

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5. Статута Универзитета у Београду (“Гласник Универзитета” број 131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата

МАРИЈЕ (Томислав) МИХАЈЛОВИЋ-КОСТИЋ, дипл. инж.
(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ: **МАРИЈА (Томислав) МИХАЈЛОВИЋ-КОСТИЋ, дипл. инж.,**
пријавила је докторску дисертацију под називом:

„Сорпција јона олова, кадмијума и цинка из водених раствора на природном и модификованом зеолиту“

Из научне области: **ХЕМИЈА И ХЕМИЈСКА ТЕХНОЛОГИЈА**

Универзитет је дана **15.04.2013.** године, својим актом **02 број: 61206-1838/2-13** дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„Сорпција јона олова, кадмијума и цинка из водених раствора на природном и модификованом зеолиту ”

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата:

МАРИЈЕ (Томислав) МИХАЈЛОВИЋ-КОСТИЋ, дипл. инж.
(име, име једног од родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној **22.10.2015.** године Одлуком Факултета под бр. **35/504,** у саставу:

Име и презиме члана комисије	Звање	Научна област
1. Др Рада Петровић	Редовни професор	Инжењерство неорганских хемијских производа
2. Др Ђорђе Јанаћковић	Редовни професор	Инжењерство неорганских хемијских производа
3. Др Љубинка Рајаковић	Редовни професор	Аналитичка хемија
4. Др Антоније Оњиа	Научни саветник	Аналитичка хемија
5. Др Бојан Јокић	Доцент	Инжењерство неорганских хемијских производа

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **28.01.2016.** године.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

На основу чл. 123. став 4. Закона о високом образовању и чл. 128. став 3. Статута ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 28.01.2016. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Рада Петровић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Ђорђе Јанаковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Љубинка Рајаковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Антоније Оџија, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“, др Бојан Јокић, доцент Универзитета уметности у Београду, Факултет примењених уметности и научни сарадник Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: „**Сорпција јона олова, кадмијума и цинка из водених раствора на природном и модификованом зеолиту**“ коју је поднела **МАРИЈА Т. МИХАЈЛОВИЋ-КОСТИЋ**, дипл. инж. 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 Марије Михајловић-Костић под називом „**Сорпција јона олова, кадмијума и цинка из водених раствора на природном и модификованом зеолиту**“ Одлуком 02 број: 61206-1838/2-13 од 15.04.2013. године.

Верификација научних доприноса:

Kategorija M22:

1. **Mihajlović M.T.**, Lazarević S.S., Janković-Častvan I.M., Kovač J., Jokić B.M., Janačković Đ.T., Petrović R.D.: Kinetics, thermodynamics, and structural investigations on the removal of Pb^{2+} , Cd^{2+} , and Zn^{2+} from multicomponent solutions onto natural and Fe(III)-modified zeolites, - *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 17, pp. 407-419, 2015 (**IF (2014) = 1,934**) (ISSN 1618-954X)

Kategorija M23:

1. **Mihajlović M.T.**, Lazarević S.S., Janković-Častvan I.M., Jokić B.M., Janačković Đ.T., Petrović R.D.: A comparative study of the removal of lead, cadmium and zinc ions from aqueous solutions by natural and Fe(III)-modified zeolite, - *Chemical industry & Chemical engineering Quarterly*, vol. 20, pp. 283-293, 2014 (**IF(2014) = 0,892**) (ISBN 1451-9372).

Докторска дисертација и Реферат о оцени докторске дисертације достављају се на увид јавности, а по истеку рока од 30 дана, на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

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

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5. Статута Универзитета у Београду (“Гласник Универзитета” број 131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата

МАРИЈЕ (Томислав) МИХАЈЛОВИЋ-КОСТИЋ, дипл. инж.
(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ: **МАРИЈА (Томислав) МИХАЈЛОВИЋ-КОСТИЋ, дипл. инж.,**
пријавила је докторску дисертацију под називом:

„Сорпција јона олова, кадмијума и цинка из водених раствора на природном и модификованом зеолиту“

Из научне области: **ХЕМИЈА И ХЕМИЈСКА ТЕХНОЛОГИЈА**

Универзитет је дана **15.04.2013.** године, својим актом **02 број: 61206-1838/2-13** дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„Сорпција јона олова, кадмијума и цинка из водених раствора на природном и модификованом зеолиту ”

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата:

МАРИЈЕ (Томислав) МИХАЈЛОВИЋ-КОСТИЋ, дипл. инж.
(име, име једног од родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној **22.10.2015.** године Одлуком Факултета под бр. **35/504,** у саставу:

