

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Мине Јовановић, дипл. инж. технологије за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 35/437 од 26.12.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Мине Јовановић, дипл. инж. технологије за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **УКЛАЊАЊЕ ЈОНА МЕТАЛА ИЗ ВОДЕНИХ РАСТВОРА КОРИШЋЕЊЕМ ЗЕОЛИТА: МЕХАНИЗАМ, КИНЕТИКА И ПРИМЕНА У ФЛУИДИЗОВАНОМ СЛОЈУ**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Мина Јовановић, дипл. инж. технологије, рођена је 18.11.1983. године у Београду где је стекла основно и средње образовање. Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду уписала је 2002. године. Основне студије је завршила 2008. године на Одсеку за хемијско инжењерство са средњом оценом у току студија 8,25 и оценом 10 на дипломском раду. Школске 2008/09. године уписала је докторске студије на истом факултету, студијски програм Хемијско инжењерство и до сада је успешно положила све испите предвиђене планом и програмом са средњом оценом 10.

Од 2009. године Мина Јовановић се бави експерименталним истраживањима у области примене зеолита за уклањање јона тешких метала из водених раствора и то као учесник више међународних и националних научно-истраживачких пројеката. У звање истраживач-приправник изабрана је септембра 2009. године, а у звање истраживач-сарадник изабрана је 31. маја 2011. године. Од маја 2009. године запослена је на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, а од 1. октобра 2009. године у Иновационом центру Технолошко-металуршког факултета.

Као студент докторских студија Мина Јовановић је била ангажована на извођењу експерименталних вежби из предмета Општа хемија I и Општа хемија II у току школске 2009/2010, 2010/2011 и 2011/2012. године на Катедри за општу и неорганску хемију ТМФ.

Мина Јовановић је савладала програм сталног усавршавања под називом "Fundamental and Applications of Controlled Release and Drug Delivery" (Контролисано ослобађање – основни принципи и примена у развоју терапијских система) одржаног 23.

маја 2013. године у трајању од 8 часова под руководством др Николаса Пепаса (Nicholas A. Perras), професора на Универзитету Тексас у Остину, САД, признатог од стране Сената Универзитета у Београду.

Члан је Зеолитског друштва Србије од оснивања 2011. године.

Мина Јовановић је обучена за рад на рачунару уз познавање програмских пакета “MatLab” и “COMSOL Multiphysics”. Говори енглески језик.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Мина Јовановић је школске 2008/09. године уписала докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду на студијском програму Хемијско инжењерство. Успешно је положила све испите предвиђене планом и програмом са средњом оценом 10 и оценом 10 на Завршном испиту са темом „Уклањање јона тешких метала из водених раствора помоћу природног зеолита“. Тема Завршног испита је уско везана за тему докторске дисертације и овај испит је обухватио преглед литературе из наведене области, прелиминарна експериментална истраживања, приказ и анализу добијених резултата и предлог кандидата за даља истраживања.

Положени испити на докторским студијама

Предмет	Оцена	ЕСПБ
Математичка обрада експерименталних података	10	5
Специјална поглавља преноса масе	10	4
Феномени преноса у биолошким системима	10	5
Вишефазни системи	10	5
Интензификација процеса	10	4
Хемијска кинетика	10	5
Виши курс термодинамике	10	5
Инжењерство ткива	10	5
Принципи биопроцесног инжењерства у пречишћавању отпадних вода	10	6
Хемија чврстог стања	10	5
Неоргански адсорбенти – теоријски основи и примена	10	4
Завршни испит	10	30

Мина Јовановић се од 2009. године бави експерименталним истраживањима у области примене зеолита за уклањање јона тешких метала из водених раствора и то као учесник више међународних и националних научно-истраживачких пројеката:

1. „Drinking water and wastewater treatment using zeolites – PUREWATER“, Еурека Е!4208, ангажована од 2009. до 2011. године.
2. „Структурне модификације и реакције микропорозних и мезопорозних материјала“ пројекат бр. 142055 у оквиру основних истраживања Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, ангажована од 2009. до 2011. године.
3. „Порозни материјали на бази оксида у заштити животне средине од генотоксичних супстанци“, пројекат бр. 172018 у оквиру основних истраживања Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, ангажована од 2011. до 2012. године.

