

Факултет Технолошко-металуршки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/145

(Број захтева)

27. 6. 2025.

(Датум)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

ЗАХТЕВ

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

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

КАНДИДАТ Јована (Зоран) Буха Марковић

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму: **Инжењерство заштите животне средине**

пријавио је докторску дисертацију под називом:

Утицај на животну средину тешких метала и полицикличних ароматичних угљоводоника из процеса сагоревања угља и отпадног угљаиз научне области: **Инжењерство заштите животне средине**

Универзитет је дана 14. 2. 2022. својим актом под бр. 61206-516/2-22 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

Утицај на животну средину тешких метала и полицикличних ароматичних угљоводоника из процеса сагоревања угља и отпадног угља

Име и презиме ментора: др Мирјана Ристић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној 24. 4. 2025. одлуком факултета под бр. 35/99, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Маја Ђолић	доцент	Инжењерство заштите животне средине	ТМФ
2.	Др Владимир Павићевић	ванредни професор	Инжењерство заштите животне средине	ТМФ
3.	Др Милица Младеновић	научни саветник	Енергетика и енергетска ефикасност	ИНН „Винча“

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности 12. 5. 2025.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана 26. 6. 2025.

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној **26. 6. 2025.**

одлуком факултета под бр. 35/150, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Маја Болић	доцент	Инжењерство заштите животне средине	ТМФ
2.	Др Владимир Павићевић	ванредни професор	Инжењерство заштите животне средине	ТМФ
3.	Др Милица Младеновић	научни саветник	Енергетика и енергетска ефикасност	ИНН „Винча“

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

Студент је уписан на докторске студије школске 2014/2015. године.

На захтев студента, у складу са Статутом Универзитета у Београду и Статутом Факултета, декан је донео Решење бр. 20/185-1 од 28. 11. 2022. године о продужењу рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја школске 2024/2025. године, с обзиром да је декан донео решења о мировању права и обавеза студента у шк. 2018/19. и шк. 2020/21. години.

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

др Мирјана Кијевчанин, редовни професор

-
- Прилози:**
1. Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације
 2. Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
 3. 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



Република Србија
Универзитет у Београду
Технолошко-металуршки факултет

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ

Бр. 20/71-1

25. 09. 2018 год.
БЕОГРАД

На основу чл. 100. Статута Универзитета и чл. 75. Статута Технолошко-металуршког факултета, а на лични захтев студента, доноси се

РЕШЕЊЕ

Усваја се захтев који је упутио, **Јована Буха Марковић**, студент ДАС, број индекса 2014/4024, и одобрава мировање права и обавеза у школској 2018/2019. години, на основу приложених докумената.



Декан

Проф. др Петар Ускоковић



Република Србија
Универзитет у Београду
Технолошко-металуршки факултет

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ

Бр. 20/6-4

17. 02. 2021 год.

БЕОГРАД

На основу чл. 100. Статута Универзитета и чл. 75. Статута Технолошко-металуршког факултета, а на лични захтев студента, доноси се

РЕШЕЊЕ

Усваја се захтев који је упутио, **Јована Буха Марковић**, студент ДАС, број индекса 2014/4024, и одобрава мировање права и обавеза у школској 2020/2021. години, на основу приложених докумената.



Декан

Проф. др Петар Ускоковић



Република Србија
Универзитет у Београду
Технолошко-металуршки факултет

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ

Бр. 20/185-1

28. 11. 2022

год.

БЕОГРАД

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета у Београду бр. 201/2018") и члана 76. Статута Технолошко-металуршког факултета у Београду, као и захтева студента за продужење рока за завршетак студија Декан доноси

РЕШЕЊЕ

о продужењу рока за завршетак студија

Студенту **Јована Буха Марковић**, број индекса 2014/4024, уписана у прву годину докторских академских студија школске 2014/2015 године продужава се рок за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до 30.09.2025 године.



Декан
Проф. др Петар Ускоковић

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 41. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 26. 6. 2025. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Маја Ђолић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Владимир Павићевић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Милица Младеновић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Утицај на животну средину тешких метала и полицикличних ароматичних угљоводоника из процеса сагоревања угља и отпадног угља“** коју је поднела **Јована Буха Марковић**, дипломирани инжењер технологије и упућује се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Јоване Буха Марковић, под називом **„Утицај на животну средину тешких метала и полицикличних ароматичних угљоводоника из процеса сагоревања угља и отпадног угља“** Одлуком број: 61206-516/2-22 од 14. 2. 2022. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M21a:

