

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тачка 4. Статута Универзитета у Београду (“Гласник Универзитета у Београду” број 162/11, пречишћен текст, 167/12, 172/13 и 178/14), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

Крстимир (Јован) Пантић, дипломирани инжењер металургије

КАНДИДАТ: **Крстимир Пантић** пријавио је докторску дисертацију под називом:

„Адсорбенти на бази отпадних и природних материјала за издвајање јона тешких метала и арсена“

Из научне области: **ИНЖЕЊЕРСТВО ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ**

Универзитет је дана **27.03.2017.** године, својим актом **61206-1208/2-17**, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„Адсорбенти на бази отпадних и природних материјала за издвајање јона тешких метала и арсена“

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Крстимир Пантић** образована је на седници Наставно-научног већа одржаној **19.09.2019.** године Одлуком Факултета под бр. **35/302**, у саставу:

Име и презиме	Звање	Научна област
1. Др Александра Перић-Грујић	Редовни професор	Контрола квалитета
2. Др Злате Величковић	Ванредни професор	Војно хемијско инжењерство, опасне материје
3. Др Мирјана Ристић	Редовни професор	Инжењерство заштите животне средине
4. Др Александар Маринковић	Ванредни професор	Органска хемија
5. Др Борис Лончар	Редовни професор	Техничка физика и физичка електроника

Студент је, након истека рока за завршетак студија, поновно уписан на докторске студије шк. 2015/2016. године уписом на другу годину студија.

На захтев студента, у складу са Статутом Универзитета у Београду и Статутом Факултета, декан је донео Решење бр. 20/108-1 од 30.09.2019. године о продужењу рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја школске 2020/2021. године.

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **31.10.2019.** године.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

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. 37. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 19.09.2019. године, донета је

ОДЛУКА

о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације

Именује се Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације Крстимира Пантића, број индекса, 4046/2015 са темом под називом „Адсорбенти на бази отпадних и природних материјала за издавање јона тешких метала и арсена“, у саставу:

1. Др Александра Перић-Грујић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет
2. Др Злате Величковић, ванредни професор Универзитета одбране у Београду, Војна академија
3. Мирјана Ристић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет
4. Др Александар Маринковић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет
5. Др Борис Лончар, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

За првог ментора одређује се др Александра Перић-Грујић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет уместо ментора Александра Маринковића, ванредног професора Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет који је био ментор у Комисији за оцену научне заснованости теме теме докторске дисертације.

Други ментор, др Злате Величковић, ванредни професор Универзитета одбране у Београду, Војна академија, остаје исти.

Катедра за инжењерство заштите животне средине Технолошко-металуршког факултета предложила је промену ментора због преоптерећености др Александра Маринковића послом, а др Александра Перић-Грујић била је члан Комисије и активно је учествовала у изради докторске дисертације

Одлуку доставити: члановима Комисије, Служби за наставно-студентске послове и архиви Факултета.



ДЕКАН

Проф. др Петар Ускоковић

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата КРСТИМИРА ПАНТИЋА, дипл. инж.