4. „Синтеза, развој технологија добијања и примена наноструктурних мултифункционалних материјала дефинисаних својстава“, пројекат бр. ИИИ45019, Министарства просвете и науке Републике Србије, (2011-2015), ангажована од 2012.

Из досадашњег научно-истраживачког рада Мине Јовановић објављен је два рада у врхунским међународним часописима (M21), један рад у истакнутом међународном часопису (M22) и десет радова саопштених на међународним и националним научним скуповима.

1. M21 - Радови у врхунским међународним часописима

1. **Jovanovic M.**, Rajic N, Obradovic B, “Novel kinetic model of the removal of divalent heavy metal ions from aqueous solutions by natural clinoptilolite”, *J Hazard Mater*, Vol. 233-234, **2012**, pp. 57-64, ISSN 0304-3894, IF 2012 = 3.925
2. Nikacevic N., **Jovanovic M.**, Petkovska M.: *Enhanced Ammonia Synthesis in Multifunctional Reactor with in situ Adsorption*, - Chem. Eng. Res. Des., Vol 89, No 4, **2011**, pp. 398-404. ISSN 0263-8762, IF 2011 = 1.968

2. Радови у истакнутим међународним часописима

1. Rajic N. Z., Stojakovic Dj. R., **Jovanovic M.**, Zabukovec L. N., Mazaj M., Kaucic V.: Removal of Nickel(II) Ions from Aqueous Solutions Using the Natural Clinoptilolite and Preparation of Nano-NiO on the Exhausted Clinoptilolite, - *Appl. Surf. Sci.*, Vol 257, No 5, **2010**, pp. 1524-1532. ISSN 0169-4332, IF 2010 = 1.795

3. M33. Саопштење са међународног скупа штампано у целини

1. Nikacevic N., **Jovanovic M.**, Petkovska M.: *Enhanced Ammonia Synthesis in Multifunctional Reactor with in situ Adsorption*, - CD of Extended Abstracts, 2nd International Congress on Green Process Engineering, 2nd European Process Intensification Conference, Venice, Italy, 2009., no. 450.
2. **Jovanovic M.**, Rajic N., Grbavcic Z., Obradovic B.: *Zeolite A in a Fluidized Bed Reactor: Hydrodynamic and Cu(II) Sorption Studies*, - Proceedings of the 5th Serbian-Croatian-Slovenian Symposium on Zeolites, Zlatibor, Serbia, 2013., pp. 128-131

4. M34. Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

1. **Jovanovic M.**, Rajic N. Obradovic B.: *Cu(II) Sorption on Natural Clinoptilolite: Experiments and Kinetics Modeling*, - 5th International FEZA Conference, Valencia, Spain, 2011., Book of Abstracts, pp. 621-622.
2. Rakic V., Rajic N., **Jovanovic M.**, Dakovic A., Auroux A.: *The Adsorption of Salicylic Acid, Acetylsalicylic Acid and Atenolol from Aqueous Solutions onto Natural Zeolites and Clays: Clinoptilolite, Bentonite and Kaolin*, - 5th International FEZA Conference, Valencia, Spain, 2011., Book of Abstracts, pp. 175-176.
3. **Jovanovic M.**, Culibrk I., Rajic N., Obradovic B.: *Removal of copper ions from aqueous solutions by zeolite A in a fluidized bed reactor*, - 2nd International Workshop on Characterization, Properties and Applications of Nanostructured Ceramics, Polymers and Composites, TMF, Belgrade, Serbia, 2011, Book of Abstracts, P21, p. 45.

5. M63. Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини

1. **Jovanovic M.**, Rajic N., Obradovic B.: *Kinetic Modelling of Copper Removal From Aqueous Solutions Using Natural Zeolite*, - Proceedings of the 4th Slovenian-Croatian Symposium on Zeolites, Ljubljana 2011., pp. 81- 84.