1. **Jovana Buha-Marković**, Ana Marinković, Stevan Nemoda, Jasmina Savić, *Distribution of PAHs in coal ashes from the thermal power plant and fluidized bed combustion system; estimation of environmental risk of ash disposal*, Environmental Pollution, Vol. 266, no. 3, Nov, 2020, IF(2021)=8,071, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115282>

Категорија M21:

1. **Jovana Z. Buha Marković**, Ana D. Marinković, Jasmina Z. Savić, Milica R. Mladenović, Milić D. Erić, Zoran J. Marković, Mirjana Đ. Ristić, *Risk Evaluation of Pollutants Emission from Coal and Coal Waste Combustion Plants and Environmental Impact of Fly Ash Landfilling*, Toxics, Vol.11, No.4, pp.396, 2023, IF (2023)=4,2, <http://dx.doi.org/10.3390/toxics11040396>

Категорија M23:

1. **Jovana Z. Buha-Markovic**, Ana D. Marinkovic, Jasmina Z. Savic, Aleksandar D. Krstic, Andrija B. Savic, Mirjana Dj. Ristic, *Health risk assessment of potentially harmful substances from fly ashes generated by coal and coal waste combustion*, Journal of the Serbian Chemical Society, Vol.88, No.11, pp.1161-1173, IF (2023)=1,0, <http://dx.doi.org/10.2298/jsc220130048m>

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета, ментору, Служби за наставно-студентске послове и Архиви факултета.

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

ДУ

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 41. и 42. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 26. 6. 2025. године, донета је

О Д Л У К А

о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације

Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације **Јоване Буха Марковић**, дипломираног инжењера технологије, са темом под називом „**Утицај на животну средину тешких метала и полицикличних ароматичних угљоводоника из процеса сагоревања угља и отпадног угља**“, у саставу:

1. Др Маја Ђолић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
2. Др Владимир Павићевић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
3. Др Милица Младеновић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију.

Одлуку доставити: Одлуку доставити: члановима Комисије, Универзитету у Београду, Служби за наставно-студентске послове и Архиви Факултета.

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Јоване Буха Марковић

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду бр. 2025-35/99 од 24.04.2025. године именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидата Јоване Буха Марковић, дипломираног инжењера технологије, под насловом:

„Утицај на животну средину тешких метала и полицикличних ароматичних угљоводоника из процеса сагоревања угља и отпадног угља“.

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1.УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде докторске дисертације

Кандидат Јована Буха Марковић, дипломирани инжењер технологије, уписала је школске 2014/2015. докторске академске студије на студијском програму Инжењерство заштите животне средине на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду.

23.12.2021. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је одлука број 35/363 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата Јоване Буха Марковић за израду докторске дисертације под називом „Утицај на животну средину тешких метала и полицикличних ароматичних угљоводоника из процеса сагоревања угља и отпадног угља“

03.02.2022. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, донета је одлука број 35/26 о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата Јоване Буха Марковић за израду докторске дисертације под називом „Утицај на животну средину тешких метала и полицикличних ароматичних угљоводоника из процеса сагоревања угља и отпадног угља“. За ментора ове докторске дисертације именована је др Мирјана Ристић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

14.02.2022. – На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду донета је одлука бр. 61206-516/2-22 о давању сагласности на одлуку Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета о прихватању теме докторске дисертације Јоване Буха Марковић под називом: „Утицај на животну средину тешких метала и полицикличних ароматичних угљоводоника из процеса

сагоревања угља и отпадног угља“ и о одређивању др Мирјане Ристић, редовног професора Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, за ментора. 24.04.2025. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је одлука број 2025-35/99 о именовању Комисије за оцену докторске дисертације кандидата Јоване Буха Марковић под називом: „Утицај на животну средину тешких метала и полицикличних ароматичних угљоводоника из процеса сагоревања угља и отпадног угља“.

1.2. Научна област дисертације

Ова докторска дисертација припада научној области инжењерство заштите животне средине за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. За ментора је одређена др Мирјана Ристић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, која на основу досадашњег научноистраживачког рада и броја објављених радова испуњава све неопходне услове да руководи израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Јована Буха Марковић рођена је у Приштини 16.07.1984. године. Основну и средњу школу завршила је у Београду. Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду, смер Инжењерство заштите животне средине је уписала 2003. године. Дипломирала је са просечном оценом 8,08 и стекла звање дипломирани инжењер технологије. Дипломски рад са темом „Могућност примене методе коначних елемената у прорачуну напона и деформација вертикалне цилиндричне посуде под притиском“ одбранила је са оценом 10.

