

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ
35/34
(Број захтева)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
(Назив већа научне области и коме се захтев упућује)

13.03.2017.
(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„Нове форме адсорпционих материјала на бази модификованих угљеничних наноцеви за уклањање јона арсена, олова и кадмијума из воде“
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: ИНЖЕЊЕРСТВО ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

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

ДРАГОСЛАВ (Слободан) БУДИМИРОВИЋ, дипл. инж. технолог

2. Назив и седиште факултета на коме је стекао основно образовање: Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

3. Година дипломирања: 1991.

Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће, на седници одржаној 23.02.2017. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем
2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације
3. Подаци о ментору.

ДП

На основу чл. 30. став 3. Закона о високом образовању, чл. 40. Статута ТМФ-а и чл. 32. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 23.02.2017. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације ДРАГОСЛАВУ БУДИМИРОВИЋУ, дипл. инж. технологије, под називом: „Нове форме адсорпционих материјала на бази модификованих угљеничних наноцеви за уклањање јона арсена, олова и кадмијума из воде“.

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

За менторе се одређују: др Александар Маринковић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Злате Величковић, доцент Универзитета одбране у Београду, Војна академија.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду на сагласност, кандидату, менторима, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата: Драгослав Будимировић

Име и презиме ментора: Александар Маринковић

Звање: доцент

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Taleb K., Markovski J., Milosavljević M., Marinović-Cincović M., Rusmirović J., Ristić M., **Marinković A.**: *Efficient arsenic removal by cross-linked macroporous polymer impregnated with hydrous iron oxide: Material performance*, Chemical Engineering Journal, Vol 279, 2015, pp. 66–78; ISSN: 1385-8947; IF(2015)=5,310; doi:10.1016/j.cej.2015.04.147,
2. J. S. Markovski, V. R. Đokić, M. Milosavljević, M. Mitrić, A. A. Perić-Grujić, A. E. Onjia, **A. D. Marinković**, "Ultrasonic assisted arsenate adsorption on solvothermally synthesized calcite modified by goethite, α -MnO₂ and goethite/ α -MnO₂", Ultrasonic Sonochemistry, Vol. 21, 2014, pp. 790-801; ISSN 1350-4177; IF (2014) = 3,516; doi:10.1016/j.ultsonch.2013.10.006.
3. J. S. Markovski, D. D. Marković, V. R. Đokić, M. Mitrić, M. Đ. Ristić, A. E. Onjia, **A. D. Marinković**, "Arsenate adsorption on waste eggshell modified by goethite, α -MnO₂ and goethite/ α -MnO₂", Chemical Engineering Journal, Vol. 237, 2014, pp. 430-442; ISSN: 1385-8947; IF (2014) = 3,473; doi: 10.1016/j.cej.2013.10.031.
4. Dragoslav Budimirović, Zlate S. Veličković, Veljko R. Djokić, Milutin Milosavljević, Jasmina Markovski, Steva Lević, **Aleksandar D. Marinković**, *Efficient As(V) removal by α -FeOOH and α -FeOOH/ α -MnO₂ embedded PEG-6-arm functionalized multiwall carbon nanotubes*, Chemical Engineering Research and Design, Vol. 119, 2017, pp. 75-86, ISSN: 0263-8762; IF(2015) = 2,525; <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2017.01.010>.
5. Khaled Taleb, Jasmina Markovski, Zlate Veličković, Jelena Rusmirović, Milica Rančić, Vladimir Pavlović, **Aleksandar Marinković**, *Arsenic removal by magnetite-loaded amino modified nano/microcellulose adsorbents: Effect of functionalization and media size*, Arabian Journal of Chemistry, In press, 2017, ISSN: 1878-5352; IF(2015) = 3,613; <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.08.006>,

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: 13.02.2017.

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата: Драгослав Будимировић

Име и презиме ментора: Злате Величковић

Звање: доцент (избор 03.07.2014. године, Универзитет одбране)