6. M64. Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу

1. Nikacevic N., **Jovanovic M.**, Pejanovic S., Petkovska M.: *Enhanced Ammonia Synthesis in Multifunctional Reactor with in situ Adsorption*, Book of Abstracts, Cistije Tehnologije i novi materijali – put u održivi razvoj (Cleaner Technologies and New Materials – the Way to Sustainable Development), Belgrade, Serbia, November 27-28, 2008, p. 31.
2. **Jovanovic M.**, Stojakovic D., Rajic N.: *Removal of Ni(II) Ions from Aqueous Solutions by Natural Zeolite*, Knjiga apstrakata, Osmo konferencija mladih istraživača Nauka i inženjerstvo novih materijala, Beograd, 21.-23.12.2009., p. 26.
3. **Jovanović M.**, Vidović S., Rajić N., Obradović B.: *Removal of copper from aqueous solutions using a fluidized bed reactor*, Tenth Young Researchers Conference – Materials Science and Engineering, SASA, Belgrade 2011, Serbia, Book of Abstracts, II/8, p. 31.
4. **Jovanovic M.**, Maucec D., Kovac J., Obradovic B., Tusar N.N., Rajic N.: *Removal of Mn(II) from Aqueous Solution Using Zeolite A: Mechanism and Kinetics*, Slonano 2012, Book of Abstracts, Ljubljana, Slovenija, 24 – 26. 10. 2012., p. 97

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу биографских података и резултата досадашњих истраживања у области истраживања примене зеолита за уклањање јона тешких метала из водених раствора, као и броја и квалитета објављених радова, Комисија оцењује да је Мина Јовановић показала изузетну склоност и способност за научно-истраживачки рад и да испуњава све услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

2.1. Предмет истраживања

Данас у целом свету постоји проблем незадовољавајуће доступности чисте воде. Сматра се да ће тај проблем постајати све већи у наредним деценијама, чак и у областима које се тренутно сматрају богатим водом, пошто се традиционални извори свеже воде (језера, реке, подземне воде) или превише користе и/или погрешно користе. Испуштање индустријских отпадних вода у природне реципијенте доводи до присутности врло великих концентрација бројних метала, токсичних за биљке, животиње и људе. Метали се преносе воденим токовима директно до подземних вода, при чему један део остаје складиштен у седименту што такође представља потенцијалну опасност због могућности поновног десорбовања метала. Физичким, хемијским и биолошким процесима у води метали се трансформишу у различите облике који испољавају екотоксично дејство.

Загађење воде тешким металима је проблем широких размера који све више привлачи пажњу научне јавности ради осмишљавања нових метода за њихово уклањање. У припреми воде за пиће, као и у преради отпадне воде данас се користе различити поступци засновани на примени физичких, хемијских, микробиолошких и електрохемијских метода. Већину поступака, међутим, оптерећују велики инвестициони и оперативни трошкови, као и проблем одлагања искоришћеног материјала након обраде воде.

Сорпција је једна од најпогоднијих и често коришћених метода у пречишћавању отпадне воде која обезбеђује уклањање различитих јона метала. Предности ове методе су једноставност и ефикасност која је у највећој мери одређена карактеристикама сорбента, као и лако уклањање засићеног сорбента из течне фазе и могућност његове регенерације и поновног коришћења. Поред добрих сорпционих карактеристика, пожељно је да сорбент има ниску цену и да је лако доступан и еколошки погодан. Зеолити представљају управо

такве материјале који су нашли разноврсне примене као сорбенти у различитим процесима, јоно-измењивачи и молекулска сита али су веома атрактивни и за примену у третману отпадних вода за уклањање јона тешких метала.

Зеолити представљају алумосиликатне минерале, чије су основне структурне јединице тетраедри, повезани преко рогљева у правилне тродимензионалне структуре, са правилно уређеним каналима и шупљинама. У овим порама су смештени лако покретљиви јони натријума, калијума, калцијума и магнезијума окружени молекулима воде. Наведени катјони се лако измењују са другим катјонима из раствора што даје могућност примене зеолита као сорбената са великим сорпционим капацитетом и добром селективношћу у погледу великог броја метала. Зеолити могу бити природни и синтетски при чему Србија располаже великим налазиштима природног зеолита – клиноптилолита. Лежиште Златокоп у Врањској Бањи је највећи рудник зеолита у Европи са око два милиона тона клиноптилолита.