Име и презиме ментора: АЛЕКСАНДРА ПЕРИЋ-ГРУЈИЋ

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Milica Tomašević, Davor Antanasijević, Mira Aničić, Isidora Deljanin, **Aleksandra Perić-Grujić**, Mirjana Ristić, Lead concentrations and isotope ratios in urban tree leaves, *Ecol. Indic.* 24 (2013) 504-509; ISSN 1470-160X, IF(2013) 3,230
2. Isidora Deljanin, Davor Antanasijević, Gordana Vuković, Mira Aničić Urošević, Milica Tomašević, **Aleksandra Perić-Grujić**, Mirjana Ristić, Lead spatio-temporal pattern identification in urban microenvironments using moss bags and the Kohonen self-organizing maps, *Atmospheric Environment* 117 (2015) 180-186, ISSN 1352-2310, IF (2014) = 3,281
3. Zoran J. Bajić, Zlate S. Veličković, Veljko R. Djokić, **Aleksandra A. Perić-Grujić**, Ersen Ovidiu, Petar S. Uskoković, Aleksandar D. Marinković, Adsorption Study of Arsenic Removal by Novel Hybrid Copper Impregnated Tufa Adsorbents in a Batch System, *Clean - Soil Air Water* 44 (2016) 1477-1488, ISSN 1863-0650, IF (2015) =1.716
4. Davor Antanasijević, Viktor Pocajt, Jelena Antanasijević, **Aleksandra Perić-Grujić**, Mirjana Ristić, A novel SON2-based similarity index and its application for the rationalization of river water quality monitoring network, *River Research and Applications* 34 (2018) 144-152, ISSN 1535-1459, IF (2017) = 2,067
5. Tatjana Mitrović, Davor Antanasijević, Saša Lazović, **Aleksandra Perić-Grujić**, Mirjana Ristić, Virtual water quality monitoring at inactive monitoring sites using Monte Carlo optimized artificial neural networks: A case study of Danube River (Serbia), *Science of the Total Environment* 654 (2019) 1000-1009, ISSN 0048-9697, IF (2017) = 4,610

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техникотехнолошких, природно-математичких и медицинских наука

ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум: 27.09.2019.

М.П.

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. 39. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 31.10.2019. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Александра Перић-Грујић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Злате Величковић, ванредни професор Универзитета одбране у Београду, Војна академија, др Мирјана Ристић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Александар Маринковић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Борис Лончар, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Адсорбенти на бази отпадних и природних материјала за издвајање јона тешких метала и арсена“** коју је поднео **Крстимир Пантић**, дипл. инжењер металургије 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 Крстимира Пантића, под називом **„Адсорбенти на бази отпадних и природних материјала за издвајање јона тешких метала и арсена“** Одлуком број: 61206-1208/2-17 од 27.03.2017. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M22:

Krstimir J. Pantić, Zoran J. Bajić, Zlate S. Veličković, Jovica Z. Nešić, Maja B. Đolić, Nataša Z. Tomić, Aleksandar D. Marinković, Arsenic removal by copper-impregnated natural mineral tufa part II: a kinetics and column adsorption study, Environmental Science and Pollution Research (2019) 26(23) 24143–24161, ISSN 0944-1344, IF2(2018) 2,914 (oblast Environmental Sciences 91/251); <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05547-7>

Категорија M23:

Krstimir J. Pantić, Zoran J. Bajić, Zlate S. Veličković, Veljko R. Djokić, Jelena D. Rusmirović, Aleksandar D. Marinković, Aleksandra A. Perić-Grujić, Adsorption performances of branched aminated waste polyacrylonitrile fibers: experimental versus modelling study, Desalination and Water Treatment (2019), doi: 10.5004/dwt.2019.24758, ISSN 1944-3994, IF2(2018) 1,234 (oblast Water Resources 66/91)

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

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Крстимира Пантића

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду бр. 35/302 од 19.09.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Крстимира Пантића, дипл. инжењера металургије, под насловом:

„Адсорбенти на бази отпадних и природних материјала за издвајање јона тешких метала и арсена”.

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 дисертације

- Школске 2015/2016. године кандидат је уписао докторске студије на студијском програму Инжењерство заштите животне средине.
- 16.11.2016. - Кандидат Крстимир Пантић пријавио је тему докторске дисертације, под називом: *„Адсорбенти на бази отпадних и природних материјала за издвајање јона тешких метала и арсена”*.
- 24.11.2016. - На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата Крстимира Пантића, дипл. инж. металургије за израду докторске дисертације под називом *„Адсорбенти на бази отпадних и природних материјала за издвајање јона тешких метала и арсена”* (Одлука број 35/508 од 24.11.2016).
- 23.02.2017. - На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата у којој се одобрава израда докторске дисертације Крстимира Пантића, дипл. инж. металургије за израду докторске дисертације, под називом *„Адсорбенти на бази отпадних и природних материјала за издвајање јона тешких метала и арсена”* (Одлука број 35/33 од 23.02.2017). За менторе ове докторске дисертације одређени су др Александар

Маринковић, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду и др Злате Величковић, ванредни професор Војне академије Универзитета одбране у Београду.

