

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА, НОВИ САД

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

1. Датум и орган који је именовао комисију

Решењем бр. 012-199/42-2014 од 27.04.2017. године, на основу Одлуке Наставно научног већа, а у складу са Статутом Факултета техничких наука, декан Факултета техничких наука, проф. др Раде Дорословачки, именовао је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.

2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:

1. др **Мирјана Војиновић Милорадов**, професор емиритус,
ужа научна област: Инжењерство заштите животне средине,
датум избора у звање: 24.01.2008. године
Универзитет у Новом Саду,
Факултет техничких наука, Нови Сад
2. др **Милан Димкић**, редовни професор,
ужа научна област: Инжењерство заштите животне средине,
датум избора у звање: 27.12.2013. године
Универзитет у Новом Саду
Факултет техничких наука, Нови Сад
3. др **Радмила Маринковић Недучин**, професор емиритус,
ужа научна област: Хетерогена катализа
датум избора у звање: 25.02.2013. године
Универзитет у Новом Саду
Технолошки факултет, Нови Сад
4. др **Бранимир Јованчичевић**, редовни професор,
ужа научна област: Примењена хемија
датум избора у звање: 30.10.2003 године
Универзитет у Београду
Хемијски факултет, Београд
5. др **Јелена Радонић**, ванредни професор,
ужа научна област: Инжењерство заштите животне средине,
датум избора у звање: 01.02.2015. године
Универзитет у Новом Саду
Факултет техничких наука, Нови Сад
6. др **Маја Турк Секулић**, ванредни професор,
ужа научна област: Инжењерство заштите животне средине
датум избора у звање: 01.05.2015. године
Универзитет у Новом Саду
Факултет техничких наука, Нови Сад

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме:

Саболч, Иштван, Пап

2. Датум рођења, општина, држава:

16.07.1987., Зрењанин, Србија

3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив:

Факултет техничких наука, Нови Сад, Инжењерство заштите животне средине, Дипломирани инжењер заштите животне средине - мастер

4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија:

2011. година, Инжењерство заштите животне средине

5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:

-

6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:

-

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Нови адсорпциони медијуми за сепарацију неорганских полутаната отпадних вода базирани на термохемијској конверзији биомасе

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикана и сл.

Докторска дисертација написана је на 211 страна, кроз 15 поглавља. Дисертација садржи списак литературе са 297 референци, 50 табела, 145 слика и 3 прилога. Докторска дисертација „Нови адсорпциони медијуми за сепарацију неорганских полутаната отпадних вода базирани на термохемијској конверзији биомасе“, се састоји од следећих поглавља:

1. Увод
2. Физичко-хемијске и биолошке карактеристике отпадних вода
3. Особине испитиваних тешких метала
4. Технологије пречишћавања отпадних вода са јонима тешких метала
5. Основни концепт и дефиниције процеса адсорпције
6. Адсорбенти у третману отпадних вода
7. Физичко-хемијска карактеризација *low-cost* адсорбената
8. Пројектовање процеса адсорпције за третман отпадних вода
9. Материјал и метод
10. Резултати и дискусија
11. *Case-study*
12. Закључци
13. Литературне референце

14. Прилози

15. Биографија са библиографијом

У теоријском делу докторске дисертације дат је преглед карактеристика отпадних вода које су у оквиру истраживања коришћене као ефлуенти из којих су синтетисаним алтернативним адсорбентима уклањани анализирани полутанти. Дат је приказ технологија за пречишћавања отпадних вода оптерећених тешким металима као и физичко-хемијских карактеристика тешких метала које диктирају контаминацију биотских и абиотских матрикса у животном окружењу, сорпцију и расподелу између вишефазних система. Представљени су основни концепти и дефиниције процеса адсорпције, адсорбенти који се користе у третману отпадних вода, карактеризација комерцијалних и *low-cost* адсорбената, као и основни модули пројектовања процеса адсорпције за третман отпадних вода.

Експериментални део докторске дисертације састоји се из два основна сегмента. Предмет првог дела истраживања био је избор, синтеза, карактеризација и оцена ефикасности сепарације алтернативног адсорпционог медијума за уклањање катјона тешких метала (олова, кадмијума и никла) из одабраних отпадних ефлуената. Основни извор биомасе за производњу адсорбената биле су лигноцелулозне сировине (коштице плода кајсије, шљиве, трешње и вишње), као отпадни нуспроизводи индустрије воћа и компоненте комуналног отпада органског порекла. Детаљно је описана синтеза активних угљева термохемијском конверзијом. Приказани су резултати карактеризације добијених активних угљева за коју су коришћене савремене инструменталне методе анализе: елементарна анализа, скенирајућа електронска микроскопија (СЕМ), енергетска дисперзиона спектроскопија (ЕДС), инфрацрвена спектрометрија са Фуријеовом трансформацијом (ФТИР), одређивање специфичне површине методом адсорпције гаса (БЕТ).

Други део истраживања у оквиру тезе био је фокусиран на имплементацију добијених алтернативних адсорбената у оквиру техничко-технолошке линије за обраду отпадне воде одабраног индустријског постројења. Након процене примењивости развијеног третмана, дефинисани су процесни параметри, оптималан режим рада и степен сепарације. Адсорпција јона тешких метала испитана је у шаржном режиму рада, уз одређивање резидуалних концентрација Pb^{2+} , Cd^{2+} и Ni^{2+} у функцији почетних концентрација, времена контакта, температуре, масе и гранулације адсорбента и почетних рН вредности раствора. За евалуацију механизма адсорпције примењени су следећи кинетички модели: Лагергренов (*Lagergren*) псеудо-првог реда, Хо-Мекејов (*Ho-McKay*) псеудо-другог реда, Еловичев (*Elovich*), Вебер-Морисонов (*Weber-Morrisson*) модел међучестичне дифузије, Бојдов (*Boyd*) и Фурусави-Смитов (*Furusawa-Smith*) модел. Поред кинетичких, анализирани су и равнотежни теоријски модели: Лангмиров (*Langmuir*), Фројндлихов (*Freundlich*), Темкинов (*Temkin*) и Дубинин-Радушкевичев (*Dubinin-Radushkevich*) модел. Термодинамика процеса адсорпције праћена је помоћу промене Гибсове слободне енергије (ΔG), енталпије (ΔH) и ентропије (ΔS). Компетитивни утицај катјона метала анализиран је у мултикомпонентним системима. Могућност и трошкови регенерације и поновне употребе засићених *low-cost* адсорбената испитани су у три циклуса са разблаженом фосфорном киселином која је нуспродукт процеса термохемијске активације. На тај начин, постигнут је затворен циклус процеса производње. Анализа исплативости (*Cost-Benefit*) и анализа ефикасности (*Cost-Effectiveness*) синтетисаних *low-cost* адсорбената указале су на значајан потенцијал медијума за примену у комерцијалним областима третмана отпадних вода. Како би се показало да се алтернативна решења дифузионих операција могу успешно применити као ефикасан сегмент у домену пречишћавања и рецикулације различитих типова отпадних вода, урађена је процена ефикасности сепарације приоритетних, хазардно приоритетних и емергентних полутаната произведеним *low-cost* адсорбенатима. Прелиминарни резултати су показали висок адсорпциони капацитет синтетисаних медијума при сепарацији органских микрополутаната.

Финализација истраживачког поступка реализована је кроз имплементацију алтернативног адсорбента у циклус: лабораторијско - полуиндустријско - изабрано индустријско постројење (*scale up*). Гранулисани активни угаљ од коштице шљиве примењен је за третирање оцедних вода који настају третманом муља генерисаног на постројењу за обраду комуналне отпадне воде јавног комуналног предузећа града Будимпеште.

У завршној дискусији, резултати добијених у оквиру истраживања упоређени су са великим бројем сличних студија у којима су синтетизовани адсорбенти на бази лигноцелулозних прекурсора. Посебан акценат стављен је на структуру, функционалност и ефикасност при адсорпцији катјона олова, кадмијума и никла из водених раствора, на основу чега се могу компарирати коресподентне методологије, технике и добијени резултати у сличним истраживањима из области алтернативних адсорпционих процеса.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Приказ и тумачење експерименталних и теоријских резултата истраживања у оквиру тезе реализован је на инжењерско-техничком и научно савременом нивоу, и стога се оцењује позитивно. Експериментални део истраживања у оквиру тезе презентован је кроз јасно дефинисане сетове резултата свих примењених аналитичких поступака, релизованих кинетичких, равнотежних и термодинамичких студија, емпиријских модела и пројектних прорачуна. Анализу добијених резултата прате добро структурирани табеларни прикази. Графички прикази добијених резултата, више типова интегралних и сепаратних дијаграма, визуелно добро репрезентују квантитативну и квалитативну анализу свих варираних параметара при синтези и имплементацији синтетисаних адсорпционих медијума.

За обраду, анализу и визуелизацију резултата докторске дисертације коришћени су савремени софтверски пакети: OriginPro 8.6, SuperPro Designer i Microsoft Exel 2013.

У првих осам поглавља дат је концизан теоријски преглед релевантних области које представљају основу експерименталног дела докторске дисертације.

У деветом, десетом и једанаестом поглављу дат је детаљан приказ, анализа и дискусија резултата докторске дисертације.

У дванаестом поглављу изнета су закључна разматрања и представљени планирани правци даљих истраживања у области примене нових алтернативних решења третмана отпадних вода оптерећених органским и неорганским полутантима.

У тринаестом поглављу је наведена литература која је коришћена у оквиру дисертације. Коришћена литература је савремена и адекватно одабрана за истраживачку проблематику примене нових алтернативних медијума за пречишћавање отпадних вода.

Поглавље четрнаест садржи три целине. У Прилозима I и II су дати спискови слика и табела. У Прилогу III налазе се фотографије процедуре термохемијске конверзије биопрекурсора.

У петнаестом поглављу приложена је биографија и библиографија кандидата.

Комисија сматра да су структурални делови докторске дисертације коректно написани, а експериментални резултати логично дискутовани и обрађени.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

Рад у међународном часопису изузетних вредности (M_{21a}):

S. Pap, T. Šolević Knudsen, J. Radonić, S. Maletić, S.M. Igić, M. Turk Sekulić, Utilization of fruit processing industry waste as a green activated carbon for a treatment of heavy metals and chlorophenols contaminated water, J. Clean. Prod. (2017) – *article in press*

Рад у врхунском међународном часопису (M₂₁)

S. Pap, J. Radonić, S. Trifunović, D. Adamović, I. Mihajlović, M. Vojinović Miloradov, M. Turk Sekulić, Evaluation of the adsorption potential of eco-friendly activated carbon prepared from cherry kernels for the removal of Pb²⁺, Cd²⁺ and Ni²⁺ from aqueous wastes, J. Environ. Manage. 184 (2016) 297-306.

Рад у научном часопису (M₅₃)

K. Nemet, **S. Pap**, M. Turk Sekulić, Optimizacija i prinos termohemijske konverzije ljuške kikirikija pri sintezi ekonomski isplativog sorbenta, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 17 (2016) 3314-3317.

- D. Damjanovski, **S. Pap**, M. Turk Sekulić, Primena komercijalnih i alternativnih adsorbenata za redukciju organskog i neorganskog opterećenja procedne vode deponije, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 17 (2016) 3334-3337.
- R. Ostojić, **S. Pap**, M. Turk Sekulić, Karakterizacija i sorpcioni kapaciteti pepela suncokretove sačme u domenu separacionih tehnologija, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 17 (2016) 3306-3309.
- S. Šarić, **S. Pap**, M. Turk Sekulić, Adsorpcija fosfatnih jona na komercijalnim aktivnim ugljevima i zeolitu: kinetička i ravnotežna studija procesa, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 11 (2015) 2093-2097.
- A. Babić, **S. Pap**, M. Turk Sekulić, Adsorpcija organske materije na komercijalnim aktivnim ugljevima i zeolitu: kinetička i ravnotežna studija procesa, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 11 (2015) 2097-2101.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

- M. Đogo, I. Mihajlović, M. Brborić, **S. Pap**, V. Bežanović, D. Ubavin, Application of commercial adsorbents for landfill leachate treatment on sanitary landfill in developing country, IWA 8th Eastern European Young Water Professionals Conference, Gdansk, Poljska, 55-61, 12-14 May. 2016 Proceedings.
- M. Novaković, **S. Pap**, V. Bežanović, I. Mihajlović, M. Đogo, J. Radonić, M. Turk Sekulić, Efficacy evaluation of biosorption of anti-epileptic drug – carbamazepine onto low - cost adsorbent prepared from apricot stones, IWA 8th Eastern European Young Water Professionals Conference, Gdansk, Poljska, 231-241, 12-14 May. 2016 Proceedings.
- S. Pap**, N. Bosković, J. Radonić, D. Adamović, M. Sremački, O. Paunović, M. Turk Sekulić, Kinetic and equilibrium studies of Cd²⁺ adsorption onto low-cost adsorbent prepared from plum kernels, International Conference „Ecology of Urban Areas 2016“, Zrenjanin, Srbija, 143-150, 30 September. 2016 Proceedings.
- S. Pap**, S. Kolaković, J. Radonić, D. Adamović, M. Vojinović-Miloradov, M. Prica, M. Turk Sekulić, Preparation, surface and porous characterization of eco-friendly activated carbon produced from apricot stones, 22th International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, Hungary, 247-250, 10 October. 2016 Proceedings.
- S. Pap**, N. Dzolev, D. Adamović, J. Radonić, D. Ubavin, G. Vujić, M. Vojinović-Miloradov, M. Turk Sekulić, Evaluating biosorption for ion species and organic matter removal from landfill leachate, ISWA World congress, Novi Sad, Srbija, 1934-1944, 19-21 September, 2016 Proceedings.
- S. Pap**, M. Brborić, J. Radonić, M. Vojinović-Miloradov, M. Turk Sekulić, Production, characterization and sorption efficiency study of activated carbon from cherry/sweet cherry stones, International Eco-conference Environmental Protection of Urban and Suburban Settlements, Novi Sad, Serbia, 213-219, 23-25 September, 2015 Proceedings.
- S. Pap**, J. Radonić, D. Adamović, I. Mihajlović, M. Vojinović Miloradov, B. Nakomčić, M. Turk Sekulić, Kinetic and equilibrium studies of Pb²⁺ adsorption on low-cost adsorbent prepared from plum and apricot kernels shell, Conference Engineering of Environment Protection-TOP2014, Bratislava, Slovakia; 349-356, 10-12 Jun, 2014 Proceedings.
- D. Adamović, I. Mihajlović, **S. Pap**, M. Vojinović-Miloradov, J. Radonić, M. Turk-Sekulić, S. Adamović, Application of adsorption process in the treatment of meat industry waste water, 19th International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, Hungary, 241-244, 23 September, 2013 Proceedings.

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

- M. Turk Sekulić, **S. Pap**, N. Bošković, M. Milanović, J. Radonić, B. Obrovski, N. Grujić-Letić, Low-cost pharmaceutical removal from water using activated carbon prepared from cherry/sweet cherry kernels, SETAC Europe 27th Annual Meeting, Brussels, Belgium, 310, 7–11 May, 2017.
- S. Pap**, S. Kolalović, J. Radonić, I. Mihajlović, D. Adamović, M. Vojinović Miloradov, M. Turk Sekulić, Preparation and chemical characterization of low cost activated carbon produced from

plum kernels, International Conference "State-of-the-art technologies: challenge for the research in Agricultural and Food Sciences", Beograd, Srbija, 95, 18-20 April, 2016.

- M. Turk Sekulić, **S. Pap**, M. Brborić, M. Vojinović-Miloradov, M. Prica, Z. Đukić, J. Radonić, Activated carbons prepared from plum, apricot and cherry kernels: Influence of operational parameters and elemental composition on the maximum adsorption capacity of products, SETAC Europe 26th Annual Meeting, Nantes, France, 257-258, 22-26 May, 2016.
- M. Turk Sekulić, **S. Pap**, T. Šolević Knudsen, N. Bošković, M. Sremački, O. Paunović, J. Radonić, Conversion of fruit industrial processing waste to activated carbon sorbent and its efficiency for organic and inorganic micropollutants adsorption, The International Bioscience Conference and the 6th International PSU – UNS Bioscience Conference IBSC, Novi Sad, Srbija, 124-125, 19-20 September, 2016.
- S. Pap**, J. Radonić, D. Adamović, M. Prica, M. Vojinović-Miloradov, M. Turk Sekulić, Activated carbon from *Prunus armeniaca* biomass: Optimization of heavy metal removal, 17th European Meeting on Environmental Chemistry (EMEC17), Inverness, Scotland, 85, 30 November - 2 December, 2016.
- S. Pap**, J. Radonić, M. Vojinović-Miloradov, M. Brborić, D. Adamović, M. Sremački, M. Turk Sekulić, Chemical characterizations of the low-cost biosorbent prepared from cherry/sweet cherry kernels, 16th European Meeting on Environmental Chemistry (EMEC16), Torino, Italy, 158, 30 November - 3 December, 2015.
- S. Pap**, J. Radonić, M. Brborić, M. Vojinović-Miloradov, Z. Đukić, M. Turk Sekulić, Activated carbons prepared from plum, apricot and cherry kernels: Influence of operational parameters and elemental composition on the yield of product, SETAC Europe 25th Annual Meeting, Barcelona, Spain, 476, 3-7 May, 2015.
- S. Pap**, J. Radonić, M. Živančev, D. Adamović, I. Mihajlović, M. Vojinović Miloradov, M. Turk Sekulić, Process development for the removal of heavy metal ion species from landfill leachate using plum kernels as a new adsorbent, 15th European Meeting on Environmental Chemistry (EMEC15), Brno, Czech Republic, 73, 3-6 December, 2014.
- S. Pap**, I. Mihajlović, M. Đogo, M. Stupavski, M. Turk Sekulić, M. Vojinović Miloradov, J. Radonić, Reuse of wastewater from meat processing plants after final filtration with activated carbon, 14th European Meeting on Environmental Chemistry (EMEC14), Budva, Crna Gora, 124-125, 4-7 Decembar, 2013.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу (M₆₄)

- N. Bošković, **S. Pap**, O. Paunović, M. Turk Sekulić, Ispitivanje kinetike i ravnoteže adsorpcije naproksena na ekonomski isplativim adsorbentima od koštica kajsije, IV Konferencija mladih hemičara Srbije, Beograd, Srbija, 104-105, 5 Novembar, 2016.
- S. Pap**, J. Radonić, I. Mihajlović, M. Đogo, M. Brborić, V. Petrović, M. Turk Sekulić, Optimizacija procesa separacije Pb²⁺ iz vodenih rastvora primenom biosorbenta, 7. Simpozijum „Hemija i zaštita životne sredine – EnviroChem“, Palić, Srbija, 387-388, 9-12 Jun, 2015.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У оквиру докторске дисертације испитана је примењивост *low-cost* активних угљева у домену третмана катјона тешких метала из индустријских и процесних отпадних вода. Помоћу фосфорне и сумпорне киселине, као активационих агенаса, извршена је термохемијска конверзија лигноцелулозних отпадних биомаса. Урађена је целовита карактеризација добијених активних угљева чији прекурсори су биле коштице шљиве (ССУ и СФО), коштице кајсије (КСУ и КФО) и коштице вишње/трешње (ВТСУ и ВТФО). Анализиран је процес адсорпције у шаржном режиму рада система, вариран је већи број кључних процесних параметара адсорпције, време контакта, рН вредност средине, концентрација адсорбента и иницијална концентрација раствора Pb²⁺, Cd²⁺ и Ni²⁺. Урађене су кинетичка, равнотежна и термодинамичка студија процеса, којима се може на одговарајући начин описати процес адсорпције. На основу урађених свеобухватних експеримената и анализе свих добијених резултата може се закључити следеће:

Хемијске анализе су потврдиле висок садржај целулозе и лигнина и незнатну количину протеина у коштицама воћа. Резултати елементарне анализе показали су да се сва три материјала у највећем састоје од угљеника (више од 40%), кисеоника (више од 40%) и водоника (више од 6%), на основу чега се закључује да се материјали могу оправдано разматрати као погодни угљенични биопрекурсори за ефикасну термохемијску конверзију у активне угљеве. Због малог садржаја протеина удео азота је незнатан, а сумпора није био детектован у анализираним сировинама.

Термохемијска активација је извршена помоћу две киселине: фосфорне (за СФО, КФО и ВТФО) и сумпорне киселине (за ССУ, КСУ и ВТСУ). Закључено је да импрегнационо средство значајно утиче на перформансе синтетисаних активних угљева.

У елементарном саставу активних угљева доминира угљеник, што је очекивано и у складу је са теоријским подацима за активне угљеве. Нешто већи удео угљеника је детектован у активним угљевима ССУ, КСУ и ВТСУ (преко 70%). Садржај угљеника у активним угљевима активираним фосфорном киселином је око 60%. Највећи удео угљеника је имао адсорбент ВТСУ, који је износио 75%. Садржај кисеоника значајно одступа од комерцијалних вредности за активне угљеве и квантификован је у знатно већим количинама. У саставу адсорбената након активације детектован је фосфор и сумпор у зависности од коришћеног импрегнационог средства.

Принос синтезе је око 70% за активне угљеве СФО, КФО и ВТФО, што је изузетно добро. За активне угљеве са сумпорном киселином су добијени знатно нижи приноси процеса термохемијске активације.

Утврђен је мањи садржај воде код активних угљева добијених помоћу сумпорне киселине. У односу на полазни материјал, активни угљеве добијени од коштица шљиве имају најнижи садржај воде. Садржај воде код свих испитиваних активних угљева одговара вредностима типичним за комерцијалне активне угљеве.

СФО, КФО и ВТФО имају знатно виши садржај пепела у односу на ССУ, КСУ и ВТСУ.

Синтетисани активни угљеве имају упоредиве вредности густине. Одређене вредности одговарају вредностима густине за прашкасте активне угљеве ($< 2000 \text{ kg/dm}^3$).

pH_{pzc} вредности одређене за синтетисане адсорбенте показују да СФО, КФО и ВТФО имају нижу вредност pH_{pzc} на основу чега се претпоставља да је површина ових активних угљева у ширем распону pH вредности наелектрисана негативно чиме се фаворизује адсорпција катјонских хемијских врста.

На основу pH_{sus} је закључено да синтетисан активни угаљ суспендован у неутралним воденим растворима снижава pH вредност средине, чиме се сврстава у Л–тип активних угљева.

СЕМ анализа активних угљева пре и након адсорпције анализираних катјона метала показује измењену морфологију површине адсорбената након адсорпције катјона. На СЕМ микрографијама се добро види развијена порозна структура адсорбената.

ФТИР анализом активних угљева доказано је присуство функционалних група које су типичне за активне угљеве и значајне за адсорпцију анализираних полутаната. Упоредивањем ФТИР спектра пре и након адсорпције Pb^{2+} , Cd^{2+} и Ni^{2+} јона на активним угљевима може се уочити видна разлика. Долази до батохромног померања $-\text{OH}$ и $-\text{C}-\text{H}$ функционалних група у области $3500\text{-}2800 \text{ cm}^{-1}$, што указује на слабљење ових веза услед могућег електростатичког привлачења катјона метала. У области $1200\text{-}900 \text{ cm}^{-1}$ долази до хипсохромног померања киселих фосфатних естра, пирофосфорних и осталих фосфатних функционалних група, што указује да поред ковалентних веза, интеракција катјона метала са активном површином адсорбента одвија и ван дер Валсовим везама.

Порозиметријском анализом утврђено је да су синтезом добијени микропорозни материјали са високо развијеном порозношћу и широком дистрибуцијом пора. БЕТ методом је одређена највећа специфична површина од $1098,8 \text{ m}^2/\text{g}$ за КФО, и најнижа $85,6 \text{ m}^2/\text{g}$ за КСУ.

Поред ниских приноса термохемијске активације, прелиминарни резултати указују да за активне угљеве ССУ, КСУ и ВТСУ ефикасност уклањања Pb^{2+} , Cd^{2+} и Ni^{2+} није задовољавајућа са инжењерског аспекта. Из наведених разлога ССУ, КСУ и ВТСУ нису разматрани у даљим адсорпционим експериментима.

СФО, КФО и ВТФО су примењени за уклањање Pb^{2+} , Cd^{2+} и Ni^{2+} катјона из водених раствора. Испитани су основни параметри који утичу на процес адсорпције (pH , концентрација активног

угља, гранулација, контактено време и иницијална концентрација адсорбата). Утврђени су оптимални процесни параметри: рН=6,0, однос чврсто/течне фазе 2 g/l, гранулација <0,16 mm, време контакта 30 минута и иницијална концентрација адсорбата 100 mg/l.

Испитивање кинетике адсорпције, при истој полазној концентрацији катјона метала показало је да од реакционих кинетичких модела Хо-Мекејов модел псеудо-другог реда најбоље описује експерименталне резултате за све испитане активне угљеве и катјоне метала. Овакав резултат наводи на закључак да је хемисорпција потенцијално доминантан механизам адсорпције адсорбата са површином добијених активних угљева.

Према Вебер-Морисоновом моделу утврђено да се адсорпција катјона тешких метала одвија у више фаза и да међучестична дифузија није једини лимитирајући стадијум процеса. Бојдов модел додатно имплицира да на адсорпцију катјона метала утиче и дифузија кроз филм течности и хемисорпција на површини активног угља. Фурусави-Смитовим моделом показују да је брзина преноса масе из раствора до спољашње површине адсорбента довољно брза, и да спољашња дисфузија није лимитирајући стадијум укупног процеса адсорпције.

Поређењем експерименталних резултата са четири модела адсорпционих изотерми (Лангмиров, Фројндлихов, Темкинов и Дубинин-Радушкевичев модел) утврђено је да у одређеној мери процес адсорпције свих испитаних катјона на СФО, КФО и ВТФО добро описују Лангмуирова и Фројндлихова изотерма.

Добијени резултати указују на то да је површина активних угљева изразито хетерогена и да се везивање катјона одвија на сложен начин, односно да се уклањање катјона тешких метала реализује комплексним механизмом који укључује и физичке и хемијске интеракције.

Максималан адсорпциони капацитет добијен је за адсорпцију катјона Pb^{2+} на ВТФО који износи 198,740 mg/g, док капацитет адсорпције Ni^{2+} и Cd^{2+} износи 76,270 mg/g и 171,395 mg/g на ВТФО, редом.

Са порастом температуре расте адсорпциони капацитет за све испитиване јоне метала на синтетисаним активним угљевима. Позитивна вредност стандардне ентропије указује да током процеса везивања Pb^{2+} , Cd^{2+} и Ni^{2+} долази до повећања степена неуређености на граници адсорбент/адсорбат.

У конкуритивном праћењу кинетичке интеррелације метала, $Me_{(H_2O)_{256}}^{2+}$, утврђено је да постоји одређена законитост. Закључено је да хидратисани јонски радијус и електронегативност јона имају највећи утицај на адсорпцију катјона.

Активни угљеви СФО, КФО и ВТФО имају високу моћ регенерације. Могућност поновне употребе је од великог значаја са економског аспекта и са аспекта заштите животне средине. При истим процесним условима занемарљиво се смањила адсорпциона способност СФО, КФО и ВТФО, након регенерације. Испитано је спаљивање искоришћених активних угљева, чиме се смањују трошкови крајњег одлагања. Након спаљивања постоји могућност стабилне солификације добијеног пепела без могућности накнадне емисије катјона из формираног солификата.

Cost анализом је утврђено да цена производног процеса на индустријском нивоу износи 642 USD по тони активног угља. Према подацима релевантних извора, трошкови комерцијалних активних угљева на светском тржишту се крећу од 700 до 5000 USD по тони, у зависности од квалитета производа.

Узимајући у обзир ефикасност и задовољене критеријуме из домена зелених технологија, као и истраживања на реалним узорцима, може се закључити да примењени *low-cost* адсорбенти, добијени термохемијском конверзијом лигноцелулозног отпада, могу успешно да замене комерцијалне активне угљеве и да се примене приликом адсорпције загађујућих материја из процедурних вода депоније и отпадне воде графичке индустрије у оквиру терцијалног третмана.

На основу прелиминарних резултата доказано је да активни угљеви СФО, КФО и ВТФО имају висок адсорпциони потенцијал за органске микрополутанте. Ефикасност уклањања тестирана је адсорпцијом фармацеутика и хлорфенола. Овај део истраживања је изузетно важан сегмент у креирању праваца даљег истраживања алтернативних сорпционих материјала.

Студија случаја у оквиру Северног постројења за пречишћавање отпадних вода у Будимпешти доказала је практичну и економски оправдану примењивост синтетисаних *low-cost* активних угљева на полуиндустријском нивоу.

На основу изведених експеримената, презентованих и дискутованих резултата и закључака, сматра се да се дизајнираним поступком термохемијске активације коштица шљиве, кајсије и вишње/трешње добијају адсорпциони медијуми који имају високо развијену површину, порозност и добру ефикасност уклањања одабраних катјонских врста из водених модел раствора. Приказани резултати су у доброј сагласности са научном литературом. Описани шаржни режим рада система био би технолошки и економски исплатив у случају прераде мањих количина контаминираних вода које дисконтинуално настају. Студија случаја указује на могућност примене добијених алтернативних активних угљева у гранулисаном облику у континуалним адсорпционим процесним системима на полуиндустријском и индустријском нивоу. Примењен инжењерски приступ је од значаја за решавање постојећих проблема у третману отпадних вода, како са становишта заштите животне средине, тако и са економског аспекта и аспекта одрживог развоја и отвара могућност за даље иновативне активности у истраживачкој области примене нових алтернативних сепарационих медијума.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Тумачење добијених резултата јасно је и прегледно приказано. Формирани закључци у раду поткрепљени су одговарајућим теоријским основама, анализама и резултатима мерења добијеним на основу експерименталних истраживања кандидата. Резултати су редоследно приказани уз могућност поређења вредности.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

Да, дисертација је у целини написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Да, дисертација садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Оригиналан допринос науци докторска дисертација „Нови адсорпциони медијуми за сепарацију неорганичких полутаната отпадних вода базирани на термохемијској конверзији биомасе“ доноси кроз специфичан приказ и анализу резултата синтезе, карактеризације и имплементације алтернативних *low-cost* адсорбената, чиме је потврђено да се добијени медијуми могу, у шаржном или континуалном режиму рада, применити као значајан модул зелених технологија у домену пречишћавања и рецикулације отпадних вода. Истраживања реализована у оквиру докторске дисертације доприносе бољем разумевању процеса адсорпције тешких метала на *low-cost* активним угљевима. Примена алтернативних адсорбената је пројекција будућих еколошких, ефикасних и економски оправданих поступака за пречишћавање и рециклирање отпадних вода. Из наведених разлога, резултати добијени у оквиру тезе позиционирају се као значајна проблематика фундаменталних, примењених и развојних истраживања.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања:

Дисертација је написана у складу са пријавом теме, чиме су искључени недостаци који би негативно утицали на резултате истраживања.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

да се докторска дисертација „Нови адсорпциони медијуми за сепарацију неорганских полутаната отпадних вода базирани на термохемијској конверзији биомасе“ прихвати, а кандидату, Саболчу Папу, одобри одбрана.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

У Новом Саду
07.06.2017. године.

др Мирјана Војиновић Милорадов, професор
емиритус, председник

др Милан Димкић, редовни професор, члан

др Радмила Маринковић Недучин, професор
емиритус, члан

др Бранимир Јованчичевић, редовни
професор, члан

др Јелена Радонић, ванредни професор, члан

др Маја Турк Секулић, ванредни професор,
ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење, односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.