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Z. Veličković**, G. Vuković, A. Marinković, M.S. Moldovan, A.A. Perić-Grujić, P. Uskoković, M. Ristić, Adsorption of arsenate on iron(III) oxide coated ethylenediamine functionalized multiwall carbon nanotubes, Chemical Engineering Journal, Vol. 181-182, 2012, pp. 174- 181 (M21A); ISSN: 1385-8947; IF(2012)=3,473; <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2011.11.052>.
2. Zoran J. Bajić, **Zlate S. Veličković**, Veljko R. Djokić, Aleksandra A. Perić-Grujić, Ovidiu Ersen, 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, Vol. 44, 2016, 1–12 (M21); ISSN 1863-0650; IF(2015)=2,716; DOI: 10.1002/clen.201500765.
3. K. Taleb, J. Markovski, **Z. Veličković**, J. Rusmirović, M. Rančić, V. Pavlović, A. Marinković, Arsenic removal by magnetite-loaded aminomodified nano/microcellulose adsorbents: Effect of functionalization and media size, Arabian Journal of Chemistry, Arabian Journal of Chemistry, In press, 2017, ISSN: 1878-5352; IF(2015) = 3,613; <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.08.006>.
4. **Z. Veličković**, Z. Bajić, M. Ristić, V. Đokić, A. Marinković, P. Uskoković, M. Vuruna, Modification of multi-wall carbon nanotubes for the removal of cadmium, lead and arsenic from wastewater, Digest Journal of Nanomaterials and Biostructure, Vol. 8 (2), 2013, 501 – 511 (M22); ISSN 1842-3582; IF(2013)=1,123; (http://www.chalcogen.infim.ro/501_VELICKOVIC.pdf).
5. **Z. Veličković**, A. Marinković, Z. Bajić, J. Marković, A. Perić-Grujić, P. Uskoković, M. Ristić, Oxidized and ethylenediamine-functionalized multi-walled carbon nanotubes for the separation of low concentration arsenate from water, Separation Science and Technology, 48 (2013) 2047–2058 (M22); ISSN: 0149-6395; IF(2013)=1,200; <http://dx.doi.org/10.1080/01496395.2013.790446>

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: 13.02.2017.

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Predmet: Podobnost teme i kandidata Dragoslava Budimirović za izradu doktorske disertacije.

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu br. 35/658 od 29.12.2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Budimirović Dragoslava za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme „Nove forme adsorpcionih materijala na bazi modifikovanih ugljeničnih nanocevi za uklanjanje jona arsena, olova i kadmijuma iz vode“.

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći

REFERAT

1. Podaci o kandidatu

1.1. Biografski podaci

Budimirović (Slobodan) Dragoslav rođen je 11.12.1964. godine u Obrenovcu, Republika Srbija gde je završio osnovnu i srednju školu. Nakon završetka srednje škole 1984. godine upisao je Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu gde je diplomirao 1991. godine na Organsko-tehnološkom odseku, smer Tehnologija polimernih materijala sa prosečnom ocenom u toku studija 7,24. Odbranio je diplomski rad „Elektrohemijska sinteza polipirola“ sa ocenom 10 (deset) na katedri za Fizičku hemiju.

Školske 2011/2012. godine upisao je doktorske studije na studijskom programu Inženjerstvo zaštite životne sredine pod rukovodstvom dr Aleksandra Marinkovića. Ispite na doktorskim studijama je položio u roku sa prosečnom ocenom 9,83 i odbranio Završni ispit u septembru 2013. godine.

Nakon završetka studija usmeravao se i usavršavao se iz oblasti zaštite životne sredine pri čemu je položio stručne ispite za:

- licencu odgovornog projektanta tehnoloških procesa, Inženjerska komora Srbije (2010);
- stručni ispit iz oblasti tehnologije (2009), Savez inženjera i tehničara Srbije;
- Course Certificate – Law on environmental impact assessment and Law on integrated environmental pollution prevention and control (2005), Republic of Serbia - Ministry for science and environmental protection - Directorate for environmental protection;
- stručni ispit – opšti deo za radnike sa VSS zaposlene u organima državne uprave (2004), Ministarstvo za državnu upravu i lokalnu samoupravu;

Kandidat poseduje široko radno iskustvo i radio je na poslovima:

- 1994. – 2001. : Tehnolog pripravnik, Tehnolog u proizvodnji, Glavni inženjer, Upravnik fabrike, Preduzeće "Prva Iskra – PAM" DOO;
- 2001. – 2002. : Direktor fabrike "Prva Iskra – PAM" DOO;
- 2003 – 2009. : Šef službe za zaštitu životne sredine, Opštinska uprava opštine Obrenovac;
- 2009. januar - 2009. oktobar: Samostalni stručni saradnik, Sekretarijat za zaštitu životne sredine grada Beograda;

- 2009. oktobar – 2013. januar: Zamenik sekretara, Sekretarijat za zaštitu životne sredine grada Beograda;
- 2014. oktobar – 2015. oktobar: Vršilac dužnosti direktora JKP "Obrenovac" iz Obrenovca;
- 2015. oktobar – 2016. maj: Rukovodilac sektora za reciklažu i deponovanje otpada, JKP "Obrenovac" iz Obrenovca.

Kandidat poznaje rad na računaru – napredni nivo (programiranje baza podataka, Web programiranjem i drugo). Koristi se engleskim i ruskim jezikom. Oženjen je ima dvoje dece.

1.2. Stečeno naučnoistraživačko iskustvo

Dragoslav Budimirović je u okviru doktorskih studija položio sve ispite (12) predviđene studijskim programom, sa prosečnom ocenom 9,83 (9 i 83/100). U septembru 2013. godine odbranio je završni ispit (pristupni rad za izradu doktorske disertacije) pod nazivom „*Razvoj i ispitivanje novih formi sorpcionih materijala za uklanjanje arsena, kadmijuma, olova i nikla iz vodenih rastvora*“ sa ocenom 10 pred komisijom u sastavu: dr Aleksandar Marinković, docent, dr Radmila Jančić-Heinemann, van. prof. i dr Dušan Antonović, red. prof.

Položeni ispiti i ostvareni bodovi u okviru doktorskih studija:

R. br.	Naziv predmeta	ESPB
1.	Ekonomija životne sredine i održivi razvoj	4
2.	Odabrana poglavlja matematičke analize	5
3.	Industrijska ekologija	5
4.	Hemijska kinetika	5
5.	Organske zagađujuće supstance	4
6.	Hemijska termodinamika	5
7.	Viši kurs pripreme vode za piće	4
8.	Teorijski principi i praktični aspekti pripreme vode za pice i primenu u industriji	4
9.	Prečišćavanje otpadnih voda	5
10.	Upravljanje čvrstim i opasnim otpadom	5
11.	Industrijske vode	4
12.	Završni ispit – pristupni rad za izradu doktorske disertacije	30
	Ukupno	80

Oblast naučnoistraživačkog rada Dragoslava Budimirović obuhvata razvoj novih formi adsorpcionih materijala za uklanjanje arsena, olova i kadmijuma iz vodenih rastvora na bazi modifikovanih ugljeničnih nanocevi.

Dragoslav Budimirović je autor 1 rada objavljenog u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21) i 3 naučnih saopštenja u zbornicima radova sa međunarodnog naučnog skupa štampano u celini (M33).

Spisak objavljenih radova i saopštenja

Radovi objavljeni u časopisima međunarodnog značaja - M20

- **Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu – M21**

Budimirović S. Dragoslav, Veličković S. Zlate, Djokić R. Veljko, Milosavljević Milutin, Markovski Jasmina, Lević Steva, Marinković D. Aleksandar "Efficient As(V) removal by

α -FeOOH and α -FeOOH/ α -MnO₂ embedded PEG-6-arm functionalized multiwall carbon nanotubes" Chemical Engineering Research and Design, 2017. 119: p. 75-86; ISSN 0263-8762; IF (2015) 2,525; <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2017.01.010>.

Zbornici međunarodnih naučnih skupova – M30

– Saopštenje sa međunarodnog naučnog skupa štampano u celini – M33

1. J. S. Markovski, V. R. Djokić **S. D. Budimirović**, J. D. Rusmirović, A. D. Marinković, M. M. Milosavljević, "Determination of thioncarbamates and dioxanthogenates residues in waste water obtained from the waste after xanthates treatment", 13th international conference Research and development in mechanical industry - Application of mechanical engineering in other industrial fields, Kopaonik, Serbia (2013), D-17, 842 –847, ISBN 978-86-6075-042-8.
2. A. R. Božić A. Vojvodić-Ostojić, J. S. Markovski, J. D. Rusmirović, **D. S. Budimirović**, A. D. Marinković, "New method for synthesis of novel N-(substituted phenyl)-O-isobutyl thioncarbamates", 13th international conference Research and development in 23 mechanical industry - Application of mechanical engineering in other industrial fields, RaDMI 2013, Kopaonik, Serbia (2013), D-4, 753 – 759, ISBN 978-86-6075-042-8.
3. J. S. Đukanović, A. D. Marinković, M. M. Milosavljević, J. M. Marković, G. D. Vuković, **D. S. Budimirović**, "Catalytic synthesis of N-alkyl, N,N-dialkyl and Ncycloalkyl-O-isobutylthioncarbamates applied at semi-industrial level", 11th International Conference Research and Development in Mechanical Industry, RaDMI 2011, 15 - 18. September 2011, Sokobanja, Serbia, p. 1123-1128. ISBN: 978-86-6075-028-2