Јована Буха Марковић је уписала докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду школске 2014/2015. године, на студијском програму Инжењерство заштите животне средине. Положила је све испите предвиђене планом и програмом докторских академских студија са просечном оценом 9,50 (девет и 50/100). Завршни испит под називом „Утицај карактеристика и предтретмана угљева на емисију загађујућих материја из процеса сагоревања“ је одбранила 26.09.2016. године са оценом 10, пред комисијом у саставу: проф. др Мирјана Ристић, проф. др Александра Перић-Грујић и проф. др Виктор Поцајт.

Од 2014. године ради у Институту за нуклеарне науке „Винча“ (ИНН „Винча“), данас Институт за нуклеарне науке „Винча“ – Институт од националног значаја за Републику Србију Универзитета у Београду, у Лабораторији за термотехнику и енергетику. Звање истраживач сарадник стекла је 25.08.2022. године, Одлуком о стицању истраживачког звања број 013-38-19/2022-000 Научног већа Института за нуклеарне науке „Винча“ Универзитета у Београду. Од октобра 2016. године је била ангажована на националном пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије број ТР33050 „Побољшање квалитета и сагоревања домаћих лигнита у циљу повећања енергетске ефикасности и смањења штетних материја из термоелектрана ЈП Електропривреда Србије“. Од 2021. године је ангажована на 2 програмске теме у оквиру ИНН Винча: „Развој технологија и система за конверзију енергије из биомасе и термичку дезинтеграцију потенцијално штетних материја и нискокалоричних горива у флуидизованом слоју“ и „Повећање енергетске ефикасности блока, техничких подсистема блока, производних процеса и уштеда примарне енергије

горива и други низ мера за смањење аерозагађења из термоенергетских постројења ЈП „Електропривреда Србије“.

Заменик је руководиоца акредитоване хемијске лабораторије за испитивање чврстих горива у оквиру Лабораторије за термотехнику и енергетику ИНН „Винча. Ангажована је на испитивању чврстих горива следећим методама: Одређивање горње калоричне вредности по методи калориметријске бомбе и израчунавање доње калоричне вредности, инструментална техника; Одређивање топивости пепела, инструментална техника; Стандардна метода за одређивање садржаја угљеника, водоника и азота у узорцима угљева и садржаја угљеника у узорцима угља и кокса-иструментална техника као и чврста биогорива - Одређивање садржаја угљеника, водоника и азота, иструментална техника (уређај *LECO 628 CHN*); Стандардна метода за одређивање укупног сумпора у чврстим продуктима сагоревања узорака угља и кокса уз помоћ високо температурског сагоревања у цевном ложишту и инфрацрвене апсорпције, иструментална техника (уређај *LECO 628S*); Одређивање натријум-оксида (Na_2O) и калијум-оксида (K_2O) у пепелу чврстих горива, пламено-фотометријска техника; Одређивање титан-оксида (TiO_2) у пепелу чврстих горива, фотометријска техника; Стандардна метода за одређивање техничке анализе узорака угљева и кокса методом макро термогравиметријске анализе-иструментална техника (уређај *LECO TGA 701*); Одређивање садржаја фосфора у пепелу угља и кокса, фотометријска техника.

Служи се енглеским, француским и шпанским језиком. Користи програме *MS Office, CorelDraw, Photoshop* и *Origin*.

У току досадашњег научноистраживачког рада, Јована Буха Марковић, као аутор или коаутор, је објавила два научна рада у међународним часописима изузетних вредности (M21a), један научни рад у врхунском међународном часопису (M21), четири научна рада у међународним часописима (M23) и четири научна рада у водећим националним часописима (M51). Имала је девет саопштења са међународних скупова која су штампана у целини (M33) и једно саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34).

Истраживања за експериментални део докторске тезе су извршена у Институту за нуклеарне науке „Винча“ – Институту од националног значаја за Републику Србију Универзитета у Београду, у Лабораторији за термотехнику и енергетику.