Име и презиме члана комисије	Звање	Научна област
1. Др Рада Петровић	Редовни професор	Инжењерство неорганских хемијских производа
2. Др Ђорђе Јанаћковић	Редовни професор	Инжењерство неорганских хемијских производа
3. Др Љубинка Рајаковић	Редовни професор	Аналитичка хемија
4. Др Антоније Оњиа	Научни саветник	Аналитичка хемија
5. Др Бојан Јокић	Доцент	Инжењерство неорганских хемијских производа

Наставно-научно веће Факултета прихватило је реферат Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана **28.01.2016.** године.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

На основу чл. 123. став 4. Закона о високом образовању и чл. 128. став 3. Статута ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 28.01.2016. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Рада Петровић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Ђорђе Јанаковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Љубинка Рајаковић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Антоније Оџија, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“, др Бојан Јокић, доцент Универзитета уметности у Београду, Факултет примењених уметности и научни сарадник Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: „**Сорпција јона олова, кадмијума и цинка из водених раствора на природном и модификованом зеолиту**“ коју је поднела **МАРИЈА Т. МИХАЈЛОВИЋ-КОСТИЋ**, дипл. инж. 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 Марије Михајловић-Костић под називом „**Сорпција јона олова, кадмијума и цинка из водених раствора на природном и модификованом зеолиту**“ Одлуком 02 број: 61206-1838/2-13 од 15.04.2013. године.

Верификација научних доприноса:

Kategorija M22:

1. **Mihajlović M.T.**, Lazarević S.S., Janković-Častvan I.M., Kovač J., Jokić B.M., Janačković Đ.T., Petrović R.D.: Kinetics, thermodynamics, and structural investigations on the removal of Pb^{2+} , Cd^{2+} , and Zn^{2+} from multicomponent solutions onto natural and Fe(III)-modified zeolites, - *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 17, pp. 407-419, 2015 (**IF (2014) = 1,934**) (ISSN 1618-954X)

Kategorija M23:

1. **Mihajlović M.T.**, Lazarević S.S., Janković-Častvan I.M., Jokić B.M., Janačković Đ.T., Petrović R.D.: A comparative study of the removal of lead, cadmium and zinc ions from aqueous solutions by natural and Fe(III)-modified zeolite, - *Chemical industry & Chemical engineering Quarterly*, vol. 20, pp. 283-293, 2014 (**IF(2014) = 0,892**) (ISBN 1451-9372).

Докторска дисертација и Реферат о оцени докторске дисертације достављају се на увид јавности, а по истеку рока од 30 дана, на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

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

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаковић

UNIVERZITET U BEOGRADU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET
NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Marije Mihajlović-Kostić, dipl. inž. tehnologije

Odlukom br. 35/504 od 30. 10. 2015., imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata Marije Mihajlović-Kostić, dipl. inž. tehnologije, pod naslovom „**Sorpcija jona olova, kadmijuma i cinka iz vodenih rastvora na prirodnom i modifikovanom zeolitu**”.

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

REFERAT

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

28. 02. 2013. godine - Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je Odluka o prihvatanju predloga teme doktorske disertacije Marije Mihajlović-Kostić, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „**Sorpcija jona olova, kadmijuma i cinka iz vodenih rastvora na prirodnom i modifikovanom zeolitu**” i za mentora ove doktorske disertacije imenovana je dr Rada Petrović, red. prof. TMF.

28. 03. 2013. godine - Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije Marije Mihajlović-Kostić, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „**Sorpcija jona olova, kadmijuma i cinka iz vodenih rastvora na prirodnom i modifikovanom zeolitu**”

15. 04. 2013. – Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije Marije Mihajlović-Kostić, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom: „**Sorpcija jona olova, kadmijuma i cinka iz vodenih rastvora na prirodnom i modifikovanom zeolitu**”.

22. 10. 2015. godine - Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je Odluka o imenovanju članova Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije Marije Mihajlović-Kostić, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „**Sorpcija jona olova, kadmijuma i cinka iz vodenih rastvora na prirodnom i modifikovanom zeolitu**”.

Kandidat Marija Mihajlović-Kostić je upisala doktorske studije školske 2006/2007. godine.