- 27.03.2017. - На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност (02 број 61206-1208/2-17) на предлог теме докторске дисертације Крстимира Пантића, дипл. инж. металургије, под називом *„Адсорбенти на бази отпадних и природних материјала за издвајање јона тешких метала и арсена”*.
- 19.09.2019. - На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Крстимира Пантића, дипл. инж. металургије, под називом: *„Адсорбенти на бази отпадних и природних материјала за издвајање јона тешких метала и арсена”*. Уместо др Александра Маринковића, ванредног професора Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, за првог ментора је одређена др Александра Перић Грујић, ред. проф. Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду (Одлука бр. 35/302 од 19.09.2019.)

1.2 Место дисертације у одговарајућој научној области

Истраживања рађена у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Инжењерство заштите животне средине, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа. Ментори др Александра Перић Грујић и др Злате Величковић до сада су публиковали већи број радова из ове области и на основу досадашњих резултата и искуства, може се закључити да су били компетентни да руководе овом докторском дисертацијом.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Крстимир Пантић рођен је 18. 01. 1972. године у Косовској Митровици, Република Србија, где је завршио основну и средњу школу. Након завршетка средње школе, 1990. године, уписао је студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Приштини, смер Металургија, где је дипломирао 16.04.1996. године, са просечном оценом 7,26. Дипломски рад је одбранио са оценом 9.

Школске 2007/2008. године уписао је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету, Универзитета у Београду које због обима пословног ангажовања (радио на месту председника општине Косовска Митровица 2011. и 2012. године, затим као заменик директора Канцеларије за КиМ, и био члан делегације на преговорима који су се тада водили у Бриселу између делегација Београда и Приштине

под покровитељством ЕУ) није завршио, након тога поново је уписао докторске студије школске 2015/2016. године на студијском програму Инжењерство заштите животне средине, под руководством ментора др Александра Маринковића. Испите на докторским студијама је положио са просечном оценом 9,25. Завршни испит на докторским студијама под називом „Развој и испитивање полиакрилонитрилних и целулозних влакана за уклањање тешких метала (As, Cd, Pb, Ni) из водених раствора“ је одбранио 2016. године са оценом 10, пред Комисијом у саставу, др Александар Маринковић, ван. проф., др Мирјана Ристић, ред. проф. и др Александра Перић Грујић, ред. проф. Крстимир Пантић је радио у РМХК “ТРЕПЧА” у Косовској Митровици, као Руководилац процеса у смени у следећим погонима; Рафинерија олова, Електролизаа сребра и злата, Пржионица олова и Топионица олова. Од 2010. године је био запослен на месту председника општине Косовска Митровица. Одлуком Владе Републике Србије крајем 2012. године именован је на место заменика директора Канцеларије за Косово и Метохију. За Народног посланика у Народној скупштини Републике Србије изабран је на изборима одржаним 2014. године. Користи се енглеским језиком и познаје рад на рачунару. Отац је двоје деце.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација Крстимира Пантића, дипл. инж. металургије, написана је на 183 стране, и садржи 6 поглавља: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература. Дисертација садржи 37 слика, 38 табела, и 267 литературних навода. На почетку дисертације дата је насловна страна (на српском и енглеском језику), подаци о менторима и члановима комисије, захвалница, сажетак (на српском и енглеском језику), садржај, као и спискови слика и табела, док су Литература и биографија аутора дати на крају дисертације.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У Уводном делу (поглавље 1) је указано на значај чисте воде за опстанак човечанства, количине и облик у којима се налазе воде, коришћење вода у индустрији, учешће атмосферских вода у Републици Србији, Европи и на глобалном нивоу. Такође је укратко описано и како долази до загађења површинских и подземних вода. Описан је и циљ докторске дисертације који представља дефинисање оптималног модела за издвајање тешких метала из водених раствора при различитим хемијским, физичким и

оперативним условима, применом модификованих полиакрилонитрилних и целулозних влакана, као и природног калцита-бигра.