Резултати истраживања који су везани за тему докторске дисертације су публиковани у међународном часопису изузетних вредности (M21a) – један рад, врхунском међународном часопису (M21) – један рад и у међународном часопису (M23) – један рад. На сва три рада је кандидат први аутор.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Јоване Буха Марковић под називом „Утицај на животну средину тешких метала и полицикличних ароматичних угљоводоника из процеса сагоревања угља и отпадног угља“ написана је на 122 нумерисане стране и садржи 37 слика, 28 табела и 260 литературних навода. Докторска дисертација је подељена на следећа поглавља: Увод, Теоретски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература. Дисертација садржи и резиме на српском и на енглеском језику, списак скраћеница, списак слика, списак табела и садржај. На крају дисертације су: Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске

верзије докторског рада, Изјава о коришћењу и Оцена извештаја о провери оригиналности докторске дисертације. По својој структури и садржају, ова дисертација задовољава прописане стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Докторска дисертација се састоји од шест поглавља. **Прво поглавље** је Увод, у коме су дате основне поставке саме докторске дисертације, као и предмет и циљ истраживања. Укратко су приказане предности и главни недостаци добијања енергије из процеса сагоревања угља. Сажето су приказане најзначајније карактеристике токсичних елемената у траговима и полицикличних ароматичних угљоводоника. Дат је приказ метода за процену еколошког и здравственог ризика које се користе у циљу одређивања утицаја који могу имати токсични елементи и полициклични ароматични угљоводоници из пепела насталих сагоревањем угља.

Друго поглавље представља Теоретски део, који је подељен на четири тематске целине. У првој целини, *Угаљ као енергент*, је дат преглед литературних сазнања о врстама и карактеристикама различитих врста угља, као и о технологијама сагоревања угља. Друга целина, *Емисија загађујућих материја из процеса сагоревања угља у термоелектранама*, садржи опис процеса формирања пепела током сагоревања угља, као и приказ загађујућих супстанци пепела које су испитиване у овој докторској дисертацији: одабрани анјони и катјони, укупан и у води растворан органски угљеник, 18 потенцијално токсичних елемената траговима (As, Be, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Ge, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sr, U и V) и полициклични ароматични угљоводоници. У трећој целини, *Процена утицаја летећег пепела на животну средину и здравље људи*, су приказане примењене методе за процену ризика од потенцијално токсичних елемената из пепела на животну средину кроз секвенцијалну екстракцију, ради процене мобилности и доступности сваког појединачног елемента. Дефинисани су и параметри који узимају у обзир утицај једног елемента садржаног у летећем пепелу (геоакумулациони фактор, фактор обogaћења земљине коре и индекс загађења) и збирни утицај више елемената из летећег пепела (индекс ризика и модификовани индекс ризика). Утицај полицикличних ароматичних угљоводоника садржаних у летећем пепелу је разматран узимајући у обзир следеће физичко-хемијске параметре који су важни за процену њиховог понашања у животној средини и процену утицаја на екосистеме: растворљивост у води и у мастима, могућност биоакумулације и постојаност, који су изражени преко коефицијента расподеле октанол-вода (K_{ow}), фактора биоконцентрације (BCF) и перзистентности (P). Такође, дефинисани су и параметри за процену ризика по здравље људи која је обухватала израчунавање укупних индекса ризика за канцерогене супстанце (As, Cd, Cr, Co, Ni), као и укупних неканцерогених хазардних индекса за As, Pb, Hg, Cd, Cr, Co, Ni и Cu. Поред тога, дефинисан је и повећани животни ризик од рака који је процењен за 7 канцерогених полицикличних ароматичних угљоводоника. У последњој, четвртој целини, *Инструменталне технике за испитивање летећег пепела*, су приказани принципи рада инструменталних техника које су коришћене током израде ове докторске дисертације: скенирајућа електронска микроскопија, масена спектрометрија са индуковано спрегнутом плазмом, јонска хроматографија и течна хроматографија високих перформанси.

Треће поглавље садржи детаљан приказ експерименталних испитивања узорака угљева, пепела и шљаке и димног гаса. У овом делу су наведене и описане све врсте анализа које су рађене током израде ове докторске дисертације, а односе се на

узорковање и припрему узорака угља и пепела, узорковање NO_x , CO , SO_2 и укупних PM , гранулометријску анализу пепела, техничку и елементарну анализу угљева и фракција пепела, скенирајућу електронску микроскопију збирних узорака пепела, хемијске анализе и температуру топивости збирних пепела пепела, одређивање садржаја анјона и катјона, елемената у траговима, као и ПАУ-ова. Поред тога, описани су и прорачуни параметара којима се дефинише утицај загађујућих материја на животну средину и здравствени ризик због одлагања/депоновања летећег пепела.

Четврто поглавље, Резултати и Дискусија, се састоји од седам целина. У више потпоглавља су приказани резултати испитивања збирних пепела из термоелектрана Колубара А, Костолац Б, Никола Тесла А и из процеса сагоревања отпадног угља у флуидизованом слоју. У оквиру овог дела приказани су резултати испитивања угљева са термоелектрана и отпадног угља (угаљ који због своје гранулације не може да се користи као напојно гориво у котловима термоелектрана) техничком и елементарном анализом. Такође су приказани резултати добијени гранулометријском анализом пепела, хемијском анализом пепела и дате су температуре топивости пепела. Приказани су следећи подаци, добијени испитивањем пепела: садржај анјона и катјона, садржаји 18 елемената у траговима (As, Be, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Ge, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Cb, Sr, U и V) и концентрације 16 полицикличних ароматичних угљеводоника.