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu dosadašnjeg rada i ostvarenih rezultata tokom doktorskih studija, Dragoslav Budimirović je pokazao izuzetnu sklonost i sposobnost u bavljenju naučnoistraživačkim radom. To se ogleda, kako u samostalnom kreiranju i realizaciji istraživanja vezanih za temu doktorske disertacije, tako i kroz rad koji realizuje u okviru svog profesionalnog angažovanja. Do sada je autor 1 rada objavljenog u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21) i 3 naučnih saopštenja u zbornicima radova sa međunarodnog naučnog skupa štampano u celini (M33). Shodno navedenom, Komisija smatra da kandidat ispunjava uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. Predmet i cilj istraživanja

- Prikaz predmeta i cilja istraživanja

Neprestani rast svetske populacije vodi sve većem zagađivanju životne sredine. Razvoj industrije i tehnologije konstantno povećava opterećenje životne sredine naročito vodenih resursa teškim metalima. Poznato je da teški metali spadaju u najopasnije zagađujuće materije posebno kada su vode u pitanju. Teški metali su kategorisani kao kontaminanti visokog prioriteta, prema klasifikaciji brojnih regulatornih tela uključujući Agenciju za zaštitu životne sredine SAD (US EPA), Svetsku zdravstvenu organizaciju, kao i Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće u Srbiji. Teški metali su posebno opasni jer su toksični i pri niskim koncentracijama, nisu biorazgradivi, imaju sposobnost da se akumuliraju u živim organizmima i mogu trajno inhibirati pojedine enzime i procese u organizmu. Zbog svega toga zakonske regulative brojnih zemalja su usvojile tokom zadnje dekade nove strožije kriterijume koji regulišu sadržaj teških metala u vodi za piće i otpadnim vodama koje se ispuštaju u životnu sredinu. Novi standardi u kvalitetu vode neminovno uslovljavaju i

uvođenje novih tehnika i materijala za uklanjanje jona teških metala iz vode. Tradicionalne tehnike koje se koriste u tehnologiji voda uklanjaju zajedno sve zagađujuće materije. Problem kod ovih tehnika je uklanjanje teških metala u malim koncentracijama, koje su iznad maksimalno dozvoljenih koncentracija po novim standardima. Adsorpcija je jedna od separaciona tehnika koja se koristi za uklanjanje teških metala zbog kapacitivnosti, reverzibilnosti i selektivnosti procesa.

U novije vreme pažnja istraživača iz oblasti adsorpcije je najčešće usmerena na upotrebu novih nanostrukturnih materijala koji zahvaljujući svojim novim osobinama koje se javljaju kod materijala na nanoskali pokazali superiornim i u ovoj oblasti. Velike specifične površine sa velikim brojem reaktivnih funkcionalnih grupa, omogućavaju da se postignu veći kapaciteti adsorpcije sa boljom kinetikom u tretmanu vode.

Cilj predložene doktorske teze je sinteza i modifikacija novih nanostrukturnih materijala na bazi ugljeničnih nanocevi, optimalnih adsorpcionih svojstava primenljivih u realnim sistemima kroz:

Kontrolisanu funkcionalizaciju ugljeničnih nanocevi sa optimalnim brojem reaktivnih funkcionalnih grupa za uklanjanje katjona ($Pb(II)$ i $Cd(II)$) iz vode;

Unapređenje adsorpcionih svojstava prethodno funkcionalizovanih ugljeničnih nanocevi imregnacijom sa različitim formama nanočestica gvožđa za uklanjanje anjona ($As(V)$) iz vode;

Optimizaciju procesa modifikacije ugljeničnih nanocevi i procesa adsorpcije jona teških metala na adsorbent upotrebom metode odzivnih površina sa ciljem smanjivanja ukupnog broja eksperimenata.

Ispitivanje adsorpcionih karakteristika dobijenih adsorbenata u šaržnom sistemu

- Osvrt na relevantne bibliografske izvore i ostvarene rezultate na koje se nadovezuju predviđena istraživanja u predloženoj disertaciji

Među komercijalno dostupnim metodama koje se koriste za uklanjanje teških metala kao što su koagulacija i flokulacija, adsorpcija i jonska izmena, membranska filtracija, procesi precipitacije, alternativne ozonske, biološke, elektrohemijske i solarne tehnike [1], adsorpcija zauzima posebno mesto zbog svoje jednostavnosti, efikasnosti, ekonomičnosti i fleksibilnosti [2,3]. Istraživanja na ovu temu vrše se već godinama tako da je ovo nastavak ranije započetih istraživanja.