У теоријском делу дисертације (поглавље 2) дат је преглед предметних области дисертације у девет делова: 1) Порекло, облици и утицај тешких метала; 2) Еколошки проблем присуства тешких метала у воденим растворима; 3) Најчешће коришћене методе за уклањање тешких метала; 4) Материјали за пречишћавање вода од тешких метала; 5) Бигар; 6) Полиакрилонитрилна влакна (PAN); 7) Методе карактеризације материјала (*FTIR*, *SEM*, *BET*, *XRD*); 8) Теорија адсорпције; 9) Дизајн експеримента.

У првом делу поглавља Теоријски део описани су тешки метали, како и где се све могу наћи, како се са њима свакодневно долази у контакт и какве све последице, пре свега здравствене, могу настати уколико људски организам буде дуже времена изложен утицају тешких метала. У другом делу поглавља Теоријски део описано је како долази до загађења воде у индустријским условима и указано на неопходност уклањања свих нечистоћа, пре свега тешких метала, пре испуштања ових вода у животну средину. У трећем делу поглавља Теоријски део, дат је приказ најчешће коришћених метода за уклањање тешких метала из водених раствора (јонска измена, активни алуминијум-оксид, реверсна осмоза, модификована коагулација/филтрација, модификовано омекшавање кречом, реверзна електродијализа, оксидација/филтрација.

Материјали за пречишћавање вода од тешких метала описани су у четвртном делу поглавља Теоријски део. Адсорбенти (материјали) су подељени у две групе; природне (глине, зеолити, пољопривредни и индустријски биоотпад и др.) и вештачке (активан угаљ, полимерни материјали, индустријски отпад). У петом делу поглавља Теоријски део говори се о природном калциту-бигру као материјалу за уклањање тешких метала из водених раствора, начин на који долази до настанка бигра, налазиштима бигра у Србији. Полиакрилонитрилна влакна, њихова подела, својства и недостаци описани су у шестом поглављу Теоријског дела. Такође је описана и примена ових влакана, као и поступак модификације полиакрилонитрилних влакана. У седмом делу поглавља Теоријски део говори се о методама карактеризације материјала (скенирајућа електронска микроскопија, *scanning electron microscopy-SEM*, адсорпционо-десорпциона метода, *Brunauer-Emmett-Telle*, *BET*, дифракција X зрака, *X-ray diffraction-XRD*, инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом, *Fourier transform infrared spectroscopy-FTIR*). Осми део поглавља Теоријски део објашњава појам адсорпције. Кинетика адсорпције описује моделе адсорпције коришћене у овој дисертацији, а који су примењени за обраду експерименталних резултата да би се одредио механизам сорпције. Изотермни модели адсорпције, односно равнотежне изотерме које описују адсорпцију и које су коришћене у овом раду су: Ленгмир (Langumir), Фројндлих (Freundlich), Темкин (Temkin), Дабинин-Радушкеви (Dabinin Radushkevich). У деветом делу поглавља Теоријски део објашњен је дизајн експеримента, као и принцип методе неуронских мрежа.

Експериментални део (поглавље 3) је подељен у две целине:

- 1) Уклањање јона тешких метала (Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , As(V) и Cr(VI)) помоћу модификованих отпадних PAN влакана.
- 2) Уклањање јона арсената и арсенита помоћу бигра модификованог наночестицама бакра у проточном систему.