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Hemija i hemijska tehnologija za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Za mentora je izabrana prof. dr Rada Petrović, redovni profesor TMF, koja je na osnovu objavljenih publikacija i iskustva kompetentna da rukovodi izradom ove doktorske disertacije.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Marija T. Mihajlović-Kostić je rođena 11. 11. 1979. godine u Beogradu, gde je završila osnovnu i srednju školu. Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu je upisala 1998. godine. Diplomirala je na ovom fakultetu 2004. godine sa prosečnom ocenom 8,56. Školske 2004/05. godine upisala je magistarske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu na smeru Neorganska hemijska tehnologija i položila sve ispite predviđene planom i programom, sa prosečnom ocenom 10,00. Školske 2006/2007 upisala je drugu godinu doktorskih studija i položila sve ispite predviđene planom i programom sa prosečnom ocenom 10,00. Završni ispit sa temom „Ispitivanje sorpcije Pb^{2+} -, Cd^{2+} - i Zn^{2+} -jona iz vodenih rastvora na prirodnom i modifikovanom zeolitu“, pod mentorstvom prof. dr Rade Petrović položila je 2009. godine sa ocenom 10,00.

Od 2005. godine Marija Mihajlović-Kostić zaposlena je u JKP „Beogradski vodovod i kanalizacija“ na poslovima monitoringa kvaliteta otpadnih voda Beogradskog kanizacionog sistema i otpadnih i prečišćenih voda na mini uređajima za prečišćavanje otpadnih voda. Od 2009. godine poseduje licencu za projektovanje tehnoloških procesa. Bila je revident više projekata iz oblasti ekologije i zaštite životne sredine, prvenstveno na izgradnji i opremanju mobilnih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda („Zuce“, „Pinosava“ i „Beli potok“). 2011. je bila član komisije za izgradnju PPOV „Zuce“, a 2012. je bila član radnog tima ispred Beogradskog vodovoda i kanalizacije za saradnju sa japanskim konsultantima koji su pripremali Studiju izvodljivosti za centralno gradsko postrojenje u Velikom selu. U periodu od 09.09.2013. do 16.11.2013. godine završila je 10-nedeljnu obuku sa temom „*Sewerage Technology for Wastewater Control and Urban Drainage*“, koji je Japanska agencija za međunarodnu saradnju (JICA) organizovala u gradu Osaka u Japanu.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija kandidata Marije T. Mihajlović-Kostić, dipl.inž.tehnologije pod naslovom: „**Sorpcija jona olova, kadmijuma i cinka iz vodenih rastvora na prirodnom i modifikovanom zeolitu**“ napisana je na 210 strana, u okviru kojih se nalazi 71 slika, 21 tabela i 220 literaturnih navoda. Doktorska disertacija sadrži sledeće celine: Uvod, Teorijski deo (sa 4 poglavlja), Eksperimentalnu proceduru, Rezultate i diskusiju i Zaključak. Pored toga, sadrži Izvod na srpskom i engleskom jeziku, Literaturu, Sadržaj, Zahvalnicu i dodatke propisane pravilima Univerziteta o podnošenju doktorskih teza na odobravanje. Po formi i sadržaju, napisana disertacija zadovoljava sve standarde Univerziteta u Beogradu za doktorsku disertaciju.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U *Uvodu* disertacije istaknuti su problemi sve većeg zagađenja životne sredine jonima toksičnih metala koji su usloveli potrebu za razvojem jednostavnih, efikasnih i jeftinih metoda za njihovo uklanjanje. Posebna pažnja je posvećena značaju zeolita za uklanjanje toksičnih metala iz otpadnih voda. Predstavljen je predmet disertacije koji se odnosi na proučavanje sorpcije jona olova, kadmijuma i cinka iz jednokomponentnih i višekomponentnih vodenih rastvora na prirodnom i zeolitu koji je modifikovan gvožđe(III)-hloridom u jako baznim uslovima, kao i objašnjenje razlika u mehanizmima sorpcije i sorpcionim kapacitetima prirodnog i Fe(III)-zeolita.