Kao rezultat reaktivnosti amino grupe i njenog afiniteta za lako vezivanje katjona je iskorišćeno u brojnim istraživanjima gde se na pogodne materijale uvode amino grupe i isti koriste za uklanjanje jona kadmijuma i olova [4-8]. Kao rezultat selektivnosti raznih vrsta oksida metala ka arsenu, značajan broj naučnih radova razmatra jedinjenja gvožđa [3, 4, 9-23], zbog jednostavnosti sinteze oksida gvožđa, ekološke bezbednosti kao i male cene koštanja [9-12]. Više vrsta oksida/oksihidroksida/hidroksida gvožđa, prirodnog ili sintetskog porekla, dobro su poznati adsorbenti za uklanjanje arsena [2,4]. Predmet brojnih istraživanja predstavljaju getit ($\alpha\text{-FeOOH}$), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), amorfni hidratizani gvožđe oksidi, maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), magnetit (Fe_3O_4) i različite kompozitne strukture gvožđe/gvožđe oksida ($\text{Fe@Fe}_x\text{O}_y$) [2].

Nanostrukturni materijali poput ugljeničnih nanocevi zbog svojih mehaničkih, fizičkih i hemijskih osobina predstavljaju idealni materijal koji se može dalje funkcionalizovati [3, 4, 6,

7, 17, 23] i impregnirati nanočesticama metala [3, 17, 23]. Velika specifična površina, mogućnost kontrolisane funkcionalizacije i korišćenja CNT kao nosača nanočestica metala omogućila su sintezu adsorbenata velike selektivnosti i kapaciteta [3, 4, 6, 7].

Procesi adsorpcije se mogu opisati primenom više različitih modela. Programski paket Visual MINTEQ [24] je besplatan softver koji opisuje procese površinskog kompleksiranja omogućavajući matematičko izračunavanje termodinamičkih parametara. Koristi se i kao uporedna metoda za eksperimentalno dobijene rezultate adsorpcije [3].

Optimizaciju procesa modifikacije adsorbenata u cilju dobijanja optimalnih adsorpcionih karakteristika adsorbenta [25, 26] i predikcija izlaznih parametara, kapaciteta adsorpcije i procenta uklanjanja adsorbata tokom procesa adsorpcije jona teških metala na adsorbent mogu se izvršiti korišćenjem Metode odzivnih površina implementiranoj u komercijalnom softveru Design-Expert® 9.0, Stat-ease Inc. Minneapolis, USA sa ciljem smanjivanja ukupnog broja eksperimenata [26].

Literatura

- [1] Choong T.S.Y., Chuah T.G., Robiah Y., Gregory Koay F.L., Azni I.: Arsenic toxicity, health hazards and removal techniques from water: an overview, *Desalination*, (2007), 217, 139–166.
- [2] Ming H., Shujuan Z., Bingcai P., Weiming Z., Lu L., Quanxing Z.: Heavy metal removal from water/ by nanosized metal oxides: A review, - *Journal of Hazardous Materials*, (2012), 211-212, 317-331.
- [3] Veličković Z., Vuković G.D., Marinković A.D., Moldovan M.-S., Perić-Grujić A.A., Uskoković P.S., Ristić M.Đ.: Adsorption of arsenate on iron(III) oxide coated ethylenediamine functionalized multiwall carbon nanotubes, - *Chemical Engineering Journal*, (2012), 181–182, 174–181.
- [4] Veličković Z., Bajić Z., Ristić M., Đokić V., Marinković A., Uskoković P., Vuruna M., Modification of multi-wall carbon nanotubes for the removal of cadmium, lead and arsenic from wastewater, *Dig. J. of Nanomat. and Biostruct.* (2013), 8 (2), 501 – 511.
- [5] Taleb, J. D. Rusmirović, M. P. Rančić, J. B. Nikolić, S. Ž. Drmanić, Z. S. Veličković, A. D. Marinković, Efficient pollutants removal by amino modified nanocellulose impregnated with iron oxide, *J. Serb. Chem. Soc.* (2016), doi: 10.2298/JSC160529063T.
- [6] Vuković G.D., Marinković A.D., Čolić M., Ristić M.Đ., Aleksić R., Perić-Grujić A.A., Uskoković P.S., Removal of cadmium from aqueous solutions by oxidized and ethylenediamine-functionalized multi-walled carbon nanotubes, *Chem. Eng. J.* (2010) 157 (1), 238-248.
- [7] Vuković G.D., Marinković A.D., Škapin S.D., Ristić M.Đ., Aleksić R., Perić-Grujić A.A., Uskoković P.S., Removal of lead from water by amino modified multi-walled carbon nanotubes, *Chem. Eng. J.* (2011) 73 (3), 855-865.
- [8] K. Taleb , J. Markovski, Z. Veličković , J. Rusmirović, M. Rančić, V. Pavlović, A. Marinković, Arsenic removal by magnetite-loaded amino modified nano/microcellulose adsorbents: Effect of functionalization and media size, *Arabian Journal of Chemistry* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.08.006>.
- [9] M. Abdouss, A. M.Shoushtari, A. Haji, B. Moshref, Fabrication of chelating diethylenetriaminated pan micro- and nano-fibers for heavy metal removal, *CI&CEQ* (2012), 18 (1) 27–34.
- [10] Giles D.E., Mohapatra M., Issa T.B., Anand S., Singh P.: Iron and aluminium based adsorption strategies for removing arsenic from water, - *Journal of Environmental Management*, (2011), 92, 3011-3022.