За индустријску примену зеолита у третману отпадне воде и то посебно за уклањање јона тешких метала, неопходно је познавање механизма и кинетике сорпције. Јони метала се могу задржати на различите начине укључујући јонску измену али и адсорпцију на површини зеолита. При томе јони метала могу да граде оксиде и хидроксиде на површини или у унутрашњости зеолита што утиче на могућности и начин регенерације сорбента. Познавање механизма и кинетике процеса сорпције омогућава одређивање лимитирајућег корака у процесу, предвиђање брзине сорпције на различитим условима и оптимизацију параметара извођења процеса. Уз то, за увећање размера процеса до индустријских размера потребно је и испитивање одабраног процеса у одговарајућим лабораторијским системима ради одређивања хидродинамичких параметара. Конкретно се у индустријским процесима сорпције најчешће користе системи са пакованим или флуидизованим слојем честица који омогућавају континуалан режим рада. Предности система са пакованим слојем су ламинарни ток флуида приближан идеалном клипном струјању уз ниске смицајне напоне, док су недостаци појава канала и мртвих зона, концентрациони и температурни градијенти и запушавање. Ови проблеми се могу решити применом флуидизације при чему су честице суспендоване у току флуида. На тај начин ови системи обезбеђују униформнију расподелу тока флуида и ефикасније мешање уз ниске смицајне напоне. При томе се обезбеђују и веће брзине преноса масе и топлоте, уз лаку контролу процеса и могућност једноставног увећања размера.

Предмет којим се бави ова докторска дисертација је испитивање могућности коришћења природних и синтетских зеолита као сорбената при уклањању јона тешких метала из индустријских отпадних вода. При томе ће истраживања обухватити испитивање и одређивање механизма и кинетике сорпције јона тешких метала, а затим и примену одабраног процеса у лабораторијском систему са флуидизованим слојем честица зеолита.

2.2. Циљеви истраживања

Научни циљеви истраживања су:

- испитивање сорпционих карактеристика природног зеолита – клиноптилолита и синтетског зеолита – зеолита А, у погледу уклањања различитих јона тешких метала из водених раствора;
- одређивање механизма процеса сорпције за уклањање јона тешких метала коришћењем природног зеолита-клиноптилолита и гранулисаних куглица зеолита А и примена доступних кинетичких модела, предложених за сорпцију јона тешких метала на зеолиту;

- развој новог кинетичког модела сорпције који ће одговарати механизму процеса јонске измене у зеолиту;
- испитивање примене гранулисаног зеолита у флуидизованим системима за уклањање јона одабраног тешког метала из водених раствора: одређивање хидродинамичких карактеристика и кинетике сорпције ради могуће примене у пилот постојењима и индустрији у процесима пречишћавања отпадних вода.