U okviru *Teorijskog dela* data su četiri poglavlja: Ekotoksičnost i zastupljenost u životnoj sredini olova, kadmijuma i cinka, Sorpcija u sistemu čvrsto-tečno, Poreklo, struktura, svojstva i primena zeolita i Sorpcija katjona metala na zeolitima. U prvom poglavlju opisani su poreklo, količine i oblici olova, kadmijuma i cinka u životnoj sredini, raspodela jonskih vrsta ispitivanih jona metala u vodenoj sredini u funkciji pH vrednosti rastvora, kao i njihov potencijalni negativan uticaj na zdravlje ljudi i biljni i životinjski svet. U drugom poglavlju dati su teorijski osnovi procesa sorpcije. Posebna pažnja posvećena je modelima adsorpcionih izoterma za interpretaciju eksperimentalnih rezultata, kinetičkim modelima kojima se opisuje brzina sorpcije i određuju uticaji pojedinih stupnjeva sorpcionog procesa na ukupnu brzinu sorpcije, kao i termodinamičkim parametarima sorpcionih procesa na osnovu kojih je moguće predvideti prirodu i mehanizme sorpcionog procesa. Takođe su opisani faktori koji utiču na proces sorpcije. U trećem poglavlju dat je prikaz najvažnijih vrsta prirodnih i sintetskih zeolita, detaljno je opisana struktura zeolita i navedena su najvažnija svojstva i oblasti primene. U delu koji se odnosi na primenu zeolita dat je prikaz najznačajnijih oblasti u kojima su prirodni i sintetski zeoliti u novije vreme našli primenu (uklanjanje jona metala iz različitih otpadnih voda, heterogena kataliza, omekšavanje voda i sl.). U poglavlju Sorpcija katjona metala na zeolitima opisani su mogući mehanizmi sorpcije. U nastavku je prikazana sorpcija katjona metala na prirodnim i sintetskim zeolitima na osnovu pregleda referentne literature. Detaljno su prikazani postupci modifikacije zeolita u cilju povećanja sorpcionog kapaciteta, povećanja selektivnosti prema određenom jonu ili grupi jona, kao i poboljšanja opštih fizičko-hemijskih svojstava. Posebna pažnja je posvećena modifikaciji zeolita gvožđe(III)-oksidima i sorpcionim svojstvima tako modifikovanih zeolita.

U *Eksperimentalnom delu* disertacije detaljno su prikazana dva poglavlja: Eksperimentalna procedura i Rezultati i diskusija. U poglavlju Eksperimentalna procedura je opisan postupak modifikacije zeolita primenom gvožđe(III)-hlorida u baznoj sredini i primenjene metode i oprema za karakterizaciju prirodnog i modifikovanog zeolita i sorpciju jona olova, kadmijuma i cinka iz rastvora u dejonizovanoj i otpadnoj vodi, kao i desorpciju ispitivanih jona. Detaljno je opisan i načina izvođenja eksperimenata ispitivanja uticaja vremena kontakta i temperature na sorpciju jona olova, kadmijuma i cinka na prirodnom i modifikovanom zeolitu.

U poglavlju Rezultati i diskusija su prikazani i diskutovani rezultati istraživanja. U ovom poglavlju su prvo izloženi podaci o karakterizaciji prirodnog i modifikovanog zeolita. Nakon toga predstavljani su rezultati proučavanja površinskih svojstava ispitivanih zeolita i sorpcije Pb^{2+} , Cd^{2+} i Zn^{2+} -jona iz jednokomponentnih i višekomponentnih vodenih rastvora, kao i međusobni uticaj ispitivanih jona. Prikazani su i diskutovani rezultati desorpcije Pb^{2+} , Cd^{2+} i Zn^{2+} -jona, kao i rezultati ispitivanja uticaja uslova sorpcije na sorpcioni kapacitet prirodnog i modifikovanog zeolita.

Karakterizacijom prirodnog i modifikovanog zeolita pokazano je da nije došlo do narušavanja strukture zeolita, da se ne menjaju morfološka svojstva polaznog zeolita, kao i da se modifikacija odigrala na površini zeolita pri čemu se obrazuju klasteri amornog Fe(III)-

oksidihidroksida. Analizom teksturalnih karakteristika prirodnog i modifikovanog zeolita određenih na osnovu adsorpcije azota na temperaturi tečnog azota, uočeno je da modifikacija uzrokuje značajno povećanje specifične površine i zapremine mezopora, dok vrednosti zapremine mikropora pokazuju da je tokom modifikacije došlo do zatvaranja mikropora zeolita. Specifična površina oba zeolita je određena i na osnovu adsorpcionih izoterma za n-heksan, benzen, hloroform i tetrahidrofuram primenom inverzne gasne hromatografije u uslovima konačne prekrivenosti na temperaturi od 240 °C. Niže vrednosti specifične površine dobijene inverznom gasnom hromatografijom za modifikovani zeolit u odnosu na vrednost dobijenu na osnovu adsorpcije azota ukazuju na prisustvo mezopora manjih dimenzija nego u slučaju prirodnog zeolita, koje nisu dostupne molekulima n-heksana, benzena, hloroforma i tetrahidrofurana, koji su veći od molekula N₂.

Rezultati određivanja tačke nultog naelektrisanja (pH_{tnn}) prirodnog i modifikovanog zeolita pokazali su da se tačka nultog naelektrisanja ne menja sa promenom koncentracije rastvora KNO₃. Viša vrednost tačke nultog naelektrisanja modifikovanog zeolita, u odnosu na prirodni, ukazuje na povećan sadržaj baznih grupa na površini modifikovanog zeolita. Pomeranje vrednosti tačke nultog naelektrisanja ka nižim pH vrednostima u prisustvu jona olova, kadmijuma i cinka ukazuje na specifičnu sorpciju ovih jona na oba sorbenta, pri čemu je specifična adsorpcija izraženija kod modifikovanog zeolita.