Прва целина везана за уклањање јона тешких метала (Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , As(V) и Cr(VI)) помоћу модификованих отпадних PAN влакана подељена је у пет делова: 1) Материјали, 2) Синтеза адсорбента, 3) Методе карактеризације материјала, 4) Шаржни адсорпциони експерименти, 5) Дизајн адсорпционих експеримената у циљу предикције резултата коришћењем RSM методологије.

Друга целина везана за уклањање јона арсената и арсенита помоћу бигра модификованог наночестицама бакра у проточном систему подељена је у пет целина: 1) Синтеза адсорбента, 2) Равнотежни адсорпциони експерименти, 3) Кинетички проточни адсорпциони експерименти, 4) Моделовање проточног система, 5) Оптимизација експеримената у колони.

У поглављу 4, Резултати и дискусија, приказани су и детаљно анализирани добијени резултати. У делу 4.1, описани су и дискутовани резултати добијени применом *FTIR* спектроскопије AS3-PAN/ Pb^{2+} , AS3-PAN/ Cd^{2+} , AS3-PAN/ Ni^{2+} , AS3-PAN/ Cr(VI) и AS3-PAN/ As(V) врста. Објашњен је и доказан значајан адсорптивни потенцијал амино групе да се укључи у процес адсорпције/комплексирања. Резултати одређивања текстурних својстава (4.2) специфична површина (SSA), запремина пора (PV) и просечни пречник пора (APD) AS3-PAN узорка одређени су из изотерми адсорпције/десорпције азота. Текстура својства описују међуповршину чврсте и течне фазе, геометрију пора и унутрашњу површинску храпавост, што може да допринесе у одређеној мери адсорпционим својствима AS3-PAN. У делу 4.3 приказани су резултати *SEM* анализе, а у делу 4.4 – *HRTEM*. Утицај pH вредности на ефикасност адсорпције детаљно је анализиран је у делу 4.5. Анализа кинетике процеса подробно је приказана у деловима 4.6 и 4.7. У делу 4.8, на основу добијених резултата су формиране адсорпционе изотерме и процеси су дискутовани са аспекта термодинамике. У циљу испитивања еколошке подобности примењених материјала и могућности њихове поновне употребе, извршени су експерименти десорпције, а резултати и дискусија дати су у делу 4.9. Имајући у виду комплексност реалних система, у даљем раду је испитан утицај интерферирајућих јона на адсорпциони процес (4.10). У делу 4.11 резултати добијени у оквиру ове докторске дисертације упоређени су са литературним подацима. Применом Методологије одговора површине (RSM) извршено је предвиђање капацитета уклањања Cd^{2+} , Pb^{2+} и Ni^{2+} јона (4.12). Анализа дифузионих процеса приказана је у делу 4.13. Испитивање могућности уклањања арсена у проточним

системима извршено је применом одговарајућег математичког модела (4.14, 4.15). У делу 4.16 дат је осврт на могућа даља истраживања у овој области.

Закључци (поглавље 5) су изведени на основу анализе резултата истраживања, добијених у процесу уклањања тешких метала из водених раствора применом аминованих полиакрилонитрилних влакана (AS3-PAN) и природног калцита бигра, на који је предходно нанет слој бакра. Резултати адсорпције и испитивања кинетике процеса указали су на адекватну ефикасност и добре карактеристике синтетизованог адсорбента. Објашњено је и да се применом софтвера *Design expert 9*, са правилним дизајном експерименталног плана, могу предвидети резултати адсорпције помоћу *RSM* методе. На основу добијених резултата, указано је на могућност примене отпадног PAN за производњу адсорбента високих перформанси који се користи у ограниченом броју статистички валидних експеримената, што представља значајан допринос квалитету животне средине. Један од важнијих закључака је и тај да су, сви решени задаци у складу са тренутном политиком заштите животне средине и дефинисаном потребом за развијањем нових ефикасних адсорбената који се примењују у поступцима уклањања загађујућих материја из воде.