2.3. Релевантни библиографски извори

1. Ho Y.S: *Review of Second-Order Models for Adsorption Systems*, - J. Hazard. Mater., Vol B136, 2006, pp. 681–689.
2. Rajic N., Stojakovic Dj., Jovanovic M., Logar N. L., Mazaj M., Kaucic V.: *Removal of Nickel(II) Ions from Aqueous Solutions Using the Natural Clinoptilolite and Preparation of Nano-NiO on the Exhausted Clinoptilolite*, - Appl. Surf. Sci., Vol 257, 2010, pp. 1524-1532.
3. Stojakovic Dj., Hrenovic J., Mazaj M.: *On the Zinc Sorption by the Serbian Natural Clinoptilolite and the Disinfecting Ability and Phosphate Affinity of the Exhausted Sorbent*, - J. Hazard. Mater., Vol 185, 2011, pp. 408-415.
4. Nibou D., Mekatel H., Amokrane S., Barkat M., Trari M: *Adsorption of Zn^{2+} Ions onto NaA and NaX zeolites: Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Studies*, - J. Hazard. Mater., Vol 173, 2010, pp. 637-646.
5. El-Kamash A. M, Zaki A. A., El Abed El Geleel M.: *Modeling Batch Kinetics and Thermodynamics of Zinc and Cadmium Ions Removal from Waste Solutions Using Synthetic Zeolite A*, - J. Hazard. Mater., Vol B127, 2005, pp. 211-220.
6. Hui K. S., Chao C. Y.H., Kot S. C.: *Removal of Mixed Heavy Metal Ions in Wastewater by Zeolite 4A and Residual Products from Recycled Coal Fly Ash*, - J. Hazard. Mater., Vol B127, 2005, pp. 89-101.
7. Biskup B., Subotic B: *Kinetic Analysis of the Exchange Processes between Sodium Ions from Zeolite A and Cadmium, Copper and Nickel Ions from Solutions*, - Sep. Purif. Technol., - Vol 37, 2004, pp. 17–31.
8. Abd El-Rahman K. M., El-Sourougy M. R., Abdel-Monem N. M., Ismail I. M.: *Modeling the Sorption Kinetics of Cesium and Strontium Ions on Zeolite A*, - Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences, Vol 7, 2006, pp. 21-27.
9. Inglezakis V.J., Loizidou M.D., Grigoropoulou H.P.: *Equilibrium and Kinetic Ion Exchange Studies of Pb^{2+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} and Cu^{2+} on Natural Clinoptilolite*, - Water Res., Vol 36, 2002, pp. 2784–2792.
10. Inglezakis V.J., Grigoropoulou H.: *Effects of Operating Conditions on the Removal of Heavy Metals by Zeolite in Fixed Bed Reactors*, - J. Hazard. Mater., Vol B112, 2004, pp. 37–43.
11. Stylianou M. A, Inglezakis V. J., Moustakas K. G., Malamis S. P., Loizidou M. D: *Removal of Cu(II) in Fixed Bed and Batch Reactors Using Natural Zeolite and Exfoliated Vermiculite as Adsorbents*, - Desalination, Vol 215, 2007, pp. 133–142.
12. Stylianou M. A., Hadjiconstantinou M. P., Inglezakis V. J., Moustakas K. G, Loizidou M. D.: *Use of natural clinoptilolite for the removal of lead, copper and zinc in fixed bed column*, - J. Hazard. Mater., Vol 143, 2007, pp. 575–581.

13. Han R., Zou L., Zhao X., Xu Y., Xu F., Li Y., Wang Y.: *Characterization and Properties of Iron Oxide-Coated Zeolite as Adsorbent for Removal of Copper(II) from Solution in Fixed Bed Column*, - Chem. Eng. J., Vol 149, 2009, pp. 123-131.
14. Han R., Zou W., Li H., Li Y., Shi J.: *Copper(II) and Lead(II) Removal from Aqueous Solution in Fixed-Bed Columns by Manganese Oxide Coated Zeolite*, - J. Hazard. Mater., Vol B137, 2006, pp. 934-942.
15. Harms W.D., Robinson R.B.: *Softening by Fluidized Bed Crystallizers*, - J. Environ. Eng-ASCE, Vol 118, 1992, pp. 513-529.
16. Nielsen P.B., Christensen T.C., Vendrup M.: *Continuous Removal of Heavy Metals from FGD Wastewater in a Fluidized Bed Without Sludge Generation*, - Water Sci. Technol., Vol 36, 1997, pp. 391-397.
17. Wilms D.A., Vercamst K., van Dijk J.C.: *Recovery of Silver by Crystallization of Silver Carbonate in a Fluidized-Bed Reactor*, - Water Res., Vol 26, 1992, pp. 235-239.
18. Chen J.P., Yu H.: *Lead Removal from Synthetic Wastewater by Crystallization in a Fluidized-Bed Reactor*, - J. Environ. Sci. Heal. A, Vol 35, 2000, pp. 817-835.
19. Gallant J., Prakash A., Hogg L. E. W.: *Fluidization and Hydraulic Behavior of Natural Zeolite Particles Used for Removal of Contaminants from Wastewater*, - Can. J. Chem. Eng, Vol 89, 2011, pp. 159-165.