- [11] Taleb K., Markovski J., Milosavljević M., Marinović-Cincović M., Rusmirović J., Ristić M., Marinković A.: Efficient arsenic removal by cross-linked macroporous polymer impregnated with hydrous iron oxide: Material performance, - *Chemical Engineering Journal*, (2015), 279, 66–78.
- [12] Markovski J. S., Marković D. D., Đokić V. R., Mitrić M., Ristić M. Đ., Onjia A. E., Marinković A. D.: Arsenate adsorption on waste eggshell modified by goethite, α -MnO₂ and goethite/ α -MnO₂, - *Chemical Engineering Journal*, (2014), 237, 430-442.
- [13] Markovski J. S., Đokić V. R., Milosavljević M., Mitrić M., Perić-Grujić A. A., Onjia A. E., Marinković A. D.: Ultrasonic assisted arsenate adsorption on solvothermally synthesized calcite modified by goethite, α -MnO₂ and goethite/ α -MnO₂, - *Ultrasonics Sonochemistry*, (2014), 21, 790-801.
- [14] Chen L., Xin H., Fang Y., Zhang C., Zhang F., Cao X., Zhang C., Li X.: Application of Metal Oxide Heterostructures in Arsenic Removal from Contaminated Water, - *Journal of Nanomaterials*, (2014), doi.org/10.1155/2014/793610.
- [15] Nadagouda M. N., Lytle D. A.: Microwave-Assisted Combustion Synthesis of Nano Iron Oxide/Iron-Coated Activated Carbon, Anthracite, Cellulose Fiber, and Silica, with Arsenic Adsorption Studies, - *Journal of Nanotechnology*, (2011), doi:10.1155/2011/972486.
- [16] Marie Cooper A., K. D. Hristovski, Möller T., Westerhoff P., Sylvester P.: The effect of carbon type on arsenic and trichloroethylene removal capabilities of iron (hydr)oxide nanoparticle-impregnated granulated activated carbons, - *Journal of Hazardous Materials*, (2010), 183, 381-388.
- [17] Addo Ntim, S., Mitra, S., Removal of Trace Arsenic To Meet Drinking Water Standards Using Iron Oxide Coated Multiwall Carbon Nanotubes. *J. Chem. Eng. Data* (2011), 56 (5), 2077-2083.
- [18] Chang, F., Qu, J., Liu, R., Zhao, X., Lei, P., Practical performance and its efficiency of arsenic removal from groundwater using Fe-Mn binary oxide. *J. Environ. Sci.* (2010), 22 (1), 1-6.
- [19] Du, J., Wang, S., You, H., Zhao, X., Understanding the toxicity of carbon nanotubes in the environment is crucial to the control of nanomaterials in producing and processing and the assessment of health risk for human: A review. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* (2013), 36 (2), 451-462.
- [20] Giménez, J., Martínez, M., De Pablo, J., Rovira, M., Duro, L., Arsenic sorption onto natural hematite, magnetite, and goethite. *J. Hazard. Mater.* (2007), 141 (3), 575-580.
- [21] Hua, M., Zhang, S., Pan, B., Zhang, W., Lv, L., Zhang, Q., Heavy metal removal from water/wastewater by nanosized metal oxides: A review. *J. Hazard. Mater.* (2012), 211–212, 317-331.
- [22] Ihsanullah, Abbas, A., Al-Amer, A.M., Laoui, T., Al-Marri, M.J., Nasser, M.S., Khraisheh, M., Atieh, M.A., Heavy metal removal from aqueous solution by advanced carbon nanotubes: Critical review of adsorption applications. *Sep. Purif. Technol.* (2016), 157, 141-161.
- [23] Ihsanullah, et al., Adsorptive removal of cadmium(II) ions from liquid phase using acid modified carbon-based adsorbents. *Journal of Molecular Liquids*, (2015), 204, 255-263.
- [24] Gustafsson, J.P., 2011. Visual MINTEQ 3.0, beta,. Stockholm, Sweden.
- [25] Zoran J. Bajić, Zlate S. Veličković, Veljko R. Djokić, Aleksandra A. Perić-Grujić, Ovidiu Ersen, 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*, (2016), 44, 1–12.
- [26] Budimirović S. Dragoslav, Veličković S. Zlate, Djokić R. Veljko, Milosavljević Milutin, Markovski Jasmina, Lević Steva, Marinković D. Aleksandar "Efficient As(V) removal by α -FeOOH and α -FeOOH/ α -MnO₂ embedded PEG-6-arm functionalized

