

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ	
1.	Датум и орган који је именовео комисију 15.03.2019. Наставно-научно веће Технолошког факултета Нови Сад
2.	Састав комисије са знаком 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: др Весна Васић , Научни сарадник, Биотехнологија, 25.02.2015, Технолошки факултет Нови Сад – председник Проф. др Марина Шћибан , Редовни професор, Биотехнологија, 13.02.2014, Технолошки факултет Нови Сад - ментор Проф др Оскар Бера , Ванредни професор, Хемијско инжењерство, 01.02.2018, Технолошки факултет Нови Сад - ментор Проф. др Александар Такачи , Редовни професор, 01.06.2017, Рачунарске науке, Технолошки факултет Нови Сад – члан Проф. др Божо Далмација , Редовни професор, 18.03.1996, Хемијска технологија и заштита околине, Природно-математички факултет, Нови Сад – члан
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ	
1.	Име, име једног родитеља, презиме: Невена, Томаш, Благојев
2.	Датум рођења, општина, држава: 18.04.1984. Вршац, Србија
3.	Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив: Технолошки факултет Нови Сад, Технологије конзервисане хране, Дипломирани инжењер технологије, интегрисане студије
4.	Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2016, Биотехнологија
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:	
Моделовање и оптимизација континуалне биосорпције јона тешких метала из воде	

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација је написана јасно и прегледно, и садржи све неопходне делове научно-истраживачког рада који су организовани у осам поглавља:

1. Увод (стр. 1-6)
2. Теоријски део (стр. 7-40)
3. Предмет и циљеви истраживања (стр. 41-42)
4. Експериментални део (стр. 43-58)
5. Резултати и дискусија (стр. 59-118)
6. Закључак (стр. 119-122)
7. Литература (стр. 123-138)
8. Прилози (стр. 139-155)

Рад има 155 страна А4 формата, 117 слика, 26 табела, 211 литературних навода и 7 прилога. На почетку рада је дат резиме на српском и енглеском језику, списак слика и табела. На крају рад садржи Кључну документацијску информацију са кратким изводом на српском и енглеском језику.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Прво поглавље докторске дисертације чини **Увод**, у којем је истакнут један од највећих проблема модерног доба – загађење животне средине, са посебним освртом на загађење воде. Наглашена је потреба да се хитно и систематски приступи решавању питања све веће загађености животне средине, помоћу великог броја расположивих метода, међу којима адсорпција заузима значајно место када је у питању уклањање тешких метала из воде. Како би се постигло смањење трошкова ове методе, уз истовремено повећавање еколошке прихватљивости, истакнут је значај примене биосорбената, који се све више испитују и користе. Могућност примене неког биолошког материјала у ове сврхе, поред капацитета за уклањање одређених загађујућих материја, одређена је и начином поступања са искоришћеним биосорбентом, који представља отпад који мора бити збринут на одговарајући начин.

У другом поглављу, **Теоријски део**, дат је преглед литературе, детаљно по сегментима проблематике. Представљени су тешки метали као загађујуће материје, њихова распрострањеност, порекло и токсичност по живи свет, као и дозвољене концентрације у водама у природи, води за пиће и отпадним водама. Посебно су издвојени бакар и хром, који ће бити испитивани у оквиру дисертације. Описане су најпознатије методе за њихово уклањање из водених раствора, након чега је издвојена адсорпција, која је и предмет дисертације. Наведене су основне карактеристике процеса, фактори који утичу на њену ефикасност, као и најзначајнији кинетички модели и методе оптимизације процеса адсорпције – метода одзивне површине и вештачких неуронских мрежа, који су неопходни за ефикасну и економичну примену адсорпције. Биосорбенти су представљени као унапређење конвенционалне адсорпције, пре свега у еколошком смислу, са посебним акцентом на лигноцелулозној отпадној биомаси – излуженим резанцима шећерне репе, пиљевини дрвета тополе и пшеничној слами, који су испитивани у оквиру ове докторске дисертације. Описани су и могући начини поступања са биосорбентом након адсорпције, што је веома важан аспект њихове примене за уклањање тешких метала из воде.

Треће поглавље чине **Предмет и циљеви истраживања** и у њему су истакнуте основна и помоћне хипотезе на основу којих су јасно дефинисани специфични циљеви истраживања која су спроведена у оквиру дисертације.