Ispitivanje sorpcije Pb²⁺-, Cd²⁺- i Zn²⁺-jona iz jednokomponentnih i višekomponentnih rastvora u dejonizovanoj i komunalnoj otpadnoj vodi, pokazalo je da modifikovani zeolit ima značajno veći kapacitet sorpcije svih ispitivanih jona u odnosu na prirodni zeolit i da kapacitet oba sorbenta, i u jednokomponentnim i u višekomponentnim sistemima, opada u sledećem nizu: Pb²⁺ > Zn²⁺ > Cd²⁺, pri čemu je kapacitet oba sorbenta iz višekomponentnih sistema izraziti veći za Pb²⁺ nego za druga dva jona. Sorpcioni kapacitet oba sorbenta prema ispitivanim jonima manji je u rastvorima u komunalnoj otpadnoj vodi u odnosu na rastvore u dejonizovanoj vodi. Rezultati rendgenske fotoelektronske spektroskopije (XPS) ukazuju da su dominantni mehanizmi sorpcije jona olova i kadmijuma površinski mehanizmi, odnosno specifična sorpcija i precipitacija hidroksida, dok je jonoizmenjivački proces više zastupljen kod sorpcije cinka. Razmatrane su i mogućnosti ponovnog korišćenja ispitivanih sorbenata. Rezultati desorpcija Pb²⁺-, Cd²⁺- i Zn²⁺-jona sa oba sorbenta pokazali su da u dejonizovanoj vodi ne dolazi do desorpcije, što ukazuje na jake veze između zeolita i ispitivanih jona metala. U slučaju 1 M KCl, efikasnost desorpcije je povećana, dok su najefikasniji rezultati desorpcije Pb²⁺-, Cd²⁺- i Zn²⁺-jona postignuti korišćenjem 0,1 M HNO₃.

Poređenjem eksperimentalnih rezultata sa tri modela adsorpcionih izoterma (Langmuir-ov, Freundlich-ov i DR model) utvrđeno je da se proces sorpcije Pb²⁺-, Cd²⁺- i Zn²⁺-jona na prirodnom i na modifikovanom zeolitu, iz jednokomponentnih i višekomponentnih rastvora, kako iz destilovane, tako i iz komunalne otpadne vode, najbolje opisuje Langmuir-ovom izotermom. Ispitivanjem kinetike sorpcije iz višekomponentnih rastvora, utvrđeno je da je za sorpciju Pb²⁺-, Cd²⁺- i Zn²⁺-jona karakteristična velika početna brzina sorpcije, koja opada sa porastom početne koncentracije ekvimolarne smeše ispitivanih jona. Dobijeni rezultati ispitivanja kinetike sorpcije obrađeni su modelima pseudo-prvog i pseudo-drugog reda i modelom unutar-čestične difuzije. U svim slučajevima, najbolje slaganje dobijeno je za kinetički model pseudo - drugog reda. Pokazano je da je unutarčestična difuzija uključena u proces sorpcije i da stepen zastupljenosti unutarčestične difuzije u sorpcionom procesu iz višekomponentnih rastvora zavisi od koncentracija jona, afiniteta sorbenta prema određenom jonu i kapaciteta sorpcije sorbenta.

Povećanje sorpcionog kapaciteta prirodnog i modifikovanog zeolita sa povišenjem temperature, ukazalo je da je sorpcija Pb^{2+} , Cd^{2+} i Zn^{2+} -jona endoterman proces. Iz dobijenih zavisnosti sorpcije od temperature određeni su termodinamički parametri sorpcije.