multiwall carbon nanotubes" Chemical Engineering Research and Design, (2017), 119, 75-86.

3. Polazne hipoteze

Osnovne hipoteze na kojima se bazira izrada predložene disertacije su:

- Ugljenične nanocevi zahvaljujući svojim izuzetnim svojstvima predstavljaju materijal čijom modifikacijom dobijamo adsorbente visokih performansi za uklanjanje teških metala iz vode zahvaljujući velikoj specifičnoj površini i reaktivnosti funkcionalizovanih mesta na krajevima i površini CNT.
- Optimizacijom procesa sinteze - modifikacije ugljeničnih nanocevi, odnosno kontrolom vrste i količine uvedenih funkcionalnih grupa, može se uticati na njihova krajnja fizičko-hemijska a samim tim i adsorpciona svojstva za katjone (Pb(II) i Cd(II)) iz vode .
- Impregnacijom funkcionalizovanih ugljeničnih nanocevi gvožđe(III)-oksidom postiže se veliki afinitet ka arsenu stvaranjem monodentatnih i bidentatnih kompleksa.
- Stvaranje hibridnih struktura adsorbenata daje mogućnost kombinovanja dobrih svojstava više korišćenih materijala.
- Izborom odgovarajućih parametara (temperature, pH vrednosti, koncentracije adsorbata i dr.) moguće je ostvariti optimalno uklanjanje teških metala iz vode tako da koncentracija njihovih jona bude ispod maksimalno dozvoljene koncentracije.
- Osim olova, kadmijuma i arsena, zagađujućih materija poreklom iz prirodnih ili antropogenih izvora u vodi su normalno prisutni i drugi joni koji značajno utiču na proces adsorpcije i čiji efekat je potrebno ispitati.

4. Naučne metode istraživanja

Kako bi se potvrdile postavljene hipoteze, biće korišćene opšte i posebne naučne metode istraživanja. Od opštih naučnih metoda istraživanja biće primenjene: induktivno i deduktivno zaključivanje, komparacija, analiza i sinteza, apstrakcija i konkretizacija, generalizacija i specijalizacija.

U eksperimentima adsorpcije koristiće se modifikovane ugljenične nanocevi dobijene optimizovanom funkcionalizacijom površine i krajeva za uklanjanje katjona i dalje impregnirane različitim metodama precipitacije nanočestica gvožđe(III)-oksida na funkcionalizovane CNT za uklanjanje arsena.

Dobijeni adsorpcioni materijali biće okarakterisani primenom različitih instrumentalnih tehnika: FTIR, XRD, BET, SEM, TEM i ispitivanjem elementarnog sastava. Izvršiće se i karakterizacija dobijenih adsorpcionih materijala određivanjem specifične površine, zapremine pora, definisanjem faznih i strukturnih svojstava i morfologije. Na ovaj način biće obezbeđeni neophodni podaci za tumačenje mehanizma procesa adsorpcije.

Spregnuti ICP-MS sistem (indukovano spregnuta plazma sa masenom spektroskopijom) će se koristiti za određivanje koncentracije teških metala - Cd(II), Pb(II), i As(V) u tretiranom uzorku.

Matematičke funkcije greške biće korišćene u svrhu statističke obrade eksperimentalnih rezultata primenom odgovarajućih softvera za statističku analizu (OriginPro i drugi).

Rezultati dobijeni korišćenjem programskog paketa Visual MINTEQ će biti korišćeni za analizu uticaja različitih parametara i prisutnih jona u vodi za piće na proces adsorpcije, kao i za poređenje sa eksperimentalnim rezultatima.

Programski paket Desing Expert 9.0 koristiće se za optimizaciju sinteze adsorbenata i predikciju rezultata adsorpcije modelom odzivnih površina. Iz ovog programskog paketa za testiranje rezultata istraživanja koristiće se i Analiza varijanse (ANOVA) statistička metoda zaključivanja zasnovana na generalnim linearnim modelima koji će ukazati na značaj i prihvatanje ili odbacivanje predviđenih rezultata.

5. Očekivani naučni doprinos

Očekuje se da će rezultati istraživanja u okviru ove doktorske disertacije dati:

- nove materijale, tj. funkcionalizovane ugljenične nanocevi različitih površinskih funkcionalnosti koja će imati dobar afinitet prema katjonima olova i kadmijuma i gvožđe(III)-oksidu kao materijalu koji ima dobar afinitet ka arsenu;
- optimizaciju postupaka funkcionalizacije CNT, Metodom odzivnih površina i post-procesiranje dobijenih adsorbenata kako bi se dobili materijali sa poboljšanim adsorpcionim svojstvima u procesima uklanjanja olova, kadmijuma i arsena iz vode;
- potpunu karakterizaciju novih adsorbenata na bazi ugljeničnih nanocevi;
- ostvariti primenu dobijenih adsorbenata u procesima adsorpcije;
- doprineti saznanjima o međusobnom uticaju svojstava materijala i parametara procesa na efikasnost uklanjanja olova, kadmijuma i arsena;
- dati bolji pristup u potpunom sagledavanju procesa i sinteze novih materijala na osnovu eksperimentalnih i rezultata modelovanja.

Takođe se očekuje da će razvijena metodologija omogućiti proaktivno i efikasno vođenje politike zaštite i održivog razvoja u cilju poboljšanja kvaliteta životne sredine.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Predmet rada ove doktorske disertacije je ispitivanje mogućnosti uklanjanja arsena, olova i kadmijuma primenom modifikovanih ugljeničnih nanocevi, poređenje adsorpcionih sposobnosti materijala i tumačenje uticaja sinteze i modifikacije na krajnja svojstva i mogućnost primene dobijenih materijala.

Rad će obuhvatiti:

- opis problematike vezane za prisustvo arsena, olova i kadmijuma u vodi za piće, posledice po ljudsko zdravlje i aktuelne zakonske regulative sa ciljem uvida u potrebu pronalaska novih metoda i materijala i optimalnih tehno-ekonomskih svojstava za njegovo uklanjanje;
- prikaz postojećih tehnika koje se koriste u uklanjanju arsena, olova i kadmijuma iz vode za piće, sa naglaskom na metodi adsorpcije i najčeće korišćenim adsorbentima;
- detaljan opis ugljeničnih nanocevi i nanočestica metala koji se koriste kao adsorbenti za uklanjanje arsena, olova i kadmijuma;
- pregled postojećih načina funkcionalizacije ugljeničnih nanocevi i redukcije gvožđe(III)-oksihidroksida na nanostrukturnim materijalima, opis primenjenih procesa funkcionalizacije, njihovu optimizaciju i karakterizaciju dobijenih materijala.
- određivanje adsorpcionih izoterma, kinetičkih i termodinamičkih parametara, uticaja pH vrednosti sredine, uticaj ometajućih jona, kao i prepostavljanje reakcionog mehanizma.

- statističku obradu eksperimentalnih podataka i
- modelovanja procesa adsorpcije i predikciju izlaznih rezultata.

7. Zaključak i predlog

Na osnovu iznetih podataka o dosadašnjem radu i postignutim rezultatima može se zaključiti da kandidat Dragoslav Budimirović ispunjava sve potrebne uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije. Takođe na osnovu iznetih podataka, Komisija smatra da je tema predložene doktorske disertacije Dragoslava Budimirović pod naslovom „*Nove forme adsorpcionih materijala na bazi modifikovanih ugljeničnih nanocevi za uklanjanje jona arsena, olova i kadmijuma iz vode*“, naučno zasnovana, i predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta da je prihvati. Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Inženjerstvo zaštite životne sredine, za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Za mentora se predlaže dr Aleksandar Marinković, docent Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu a za komentora dr Zlate Veličković, docent Univerziteta odbrane u Beogradu, Vojna akademija.

Beograd, 13.02.2017. godine

ČLANOVI KOMISIJE:

Dr Aleksandar Marinković, docent
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-
metalurški fakultet

Dr Zlate Veličković, docent
Univerziteta odbrane u Beogradu,
Vojna akademija

Dr Petar Uskoković, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-
metalurški fakultet

Dr Dušan Antonović, redovni profesor
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-
metalurški fakultet

Dr Antonije Onjia, naučni savetnik
Univerziteta u Beogradu, Institut za
nuklearne nauke „Vinča“