Поглавље 6. Литература обухвата 267 референци из области истраживања и покрива све делове дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1 Савременост и оригиналност

Вода је одувек због свог значаја, заступљености у природи и особина била предмет изучавања разних научних дисциплина, и упркос чињеници да је један од најзаступљенијих ресурса на Земљи, представља ограничен и веома осетљив ресурс. Убрзани пораст популације на Земљи, раст животног стандарда и велики индустријски развој утицали су да се потрошња воде на Земљи несразмерно повећава. Осим огромне потрошње, на угроженост овог ресурса утичу и загађења. Загађена вода се најчешће без третмана испушта у водене реципијенте, док је пречишћавање ових вода углавном присутно у високоразвијеним земљама. Брзи раст броја становника, нарочито развој људске цивилизације и брзи техничко-технолошки развој, довели су до повећања негативног утицаја на животну средину, а они се могу приметити кроз пораст броја извора загађења. Међу најзначајније загађујуће материје водених раствора убрајају се тешки метали.

У последње време велика пажња се посвећује развоју нових и јефтиних врста адсорбената на бази полиакрилонитрилних влакана и посебно, природних адсорбената који су лако доступни и јефтини. Велике специфичне површине са великим бројем

реактивних функционалних група омогућавају да се постигну много већи капацитети адсорпције са бољом кинетиком у третману воде.

У оквиру ове докторске дисертације вршена је синтеза нових материјала добрих адсорпционих карактеристика за уклањање јона тешких метала и арсена. У експериментима адсорпције коришћен је природни материјал бигар (природни калцит) и отпадна влакна полиакрил нитрила. Бигар је погодним физичким и механичким методама припремљен за даљу модификацију преципитацијом наночестица бакра. Преципитација наночестица бакра на бигар вршена је комбинацијом различитих метода и количина наночестица у циљу добијања адсорбента са најбољим адсорпционим карактеристикама. Отпадна влакна полиакрилнитрила модификована су површинском модификацијом амино групама комбинујући услове модификације (температуру, концентрацију реактанта и рН вредност) у циљу добијања адсорбента са великим бројем активних амино група и најбољим адсорпционим карактеристикама за катјоне. У циљу постизања добрих адсорпционих карактеристика за ањоне површински модификована влакна су накнадно импрегнирана наночестицама гетита.

3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидат је током израде докторске дисертације извршио преглед научне и стручне литературе из релевантних области везаних за проблематику дисертације, од којих је издвојио 268 литературних навода. Наведене референце садрже експерименталне резултате, анализу и дискусију добијених резултата и изведене закључке, као и теоријске основе примењених метода испитивања, њихове могућности и ограничења. Кандидат је проширио до сада позната сазнања о поступцима синтезе, модификације и карактеризације адсорпционих материјала који се могу користити при уклањању јона тешких метала из воде различитог порекла.

Из образложења предложене теме докторске дисертације и објављених радова које је кандидат приложио, као и из пописа литературе која је коришћена у истраживању, уочава се адекватно познавање предметне области истраживања, као и познавање актуелног стања истраживања у овој области у свету.

3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

У току израде докторске дисертације коришћене су опште и посебне научне методе истраживања као што су; индуктивно и дедуктивно закључивање, компарација, анализа и синтеза. У експериментима адсорпције коришћена су модификована полиакрилонитрилна влакна и природни калцит-бигар.

Добијени адсорпциони материјали су окарактерисани применом: *FTIR*, *XRD*, *BET*, *SEM* метода. Извршена је карактеризација добијених адсорпционих материјала

одређивањем специфичне површине, запремине пора, дефинисањем фазних и структурних својстава и морфологије. На тај начин обезбеђени су потребни подаци за тумачење механизма процеса адсорпције.

3.4 Применљивост остварених резултата

Током израде ове докторске дисертације синтетисана су три нова адсорбента различитим модификацијама отпадних полиакрил нитрилних влакана који су коришћени за уклањање јона тешких метала (Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , As(V) и Cr(VI)) из водених раствора. Добијене вредности максималних адсорпционих капацитета испитиваних адсорбената су довољно високе да омогућавају практичну примену неких од њих за уклањање кадмијума, олова, никла, арсена и хрома из воде. На пример, проценат адсорпције Pb^{2+} јона на AS3-PAN у опсегу pH вредности од 5,5 до 7 је од 90 до 97%.

Резултати адсорпционо/десорпционих циклуса показали су да се AS3-PAN може узастопно користити 5 пута у уклањању тешких метала/оксианјона из воде. Број циклуса коришћења је веома повољан са аспекта практичне примене ових адсорбената. Такође, током истраживања испитана је могућност примене методе одзивних површина (*RSM*) у предикцији резултата – капацитета адсорпције са мањим бројем експеримената. Током овог истраживања показано је да се може примењивати код експеримената адсорпције, где су упоређивани резултати предикције, која је вршена са подацима добијеним из 25 експеримената, применом софтвера *Desing Expert 9* и са свим подацима, из укупно 120 експеримената. Такође је доказана применљивост методе одзивних површина (*RSM*) у дизајну експеримента – оптимизацији услова адсорпције у проточном систему где су одређени оптимални услови адсорпције путем 22 експеримента са 3 понављања у централној тачки за уклањање јона арсена из воде на бигру модификованом наночестицама бакра. Примена методе одзивних површина (*RSM*) је у складу са принципима заштите животне средине јер се вишеструко смањује број експеримената, а тиме се штеди енергија, потрошња хемикалија, и смањује количина насталог отпада.

Током овог истраживања доказана је и применљивост бигра са наночестицама бакра *T-Cu(A-C)* у реалним системима за уклањање арсената и арсенита из воде где су резултати моделовани коришћењем модела дифузије површинских пора (*PSDM*), тј. *AdDesignS™* софтвером, развијеним од стране Универзитета Технологије у Мичигену.

3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Крстимир Пантић, дипл. инж. металургије, током израде докторске дисертације испољио је стручност и ангажованост у припреми и реализацији

експеримената синтезе адсорпционих материјала, коришћењу различитих техника карактеризације материјала, извођења експеримената адсорпције применом синтетисаних адсорбента и анализи резултата. То се огледа у потпуно самосталном креирању и реализацији истраживања у вези са темом докторске дисертације. На основу изнетих података може се закључити да Крстимир Пантић поседује све квалитете који су неопходни за научно-истраживачки рад и самосталну презентацију добијених резултата.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Добијени резултати представљају допринос разумевању механизма адсорпције арсена и кадмијума на адсорбентима добијеним различитим модификацијама полиакрилонитрилних влакана и природног калцита-бигра.

Научни допринос ове докторске дисертације огледа се у:

- проналажењу и развоју нових материјала који имају добра адсорпциона и техно-економска својства применљива у реалним системима за уклањање јона тешких метала и арсена;
- унапређењу адсорпционих својстава бигра импрегнацијом наночестицама бакра и примена добијеног адсорбента у реалним системима;
- оптимизованим поступцима синтезе, површинске модификације, таложења и пост-процесирања материјала са побољшаним адсорпционим својствима у процесима уклањања никла, олова, кадмијума и арсена из воде;
- оптимизацији процеса адсорпције јона тешких метала и арсена на синтетисаним адсорбентима;
- потенцијалној примени јефтиних и ефикасних материјала различитих текстуалних својстава.