U poglavlju Zaključak, koncizno su izneti postignuti rezultati koji su u potpunosti saglasni sa postavljenim ciljevima disertacije. Na kraju rada dat je spisak korišćene literature.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Jedan od najaktuelnijih problema današnjice jeste sve veće zagađenje životne sredine neprečišćenim i/ili nedovoljno prečišćenim otpadnim vodama. Proces sorpcije se poslednjih godina često koristi za uklanjanje zagađujućih materija iz vode, zahvaljujući efikasnosti i ekonomičnosti, posebno ako se koriste jeftini sorbenti i ukoliko je moguća njihova višestepena regeneracija. Zahvaljujući rasprostranjenosti u prirodi, velikom kapacitetu izmene katjona, velikoj selektivnosti, niskoj ceni, dobroj termičkoj stabilnosti, kao i jednostavnoj regeneraciji, zeoliti zauzimaju značajno mesto među sorbentima za uklanjanje neorganskih jona iz prirodnih i otpadnih voda. Prirodni zeoliti u odnosu na sintetske imaju manje kapacitete sorpcije, pa su brojna istraživanja poslednjih godina posvećena modifikaciji prirodnih zeolita u cilju povećanju sorpcionog kapaciteta pre svega za jone toksičnih metala. Jedan od postupaka je modifikacija površine zeolita Fe(III)-oksidima, koji su takođe aktivni sorbenti i igraju značajnu ulogu u imobilizaciji jona u prirodi. Međutim, u praksi se Fe(III)-oksidi ne mogu koristiti kao sorbenti, jer se javljaju u vidu veoma finih čestica, što otežava njihovo odvajanje od vode po završenom procesu sorpcije. Zbog toga se nanose na površinu materijala koji su takođe dobri sorbenti, čime se dobijaju mešoviti sistemi sa povećanim kapacitetom sorpcije.

U okviru ove doktorske disertacije proučavana je sorpcija jona olova, kadmijuma i cinka iz jednokomponentnih i višekomponentnih rastvora u dejonizovanoj i realnoj otpadnoj vodi, na nemodifikovanom zeolitu i zeolitu koji je modifikovan oksidima trovalentnog gvožđa. Istraživanjima u okviru ove disertacije objašnjena je razlika u mehanizmima sorpcije i sorpcionim kapacitetima prirodnog i modifikovanog zeolita, kao i uticaj uslova sorpcije (temperature i vremena kontakta) na kapacitet sorpcije. Posebna pažnja posvećena je ispitivanju sorpcije jona olova, kadmijuma i cinka iz višekomponentnih rastvora u dejonizovanoj vodi, kao i ispitivanju uticaja primesa u otpadnim vodama na kapacitet sorpcije prirodnog i modifikovanog zeolita. Analizom literaturnih podataka utvrđeno je da do sada nije ispitivana sorpcija jona olova, cinka i kadmijuma na Fe(III)-modifikovanom zeolitu iz višekomponentnih vodenih rastvora, ni u dejonizovanoj ni u otpadnoj vodi tako da prikazani rezultati istraživanja daju značajan i originalan doprinos većoj primeni modifikovanog zeolita za uklanjanje toksičnih metala iz otpadnih voda u bliskoj budućnosti. Dobijeni rezultati su od značaja i kao osnov za dalja istraživanja primene prirodnog i Fe(III)-modifikovanog zeolita za prečišćavanje otpadnih voda.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

Tokom izrade doktorske disertacije kandidatkinja je analizirala naučnu i stručnu literaturu iz predmetne oblasti, a u doktorskoj disertaciji je dato 220 literaturnih navoda, od kojih najveći broj

čine radovi iz međunarodnih časopisa sa tematikom značajnom za izradu doktorske disertacije. Navedene reference sadrže eksperimentalne rezultate istraživanja mnogih istraživača, analizu i diskusiju dobijenih rezultata i izvedene zaključke, kao i teorijske osnove primenjenih metoda ispitivanja, njihove mogućnosti i ograničenja. Najveći broj navedenih referenci je novijeg datuma. Na osnovu pregledane literature, kandidat je analizirao do sada poznata saznanja o metodama karakterizacije i postupcima modifikacije zeolita u cilju njihove primene kao sorbenata toksičnih metala iz otpadnih voda, zatim o regeneraciji zeolita, sorpciji toksičnih metala iz jednokomponentnih i višekomponentnih vodenih ratvora, mehanizmima sorpcije, kao i uticaju parametara sorpcije na efikasnost uklanjanja jona iz vodene sredine pomoću prirodnih i modifikovanih zeolita.

U okviru literaturnih navoda nalaze se i reference kandidata Marije Mihajlović-Kostić, dipl. inž. tehnologije, proisteklih iz sprovedenih istraživanja u oblasti doktorske disertacije, a koje su objavljene u časopisima međunarodnog značaja. Iz obrazloženja predložene teme doktorske disertacije i objavljenih radova koje je kandidat priložio, kao i iz pregleda literature koja je korišćena u istraživanju, uočava se adekvatno poznavanje predmetne oblasti istraživanja i aktuelnog stanja istraživanja u ovoj oblasti.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