Због неповољног утицаја који неки од анализираних елемената у траговима могу имати на животну средину, а посебно за најтоксичније од њих, As, Cd, Cr, Hg, Ni и Pb, прорачуном су одређени параметри на основу којих се испитивани пепели могу класификовати по потенцијалном ризику везаном за нарушавање квалитета животне средине. Индикатори загађења који су израчунати дају детаљније информације о степену контаминације животне средине. Приказан је садржај полицикличних ароматичних угљеводоника у нуспродуктима сагоревања и расподела приоритетних ПАУ-ова према њиховим физичко-хемијским својствима. Поред ових резултата, у раду су наведене и вредности емисионих фактора за NO_x , CO , SO_2 и укупне PM честице, као и вредности процењене емисије по количини произведене енергије за најтоксичније полицикличне ароматичне угљеводонике и елементе у траговима. Емисиони фактори доводе у везу количину емитованих загађујућих материја у ваздух са количином сагорелог горива/енергетском вредношћу (ослобођеном топлотном енергијом).

Изотопски састав олова је одређен у пепелима и угљевима у Републици Србији и представља основу за праћење олова из процеса сагоревања угља у разним деловима животне средине.

У посебној целини су приказани резултати испитивања збирних пепела и фракција пепела одређених димензија који потичу из циклona и из ложишта котла за сагоревање отпадног угља на флуидизовани слој и електрофилтерског пепела из ТЕ Колубаре А. Детаљна испитивања су обухватила техничку и елементарну анализу угљева и фракција пепела, урађено је снимање збирних узорака пепела скенирајућом електронском микроскопијом. Приказани су садржаји укупног органског угљеника и угљеника растворног у води у испитиваним фракцијама пепела, као и концентрације полицикличних ароматичних угљеводоника. Процена утицаја на здравље људи ових перзистентних органских загађујућих материја је извршена на основу вредности еквивалента бензо[а]пирена у збирним пепелима и у њиховим фракцијама. Такође је приказана и корелација садржаја ПАУ-ова са осталим одређиваним параметрима.

Пето поглавље ове докторске дисертације је закључак који садржи сумиране резултате и закључке који су проистекли из истраживања у оквиру ове докторске дисертације. На основу добијених резултата, резимирани су најзначајнији закључци добијени на основу резултата експерименталних испитивања и литературних података.

Шесто поглавље, Литература, садржи 260 референци које су цитиране, а обухвата релевантне радове, књиге и друге изворе који су из области истраживања, као и радове у којима су публиковани резултати истраживања добијени током израде ове докторске дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

У контексту глобалне енергетске сигурности, угаљ и даље заузима значајно место захваљујући својој економској исплативости и широкој доступности. Примењује се као главни или секундарни извор енергије, како у земљама у развоју, тако и у индустријски развијеним државама, упркос све већем интересовању за одрживе и еколошки прихватљивије алтернативе. Ипак, еколошке и здравствене последице сагоревања угља указују на неопходност анализе штетних емисија и чврстих остатака који настају током процеса сагоревања, посебно у различитим типовима ложишта и различитим технологијама сагоревања.

У циљу испитивања утицаја пепела насталог сагоревањем угља на животну средину примењени су различити индикатори контаминације, кроз комбинацију једноелементалних и мултиелементалних метода (*Igeo*, *CEF*, *PI*, *RI*, *MRI*) за процену ризика од потенцијално токсичних елемената из пепела, као и за процену ризика од приоритетних полицикличних ароматичних угљоводоника садржаних у збирним пепелима и њиховим фракцијама путем израчунавања токсичног еквивалента бензо[а]пирена. Како би се проценио могући утицај токсичних елемената и полицикличних ароматичних угљоводоника на здравље људи извршена је и процена здравственог ризика, која је укључивала израчунавање укупних индекса ризика за канцерогене и неканцерогене испитиване елементе у траговима, као и прорачун повећаног животног ризика од рака за полицикличне ароматичне угљоводонике.