3. Полазне хипотезе

Предложена истраживања у оквиру ове докторске дисертације полазе од хипотезе да је могуће коришћење зеолита (природних и синтетских) за уклањање јона тешких метала из водених раствора. При томе се полази од следећих претпоставки:

- природни и синтетски зеолити ефикасно уклањају јоне различитих тешких метала из водених раствора;
- механизам уклањања јона тешких метала из водених раствора применом зеолита је заснован на јонској измени која се одвија у неколико корака;
- испитивањем кинетике уклањања јона тешких метала могуће је развити одговарајући кинетички модел заснован на механизму јонске измене који ће омогућити и предвиђање брзине сорпције различитих тешких метала применом различитих врста зеолита и на различитим температурама;
- зеолит у гранулисаном облику је могуће применити у флуидизованом слоју за континуални третман отпадне воде;
- оперативни режим флуидизованог слоја гранулисаног зеолита је могуће оптимизовати тако да је утицај конвективног преноса масе занемарљив и да је процес сорпције тешких метала одређен брзином јонске измене.

4. Научне методе истраживања

За одређивање елемената присутних у узорцима биће коришћена EDX рендгенска метода („energy dispersive X-ray analysis“). Поред ове методе, за идентификацију фазног састава узорака и одређивања величине честица биће коришћена и скенирајућа електронска микроскопија (SEM). Структура зеолита и проучавање промена у структури након сорпције одређеног јона биће одређено рендгенском дифракцијом (XRD). Промена масе зеолита и зеолита са одређеним сорбованим јонима биће анализирана применом

термогравиметријске методе. На овај начин биће омогућено утврђивање промена физичко-хемијских својстава материјала са променом температуре. Рендгенска фотоелектронска спектроскопија (*XPS*) односно електронска спектроскопија за хемијску анализу (*ESCA*) биће коришћена за анализирање узорка након сорпције до 10 nm дубине узорка (у погледу концентрације сорбованих јона, расподеле атома у узорку, као и могућих веза које су сорбовани јони изградили). Детаљна анализа узорка биће вршена и коришћењем трансмисионе електронске микроскопије (ТЕМ). Атомска апсорпциона спектроскопија (ААС) ће бити коришћена за одређивање концентрације јона метала у воденим растворима.

5. Очекивани научни допринос

По завршетку предложених истраживања може се очекивати следећи научни допринос:

- одређивање кинетике уклањања јона тешких метала из водених раствора, и то Cu(II), Pb(II), Mn(II), Zn(II) и Ni(II), применом природног зеолита клиноптилолита и/или зеолита А;
- развој новог кинетичког модела сорпције јона тешких метала на зеолиту заснованог на механизму јонске измене који ће имати могућност предвиђања брзине сорпције јона различитих тешких метала на различитим температурама и применом различитих врста зеолита;
- одређивање хидродинамичких параметара флуидизованог слоја гранулисаног зеолита;
- одређивање брзине уклањања јона одабраног тешког метала помоћу флуидизованог слоја гранулисаног зеолита и дефинисање параметара потребних за увећање размера овог процеса до индустријског нивоа.

Може се такође очекивати да ће предложена докторска дисертација дати и значајан практичан допринос, и то као:

- дефинисање сорпционих карактеристика клиноптилолита из лежишта Златоткоп, Врањска Бања, за уклањање јона тешких метала из водених раствора и утврђивање могућности коришћења овог природног зеолита у третману отпадних вода;
- дефинисање оперативних параметара потребних за пројектовањ процеса уклањања јона тешких метала применом флуидизованог слоја гранулисаног зеолита на индустријском нивоу.

6. План истраживања и структура рада

Предвиђа се да ће предложена докторска дисертација бити организована по следећим поглављима: *Увод, Теоријски део, Експериментали део, Резултати и дискусија, Закључак, Литература*.