U izradi ove doktorske disertacije primenjene su različite savremene metode u cilju što bolje karakterizacije prirodnog i modifikovanog zeolita. Morfologija ispitivanih zeolita analizirana je transmisijom i skenirajućom elektronskom mikroskopijom (TEM i SEM). Rendgenska difrakciona analiza (XRD) korišćena je za identifikaciju prisutnih kristalnih faza u prirodnom i modifikovanom zeolitu. Infracrvenom spektroskopskom analizom (FT-IR), na osnovu položaja apsorpcionih traka, utvrđene su prisustne funkcionalne grupe. Diferencijalno-termijskom i termogravimetrijskom analizom (DTA i TGA) ispitana su termička svojstva ispitivanih zeolita. Teksturalne karakteristike uzoraka prirodnog i modifikovanog zeolita su određene adsorpcijom/desorpcijom gasovitog azota na temperaturi tečnog azota (- 196 °C), kao i adsorpcijom n-heksana, benzena, hloroforma i tetrahidrofurana primenom inverzne gasne hromatografije (IGC) u uslovima konačne prekrivenosti površine, na temperaturi od 240 °C. Za određivanje tačke nultog naelektrisanja ispitivanih sorbenata, korišćena je metoda uravnotežavanja posebnih proba. Sorpcija jona olova, kadmijuma i cinka na oba sorbenta ispitana je u šaržnim uslovima primenom metode uravnotežavanja na konstantnoj temperaturi. Koncentracije jona olova, kadmijuma i cinka, kao i koncentracije jona kalcijuma, magnezijuma, kalijuma i natrijuma u rastvoru usled procesa jonske izmene određene su optičkom emisionom spektroskopijom sa induktivno spregnutom plazmom (ICP-OES). Primenom rendgenske fotoelektronske spektroskopije (XPS) određen je način vezivanja i sadržaj jona olova, kadmijuma i cinka na oba sorbenta iz ekvimolarnog višekomponentnog rastvora. Za obradu rezultata sorpcionih eksperimenata korišćeni su kinetički modeli (pseudo-prvog reda, pseudo-drugog reda i unutar-čestične difuzije) i modeli adsorpcionih izoterma (Langmuir-a, Freundlich-a i Dubinin-Radushkevick-a (D-R)).

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

U okviru ove doktorske disertacije detaljno su analizirana fizičko-hemijska i sorpciona svojstva sorbenata na bazi zeolita iz domaćeg ležišta. Podaci dobijeni u ovom radu omogućavaju optimizaciju procesa prečišćavanja otpadnih voda zagađenih jonima toksičnih metala primenom modifikovanog zeolita poboljšanih karakteristika. Objašnjenje mehanizama sorpcije, uticaja različitih parametara sorpcije na brzinu i kapacitet sorpcije neophodno je za tehnoeconomsku analizu procesa prečišćavanja. Takođe, prvi put je u ovoj doktorskoj disertaciji ispitana i mogućnost uklanjanja određenih komponenti iz gasne faze na Fe(III)-modifikovanom zeolitu, što omogućava primenu ovog materijala i za prečišćavanje gasova.

Rezultati i zaključci izneti u disertaciji značajni su za dalji razvoj materijala željenog sastava, strukture i sorpcionih svojstava, kao i za nove mogućnosti primene materijala u oblasti sorpcije i zaštite životne sredine.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat Marija T. Mihajlović-Kostić, dipl. ing. tehnologije je tokom izrade doktorske disertacije pokazala izuzetnu stručnost u kreiranju i realizaciji eksperimenata, korišćenju različitih tehnika karakterizacije materijala i analizi rezultata. Kandidat poseduje sve kvalitete koji su neophodni za samostalni naučni rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Naučni doprinosi rezultata istraživanja ove doktorske disertacije su:

- objašnjenje uticaja modifikacije oksihidroksidima trovalentnog gvožđa na fizičko-hemijske karakteristike i kapacitet sorpcije zeolita iz domaćeg ležišta,
- definisanje dominantnih mehanizama sorpcije Pb^{2+} -, Cd^{2+} - i Zn^{2+} -jona na prirodnom i Fe(III)-zeolitu,
- utvrđivanje uticaja primesa u realnim otpadnim vodama na kapacitet sorpcije prirodnog i modifikovanog zeolita, iz jednokomponentnih i višekomponentnih rastvora,
- objašnjenje uticaja temperature na kapacitet sorpcije prirodnog i modifikovanog zeolita iz jednokomponentnih i višekomponentnih rastvora i određivanje termodinamičkih parametara sorpcije,
- definisanje kinetike sorpcije ispitivanih jona na prirodnom i modifikovanom zeolitu, iz jednokomponentnih i višekomponentnih rastvora i utvrđivanje afiniteta sorbenata prema pojedinim jonima,
- određivanje kapaciteta sorpcije prirodnog i modifikovanog zeolita za organske molekule iz gasne faze inverznom gasnom hromatografijom u uslovima konačne prekrivenosti površine.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Definisanjem ciljeva istraživanja utvrđena je metodologija istraživanja primenjena tokom izrade doktorske disertacije. Uvidom u dostupnu literaturu iz ove oblasti, kao i u dobijene rezultate može se konstatovati da su u ovoj disertaciji korišćene metode u skladu sa savremenom metodologijom istraživanja primene zeolita kao sorbenata za sorpciju toksičnih metala iz vodenih rastvora. Dobijeni rezultati se nadovezuju, ali i značajno dopunjuju postojeće rezultate, na osnovu čega se može zaključiti da dobijeni rezultati predstavljaju napredovanje u ovoj oblasti. Posebno su značajni rezultati koji se odnose na objašnjenje mehanizama vezivanja jona toksičnih metala za ispitivane sorbente, zatim objašnjenje uticaja modifikacije prirodnog zeolita na sorpcioni kapacitet, kao i sorpciju ispitivanih jona metala iz višekomponentnih rastvora u realnoj otpadnoj vodi na prirodnom i modifikovanom zeolitu. Na taj način, ova doktorska disertacija predstavlja važan korak ka praktičnoj primeni zeolita u procesima prerade otpadnih voda i otvara nove mogućnosti za dalja istraživanja i primenu.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Rad u istaknutom međunarodnom časopisu (M22):

1. **Mihajlović M.T.**, Lazarević S.S., Janković-Častvan I.M., Kovač J., Jokić B.M., Janačković Đ.T., Petrović R.D.: Kinetics, thermodynamics, and structural investigations on the removal of Pb^{2+} , Cd^{2+} , and Zn^{2+} from multicomponent solutions onto natural and Fe(III)-modified zeolites, - *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 17, pp. 407-419, 2015 (**IF (2014) = 1,934**) (ISSN 1618-954X)

Rad u časopisu međunarodnog značaja (M23):

1. **Mihajlović M.T.**, Lazarević S.S., Janković-Častvan I.M., Jokić B.M., Janačković Đ.T., Petrović R.D.: A comparative study of the removal of lead, cadmium and zinc ions from aqueous solutions by natural and Fe(III)-modified zeolite, - *Chemical industry & Chemical engineering Quarterly*, vol. 20, pp. 283-293, 2014 (**IF(2014) = 0,892**) (ISBN 1451-9372).

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini (M33):

1. **Mihajlović M.T.**, Lazarević S.S., Janković-Častvan I.M., Jokić B.M., Janačković Đ.T., Petrović R.D.: „Adsorption of zinc ions from aqueous solutions by natural and iron-oxide coated zeolite”, - *Proceedings of the 44rd International October Conference on Mining and Metallurgy*, Bor, Serbia, 2012, pp. 339-342.

Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini (M63):

1. **Mihajlović M.**: “Ispitivanje uticaja zeolita na kvalitet komunalnih otpadnih voda“, Međunarodna konferencija „Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad“, Čačak, 2-5. april 2012, Zbornik radova, str. 102-105 (ISBN: 978-86-82931-49-2).

2. **Mihajlović M.:** "Ispitivanje uticaja zeolita na sadržaj pojedinih teških metala u komunalnim otpadnim vodama", Međunarodna konferencija „Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad“, Subotica, 10-12. april 2013, Zbornik radova, str. 50-54 (ISBN 978-86-82931-57-7).

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu svega napred iznetog, Komisija smatra da doktorska disertacija Marije T. Mihajlović-Kostić, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom „**Sorpcija jona olova, kadmijuma i cinka iz vodenih rastvora na prirodnom i modifikovanom zeolitu**” predstavlja značajan originalni naučni doprinos u oblasti Hemije i hemijske tehnologije, što je potvrđeno objavljivanjem radova u relevantnim časopisima međunarodnog značaja.

Imajući u vidu kvalitet, obim i naučni doprinos postignutih rezultata, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću TMF-a da se doktorska disertacija pod nazivom „**Sorpcija jona olova, kadmijuma i cinka iz vodenih rastvora na prirodnom i modifikovanom zeolitu**” kandidata Marije T. Mihajlović-Kostić, dipl. inž. tehnologije prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu

U Beogradu, 18. 01. 2016.

ČLANOVI KOMISIJE

.....
dr Rada Petrović, red. prof.
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
dr Đorđe Janačković, red. prof.
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
dr Ljubinka Rajaković, red. prof.
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

.....
dr Antonije Onjia, naučni savetnik,
Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“

.....
dr Bojan Jokić,
docent, Univerzitet umetnosti u Beogradu, Fakultet primenjenih umetnosti,
naučni saradnik, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet