

TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET

UNIVERZITET U BEOGRADU

35/131
(Broj zahteva)
27.05.2013.
(datum)

VEĆE NAUČNIH OBLASTI TEHNIČKIH NAUKA

(naziv veća naučne oblasti kome se zahtev upućuje)

Beograd, Studentski trg br. 1

ZAHTEV

za davanje saglasnosti na referat o urađenoj doktorskoj disertaciji

Molimo da, shodno članu 46. st.5 Statuta Univerziteta u Beogradu ("Glasnik Univerziteta" broj 131/06), date saglasnost na referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata

ZLATEA (Sreten) VELIČKOVIĆA, spec. menadž. integ. zašt., oficira Vojske Srbije
(ime, ime jednog od roditelja i prezime)

KANDIDAT: **ZLATE (Sreten) VELIČKOVIĆ, spec. menadž. integ. zašt., oficir Vojske Srbije**
prijavio je doktorsku disertaciju pod nazivom:

„MODIFIKACIJA I PRIMENA VIŠESLOJNIH UGLJENIČNIH NANOCEVI ZA IZDVAJANJE ARSENA IZ VODE“

Iz naučne oblasti: **INŽENJERSTVO ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE**

Univerzitet je dana **26.12.2011. godine**, svojim aktom **02 broj 06-8780/9-11**, dao saglasnost na predlog teme doktorske disertacije koja je glasila:

„MODIFIKACIJA I PRIMENA VIŠESLOJNIH UGLJENIČNIH NANOCEVI ZA IZDVAJANJE ARSENA IZ VODE“

Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata:

ZLATEA (Sreten) VELIČKOVIĆA, spec. menadž. integ. zašt., oficira Vojske Srbije
(ime, ime jednog od roditelja i prezime)

obrazovana je na sednici održanoj **28.03.2013.** odlukom fakulteta pod br. **35/101.** u sastavu:

Ime i prezime člana komisije	Zvanje	Naučna oblast
1. Dr Mirjana Ristić	Redovni profesor	Inženjerstvo zaštite životne sredine
2. Dr Petar Uskoković	Redovni profesor	Inženjerstvo materijala
3. Dr Aleksandra Perić-Grujić	Vanredni profesor	Kontrola kvaliteta
4. Dr Aleksandar Marinković	Docent	Organska hemija
5. Dr Mladen Vuruna	Vanredni profesor	Zaštita životne sredine

Nastavno-naučno veće fakulteta prihvatilo je izveštaj Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije na sednici održanoj dana **25.04.2013. godine**.

DEKAN FAKULTETA

Prof. dr Đorđe Janačković

Prilog:

1. Doktorska disertacija
2. Izveštaj Komisije sa predlogom
3. Akt Nastavno-naučnog veća Fakulteta o usvajanju izveštaja

Na osnovu čl. 30. stav 3. Zakona o visokom obrazovanju, čl. 38. Statuta TMF-a i čl. 39. Pravilnika o doktorskim studijama TMF, na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta od 25.04.2013. godine, doneta je

O D L U K A

o prihvatanju Referata o urađenoj doktorskoj disertaciji

Prihvata se Referat Komisije u sastavu: dr Mirjana Ristić, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta, dr Petar Uskoković, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta, dr Aleksandra Perić-Grujić, vanredni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta, dr Aleksandar Marinković, docent Tehnološko-metalurškog fakulteta, dr Mladen Vuruna, vanredni profesor Vojne akademije Univerziteta odbrane u Beogradu o pregledu i oceni urađene doktorske disertacije pod nazivom: „**MODIFIKACIJA I PRIMENA VIŠESLOJNIH UGLJENIČNIH NANOCEVI ZA IZDVAJANJE ARSENA IZ VODE**“ koju je podneo **ZLATE VELIČKOVIĆ**, spec. menadž. integ. zašt. oficira Vojske Srbije i upućuje se na saglasnost Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

Veće naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu dalo je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije koju je podneo **Zlate Veličković**, spec. menadž. integ. zašt. oficira Vojske Srbije pod nazivom „**MODIFIKACIJA I PRIMENA VIŠESLOJNIH UGLJENIČNIH NANOCEVI ZA IZDVAJANJE ARSENA IZ VODE**“ Odlukom 02 broj: 06-8780/9-11 od 26.12.2011. godine.