У поглављу *Увод* биће приказан кратак осврт на подручје испитивања, дефинисани главни циљеви дисертације и предмет истраживања.

Поглавље *Теоријски део* обухватиће анализу досадашњих праваца и резултата истраживања при чему ће бити описани:

- структура, карактеристике и примена зеолита;

- отпадне воде и различити поступци уклањања јона тешких метала из отпадних вода;
- механизам и кинетика процеса сорпције;
- индустријски системи за третман отпадних вода применом процеса сорпције са посебним освртом на системе са флуидизованом слојем.

У *Експерименталном делу* биће наведене методе коришћене у експерименталном раду:

- материјали и хемикалије коришћене у раду;
- опис припреме природног зеолита клиноптилолита
- испитивање кинетике уклањања јона тешких метала у лабораторијским посудама уз мешање;
- опис лабораторијске колоне са флуидизованим слојем зеолита са рецикулацијом;
- испитивање хидродинамичких параметара колоне са флуидизованим слојем гранулисаног зеолита;
- испитивање уклањања јона одабраног тешког метала помоћу гранулисаног зеолита у флуидизованом слоју;
- аналитичке методе одређивања садржаја јона тешких метала у воденим растворима и карактеризације зеолита.

У поглављу *Резултати и дискусија* биће приказани и дискутовани резултати и то:

- експериментални резултати одређивања кинетике уклањања јона различитих тешких метала (Cu(II), Pb(II), Mn(II), Zn(II) и Ni(II)) применом зеолита у лабораторијској посуди са мешањем и примена различитих кинетичких модела доступних у литератури (Лагергренов модел кинетике псеудо-првог и псеудо-другог реда и модел унутрашње дифузије);
- хипотеза механизма одвијања процеса јонске измене у зеолитима и развој новог кинетичког модела заснованог на предложеном механизму;
- примена новог кинетичког модела на експерименталне резултате уклањања јона различитих тешких метала из водених раствора и одређивање кинетичких параметара модел;
- примена новог кинетичког модела за предвиђање брзине уклањања јона тешких метала применом других врста зеолита (нпр. синтетски зеолит А) на различитим температурама;
- испитивање хидродинамике флуидизованог слоја гранулисаног зеолита и одређивање хидродинамичких параметара уз поређење са литературним подацима и предвиђањима математичких модела;
- испитивање брзине уклањања јона одабраног тешког метала из воденог раствора применом флуидизованог слоја гранулисаног зеолита и одређивање фазе која управља брзином целокупног процеса;
- одређивање параметара процеса уклањања јона одабраног тешког метала из воденог раствора применом флуидизованог слоја гранулисаног зеолита потребних за увећање размера процеса до индустријског нивоа.

У поглављу *Закључак* биће приказани најважнији закључци до којих је кандидат дошао у току израде ове докторске дисертације, као и осврт на могућности даље примене резултата у развоју система за третман отпадних вода заснованих на примени зеолита и на могуће правце даљих истраживања.

У делу *Литература* биће дати литературни наводи цитирани у дисертацији.

7. Закључак и предлог

На основу изнетих података Комисија сматра да је предложена тема докторске дисертације „Уклањање јона метала из водених раствора коришћењем зеолита: механизам, кинетика и примена у флуидизованом слоју“, научно заснована и да кандидат Мина Јовановић, дипл. инж. технологије испуњава све услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. Стога Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да прихвати наведену тему и одобри израду ове дисертације. Истраживања у оквиру ове дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Хемијско инжењерство, али једним делом и научној области Хемијске науке, ужа научна област Неорганска хемија, за које је Технолошко-металуршки факултет, Универзитета у Београду, матична установа. Стога се за менторе предлажу др Бојана Обрадовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду (ужа научна област Хемијско инжењерство) и др Невенка Рајић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду (ужа научна област Неорганска хемија).

У Београду, 21.02.2014. г.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Бојана Обрадовић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Невенка Рајић, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Жељко Грбавчић, редовни професор у пензији
Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Проф. др Љиљана Дамјановић, ванредни професор
Универзитета у Београду, Факултет за физичку хемију