Значајан научни допринос докторске дисертације кандидата Јоване Буха Марковић, под називом „Утицај на животну средину тешких метала и полицикличних ароматичних угљоводоника из процеса сагоревања угља и отпадног угља“ огледа се у иновативном, интердисциплинарном и свеобухватном приступу анализи утицаја сагоревања угља на животну средину и здравље људи. Посебан акценат дат је компаративној анализи пепела добијеног у конвенционалним ложиштима и у постројењима са флуидизованим слојем, чиме се пружа нови увид у утицај различитих технологија сагоревања на формирање и састав насталог чврстог отпада. Истраживање обухвата детаљну карактеризацију летећих пепела и шљаке, укључујући анализу њиховог хемијског састава, морфологије и одређивање садржаја потенцијално токсичних елемената у траговима, као и полицикличних ароматичних угљоводоника. Ова докторска дисертација представља значајан допринос области мониторинга и процене ризика од индустријског загађења, како кроз примену савремених аналитичких метода, тако и кроз стицање нових сазнања о специфичним еколошким изазовима у Републици Србији. Такође, истраживања везана за одређивање концентрације загађујућих супстанци, као што су ПАУ-ови и тешки метали, су показала да најситније фракције пепела могу изазвати озбиљне проблеме по животну средину и по здравље људи, па је управо из тог разлога одређивање њихових концентрација у финим фракцијама пепела било од велике важности за процену утицаја одлагања пепела на животну средину. Истраживањем је била обухваћена изотопска анализа олова, која се користи као метода за одређивање извора/порекала загађења оловом. Добијени подаци

представљају значајан допринос бази података која садржи резултате истраживања која су рађена на националном нивоу. Изотопски састав олова који је одређиван у летећим пепелима и угљевима из различитих басена у Србији доприноси допуни референтне базе података која ће бити од значаја за будуће мониторинге и законске регулативе. Оригиналност ове докторске дисертације огледа се и у примени QSAR модела кроз VEGA платформу, на основу којих је извршена класификација 16 приоритетних ПАУ-ова према њиховим физичко-хемијским параметрима (Kow , BCF , P), чиме је омогућена процена њихове токсичности и перзистентности у животној средини. Овакав приступ у процени понашања ових органских полутаната присутних у пепелима није раније примењиван.

Примењене научне методе и добијени резултати потврђују научну вредност, иновативност и оригиналност истраживања, као и допринос унапређењу методологије процене ризика и заштите животне средине у условима повећаног индустријског загађења.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У овој докторској дисертацији коришћена су 260 литературна навода који у потпуности одговарају теми. Највећи део цитираних научних радова је публикован у међународним часописима и новијег је датума, што указује на актуелност истраживања у свету. Наведене референце и резултати приказаних истраживања помогли су у планирању експеримената, дискусији и тумачењу добијених резултата, као и за извођење закључака. Прегледом литературе која је коришћена у истраживању може се закључити да кандидат познаје предметну област истраживања, као и актуелност истраживања у свету.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Праћење емисије NO_x , CO , SO_2 и PM честица вршено је према релевантним стандардима, како на термоелектранама Колубара А, Костолац Б и Никола Тесла А, тако и на полуиндустријском постројењу за сагоревање угља у флуидизованом слоју. Одређивање садржаја анјона и катјона у воденим екстрактима летећих пепела је вршено јонском хроматографијом. Садржај токсичних елемената у пепелима, угљевима као и концентрације елемената добијених секвенцијалном екстракцијом збирних летећих пепела су одређивани применом масене спектрометрије са индуковано спрегнутом плазмом ($ICP-MS$). Процена утицаја испитиваних елемената у траговима из летећих пепела на животну средину је приказана кроз 5 различитих параметара: фактор потенцијалног ризика по животну средину, фактор обогаћења земљине коре, индекс загађења, индекс ризика и модификован индекс ризика, чији су начини прорачуна јасно описани. Одређивање садржаја полицикличних ароматичних угљоводоника у пепелима, фракцијама пепела и угљевима је вршено течном хроматографијом високих перформанси са низом диода ($HPLC-DAD$). За одређивање потенцијалног утицаја полицикличних ароматичних угљоводоника из пепела на здравље људи је коришћена бензо[а]пирен еквивалентна концентрација. Процена еколошког ризика повезана са садржајем полицикличних ароматичних угљоводоника у пепелу и репрезентативним фракцијама пепела је вршена на основу поделе ПАУ-ова у групе на основу вредности физичко-хемијских параметара (Kow , BCF , P). Извршена је и процена утицаја елемената у траговима и полицикличних ароматичних угљоводоника из пепела на здравље деце и одраслих особа кроз индексе ризика за канцерогене супстанце, укупни

неканцерогени хазардни индекс за елементе који могу имати и друге штетне ефекте поред/сем изазивања канцера, као и животни ризик од рака процењен на основу вредности за 7 канцерогених полицикличних ароматичних угљоводоника. Сви индекси су рачунати за три начина излагања пепелу (орално, инхалација и дермални контакт). Извршена је и *Spearman* корелациона анализа, да би се одредила веза између садржаја полицикличних ароматичних угљоводоника и параметара који су одређивани у збирним пепелима и репрезентативним фракцијама пепела (губитак жарењем, укупан органски угљеник). На основу полазне теоријске основе и добијених резултата истраживања формирана су главна запажања и изведени одговарајући закључци.

3.4. Применљивост остварених резултата

На основу урађених истраживања и резултата који су из њих проистекли, може се закључити да ова докторска дисертација има велики значај у области процене еколошког и здравственог ризика због одлагања пепела добијеног сагоревањем угља, како у термоелектранама, тако и сагоревањем отпадног угља у флуидизованом слоју. Употреба различитих индекса загађења доприноси бољем разумевању утицаја који токсични елементи и полициклични ароматични угљоводоници садржани у пепелима угља и отпадног угља, као и у фракцијама пепела, имају на здравље људи и животну средину. Изотопски састав олова који је одређен у летећим пепелима и различитим угљевима у Републици Србији представља основ за формирање референтне базе података која ће бити значајна за мониторинг загађења оловом. Употреба свих примењених метода заједно пружа велики потенцијал у домену: процене биодоступности метала из пепела, процене потенцијалне токсичности различитих пепела, процене утицаја на животну средину пепела који садрже полицикличне ароматичне угљоводонике, утицаја здравственог ризика од одлагања пепела, унапређење базе података за загађење оловом, као и поређење ризика од одлагања пепела добијеног сагоревањем угља лошијег квалитета у флуидизованом слоју са пепелом добијеним сагоревањем угља у термоелектранама.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Јована Буха Марковић је током израде докторске дисертације показала способност и стручност у реализацији експеримената, коришћењу различитих техника, анализи и обради резултата. Комисија сматра да, на основу досадашњег научноистраживачког рада и остварених научних резултата током израде ове докторске дисертације, кандидат Јована Буха Марковић поседује све квалитете који су неопходни за самосталан научноистраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру ове докторске дисертације остварени су значајни научни доприноси у области процене утицаја индустријског загађења на животну средину и здравље људи. Кључни резултати и доприноси рада обухватају следеће:

- Одређен је садржај 18 испитиваних штетних елемената и полицикличних ароматичних угљоводоника у летећим пепелима, уз упоредну анализу у односу

на референтне вредности објављене у литератури. У воденим екстрактима летећих пепела одређена је концентрација одабраних катјона и анјона.

- У оквиру процене еколошког ризика прорачуном је одређен утицај за елементе у траговима и утицај полицикличних ароматичних угљоводоника на животну средину коришћењем различитих индекса загађења, што представља мултидисциплинарни приступ анализи утицаја ових загађујућих материја на животну средину. Поред тога, процена еколошког ризика везана за садржај полицикличних ароматичних угљоводоника у пепелима и у репрезентативним фракцијама пепела је извршена на основу QSAR модела кроз VEGA платформу, што је омогућило процену њиховог понашања и перзистентности у животној средини.
- Извршена је процена здравственог ризика који је повезан са излагањем одраслих особа и деце токсичним елементима и полицикличним ароматичним угљоводоникима из пепела на здравље људи Ова анализа представља значајан допринос у разумевању потенцијалних последица које се јављају због излагања популације полутантима присутним у пепелима.
- Извршене су анализе изотопског састава олова у угљевима и пепелима што је омогућило прецизније идентификовање извора контаминације и унапређење постојеће базе података о загађењу оловом у Републици Србији, што представља основу за развој ефикаснијих стратегија мониторинга и контроле.
- Кроз анализу фракција пепела показано је да величина честица може значајно утицати на расподелу и понашање загађујућих супстанци, што указује на начин управљања овим врстама отпада.
- Сprovedено је јединствено истраживање које се заснива на интегрисаном приступу за процену и еколошког и здравственог ризика, а који су повезани са емисијом и депоновањем летећег пепела који садржи штетне елементе и полицикличне ароматичне угљоводонике.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања приказана у оквиру ове докторске дисертације представљају значајан корак ка унапређењу постојећих научних сазнања у области процене утицаја токсичних елемената и полицикличних ароматичних угљоводоника из летећих пепела на животну средину и на здравље популације. Анализом доступне литературе уочено је да су истраживања ове врсте, посебно у Републици Србији, била малобројна, чиме се може закључити да приказана методологија и резултати дају значајан научни допринос досадашњим истраживањима. У оквиру израде ове докторске дисертације први пут је је извршено детаљно испитивање изотопског састава олова у угљевима из различитих басена у Републици Србији и пепелима прикупљеним са различитих термоелектрана, чиме се омогућава идентификација извора загађења оловом и формирање референтне базе података од значаја за даљи мониторинг и креирање регулативе у области заштите животне средине. Први пут су примењени QSAR модели кроз VEGA платформу, на основу којих је извршена класификација 16 приоритетних ПАУ-ова у пепелима према њиховим физичко-хемијским параметрима и омогућена је процена токсичности и перзистентности и компаративна процена ризика између испитиваних пепела – збирних и фракција одређене величине – насталих у различитим условима сагоревања (конвенционална ложишта и флуидизовани слој). Овакав приступ у процени понашања органских полутаната у пепелима није раније примењиван у националним истраживањима. Ова докторска дисертација пружа могућност за даљи наставак

истраживања, у чему се такође огледа њен научни допринос. Кроз синтезу постојећих знања и приказаних резултата, ова докторска дисертација даје значајан научни допринос и отвара простор за унапређење националне политике у области заштите животне средине, као и за примену стечених сазнања у регионалним и глобалним оквирима.

4.3. Верификација научних доприноса

Из истраживања урађених током израде ове докторске дисертације, Јована Буха Марковић је публиковала један научни рад у међународном часопису изузетних вредности (M21a), један научни рад у врхунском међународном часопису (M21) и један научни рад у међународном часопису (M23).

M21a Рад међународном часопису изузетних вредности

1. **Jovana Buha-Marković**, Ana Marinković, Stevan Nemoda, Jasmina Savić, *Distribution of PAHs in coal ashes from the thermal power plant and fluidized bed combustion system; estimation of environmental risk of ash disposal*, Environmental Pollution, Vol. 266, no. 3, Nov, 2020, IF(2021)=8,071, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115282>

M21 Рад у врхунском међународном часопису

1. **Jovana Z. Buha Marković**, Ana D. Marinković, Jasmina Z. Savić, Milica R. Mladenović, Milić D. Erić, Zoran J. Marković, Mirjana Đ. Ristić, *Risk Evaluation of Pollutants Emission from Coal and Coal Waste Combustion Plants and Environmental Impact of Fly Ash Landfilling*, Toxics, Vol.11, No.4, pp.396, 2023, IF (2023)=4,2, ISSN 2305-6304, <http://dx.doi.org/10.3390/toxics11040396>

M23 Рад у међународном часопису

1. **Jovana Z. Buha-Markovic**, Ana D. Marinkovic, Jasmina Z. Savic, Aleksandar D. Krstic, Andrija B. Savic, Mirjana Dj. Ristic, *Health risk assessment of potentially harmful substances from fly ashes generated by coal and coal waste combustion*, Journal of the Serbian Chemical Society, Vol.88, No.11, pp.1161-1173, IF (2023)=1,0, ISSN 0352-5139, <http://dx.doi.org/10.2298/jsc220130048m>

5. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Оригиналност ове докторске дисертације проверена је дана 25.04.2025. године на начин прописан Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду, бр. 204/22. 6. 2018). Провера докторске дисертације Јоване Буха Марковић под називом „Утицај на животну средину тешких метала и полицикличних ароматичних угљоводоника из процеса сагоревања угља и отпадног угља“ извршена је коришћењем програма „iThenticate“ и утврђено је да подударане текста износи 6%. Овај степен подударности је последица цитирања и навођења извора у оквиру докторске дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника. На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације Јоване Буха Марковић, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу изнетих података Комисија сматра да су предмети, циљеви и методе докторске дисертације кандидата Јоване Буха Марковић јасно дефинисани, а актуелност дисертације потврђена је објављивањем радова у међународним часописима. Такође, ова дисертација представља значајан допринос научној области Инжењерство заштите животне средине, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да докторску дисертацију кандидата Јоване Буха Марковић под називом: „Утицај на животну средину тешких метала и полицикличних ароматичних угљоводоника из процеса сагоревања угља и отпадног угља“, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 05.05.2025.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Маја Ђолић, доцент Универзитета у Београду,
Технолошко-металуршки факултет

Др Владимир Павићевић, ванредни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки
факултет

Др Милица Младеновић, научни саветник Универзитета
у Београду, Институт за нуклеарне науке Винча -
Институт од националног значаја за Републику Србију