Radovi objavljeni u časopisima međunarodnog značaja - M20

Kategorija M21 – Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu

1. **Veličković, Z.**, Vuković, G., Marinković, A., Moldovan, M.S., Perić-Grujić, A.A., Uskoković, P., Ristić, M.: Adsorption of arsenate on iron(III) oxide coated ethylenediamine functionalized multiwall carbon nanotubes, *Chemical Engineering Journal*, vol. 181-182, pp. 174- 181, 2012 (**IF=3,461**) (ISSN 1385-8947)

Kategorija M22 – Rad u istaknutom međunarodnom časopisu

1. **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, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, vol. 8, no. 2, pp. 501 – 511, 2013 (**IF=1,200**) (ISSN 1842-3582)
2. **Veličković, Z.**, Marinković, A. Bajić, Z., Marković J., Perić-Grujić, A.A., Uskoković, P., Ristić, M.: Oxidized and ethylenediamine-functionalized multi-walled carbon nanotubes for the separation of low concentration arsenate from water, *Separation Science and Technology*, prihvaćen za štampu (DOI:10.1080/01496395.2013.790446) (**IF=1,088**) (ISSN 0149-6395)

Odluku dostaviti: Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta, mentoru, Službi za nastavno-studentske poslove, Biblioteci i Arhivi fakulteta.

D E K A N

Prof. dr Đorđe Janačković

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata **Zlatea Veličkovića**

Odlukom br. 35/101 od 02.04.2013. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata **Zlatea Veličkovića**, spec. menadž. integ. zašt., oficira Vojske Srbije, pod naslovom „**Modifikacija i primena višeslojnih ugljeničnih nanocevi za izdvajanje arsena iz vode**“.

Posle pregleda dostavljene Disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa Kandidatom, Komisija je sačinila sledeći

R E F E R A T

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

- 23.09.2010. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu Završnog ispita na doktorskim studijama Zlatea Veličkovića (Odluka br. 35/307 od 29.09.2010.).
- 08.10.2010. kandidat Zlate Veličković je odbranio Završni ispit – pristupni rad za izradu doktorske disertacije, pod nazivom „Razvoj i ispitivanje novih materijala za uklanjanje arsena iz voda“ sa ocenom 10, pred komisijom u sastavu: dr Mirjana Ristić, van. prof., dr Petar Uskoković, red. prof. i dr Aleksandra Perić-Grujić, van. prof.
- 04.11.2011. kandidat Zlate Veličković, spec. menadž. integ. zašt., oficir Vojske Srbije, prijavio je temu doktorske disertacije, pod nazivom: „Modifikacija i primena višeslojnih ugljeničnih nanocevi za izdvajanje arsena iz vode“.
- 17.11.2011. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije Zlatea Veličkovića, pod nazivom „Modifikacija i primena višeslojnih ugljeničnih nanocevi za izdvajanje arsena iz vode“ (Odluka br. 35/375 od 18.11.2011.).
- 15.12.2011. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o prihvatanju Izveštaja Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme i odobrenju izrade doktorske disertacije Zlatea Veličkovića. Za mentora je određena dr Mirjana Ristić, van. prof. TMF-a (Odluka br. 35/393 od 20.12.2011.).

- 26.12.2011. – Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije Zlatea Veličkovića, pod nazivom: „Modifikacija i primena višeslojnih ugljeničnih nanocevi za izdvajanje arsena iz vode“ (Odluka br. 06-8780/9-11 od 26.12.2011.).
- 28.03.2013. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije Zlatea Veličkovića, pod nazivom „Modifikacija i primena višeslojnih ugljeničnih nanocevi za izdvajanje arsena iz vode“ (Odluka br. 35/101 od 02.04.2013.).

Kandidat je upisao doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu školske 2008/09 godine.

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja rađena u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Inženjerstvo zaštite životne sredine, za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Mentor, dr Mirjana Ristić, redovni profesor TMF-a, je do sada publikovala 30 radova iz ove oblasti, rukovodila je izradom četiri magistarske teze i bila je član komisije šest odbranih magistarskih teza i tri odbranjene doktorske teze. Na osnovu dosadašnjih rezultata, smatramo da je mentor bio kompetentan da rukovodi izradom ove doktorske disertacije.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Kandidat Zlate Veličković rođen je 02.02.1967. godine u Kumanovu, BJR Makedonija. U Pirotu je završio osnovnu školu i gimnaziju prirodno-matematičkog usmerenja, smer laboratorijski tehničar za organsku hemiju, sa odličnim uspehom. Vojnu akademiju kopnene vojske, smer Atomsko-biološko-hemijske odbrane, upisao je 1986. godine. Akademiju je završio 1990. godine, sa prosečnom ocenom 8,71. Završetkom Vojne akademije proizveden je u čin potporučnika roda ABHO. Profesionalnu karijeru započinje službovanjem u garnizonu Čačak, gde obavlja dužnosti komandira voda i čete. Na Vojnu akademiju u Beogradu prelazi 1997. godine, gde obavlja dužnosti komandira voda i načelnika klase. Od 2008. godine radi kao saradnik u nastavi na Vojnoj akademiji Univerziteta odbrane u Beogradu, za grupu predmeta NHB oružje i NHB zaštita i zastupa Načelnika Katedre vojno-hemijskog inženjerstva.

Na Fakultetu bezbednosti Univerziteta u Beogradu upisao je poslediplomske specijalističke studije školske 2006/2007, smer integrisane zaštite. Specijalistički rad, pod nazivom „Mesto i uloga jedinica ABHO u uslovima hemijskih udesa u miru“, odbranio je 21.02.2008. godine.

Oženjen je i ima dvoje dece. Posедуje ECDL sertifikat, govori i piše francuski jezik i služi se engleskim jezikom.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija Zlatea Veličkovića je napisana na 188 strana i podeljena je na sledeće celine: Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija i Zaključak. Disertacija sadrži 71 sliku, 29 tabela i 337 literaturnih navoda. Na početku disertacije dat je Rezime na srpskom i engleskom jeziku, dok su Literatura i biografija autora dati na kraju disertacije.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U Uvodu je istaknut problem zagađenja vode za piće arsenom i definisani su predmet i ciljevi doktorske disertacije.

Teorijski deo se sastoji iz devet delova: 1) Izvori zagađenja vode arsenom; 2) Konvencionalne metode i materijali za uklanjanje arsena iz vode; 3) Razvoj i primena novih nanostrukturnih materijala za uklanjanje arsena iz vode; 4) Dobijanje i funkcionalizacija ugljeničnih nanocevi; 5) Metode za karakterizaciju ugljeničnih nanocevi; 6) Bezbednost korišćenja ugljeničnih nanocevi; 7) Svojstva i primena ugljeničnih nanocevi; 8) Teorija adsorpcije i 9) Modelovanje procesa adsorpcije. U ovom poglavlju ukazano je na problem zagađenja vode arsenom, opisani su procesi prečišćavanja voda zagađenih arsenom, sa posebnim osvrtom na materijale koji se koriste za adsorpciju. Nakon toga je dat prikaz primene novih, nanostrukturnih materijala za prečišćavanje voda zagađenih arsenom adsorpcijom, a posebno je istaknuta primena ugljeničnih nanocevi. Nanocevi, njihova svojstva i metode sinteze, najčešće metode funkcionalizacije ugljeničnih nanocevi, metode karakterizacije, bezbednost njihove upotrebe i primena u oblasti prečišćavanja voda su detaljno opisani. Teorijski aspekti procesa adsorpcije i modeli koji se najčešće koriste za opisivanje ravnoteže na granici faza čvrsto/tečno su opisani u posebnom delu. Na kraju Teoretskog dela dat je pregled dosadašnjih primena funkcionalizovanih ugljeničnih nanocevi za uklanjanje arsena iz vode.

Eksperimentalni deo se sastoji iz četiri dela: 1) Materijali i postupci dobijanja i karakterizacije adsorbenata; 2) Adsorpcija arsena na sirovim, oksidovanim i etilendiaminovanim višeslojnim ugljeničnim nanocevima (s-, o- i e-MWCNTs); 3) Adsorpcija arsena na o- i e-MWCNTs modifikovanim gvožđem i 4) Adsorpcija arsena na višeslojnim ugljeničnim nanocevima aminovanim amino-polietilenglikolom (PEG-MWCNTs). U eksperimentalnom delu su navedene korišćene hemikalije i reagensi i dat je detaljan opis metoda dobijanja i karakterizacije adsorbenata, kao i eksperimentalni postupci i uslovi pri kojima su izvođeni eksperimenti.

U poglavlju Rezultati i diskusija su prikazani i detaljno analizirani rezultati dobijeni tokom eksperimentalnog dela rada. Ovo poglavlje obuhvata tri dela: 1) Adsorpcija arsena na s-, o- i e-MWCNTs; 2) Adsorpcija arsena na o- i e-MWCNTs modifikovanim gvožđem i 3) Adsorpcija arsena na PEG-MWCNTs.

U prvom delu analizirana je adsorpcija arsena na sirovim, oksidovanim i etilendiaminovanim višeslojnim ugljeničnim nanocevima. Razmatran je uticaj vremena kontakta i pH vrednosti na adsorpciju As(V) na ovim adsorbentima. Najveći deo arsena se izdvoji za prvih 45 minuta. Adsorpcija arsena pri različitim pH vrednostima je pokazala veliku zavisnost procesa od pH

vrednosti, jer pH vrednost rastvora utiče na karakteristike samog sorbenta, kao i na raspodelu jonskih vrsta arsena. Najbolji rezultati za o- i e-MWCNTs dobijeni su u opsegu pH vrednosti od 3 do 5, kada su u vodenom rastvoru u najvećoj meri prisutni H_2AsO_4^- joni. Poređenjem eksperimentalnih vrednosti sa odabranim modelima, zaključeno je da se kinetika adsorpcije može opisati jednačinom pseudodrugog reda za navedene adsorbente, dok je najbolje slaganje sa Sipsovim modelom izoterme za s- i o-MWCNTs, odnosno sa Freundlichovim modelom za e-MWCNTs. Iz parametara Langmuirove adsorpcione izoterme dobijeni su maksimalni adsorpcioni kapaciteti od $3,55 \text{ mg g}^{-1}$ za s-MWCNTs, $4,17 \text{ mg g}^{-1}$ za o-MWCNTs i $16,59 \text{ mg g}^{-1}$ za e-MWCNTs. FTIR spektri ispitivanih materijala, pre i posle adsorpcije, pokazali su da je arsen vezan na ispitivanim adsorbentima. Desorpcija arsena sa o- i e-MWCNTs je bila nepotpuna, (29 % kod e-MWCNTs i 60 % o-MWCNTs). Adsorpcija As(V) na e-MWCNTs je vršena i iz realnih uzoraka vode za piće; uočeno je da je mali uticaj prisutnih jona pri nižim pH vrednostima (4), dok se na višoj pH vrednosti (8) smanjuje stepen izdvajanja arsena.

U drugom delu poglavlja Rezultati i diskusija analizirana je adsorpcija arsena na o- i e-MWCNTs modifikovanim gvoždem. Preliminarni rezultati ispitivanja su pokazali da o-MWCNTs modifikovane gvoždem imaju nizak kapacitet adsorpcije, tako da ovaj materijal nije tokom daljeg rada korišćen kao adsorbent. U ovom delu prikazana je detaljna analiza karakteristika adsorbenata, e-MWCNTs/ Fe^{2+} i e-MWCNTs/ Fe^{3+} , na osnovu podataka dobijenih BET, FTIR, XRD, SEM i TEM tehnikama, određivanjem zeta potencijala i tačke nultog naelektrisanja. Analizom FTIR spektara dobijene su bitne informacije o interakcijama i vezama koje se uspostavljaju između adsorbata i funkcionalnih grupa adsorbenta. Usled taloženja goetita na adsorbentu (e-MWCNTs) došlo je do pojave novih pikova, zbog uspostavljanja novih veza. Vezivanje arsena za površinu adsorbenta uslovalo je promenu intenziteta pojedinih pikova, došlo je do pomeranja pikova, promene izgleda i/ili nestajanja pojedinih pikova. Promene u frekvenciji vibracija, izazvane interakcijom grupa adsorbenta sa adsorbatom, su rezultat promene jačine veza.

Primenom SEM tehnike dobijeni su podaci o morfologiji adsorbenata. Upoređivanjem SEM fotografija e-MWCNTs, iz ranijih istraživanja, sa odabranim fotografijama gvoždem modifikovanih e-MWCNTs, koje su dobijene FE-SEM tehnikom, uočeno je da je struktura zida cilindra i dalje ista kao kod e-MWCNTs i da je međuravanski razmak kod svih uzoraka ostao isti. Zaključeno je da e-MWCNTs/ Fe^{2+} bolje međusobno prijanjaju nego e-MWCNTs/ Fe^{3+} , odnosno međusobno rastojanje između e-MWCNTs/ Fe^{2+} je znatno smanjeno. Morfologija Fe-modifikovanih MWCNTs materijala, pre i posle adsorpcije As(V), analizirana je TEM-om visoke rezolucije. Poređenjem TEM fotografija e-MWCNTs i e-MWCNTs/ Fe^{2+} , uočava se da je bočni zid cevi nakon funkcionalizacije gvoždem naboran i mogu se detektovati amorfnu ispupčenja grafita unutar nanocevi i prevlake gvožđe(III)-oksida na spoljnim zidovima nanocevi. Posle taloženja gvožđe(III)-oksida i adsorpcije arsena, uzorak e-MWCNTs/ Fe^{2+} /As(V) ima sličnu morfologiju površine kao i e-MWCNTs/ Fe^{2+} . EDS analizom površine adsorbenta, e-MWCNTs/ Fe^{2+} , dobijen je elementarni sastav površine adsorbenta koji je u saglasnosti sa rezultatima analize, ICP-MS metodom, rastvora dobijenog tretiranjem e-MWCNTs/ Fe^{2+} u azotnoj kiselini. I kod ovih adsorbenata uočen je značajan uticaj pH vrednosti na stepen izdvajanja arsena. Dobijeni eksperimentalni rezultati su upoređeni sa najčešće korišćenim kinetičkim i izotermnim modelima i zaključeno je da se

kinetika adsorpcije može opisati jednačinom pseudodrugog reda za oba adsorbenta, dok je najbolje slaganje sa Freundlichovim modelom izoterme, takođe za oba materijala. Iz parametara Langmuirove izoterme dobijeni su adsorpcioni kapaciteti: 24,69 mg g⁻¹ za e-MWCNTs/Fe²⁺ i 14,45 mg g⁻¹ za e-MWCNTs/Fe³⁺. Termodinamički parametri adsorpcije su pokazali da je proces adsorpcije endoterman. Rezultati istraživanja uticaja jona prisutnih u vodi za piće su pokazali da se u prisustvu fosfatnih jona smanjuje kapacitet adsorpcije arsena, nešto je manji uticaj prisutnih sulfatnih jona, dok ostali joni nemaju uticaja na stepen izdvajanja arsena adsorpcijom. Vrednosti dobijene u eksperimentalnom delu rada su upoređene sa osam modela, koji su uključeni u softverski paket MINTEQ. Uočeno je dobro slaganje modela difuznog sloja sa eksperimentalnim podacima.

U trećem delu poglavlja Rezultati i diskusija, prikazani su rezultati ispitivanja adsorpcije arsena na PEG-MWCNTs. Dat je prikaz karakteristika adsorbenta PEG-MWCNTs, na osnovu podataka dobijenih BET, FTIR, SEM i TGA tehnikama, određivanjem zeta potencijala i nultog naelektrisanja. Analizom FTIR spektara dobijene su bitne informacije o funkcionalnim grupama adsorbenta i vezama koje su uspostavljene između adsorbata i funkcionalnih grupa adsorbenta. BET analiza površine adsorbenta je pokazala da je specifična površina 22,5 m² g⁻¹, odnosno da je značajno smanjena u odnosu na prethodno ispitivane adsorbente, usled delimične polimerizacije MWCNTs PEG-om, što je uočljivo i sa SEM fotografija. Eksperimentalni podaci su pokazali da kinetika adsorpcije As(V) na PEG-MWCNTs ima najbolje poklapanje sa Veber-Morisovom jednačinom unutarčestične difuzije, dok je najbolje slaganje sa Freundlichovim modelom izoterme. Na osnovu parametara Langmuirove izoterme dobijen je adsorpcioni kapacitet od 5,517 mg g⁻¹.

U Zaključku je dat kratak pregled i analiza dobijenih rezultata istraživanja, koji odgovaraju postavljenim ciljevima disertacije, kao i predlog za dalja istraživanja u ovoj oblasti.

Na kraju disertacije navedena je Literatura, koja sadrži sve reference citirane u radu.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Svetska zdravstvena organizacija je preporučila da se maksimalno dozvoljena koncentracija (MDK) arsena u vodi za piće smanji sa 50 na 10 µg/dm³ jer je uočeno da arsen štetno deluje na zdravlje ljudi, čak i pri nižem stepenu izlaganja. Stroži kriterijum za kvalitet vode za piće, koji je implementiran u zakonske regulative mnogih zemalja, uključujući i Republiku Srbiju, nametnuo je potrebu za razvojem novih tehnologija, kako bi se ispunili postavljeni zahtevi. Poslednjih godina objavljen je veliki broj radova o primeni različitih materijala i procesa za uklanjanje arsena iz vode. Međutim, do danas nije razvijena dovoljno efikasna metoda za izdvajanje arsena iz vode, uprkos činjenici da su se brojni istraživači bavili ovom problematikom. Nanočestice i nanomaterijali se poslednjih godina u velikoj meri primenjuju za separaciju i izdvajanje raznih supstanci iz vode. Da bi se dobili sorbenti odgovarajućih karakteristika, selektivni prema odabranoj vrsti, često se uvode nove grupe (oksidacija, funkcionalizacija) i modifikuju raznim reagensima i metodama.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U toku izrade doktorske disertacije kandidat je pregledao literaturu vezanu za konvencionalne metode za uklanjanje arsena iz vode, kao i literaturu u kojoj su opisani razvoj i primena novih, nanostrukturnih materijala kao, sorbenata arsena. Pregledana je obimna literatura koja se odnosi na ugljenične nanocevi: dobijanje i funkcionalizacija, metode karakterizacije, bezbednost korišćenja, svojstva i primena. Pored radova koji su predstavljali osnovu za eksperimentalni deo rada i modele koji su primenjeni u disertaciji, pregledani su najnoviji naučni radovi vezani za separaciju arsena iz vode različitim sorbentima.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

U okviru eksperimentalnog dela rada vršena je modifikacija višeslojnih ugljeničnih nanocevi, karakterizacija materijala primenom odgovarajućih metoda, adsorpcija arsena iz vodenog rastvora, obrada dobijenih podataka i njihovo modelovanje. Skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM), transmisiona elektronska mikroskopija (TEM), energetska disperziona spektroskopija (EDS), rendgenska difrakciona analiza (XRD), infracrvena spektroskopija sa Furijeovom transformacijom (FTIR) su neke od instrumentalnih metode koje su korišćene za karakterizaciju materijala, tokom izrade ove doktorske disertacije. Određivanje koncentracije arsena, u toku eksperimenata vezanih za ispitivanje procesa adsorpcije i analiza sadržaja odabranih elemenata, značajnih sa aspekta karakteristika materijala i adsorpcije, vršeno je indukovano kuplovanom plazmom sa masenom spektrometrijom, ICP-MS. U okviru ispitivanja adsorpcionih karakteristika sirovih i modifikovanih MWCNTs, kao sorbenata za As(V) iz vodenog rastvora, dobijeni rezultati su upoređeni sa šest ravnotežnih i četiri kinetička teorijska modela.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

U okviru izrade ove doktorske disertacije ispitana je mogućnost primene pet materijala, pripremljenih različitim modifikacijama višeslojnih ugljeničnih nanocevi, za izdvajanje arsena iz vode. Rezultati dobijeni u okviru izrade ove doktorske disertacije imaju veli značaj, kako sa aspekta funkcionalizacije višeslojnih ugljeničnih nanocevi, tako i sa aspekta njihove primene kao adsorbenta. Najbolje adsorpcione karakteristike su dobijene sa aminofunkcionalizovanim ugljeničnim nanoccevima za koje je vezano dvovalentno gvožđe, koje je zatim oksidovano. Ovaj adsorbent se može uspešno koristiti za uklanjanje jona As(V) iz vodenih rastvora, u širokom opsegu koncentracija. Za ovaj materijal su dobijena dobra poklapanja između eksperimentalnih podataka i modela (program MINTEQ), što omogućava modelovanje sistema i predviđanje kapaciteta adsorpcije, odnosno stepena izdvajanja arsena iz vode.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat Zlate Veličković je tokom pripreme i realizacije eksperimenata, analize i modelovanja dobijenih rezultata, u okviru izrade doktorske disertacije, pokazao stručnost, kreativnost i sistematičnost. Komisija smatra da kandidat poseduje sve kvalitete koji su neophodni za samostalan naučni rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Rezultati istraživanja urađenih tokom izrade ove doktorske disertacije predstavljaju značajan naučni doprinos:

- pripremljeno je i ispitano pet adsorbenta na bazi višeslojnih ugljeničnih nanocevi za separaciju arsena iz vode;
- izvršena je detaljna karakterizacija svih ispitivanih materijala, koja predstavlja osnovu za njihovu potencijalnu primenu;
- određen je uticaj nekoliko parametara na stepen sorpcije arsena (pH vrednost, temperatura, prisutni anjoni i katjoni u realnim uzorcima vode);
- određen je mehanizam vezivanja arsena za svaki od ispitivanih materijala;
- utvrđena je primenljivost odgovarajućeg modela adsorpcije i kinetike odigravanja procesa;
- utvrđena je primenljivost modela MINTEQ za predviđanje, korelisanje i povezivanje parametara, za materijal koji ima najveći adsorpcioni kapacitet.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Istraživanja kojima se bavi ova doktorska disertacija su koncipirana na osnovu definisanih ciljeva i detaljne analize literature iz oblasti modifikacije i primene ugljeničnih nanocevi za adsorpciju različitih jona iz vodenih rastvora. U disertaciji je delom primenjena metodologija istraživanja zastupljena u literaturi, a prvi put je primenjena i opisana modifikacija višeslojnih ugljeničnih nanocevi (MWCNTs) inkorporiranjem gvožđe(III)-oksida na etilendiaminovanim MWCNTs. Detaljno je ispitano pet potencijalnih adsorbenata As(V), a na osnovu rezultata istraživanja izvedeni su odgovarajući zaključci, relevantni za objašnjenje mehanizma i efikasnosti adsorpcije arsena iz vodenih rastvora na korišćenim materijalima. Rezultati iz različitih eksperimenata su u saglasnosti i međusobno se dopunjuju, što ukazuje na adekvatan izbor postupaka modifikacije i metodologije ispitivanja. Uvidom u dostupnu literaturu iz ove oblasti istraživanja i rezultate istraživanja dobijene u okviru ovoga rada, ističe se da je adsorbent e-MWCNTs/Fe²⁺ među najefikasnijim za separaciju As(V) jona iz vodenog rastvora, što predstavlja poseban naučni doprinos u oblasti razvoja i primene sorbenata za izdvajanje arsena iz vode.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Iz disertacije su do sada publikovana tri rada, jedan u vrhunskom međunarodnom časopisu i dva u istaknutom međunarodnom časopisu. Jedan rad je saopšten na skupu međunarodnog značaja i štampan u celini, četiri rada su saopštena na skupu međunarodnog značaja i štampana u izvodu i dva su saopštena na skupovima nacionalnog značaja.

Radovi objavljeni u časopisima međunarodnog značaja - M20

Kategorija M21 – Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu

2. **Veličković, Z.**, Vuković, G., Marinković, A., Moldovan, M.S., Perić-Grujić, A.A., Uskoković, P., Ristić, M.: Adsorption of arsenate on iron(III) oxide coated ethylenediamine functionalized multiwall carbon nanotubes, *Chemical Engineering Journal*, vol. 181-182, pp. 174- 181, 2012 (**IF=3,461**) (ISSN 1385-8947)

Kategorija M22 – Rad u istaknutom međunarodnom časopisu

3. **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, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, vol. 8, no. 2, pp. 501 – 511, 2013 (**IF=1,200**) (ISSN 1842-3582)
4. **Veličković, Z.**, Marinković, A. Bajić, Z., Marković J., Perić-Grujić, A.A., Uskoković, P., Ristić, M.: Oxidized and ethylenediamine-functionalized multi-walled carbon nanotubes for the separation of low concentration arsenate from water, *Separation Science and Technology*, prihvaćen za štampu (DOI:10.1080/01496395.2013.790446) (**IF=1,088**) (ISSN 0149-6395)

Zbornici međunarodnih naučnih skupova – M30

Kategorija M33 – Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini

1. **Veličković, Z.**, Bajić, Z., Marinković, A., Vuković, G., Đokić, J., Uskoković, P.: “Improving thermal conductivity of engine coolant by copper/multiwalled carbon nanotubes nanocomposite,” - *11th International Conference „Research and Development in Mechanical Industry“*, Sokobanja, Serbia, 2011, pp.1288-1293.

Kategorija M34 – Saopštenje sa naučnog skupa štampano u izvodu:

1. **Veličković, Z.**, Uskoković, P., Marinković, A., Vuković, G., Perić-Grujić, A., Ristić, M.: “Removal of arsenic from drinking water using modified multiwalled carbon nanotubes,” -*Book of Abstracts of the International Workshop on Processing of Nanostructured Ceramics, Polymers, and Composites*, Belgrade, Serbia, 2010., p. 49.
2. **Veličković, Z.**, Marinković, A., Marković, J., Perić-Grujić, A., Uskoković, P., Ristić, M.: “Arsenate separation from drinking water by modified multi-walled carbon nanotubes,” - *Book of Abstracts of the 49th Meeting of the Serbian Chemical Society*, Kragujevac, Serbia, 2011., p. 74.
3. **Veličković, Z.**, Antanasijević, D., Marinković, A., Vuković, G., Perić-Grujić, A., Uskoković, P., Ristić, M.: “Adsorption of arsenate by iron(iii) oxide coated ethylenediamine functionalized multi-walled carbon nanotubes,” -*Compendium of All Abstracts of the 16th European Conference on Analytical Chemistry*, Belgrade, Serbia, 2011., SC01 p. 599.
4. **Veličković, Z.**, Bajić, Z., Marinković, A., Perić-Grujić, A., Uskoković, P., Ristić, M.: “Study of arsenic sorption from drinking water using tufa coated with copper,” -*Book of Abstracts of the International Workshop on Characterization, Properties and Applications of Nanostructured Ceramics, Polymers, and Composites*, Belgrade, Serbia, 2011., p. 48.

Zbornici skupova nacionalnog značaja – M60

Kategorija M63 – Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini:

1. **Veličković, Z.**, Gigović, Lj.: “Mogućnosti korišćenja ugljeničnih nanocevi (CNTs) kao adsorbensa za uklanjanje As(V) iz vode za piće,” Naučni skup, *Energetika 2010, List saveza energetičara-Energija, ekonomija, ekologija*, broj 3, pp. 263-268, Zlatibor, Srbija, 2010., (ISSN 3554-8651).
2. **Veličković, Z.**, Gigović, Lj., Sekulović, D.: “Arsen kontaminacija podzemnih voda Srbije-Razvoj novih metoda uklanjanja arsena iz voda,” -*Zbornik radova 10. međunarodne konferencije „Vodovodni i kanalizacioni sistemi 2010“*, Jahorina-Pale, BiH, 2010., pp. 117-124.

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu svega napred izloženog, Komisija smatra da doktorska disertacija Zlatea Veličkovića, pod nazivom „**Modifikacija i primena višeslojnih ugljeničnih nanocevi za izdvajanje arsena iz vode**“ predstavlja značajan, originalni naučni doprinos u oblasti Inženjerstva zaštite životne sredine, što je potvrđeno, između ostalog, i objavljivanjem radova u relevantnim časopisima međunarodnog značaja, kao i prezentovanjem rezultata istraživanja na konferencijama. Ispitano je više različitih modifikacija ugljeničnih nanocevi, a na osnovu rezultata istraživanja zaključeno je da jedan od njih ima veoma dobre adsorpcione karakteristike i da može imati primenu u praksi. Kandidat je samostalno i sistematično uradio istraživanja i analizu dobijenih rezultata.

Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da se doktorska disertacija pod nazivom „**Modifikacija i primena višeslojnih ugljeničnih nanocevi za izdvajanje arsena iz vode**“ kandidata Zlate Veličkovića, Spec. menadž. integ. zašt., oficira VS prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 12. 04. 2013.

Dr Mirjana Ristić, red. prof.

Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu

Dr Petar Uskoković, red. prof.

Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu

Dr Aleksandra Perić-Grujić, van. prof.

Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu

Dr Aleksandar Marinković, docent

Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu

Dr Mladen Vuruna, van. prof.

Vojna akademija Univerziteta odbrane u Beogradu