5.2. Оцена способности кандидата за самосталан научни рад

У току израде докторске дисертације, кандидат Андријана Васић, дипломирани мастер инжењер заштите животне средине је показао способност у постављању хипотеза и експерименталном раду, што је у реализацији истраживања потврђено кроз валидност и високу вредност добијених резултата. Кроз истраживање, кандидат је показао систематичност и аналитичност као и познавање научне методе у циљу добијања адекватних резултата.

На основу прегледане дисертације и других расположивих информација, Комисија констатује да је кандидат Андријана Васић, дипломирани мастер инжењер заштите животне средине у потпуности способан за самосталан научни рад.

5.3. Остварени научни допринос

Циљ докторске дисертације био је испитивање потенцијалне употребне вредности отпадне шљаке која настаје сагоревањем лигнита из топлане и термоелектране у Републици Србији како би се ови опасни материјали уклонили из животне средине и нашли своју примену у широко развијеним индустријским гранама.

Фокус истраживања био је на адсорпционим способностима обе отпадне шљаке, као и на њиховој примени у грађевинској индустрији као замени за цемент.

Остварен научни допринос докторске дисертације може се сагледати кроз следеће:

- Упоредна анализа адсорпционих способности отпадних шљака добијених сагоревањем лигнита из два различита лежишта у Републици Србији, чиме се отвара могућност будуће детаљније анализе употребне вредности кроз сагледавање различитих аспеката хемијског састава материјала.
- Јединствено целокупно сагледавање процеса адсорпције дато кроз специфичне кинетичке параметре који би се могли користити и у будућим истраживањима везаних за отпадне шљаке добијене сагоревањем лигнита, али и код сличних адсорбената.
- Развој конкретног поступка за уклањање етил – ксантата из рудничких отпадних вода који би се могао применити на отпадне воде на целој територији Републике Србије, а и шире.
- Детаљна анализа физичко – механичких особина обе отпадне шљаке које су показале да су ови материјали погодни за коришћење у грађевинској индустрији као замена за цемент у производњи малтера и бетона.
- Дефинисање правца будућих истраживања која би финализирала употребу отпадне шљаке у „зеленој технологији”.

5.4. Критичка анализа резултата истраживања

Анализом резултата истраживања и њиховим поређењем са поставкама истраживања закључено је да је докторска дисертација „Истраживање могућности валоризације отпада из процеса сагоревања лигнита у лежиштима термоелектрана и топлана у Републици Србији”, одговорила на адекватан начин на почетне хипотезе и оправдала свој научни допринос.

У условима неизвесности, одабиром специфичних научних метода, кандидат Андријана Васић је успела да на адекватан начин дође до статистички значајних резултата, пратећи одговарајућу научну литературу. Мултидисциплинарност је постигнута не само кроз одабир разноврсних експерименталних процедура, већ и кроз одабир два различита правца истраживања који би заједно могли допринети развоју циркуларне економије и „зелене технологије”.

Аналитичан и одговоран став истраживача допринео је добијању конкретних и применљивих резултата у области Рударства и Заштите животне средине.

5.5. Очекивана примена резултата у пракси

Резултати докторске дисертације кандидата Андријане Васић су оцењени високим степеном применљивости у пракси. Кроз сагледавање свих аспеката истраживачког рада, може се закључити да је допринос у пољу Рударства и Заштите животне средине постигнут конкретизовањем детаљних експерименталних истраживања кроз примену на реалном узорку из флотацијских јаловишта, као и испитивањем неопходних физичко – механичких особина отпадне шљаке како би се користила у грађевинској индустрији. У докторској дисертацији остављен је простор за усавршавање описаних процедура и будући развој интердисциплинарних поља истраживања која за циљ имају решавање еколошких проблема.

5.6. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације, кандидат је прикупио и анализирао велики број референци из предметне области.

Приликом анализе литературе, као честа тематика истицала се адсорпција молекула ксантата као загађивача различитим адсорбентима. Међутим, евидентан је био недостатак литературе везане за адсорпцију помоћу отпадне шљаке, што је указивало на могућност бављења овим истраживањем. Такође, фокус је био на етил – ксантату који се није у истој мери јављао у литератури као неки други флотациони агенси.

Велики број радова односио се на примену отпадне шљаке у грађевинској индустрији, али мали број радова је дао детаљну физичко – механичку анализу малтера и бетона добијених отпадном шљаком од сагоревања лигнита у топланама и термоелектранама. Ово је отворило простор испитивању отпадних шљака из лежишта угља у Републици Србији која нису у довољној мери била истражена, за разлику од оних у свету.

Од укупног броја референци у дисертацији 116, већина се односи на истраживања извршена у протеклих 10 година, што додатно потврђује актуелност тематике којом се бави докторска дисертација.

На основу прегледа обрађених и цитираних литературних извора, може се констатовати да је кандидат Андријана Васић показала одговарајући ниво познавања токова и стања у предметној области, како у светским оквирима, тако и код нас, као и да проблем обрађен у дисертацији, по својој структури, предмету и другим аспектима, одговара актуелним трендовима у литератури.

6. ОБЈАВЉЕНИ И САОПШТЕНИ РЕЗУЛТАТИ

Радови у часописима међународног значаја:

1. **Nedeljković, A.**, Stojmenović, M., Gulicovski, J., Ristić, N., Milićević, S., Krstić, J., Kragović, M. (2020). Waste slag from heating plants as a partial replacement for cement in mortar and concrete production. Part I—Physical–chemical and physical–mechanical characterization of slag. *Minerals*, 10(11), 992.
M21 IF= 2,989
2. Kragović, M., Ristić, N., Gulicovski, J., **Nedeljković, A.**, Pašalić, S., Ristović, I., Stojmenović, M. (2021). Application of Lignite Combustion Waste Slag Generated in Heating Plants as a Partial Replacement for Cement. Part II: Physical–Mechanical and Physical–Chemical Characterization of Mortar and Concrete. *Minerals*, 11(9), 925.
M21=2,989
3. **Vasić, A.**, Gulicovski, J., Stojmenović, M., Nišić, N., Nikolić, K., Nuić, I., Kragović, M. (2024). Removal of Ethyl Xanthate Anions from Contaminated Aqueous Solutions Using Hazardous Waste Slag Generated by Lignite Combustion. *Water*, 16(14), 2037.
M22 = 3,0
4. Gulicovski, J., Stojmenović, M., Rosić, M., **Vasić, A.**, Ristović, I., Janković-Častvan, I., Kragović, M. (2024). Mineralogical Characterization of the Grot Lead and Zinc Mine Tailings from Aspects of Their Further Use as Raw Material. *Applied Sciences*, 14(3), 1167.
M22 = 2,7

Конгресна саопштења на скуповима међународног значаја штампана у целини (M33)

1. **Nedeljković, A.**, Nišić, N., Stojmenović, M., Gulicovski, J., Ristović, I., Jović, A., Kragović, M. (2021). Influence of the modification on the point of zero charge of the waste slag generated by lignite combustion in heating plants and its properties for xanthates removal from aqueous solutions. 8th International Conference Mining and Environmental Protection: Proceedings book. Belgrade: University of Belgrade: Faculty of Mining and Geology.
2. Álvarez, R., Ordóñez, A., Loredó, J., **Nedeljković, A.**, Ristović, I., (2019). The problem of contaminated land with HG from mining activities through two case studies in Serbia and Northern Spain. 7th International Conference Mining and Environmental Protection: Proceedings book. Belgrade: University of Belgrade: Faculty of Mining and Geology.
3. Nikolić, K., Kragović, M., Stojmenović, M., **Vasić, A.**, Kandić, I., Nišić, N., Gulicovski, J. (2023). Activated carbon from almond pits as low -cost material for electrochemical application. 9th International Conference Mining and Environmental Protection: Proceedings book. Belgrade: University of Belgrade: Faculty of Mining and Geology.
4. Nikolić, K., **Vasić, A.**, Kragović, M., Rosić, M., Janković-Častvan, I., Stojmenović, M., Gulicovski, J. (2023). Analysis of chemical and structural features of waste vitreous enamel produced during the heating device manufacturing process. 9th International Conference Mining and Environmental Protection: Proceedings book. Belgrade: University of Belgrade: Faculty of Mining and Geology.
5. Nišić, N., Kragović, M., Žunić, M., Gulicovski, J., **Vasić, A.**, Kandić, I., Stojmenović, M. (2023). Application of a new system of solid ionic conductors based on multi – doped ceria as electrolytes for it – SOFC technology – test in a single cell. 9th International Conference Mining and Environmental Protection: Proceedings book. Belgrade: University of Belgrade: Faculty of Mining and Geology.
6. Nišić, N., Kragović, M., Gulicovski, J., Nikolić, K., **Vasić, A.**, Žunić, M., Stojmenović, M. (2023). Characterization, of innovative high – temperature resistant adhesives with addition of aluminosilicate waste. 9th International Conference Mining and Environmental

Protection: Proceedings book. Belgrade: University of Belgrade: Faculty of Mining and Geology.

7. **Vasić, A.**, Stojmenović, M., Nikolić, K., Kandić, I., Gulicovski, J., Ristović, M., Kragović, M. (2023). Removal of xanthate from aqueous solutions using modified waste slag as adsorbent. 9th International Conference Mining and Environmental Protection: Proceedings book. Belgrade: University of Belgrade: Faculty of Mining and Geology.
8. Vasić, A., Stojmenović, M., Nikolić, K., Nišić, N., Gulicovski, J., Lišanin, R., Kragović, M. (2023). Xanthate removal as function of pH and the point of zero charge. 9th International Conference Mining and Environmental Protection: Proceedings book. Belgrade: University of Belgrade: Faculty of Mining and Geology.
9. Kragović, M., **Nedeljković, A.**, Gulicovski, J., Dodevski, V., Mihajlović S., Stojmenović, M., Sekulić, Z. (2019). Uklanjanje jona teških metala iz kontaminiranih vodenih rastvora upotrebom prirodnih i ekoloških materijala na bazi prirodnih mineralnih sirovina ili otpadne biomase. 40. Međunarodna konferencija Vodovod i Kanalizacija, Novi Sad.
10. **Nedeljković, A.**, Nišić, N., Kandić, I., Ristić N., Stojmenović, M., Gulicovski, J., Kragović, M. (2021). Potential use of slag generated from lignite combustion in hitting plants. 15th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Beograd, Srbija.
11. **Vasić, A.**, Nišić, N., Nikolić, K., Kandić, I., Stojmenović, M., Gulicovski, J., Kragović, M. (2022). Influence of pH of aqueous solutions on xanthates removal by using waste slag. 16th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, Beograd, Srbija.

Конгресна саопштења на скуповима међународног значаја штампана у изводу (M34):

1. Nišić, N., Kragović, M., **Nedeljković, A.**, Kandić, I., Nikolić, K., Gulicovski, J., Stojmenović, M. (2022). Characterization of high temperature ceramic composite sealants (CCS) with addition of aluminosilicate based waste material for the potential use in it-sofc. In 6CSCS: Advanced Ceramics and Application: 6th Conference of The Serbian Society for Ceramic Materials: Book of abstracts (pp. 48-48). Belgrade: Institute for Multidisciplinary Research, University of Belgrade.
2. Kandić, I., Kragović, M., **Vasić, A.**, Nišić, N., Nikolić, K., Gulicovski, J., Stojmenović, M. (2022). Characterization of active carbon materials obtained from bio waste for potential use in water purification. In 6CSCS: Advanced Ceramics and Application: 6th Conference of The Serbian Society for Ceramic Materials: Book of abstracts (pp. 38-38). Belgrade: Institute for Multidisciplinary Research, University of Belgrade.
3. **Nedeljković, A.**, Nišić, N., Nikolić, K., Kandić, I., Stojmenović, M., Gulicovski, J., Kragović, M. (2022). Xanthate absorption kinetics as a function of the starting concentration with the use of the waste slag as adsorbent. In 6CSCS: Advanced Ceramics and Application: 6th Conference of The Serbian Society for Ceramic Materials: Book of abstracts (pp. 52-52). Belgrade: Institute for Multidisciplinary Research, University of Belgrade.
4. Nikolić, K., Nišić, N., Vasić, A., Rosić, M., Stojmenović, M., Kragović, M., Gulicovski, J. (2024). Structural Properties of Synthesized Domestic Carbon from Almond Shells for Carbon Paste Electrode. 27th Congress of SCTM, Ohrid, Makedonija.

Радови у часописима националног значаја (M51):

1. Kragović, M., Stojmenović, M., Petrović, J., Loredo, J., Pašalić, S., **Nedeljković, A.**, Ristović, I. (2019). Influence of alginate encapsulation on point of zero charge (pH_{pzc}) and thermodynamic properties of the natural and Fe (III)-modified zeolite. Procedia Manufacturing, 32, 286-293.

7. ЗАКЉУЧАК

Докторска дисертација „Истраживање могућности валоризације отпада из процеса сагоревања лигнита у ложиштима термоелектрана и топлана у Републици Србији” представља оригинални научно – истраживачки рад који се бави испитивањем употребе отпадне шљаке као адсорбента и грађевинског материјала. У овој дисертацији, први пут се на систематичан начин описује ефикасност уклањања етил – ксантата као загађивача употребом отпадне шљаке настале сагоревањем лигнита из топлане и термоелектране на територији Републике Србије. Такође, на јединствен начин су испитиване физичко – механичке особине отпадне шљаке у циљу њеног коришћења као грађевинског материјала, као замена за цемент у производњи малтера и бетона. Висок степен применљивости резултата постигнут је у оба наведена правца истраживања, чиме је остварен научни допринос у пољу „зелене технологије”.

Предлог Комисије наставно – научном већу

Научни допринос кандидата Андријане Васић, верификован је објављивањем четири научна рада у међународним часописима. Кандидат је показао систематичност и аналитичност, што је оправдао кроз конкретне резултате истраживања.

Када се узму у обзир експериментални рад кандидата, добијени адекватни резултати у докторској дисертацији, Комисија закључује да је кандидат Андријана Васић испунила задате циљеве научно истраживачког рада, те да су тиме испуњени услови за јавну одбрану докторске дисертације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Рударско – геолошког факултета Универзитета у Београду да прихвати Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата **Андријане Васић**, под насловом **„Истраживање могућности валоризације отпада из процеса сагоревања лигнита у ложиштима термоелектрана и топлана у Републици Србији”** и омогући кандидату јавну одбрану рада.

У Београду 11.04.2025. године

КОМИСИЈА:

др Александар Цвјетић, редовни професор на
катедри за Заштиту на раду и заштиту животне
средине
Универзитет у Београду, Рударско – геолошки
факултет

др Предраг Лазић, редовни професор на
катедри за Припрему минералних сировина
Универзитет у Београду, Рударско – геолошки
факултет

др Марија Стојменовић, научни саветник
„Институт за нуклеарне науке „Винча” –
Институт од националног значаја за
Републику Србију, Универзитет у Београду