У четвртном поглављу, **Експериментални део**, наведени су материјал, опрема и методе који су коришћени за извођење експеримената, као и за анализу резултата. Прво је описана апаратура за извођење процеса адсорпције у колони, припрема биосорбената и модел-раствора јона тешких метала коришћених у истраживању. У овом делу дефинисане су вредности радних параметара процеса адсорпције и представљен је дизајн експеримената и методе каснијег моделовања експерименталних података и оптимизације процеса. Примењене методе статистичке обраде података у потпуности су актуелне, адекватне и примерене истраживачком задатку. Даље, описано је на који начин је добијен пепео након изведене адсорпције јона бакра излуженим резанцима шећерне репе, методе анализе пепела, процедура производње гуме од добијеног пепела, уз праћење процеса вулканизације и касније одређивање механичких својстава готовог производа и излуживање јона бакра. У циљу што бољег разумевања механизма везивања јона бакра за биосорбент, као и утицаја њиховог присуства на структуру гуме, извршена је и квалитативна карактеризација функционалних група присутних на површини биосорбента, односно гуме, методом ФТИР. Коришћене методе анализе су адекватно одабране и одговарају постављеним циљевима.

Поглавље **Резултати и дискусија** је подељено у више целина, како би се на јасан и прегледан начин приказао и објаснио велики број експерименталних података. Прво су приказани резултати добијени извођењем адсорпције у колони са непокретним слојем, према Бокс-Бенкеновом експерименталном дизајну, након чега су резултати моделовани познатим моделима и предложен је и један нови, паралелни сигмоидални модел. У даљем току дисертације посебна пажња је посвећена тумачењу, анализи и доказивању ваљаности новог модела и његове примењивости на процес адсорпције јона бакра. У другом сегменту поглавља представљени су резултати праћења реолошких особина каучукових смеша приликом вулканизације, механичких својстава готових производа, као и безбедности примене овог начина поступања са искоришћеним биосорбентом по животну околину, путем

теста излуживања уграђеног бакра. Сви добијени резултати су приказани прегледно, јасно су објашњени уз прецизно и недвосмислено описивање и истицање статистичких значајности и поткрепљени одговарајућим литературним наводима.

У поглављу **Закључак** резултати рада су јасно сумирани и систематизовани, уз посебно истицање новина до којих се дошло, у виду новог математичког модела предложеног за описивање континуалне адсорпције у колони са непокретним слојем, новог приступа искоришћењу засићеног биосорбента као и новим приступом моделовању кинетике вулканизације каучукових смеша.

Поглавље **Литература** садржи 211 литературних навода. Цитирани литературни подаци су прегледно систематизовани, актуелни су, релевантни и значајно доприносе расветљавању проблематике којом се аутор бави.

У **Прилозима** су графички приказани резултати добијени извођењем експеримената у колони према Бокс-Бенкеновом експерименталном дизајну, и табеларно подаци очитани са реометра током вулканизације каучукових смеша, а који ради боље прегледности нису приказани у поглављу Резултати и дискусија.

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

1. **N. Blagojev**, D. Kukić, V. Vasić, M. Šćiban, J. Prodanović, O. Bera. A new approach for modelling and optimization of Cu(II) biosorption from aqueous solutions using sugar beet shreds in a fixed-bed column. *Journal of Hazardous Materials*, 363, 366-375, 2019. (M21a)
2. **N. Blagojev**, D. Kukić, V. Vasić, M. Šćiban, J. Prodanović, O. Bera. Removal of copper ions from aqueous solutions by sugar beet shreds and poplar sawdust in a fixed-bed column. *24th International Symposium on Analytical and Environmental Problems, 8-9/10/2018. Segedin, Mađarska, Proceedings of ISAEP*, 265, 2018. (M34)
3. **N. Blagojev**, V. Vasić, D. Kukić, O. Bera, M. Šćiban, J. Prodanović. Adsorpcija jona bakra pomoću izluženih rezanaca šećerne repe, u koloni sa nepokretnim slojem. *VI Memorijalni naučni skup iz zaštite životne sredine Docent dr Milena Dalmacija, 29-30/03/2018, Novi Sad, Srbija, Knjiga radova i abstrakata*, V-14, 2018. (M63)

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У истраживањима у оквиру ове докторске дисертације дошло се до следећих закључака:

- Излужени резанци шећерне репе могу успешно да се користе као ефикасан, јефтин и у разним поднебљима широко распрострањен адсорбент за уклањање јона тешких метала из воде у условима континуалног процеса;
- На основу уочене асиметрије превојних кривих које описују адсорпцију у свим изведеним експериментима, претпостављено је да се процес одвија у две фазе, током којих различити феномени одређују кинетику процеса;
- На основу ове претпоставке, предложен је нови математички модел који описује асиметричну превојну криву, назван паралелни сигмоидални модел, и који показује боље поклапање са експериментално добијеним подацима у односу на познате моделе, као што су Боарт-Адамсов и модел дозе и одзива.
- Математичким рашчлањивањем процеса на компоненте, представљањем првог извода модела и његових компоненти, односно брзине процеса, израчунавањем тренутка када различити феномени достижу своју максималну брзину као и тренутка када долази до смене два феномена - доказано је да је закључак о двостепеном процесу адсорпције, односно процесу састављеном од две фазе у којима кинетику процеса одређују различити феномени исправан.
- Анализирањем промене ефикасности адсорпције током времена, уочено је да она до једне тачке полако опада, дуго задржавајући ниво изнад 90%, да би после те тачке почела нагло да опада. Даљом анализом је утврђено да се нагли пад ефикасности процеса дешава у тренутку када долази до смене доминације два феномена, односно у тренутку дефинисаном као критично време процеса. То је новоустановљена величина, која има велики практични

значај, јер се, узимајући у обзир боље искоришћење адсорбента, процес уместо до тачке пробоја може водити до тачке критичног времена, до кад је ефикасност процеса на задовољавајуће високом нивоу.

- Због уоченог значаја критичног времена, ова величина је одабрана као излазни параметар за оптимизацију процеса, која је изведена применом методологије одзивне површине и генетичког алгорита вештачких неуронских мрежа.
- Независно променљиве величине коришћене при оптимизацији процеса биле су концентрација и рН улазног раствора јона бакра и маса коришћеног адсорбента. Концентрација улазног раствора је показала највећи и то негативан утицај на критично време, односно што је концентрација улазног раствора већа, то је критично време мање. Овај резултат потврђен је обема коришћеним методологијама. Маса адсорбента је имала супротан ефекат на одабрани излаз, тј. испољила је позитиван утицај на критично време, што су такође показала оба примењена приступа.
- Када је у питању утицај рН напојног раствора на одзив система, применом методологије одзивне површине добијено је да овај параметар у испитиваном опсегу нема утицаја на критично време, док је методологија вештачких неуронских мрежа квантификовала и тај мали утицај рН, па се види да ова величина има веома слаб позитиван утицај на критично време.
- Како би се утврдило да ли је двостепени механизам адсорпције карактеристика адсорбента, адсорбата или неког другог чиниоца, изведене су додатне анализе биосорпције јона бакра на још два лигноцелуозна биљна материјала – пиљевини дрвета тополе и пшеничној слами, и резултати су показали да се и у ова два случаја процес састоји од два феномена, али уз много већи удео једног у односу на други, због чега је двостепену природу процеса теже уочити и због чега се он углавном апроксимира једностепеним процесом.
- Са истим циљем испитана је адсорпција јона шестовалентног хрома излуженим резанцима шећерне репе, али је остало неутврђено да ли се овај процес састоји из две фазе или не, и то из разлога што због високе рН вредности није било могуће добити исправне експерименталне податке на почетку процеса.
- FTIR спектри излужених резанаца шећерне репе пиљевине дрвета тополе и пшеничне сламе показали су велики број адсорпционих пикова, што указује на хетерогеност и комплексност структуре ових материјала и присуство различитих функционалних група, као што су хидроксилне, карбоксилне, карбонилне, аминок, амидо и друге. Разлике између спектра пре и после адсорпције огледају се пре свега у смањењу интензитета пикова који одговарају хидроксилним, карбоксилним и карбонилним групама, па се закључује да претежно ове групе учествују у процесу везивања јона бакра.

У циљу решавања проблема одлагања искоришћеног адсорбента засићеног тешким металима, пепо добијен спаљивањем излужених резанаца шећерне репе засићеним јонима бакра искоришћен је као пунило у производњи гуме. Праћењем процеса производње и анализом различитих својстава гуме са додатком различите количине пепела, дошло се до следећих закључака:

- Примењен нови мултиваријабилни приступ моделовању процеса вулканизације успешно описује кинетику умрежавања каучукових смеша и омогућава добијање кинетичких параметара процеса.
- Установљено је да додаток пепела утиче на енергију активације хемијске реакције умрежавања, чиме одлаже почетак процеса. У гумарској индустрији ово својство може бити чак и пожељно, јер се одлагањем почетка умрежавања спречава да процес започне пре него што се каучукова смеша у потпуности разлила у калупе, што је посебно значајно код производње гумених производа великих димензија.
- Анализом механичких и еластичних својстава гуме, као што су затезна чврстоћа, прекидно издужење, затезни напон при издужењу 100% и 300% и тврдоћа, установљено је да додаток пепела не утиче значајно на ова својства гуме са додатком пепела, у односу на својства гуме која не садржи пепео.
- Анализом FTIR спектра узорака гуме са различитим садржајем пепела и без пепела утврђено је да између свих испитиваних узорака нема значајне разлике у квалитативној структури гуме.
- Испитивањем да ли и у којој мери готови производи од гуме са додатком пепела излужују

уграђени бакар у контакту са водом, утврђено је да се бакар излужује у малим количинама, које износе од мање од 0,001% до највише 0,012% од количине уграђеног бакра. Када се анализирају апсолутне вредности излужених количина јона бакра, оне су мање од законом прописаних граничних вредности емисије бакра технолошких отпадних вода које се испуштају у јавну канализацију или непосредно у природне реципијенте.

Као општи закључак ове докторске дисертације треба нагласити да се излужени резанци шећерне репе могу успешно примењивати за уклањање јона тешких метала из воде у процесу континуалне адсорпције, процес се може успешно моделовати новим паралелним сигмоидалним моделом и оптимизовати новедефинисаном величином названом критично време адсорпционог процеса, а након искоришћења адсорбента, он се може спаљивати и пепео безбедно уградити у производе од гуме, при чему се остварују побољшања технолошког процеса производње гуме, трајно решава питање одлагања токсичног отпада из процес адсорпције и добијају производи са додатом вредношћу неумањеног квалитета.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

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

Докторска дисертација дипл. инж. Невене Благојев, под називом „**Моделовање и оптимизација континуалне биосорпције јона тешких метала из воде**” произашла је из обимног лабораторијског истраживања. Резултати који су добијени у оквиру овог рада приказани су јасно и прегледно, графички и/или табеларно. Тумачењем добијених резултата и њиховим упоређивањем повезивањем са подацима из литературе изведени су одговарајући закључци, који пружају корисне информације за будућа истраживања у области примене лигноцелулозне отпадне масе у сврху уклањања тешких метала из воде, као и у области поступања са искоришћеним биосорбентом, на начин да се збрине опасан отпад и при том добију производи са додатом вредношћу.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:	
1.	Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме Да. Докторска дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.
2.	Да ли дисертација садржи све битне елементе Да. Дисертација садржи све битне елементе који се захтевају за радове овакве врсте.
3.	По чему је дисертација оригиналан допринос науци <ul style="list-style-type: none"> - У оквиру дисертације је предложен је потпуно нов математички модел за описивање континуалне адсорпције у колони са непокретним слојем. Предложени модел је објашњен и доказана је његова валидност, те се може успешно примењивати за моделовање процеса континуалне адсорпције јона тешких метала. - Предложена је и испитана могућност поступања са искоришћеним адсорбентом која до сада није позната у литератури, а то је уградња пепела добијеног спаљивањем zasiћеног биосорбента у производе од гуме, што се показало као веома обећавајући приступ, обзиром да додаток пепела не утиче на механичка и еластична својства добијеног производа, а решава проблем одлагања великих количина искоришћеног биосорбента. - У оквиру дисертације је развијен нов мултиваријабилни приступ добијању кинетичких параметара вулканизације модификовањем Рафеи/Горејшијевог модела, чиме се унапређује поступак моделовања процеса вулканизације. <p>Оригинални резултати из области коју обухвата ова дисертација објављени су у међународном часопису изузетних вредности (M21a) и саопштени на међународним и националним скуповима, чиме се потврђује да докторска дисертација представља оригиналан допринос науци.</p>
4.	Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања Недостаци докторске дисертације нису уочени.
X ПРЕДЛОГ:	
Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију дипл. инж. Невене Благојев , под насловом: „ Моделовање и оптимизација континуалне биосорпције јона тешких метала из воде ” и предлаже да се Извештај о оцени докторске дисертације прихвати, а кандидаткињи одобри јавна одбрана рада.	

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

председник комисије

др Весна Васић, научни сарадник,
Технолошки факултет Нови Сад

ментор-члан

др Марина Шћибан, редовни професор,
Технолошки факултет Нови Сад

ментор-члан

др Оскар Бера, ванредни професор,
Технолошки факултет Нови Сад

члан

др Александар Такачи, редовни професор,
Технолошки факултет Нови Сад

члан

др Божо Далмација, редовни професор,
Природно-математички факултет Нови Сад

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.