4.2 Критичка анализа резултата истраживања

Модификацијом отпадних PAN влакана добијен је нови материјал применљив за адсорпцију тешких метала из воде. У овом истраживању, аминована полиакрилонитрилна влакна (AS3-PAN) успешно су припремљена у три узастопна корака аминовања отпадних PAN влакана. Резултати експеримената адсорпције и испитивања кинетике процеса указују на велику применљивост синтетизованог адсорбента. Међутим, сложеност процеса амидације - број корака умањује применљивост овог адсорбента. Сложена модификација повећава цену адсорбента, а

самим тим и економску оправданост његове примене, али све строжи критеријуми и захтеви у поступку са насталим отпадом (vlakna PAN) и захтеви за третманом вода контаминираних тешким металима веома брзо ће омогућити превазилажење овог проблема.

Током овог истраживања доказана је и применљивост бигра са наночестицама бакра $T-Cu(A-C)$ у реалним системима за уклањање арсената и арсенита из воде; проблем код овог адсорбента је да, након више употреба долази до уситњавања зрна адсорбента, што не утиче на особине адсорбента у погледу капацитета, али утиче на понашање у колони, односно код пројектовања ових система, због утицаја на проток у колони.

Резултати истраживања показали су да се Метода одзивних површина (*RSM*) уз примену софтвера *Desing expert 9* може користити у дизајнирњу експеримената и предвиђању резултата експеримената– капацитета адсорпције, где је са малим бројем експеримената добијена добра корелација резултата.

4.3 Верификација научног доприноса

Кандидат је у оквиру израде докторске дисертације интензивно радио на развоју нових адсорбената за уклањање јона тешких метала и арсена из водених раствора и у оквиру тог истраживања објавио је два научна рада (1M22 и 1M23) из области Заштите животне средине у међународним часописима који се налазе на *SCI* листи.

Рад у истакнутом међународном часопису M22

Krstimir J. Pantić, Zoran J. Bajić, Zlate S. Veličković, Jovica Z. Nešić, Maja B. Đolić, Nataša Z. Tomić, Aleksandar D. Marinković, Arsenic removal by copper-impregnated natural mineral tufa part II: a kinetics and column adsorption study, *Environmental Science and Pollution Research* (2019) 26(23) 24143–24161, ISSN 0944-1344, IF2(2018) 2,914 (oblast *Environmental Sciences* 91/251); <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05547-7>

Рад у међународном часопису M23

Krstimir J. Pantić, Zoran J. Bajić, Zlate S. Veličković, Veljko R. Djokić, Jelena D. Rusmirović, Aleksandar D. Marinković, Aleksandra A. Perić-Grujić, Adsorption performances of branched aminated waste polyacrylonitrile fibers: experimental versus modelling study, *Desalination and Water Treatment* (2019), doi: [10.5004/dwt.2019.24758](https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24758) , ISSN 1944-3994, IF2(2018) 1,234 (oblast *Water Resources* 66/91)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу наведеног, Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Крстимира Пантића, дипл. инж. металургије, под називом: „Адсорбенти на бази отпадних и природних материјала за издвајање јона тешких метала и арсена”, представља значајан оригиналан научни допринос у области Инжењерства заштите животне средине, што је потврђено објављивањем радова у релевантним часописима међународног значаја. Комисија сматра да је кандидат дефинисањем теме, експерименталним приступом, као и детаљним разматрањима добијених резултата остварио задате циљеве и да докторска дисертација у потпуности испуњава све захтеване критеријуме.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да прихвати овај Реферат и да га заједно са поднетом дисертацијом Крстимира Пантића, дипл. инж. металургије под називом: „Адсорбенти на бази отпадних и природних материјала за издвајање јона тешких метала и арсена”, изложи на увид јавности у законски предвиђеном року и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, те да након завршетка ове процедуре, позове кандидата на усмену одбрану дисертације.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Александра Перић Грујић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Злате Величковић, ванредни професор
Универзитета одбране у Београду, Војна академија

Др Александар Маринковић, ванредни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Мирјана Ристић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Борис Лончар, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет