

Факултет Технолошко-металуршки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/178

(Број захтева)

17.08.2020.

(Датум)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на одлуке о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и о именовању комисије за одбрану**

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације:

КАНДИДАТ Данијела (Славољуб) Славнић

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму **Хемијско инжењерство**

пријавио је докторску дисертацију под називом:

Динамика струјања течности и честица у реакторима са осцилаторним током и примена на биохемијску реакцију уз употребу имобилисаних ензимаиз научне области: **Технолошко инжењерство**

Универзитет је дана 05.06.2017. својим актом под бр. 61206-1879/32-17 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

Динамика струјања течности и честица у реакторима са осцилаторним током и примена на биохемијску реакцију уз употребу имобилисаних ензима

Име и презиме ментора: др Никола Никачевић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној 05.03.2020.одлуком факултета под бр. 35/48, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Дејан Безбрадица	редовни професор	Биохемијско инжењерство и биотехнологија	ТМФ
2.	Др Бранко Бугарски	редовни професор	Хемијско инжењерство	ТМФ
3.	Др Михал Ђуриш	научни сарадник	Хемијско инжењерство металургију	Институт за хемију, технологију и металургију

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности 22.05.2020.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана 25.06.2020.

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној 25.06.2020.

одлуком факултета под бр. 35/176, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Дејан Безбрадица	редовни професор	Биохемијско инжењерство и биотехнологија	ТМФ
2.	Др Бранко Бугарски	редовни професор	Хемијско инжењерство	ТМФ
3.	Др Михаил Ђуриш	научни сарадник	Хемијско инжењерство металургију	Институт за хемију, технологију и

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
др Петар Ускоковић, редовни професор

- Прилози:
1. Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације
 2. Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
 3. Примедбе на извештај Комисије о оцени докторске дисертације (уколико их је било) и мишљење Комисије о примедбама

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

Бр. 20/125-1

28. 09. 2018 год.

БЕОГРАД

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду (“Гласник Универзитета у Београду бр. 201/2018”) и члана 76. став 1. и став 4. Статута Технолошко-металуршког факултета у Београду, као и захтева студента за продужење рока за завршетак студија Декан доноси

РЕШЕЊЕ

о продужењу рока за завршетак студија

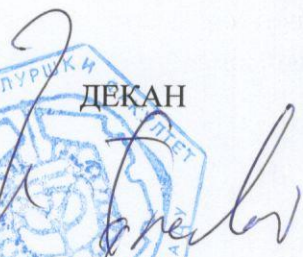
Студенту ДАНИЈЕЛИ СЛАВНИЋ, број индекса 4032/2016, уписаном-ој у трећу годину докторских академских студија школске 2016/2017. године након истека рока за завршетак студија, продужава се рок за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја школске 2018/2019. године.

Поука о правном леку:

Против овог решења именовани-а може поднети жалбу Савету Факултета у року од 8 дана од дана пријема решења.

Доставити:

- Студенту;
- Служби за студентска питања;
- Општој служби – архиви.

ДЕКАН

Проф. др Ђорђе Јанаковић





Република Србија
Универзитет у Београду
Технолошко-металуршки факултет

Бр. 20/41

27. 05. 2019 год.
БЕОГРАД

На основу чл. 100. Статута Универзитета и чл. 75. Статута Технолошко-металуршког факултета, а на лични захтев студента, доноси се

РЕШЕЊЕ

Усваја се захтев који је упутила, **Данијела Славнић**, студент ДАС, број индекса 2016/4032, и одобрава мировање права и обавеза у летњем семестру школске 2018/2019. године, на основу приложених докумената.

Декан
Проф. др Петар Ускоковић

ДIⅣа

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 52. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 25.06.2020. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Дејан Безбрадица, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Бранко Бугарски, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Михал Ђуриш, научни сарадник Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: **„Динамика струјања течности и честица у реакторима са осцилаторним током и примена на биохемијску реакцију уз употребу имобилисаних ензима“** коју је поднела **Данијела Славнић**, дипломирани инжењер 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 Данијеле Славнић, под називом **„Динамика струјања течности и честица у реакторима са осцилаторним током и примена на биохемијску реакцију уз употребу имобилисаних ензима“** Одлуком број: 61206-1879/2-17 од 05.06.2017. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M22:

1. **Slavnić D.**, Živković L., Bjelić A., Bugarski B., Nikačević N., Residence time distribution and Peclet number correlation for continuous oscillatory flow reactors, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 92, no. 8, pp.2178–2188, 2017 (**IF(2017) = 2,587**) (ISSN: 0268-2575)
2. **Slavnić D.**, Bugarski B., Nikačević N., Solids flow pattern in continuous oscillatory baffled reactor, *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification*, vol. 135, pp. 108–119, 2019, (**IF(2018) = 3,031**) (ISSN 0255–2701)

Категорија M23:

1. **Slavnić D.**, Bugarski B., Nikačević N., Hemijski reaktori sa oscilirajućim tokom fluida, *Hemijska Industrija*: vol. 68, no. 3, pp. 363–379, 2014), (**IF(2014)=0,364**) (ISSN:0367–598X)

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

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

ДV

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 52. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 25.06.2020. године, донета је

О Д Л У К А

о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације

Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације Данијеле Славнић дипломираног инжењера, са темом под називом „Динамика струјања течности и честица у реакторима са осцилаторним током и примена на биохемијску реакцију уз употребу имобилисаних ензима“, у саставу:

1. Др Дејан Безбрадица, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
2. Др Бранко Бугарски, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
3. Др Михал Ђуриш, научни сарадник Универзитета у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију

Одлуку доставити: Одлуку доставити: члановима Комисије, Универзитету у Београду, Служби за наставно-студентске послове и Архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Технолошко–металуршки факултет

НАСТАВНО – НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Данијеле Славнић

Одлуком бр. 35/48 од 05.03.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Данијеле Славнић под називом:

ДИНАМИКА СТРУЈАЊА ТЕЧНОСТИ И ЧЕСТИЦА У РЕАКТОРИМА СА ОСЦИЛАТОРНИМ ТОКОМ И ПРИМЕНА НА БИОХЕМИЈСКУ РЕАКЦИЈУ УЗ УПОТРЕБУ ИМОБИЛИСАНИХ ЕНЗИМА

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1 Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Данијела Славнић уписала је први пут докторске студије школске 2009/2010. године. У складу са Законом о високом образовању, Данијела Славнић је уписала докторске студије по други пут (трећу годину) школске 2016/2017. године. Школске 2018/2019. година Данијела Славнић је била у статусу мировања права и обавеза.

29.12.2016. – На седници Наставно – научног већа (одлука бр. 35/662) именована је комисија за оцену подобности теме и кандидата Данијеле Славнић, дипл. инж. технологије за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под називом „Динамика струјања течности и честица у реакторима са осцилаторним током и примена на биохемијску реакцију уз употребу имобилисаних ензима"

20.04.2017. – На седници Наставно – научног већа донета је одлука (одлука бр. 35/86) о прихватању Реферата Комисије за оцену научне заснованости теме и подобности

кандидата и одобравању израде докторске дисертације Данијеле Славнић, дипл. инж. технологије, на српском језику, под називом: „Динамика струјања течности и честица у реакторима са осцилаторним током и примена на биохемијску реакцију уз употребу имобилисаних ензима", а за ментора ове докторске дисертације је именован др Никола Никачевић, тада ванредни професор Технолошко – металуршког факултета Универзитета у Београду.

05.06.2017. – На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду донета је одлука (бр. 61206–1879/2–17) о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације Данијеле Славнић, дипл. инж. технологије под називом: „Динамика струјања течности и честица у реакторима са осцилаторним током и примена на биохемијску реакцију уз употребу имобилисаних ензима".

05.03.2020. – На седници Наставно – научног већа Технолошко – металуршког факултета у Београду донета је одлука (бр. 35/48) о именовању Комисије за оцену докторске дисертације Данијеле Славнић, дипл. инж. технологије под називом: „Динамика струјања течности и честица у реакторима са осцилаторним током и примена на биохемијску реакцију уз употребу имобилисаних ензима".

1.2 Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Хемијско инжењерство, за коју је матичан Технолошко – металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментор др Никола Никачевић, редовни професор Технолошко–металуршког факултета Универзитета у Београду је на основу објављених публикација (31 у међународним часописима) и педагошког искуства компетентан да руководи израдом ове докторске дисертације.

1.3 Биографски подаци о кандидату

Данијела Славнић, дипломирани инжењер технологије рођена је Пироту 1981. године. Основну школу и Гимназију завршила је у Бабушници. Године 2008. дипломирала је на Технолошко – металуршком факултету, Универзитета у Београду, профил Хемијско инжењерство. Докторске студије на истом факултету и катедри уписала је први пут школске 2009/2010. године. У складу са Законом о високом образовању, школске 2016/2017. године уписала је по други пут докторске студије (трећу годину), на профили Хемијско инжењерство.

Од 2011. до 2019. године Данијела Славнић је била ангажована на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја под називом "Развој и примена нових и традиционалних технологија у производњи конкурентних прехранбених производа са

додатом вредношћу за европско и светско тржиште – СТВОРИМО БОГАТСТВО ИЗ БОГАТСТВА СРБИЈЕ" број ИИИ46001. Такође, учесник је у реализацији Иновационих пројеката финансираних од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја под називом: „Нова еколошки одржива технологија добијања биогаса из агро – отпада“ у периоду 2014 – 2015. године и „Нови биотехнолошки поступци за производњу биопрепарата на бази вермикомпоста“ у периоду 2018 – 2019 године.

Од 2019. године запослена је у предузећу Процес Пројект Инжењеринг д.о.о. као одговорни пројектант технолошких процеса.

Данијела Славнић је аутор три рада публикована у међународним часописима, три рада саопштена на међународним скуповима и једног рада саопштеног на националном скуп. Поред тога, коаутор је два рада публикована у међународним часописима и два рада саопштена на међународним скуповима.

Данијела Славнић се активно служи енглеским језиком и има средње и основно знање руског и немачког језика.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Данијеле Славнић, дипл. инж. технологије садржи 230 страна (од којих је 204 нумерисано) у оквиру којих се налази 7 поглавља, са укупно 54 слике, 21 табела и 135 литературних навода. Докторска дисертација је написана на српском језику са поглављима: *Мотивација и циљеви, Преглед досадашњих истраживања, Динамика струјања течности у РОТ, Динамика струјања честица у РОТ, Реакција трансгалактозилације у РОТ, Закључци и Литература*. На почетку дисертације дати су изводи на српском и енглеском језику. Кандидат је уз текст дисертације приложио прилоге, биографију и додатке прописане правилима Универзитета о подношењу докторских теза на одобравање. По својој форми и садржају поднети рад задовољава све стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу *Мотивација и циљеви* су образложени мотиви, предмет и циљеви истраживања на којима се заснива дисертација. Укратко су представљена истраживања и дато је образложење по чему су она иновативна и унапређена у односу на истраживања приказана у литератури. Поред тога дискутована је актуелност и значај ових истраживања.

У поглављу *Преглед досадашњих истраживања* је дат детаљан преглед досадашњих истраживања која се односе на реакторе са осцилаторним током флуида. Приказане су

карактеристике, предности и недостаци ROT представљени у литератури. Посебно су приказани и резултати истраживања потенцијалне индустријске примене овог типа уређаја.

У поглављу *Динамика струјања течности у ROT* приказани су резултати експерименталног испитивања начина струјања, тј. расподеле старости течности на излазу, у два геометријски слична реактора са осцилаторним током флуида дужине 2 м и унутрашњег пречника 44 и 26 мм. Примењена је метода праћења одзива система на импулсну промену обележене суспанце чија концентрација је мерена у времену помоћу спектрофотометра. На основу експерименталних резултата утврђен је утицај оперативних параметара (фреквенција, амплитуда и проток перисталтичке пумпе) на расподелу старости течности на излазу из испитиваних реактора са осцилаторним током флуида. Применом модела клипног струјања са аксијалном дисперзијом, а на основу експерименталних резултата развијена је математичка корелација која повезује бездимензиони Пеклеов број са бездимензионим бројевима који описују осцилаторни ток течности у реакторима: осцилаторни Рејнолдсов број, Страухалов број и однос осцилаторног и Рејнолдсовог броја нето протока. Развијена корелација је поред експерименталних вредности ове дисертације верификована и уз помоћ експерименталних резултата доступних у литератури.

У поглављу *Динамика струјања честица у ROT* приказани су резултати експерименталног и теоријског истраживања начина протицања честица у континуалном реактору са осцилаторним током флуида (унутрашњег пречника 26 мм) у који се честице уводе континуално. Применом методе праћења одзива система на степенасту промену обележених честица утврђен је утицај оперативних параметара – фреквенције, амплитуде и концентрације честица на улазу у реактор, на кумулативну криву времена задржавања честица у реактору. Како би се одредила концентрација обележених (обојених) честица, фотографије узорака су анализирани у програмском пакету ImageJ. Поред тога, испитан је и квантификован утицај оперативних параметара на начин протицања честица и стешњено таложење, средње време задржавања као и на удео (задржаних) честица у реактору. Теоријски и експериментално су утврђени критеријуми за одређивање 4 режима протицања честица: пузајући режим струјања честица, згушњено струјање честица, разблажени ток честица и одношење честица.

У поглављу *Реакција трансгалактозилације у ROT* приказани су експериментални и нумерички резултати истраживања реакције синтезе галактоолигосахарида (ГОС) у реакција трансгалактозилације у раствору лактозе, у континуалном реактору са осцилаторним током помоћу ензима β – галактозидаза из *A. oryzae*. Испитивана је реакција са ензимима у слободној форми и са ензимима који су имобилисани на честицама јоноизмењивачке смоле. Ензими су увођени у реактор континуално, а узорци су узимани у одређеним временским интервалима. Узети узорци анализирани су техником течне

хроматографије (HPLC). Експериментални резултати реакције синтезе у РОТ су упоређени са резултатима оствареним у шаржном реактору и у пнеуматском реактору са спољашњом рецикулацијом (за реакцију са имобилисаним ензимима).

На основу експерименталних резултата за шаржни реактор са слободним и са имобилисаним ензимима и претпостављеног механизма реакције одређене су константе брзина реакција. Поред тога, постављени су и динамички модели којима се описује синтеза ГОС у РОТ, како са слободним ензимима, тако и са имобилисаним ензимима. Математички модели су засновани на моделу клипног струјања са аксијалном дисперзијом (са коефицијентима одређеним у овој тези) и постављеном кинетичком моделу. Експериментални резултати су упоређени са резултатима модела РОТ и шаржног реактора. Истраживања су потврдила могућност континуалне производње и интензификације синтезе ГОС у вишефазним реакторима са осцилаторним током флуида.

У поглављу *Закључци* су дати закључци изведени на основу истраживања која су приказана у појединачним поглављима. Осим тога, у овом поглављу дате су и практичне препоруке за подешавање радних услова у циљу постизања пожељног начина кретања течности и честица кроз реактор са осцилаторним током флуида, а на основу резултата приказаних у поглављима ове дисертације и резултата истраживања других аутора приказаних у литератури.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1 Савременост и оригиналност

Брз развој друштва и економије ставља процесну индустрију пред различите изазове: производити квалитетно са што мањим енергетским и материјалним трошковима, уз смањену/минималну емисију штетних гасова, смањену количину отпада и уз што боље и једноставније управљање процесом. У овако захтевним околностима концепти интензификације процеса и у оквиру ње примена реактора са осцилаторним током флуида може дати значајни или чак кључни допринос. Један део истраживања у области интензификације процеса усмерен је на то да се уместо конвенционалних реактора користе новији типови реактора који омогућавају бржу, једноставнију и боље контролисану производњу. Реактори са осцилаторним током флуида су реактори који имају доста предности у односу на конвенционалне реакторе. Њихова предност се огледа у веома добром мешању тј. добром преносу масе и топлоте који се остварује при малим протоцима флуида, ниским вредностима смицајних напона, те једноставном увећању размера уређаја и ефектном управљању. Овај тип реактора омогућава да се споре реакције, које се уобичајено одигравају у шаржним системима, одвијају континуално, што води до значајних инвестиционих и оперативних уштеда. Могућност примене овог типа реактора у

различitim индустријским границама привлачи велику пажњу, а испитивање, унапређење и њихова примена у интензификацији процеса представља веома актуелну тему. Предмет докторске дисертације кандидата Данијеле Славнић је испитивање динамике струјања течности и честица у реакторима са осцилаторним током флуида и примена на биохемијску реакцију са циљем њене интензификације. Прегледом литературе установљено је да постоји већи број радова у којима се аутори баве динамиком струјања течности, а предложено је и неколико корелација које повезују радне услове и геометријске параметре са величинама које дефинишу меру уздужног мешања течности. Међутим, показало се да предложене корелације нису довољно опште за употребу, те да нису добро описале различите системе реактора са осцилаторним током флуида. Емпиријска бездимензиона корелација развијена у оквиру ове докторске дисертације је једноставнија по форми, а при том шире примењива, што је потврђено поређењем са експериментима из овог рада, али и литературе.

Поред тога, оригиналност докторске дисертације проистиче из истраживања динамике струјања честица које се континуално уводе у РОТ. У литератури је присутан мали број радова који се бави овом проблематиком и у свима су честице присутне у реактору, не уводе се континуално. Такође су на основу предложеног модела и изведених експеримената, одређени бездимензиони параметри модела струјања, те су квантитативно анализирани утицаји радних услова на начин струјања. По први пут су, у овој докторској дисертацији, дефинисани режими струјања честица у РОТ, на основу теоријске анализе, као и експерименталних резултата.

Савременост докторске дисертације се такође огледа и у примени континуалног РОТ на биохемијску реакцију синтезе галактоолигосахарида. Галактоолигосахариди представљају један тип пребиотика и као такви су благотворни за људски организам – побољшавају цревну микробиоту и имунитет, редукују масноћу у крви, помажу организму у борби са туморима и успоравају старење. Поред тога могу се користити као адитиви у исхрани одојчади. Ова реакција је веома атрактивна управо због значајне употребе галактоолигосахарида. Реакција се изводи у присуству ензима као катализатора који могу бити у слободној форми или имобилисани на различитим носачима. У оквиру ове докторске дисертације изведен је кинетички модел за реакцију трансгалактозилације са ензимима у слободној форми (једнофазни систем) и имобилисаним на јонозмењивачкој смоли (вишефазни). Експериментални резултати су показали да се ова биохемијска реакција може успешно интензификовати применом РОТ. Такође је први пут постављен динамички вишефазни модел РОТ, за ензимски катализовану реакцију, који може представљати основу за даља истраживања и развој континуалног процеса синтезе ГОС.

3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру докторске дисертације кандидата Данијеле Славнић цитирано је 135 литературних навода, што је омогућило да се јасно прикаже стање у испитиваној области хемијског инжењерства, пројектовања и интензификације процеса применом реактора са осцилаторним током флуида. Највећи број радова чине чланци из међународних часописа објављених у последњих двадесет година са тематиком значајном за израду докторске дисертације. У наведеној литератури аутори су се бавили геометријом реактора са осцилаторним током флуида, расподелом времена задржавања, преносом масе и топлоте и применом реактора са осцилаторним током флуида на процесе/реакције који су значајни за различите гране индустрије. Истраживања приказана у наведеној литератури су описана и анализирана. Резултати истраживања су коришћени приликом дизајнирања опреме коришћене у експериментима и у постављању математичких модела у дисертацији. У оквиру наведене литературе наведени су и публиковани радови кандидата Данијеле Славнић проистекли из докторске дисертације. Треба напоменути и да је део поглавља I, II и III преузет из објављених радова аутора дисертације, уз тачно навођење извора. На основу наведене литературе коришћене у истраживању и писању дисертације, као и објављеним оригиналним радовима аутора, може се закључити да постоји веома добро познавање предметних области и актуелног стања истраживања од стране аутора дисертације.

3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације су остварена применом одговарајућих експерименталних, теоријских и нумеричких метода.

Динамика струјања течности, прецизније начин струјања течности кроз реактор под осцилаторним условима, одређена је применом методе импулсне побуде са обележеном супстанцом и одређивања одзива система. Након увођења обележене супстанце узети су узорци на излазу из реактора у одређеним временским интервалима и анализирани на UV/VIS спектрофотометру. На основу добијених резултата одређене су криве расподеле старости флуида на излазу из реактора, а на основу којих је утврђен утицај оперативних параметара на динамику струјања течности у ROT, квантификован и преко развијене емпиријске корелације.

Како би се одредила динамика струјања честица, односно квантификовао начин струјања честица, у реактор је увођена степенаста побуца са обележеним честицама и праћен је одзив система на уведену промену. Узорци суспензија, прикупљени на крају реактора у одређеним временским интервалима, су скенирани и анализирани помоћу програмског пакета ImageJ, који омогућава раздвајање честице по боји, те одређивања удела обележених честица. На тај начин је одређен одзив система на побуду, односно криве

расподеле времена задржавања честица у РОТ. На основу добијених резултата анализиран је утицај оперативних параметара на динамику струјања честица, која је квантификована бездимензионим бројем мешања

Реакција трансгалактозилације је извођена у РОТ помоћу ензима β – галактозидазе као катализатора. Наведена реакција је најпре изведена са слободним ензимима (присутних у раствору у изворној форми), а потом и са ензимима имобилисаним на честицама јоноизмењивачке смоле. Експерименти су изведени под повољним радним условима (амплитуде, фреквенције, концентрације честица у улазној суспензији и др.) утврђеним у претходним експерименталним фазама. Узорци прикупљени на излазу су анализирани применом течне хроматографије (HPLC) у циљу одређивања концентрације компоненти, те приноса реакције. Резултати добијени у РОТ су упоређени са резултатима из шаржног и пнеуматског реактора са спољашњом рецикулацијом.

Теоријске методе примењене у дисертацији подразумевају примену теорије стешњеног таложења честица, на основу биланса сила, као и детерминистичког математичког моделовања континуума, на основу биланса материје. Осим тога, коришћен је механистички приступ у дефинисању и извођењу модела брзине хемијске реакције.

Математички модели су постављени на више скала или нивоа описа: микроскопском, мезоскопском и макроскопском. На микроскопском нивоу, описана је хемијска кинетика реакције трансгалактозилације. На мезоскопском нивоу, описано је стешњено таложење честица, у суспензији која осцилује, а и квантификовано је мешање помоћу популационих биланса, те коефицијента дисперзије. Модели реактора обухватају материјалне билансе за хомогени систем (течност која осцилује), хетерогени систем са инертним честицама и хетерогени систем са имобилисаним ензимима и биохемијском реакцијом. На овај начин су описани феномени и режими струјања присутни у реакторским системима са осцилацијама на макроскопском нивоу.

У раду су примењене нумеричке методе, у циљу развоја и решавања динамичких математичких модела реактора са осцилаторним током, као и оптимизационе методе за одређивање константи постављених кинетичких модела. За симулације и естимације параметара су коришћени софтверски пакети: gPROMS и MATLAB, у којима су инкорпориране нумеричке методе за решавање парцијалних диференцијалних једначина и детерминистичке, градијентне методе оптимизације.

3.4 Применљивост остварених резултата

Резултати истраживања проистекли из дисертације кандидата Данијеле Славнић имају доприноса у реакторском инжењерству и интензификацији процеса. Резултати истраживања динамике струјања течности и честица у РОТ могу се користити у пројектовању и увећању размера процеса који укључују системе с осцилаторним током флуида. Развијена корелација којом се квантитативно описује кретање течности кроз РОТ може се применити на различите геометрије реактора и услове осцилаторног тока. У дисертацији је предложен метод за утврђивање доминантног режима струјања честица, а на основу унапред познатих података, што може бити примењено при избору услова и дизајнирању реактора за вишефазни РОТ.

Могућност интензификације процеса применом РОТ за прелазак са шаржног на континуални процес показана је на примеру биохемијске реакције синтезе галактоолигосахарида уз употребу слободних и имобилисаних ензима. Развијени модели РОТ, након унапређења, могу наћи примену у пројектовању и управљању континуалног процеса синтезе галактоолигосахарида.

У тези су дате практичне препоруке за подешавање радних услова у циљу постизања пожељног начина кретања течности и честица кроз реактор са осцилаторним током флуида, а на основу резултата истраживања ове дисертације. Примери се могу проширити и на друге реакционе системе значајне за хемијску и процесну индустрију, као и за примене у области заштите животне средине, биохемијског инжењерства и др. Стога, потенцијална примена је врло широка.

3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације, кандидат Данијела Славнић је показала изузетну способност у планирању и реализацији експеримената, примени различитих експерименталних метода, анализи резултата и моделовању и симулацији система. У току својих истраживања кандидат Данијела Славнић је показала смосталност и истрајност у раду, систематичност, креативност и самокритичност. Данијела Славнић је врло добро радила у тиму, захваљујући чему је настављена сарадња са истраживачком групом са катедре за Биохемијско инжењерство, Технолошко – металуршког факултета, Универзитета у Београду. На основу досадашњег залагања и постигнутих резултата, публикација у водећим научним часописима и научних и стручних доприноса дисертације, Комисија је мишљења да кандидат Данијела Славнић, дипл. инж. технологије поседује све неопходне квалитете за самосталан научно – истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације имају вишеструки научни допринос, при чему се може издвојити следеће:

- Допринос разумевању феномена динамике струјања течности у континуалним реакторима са осцилаторним током,
- Добро предвиђање начина струјања течности у РОТ применом развијене емпиријске бездимензионе корелације, те практични допринос за пројектовање ових реактора,
- Допринос сазнањима и разумевању феномена динамике вишефазног струјања честица кроз континуални реактор са осцилаторним током течности,
- Допринос предвиђању режима вишефазног струјања течно – честице у континуалном реактору са осцилаторним током, на основу критеријалних једначина изведених теоријском анализом,
- Иновативна примена континуалног реактора са осцилаторним током у интензификацији биохемијске реакције трансгалактозилације,
- Допринос сазнањима о брзини реакције трансгалактозилације, кроз развој кинетичког модела,
- Допринос моделовању и анализи реактора са осцилаторним током за примене у биохемијском инжењерству.

4.2 Критичка анализа резултата истраживања

Резултати истраживања дисертације кандидата Данијеле Славнић су у великој мери потврдиле почетне хипотезе. Испитана је динамика струјања течности кроз два геометријски слична реактора и на основу анализе експерименталних резултата, употребом модела клипног струјања са аксијалном дисперзијом и сазнања из литературе развијена је бездимензиона корелација којом се предвиђа начин струјања течности кроз РОТ. Развијена корелација је једноставнија од најчешће коришћене корелације у литератури и параметри, и може се применити на различите конфигурације система са осцилаторним током, што је показано применом ове корелације на експерименталне резултате доступне у литератури.

Резултати испитивања динамике струјања инертних честица кроз РОТ показали су да постоји аналогија утицаја оперативних параметара на начин струјања честица у односу на струјање течности у РОТ. Сходно томе, постављен је сличан математички модел и на основу експеримената је естимиран бездимензиони број мешања који показује одступање

од идеалног клипног кретања честица. На основу теоријске анализе засноване на опису стешњеног таложења и кретања у осцилаторним условима суспензије честица, утврђена су четири режима струјања честица, који су потврђени помоћу експеримената.

У трећем делу истраживања, потврђена је хипотеза да се биохемијска реакција трансгалактозилације помоћу ензима β – галактозидазе као катализатора може интензификовати применом континуалног реактора са осцилаторним током. Експериментални резултати овог дела дисертације показују да се у РОТ остварује већи принос реакције трансгалактозилације и са ензимима у слободној форми и са имобилисаним ензимима. Треба нагласити да су ови повољни резултати добијени за мала времена задржавања (која су се могла остварити у датом РОТ), када су приноси реакције релативно мали, па се не може поуздано утврдити скала побољшања. Ипак тренд већих приноса је утврђен у скоро свим изведеним експериментима.

Развијени динамички вишефазни математички модел РОТ није показао добро предвиђање, односно слагање са експерименталним резултатима. Анализа је показала да је највероватнији разлог за то нетачан/непоуздан кинетички модел реакције, чије су константе брзине изведене на основу недовољног броја експеримената. Ипак, модел представља врло добру основу за даље истраживање и развој РОТ, након побољшања кинетичког модела и поузданијег утврђивања константи, који се могу применити у ширем опсегу радних услова.

У дисертацији су јасно изложене предности и недостаци примене РОТ, као и правци даљег истраживања.

4.3 Верификација научних доприноса

Кандидат Данијела Славнић је резултате истраживања из докторске дисертације објавила у часописима од међународног значаја и саопштавањем радова на међународним скуповима. Из области истраживања којој припада предложена тема докторске дисертације, Данијела Славнић је аутор: два рада категорије М22 и једног рада категорије М23. Такође, аутор је 3 саопштења приказана на међународним скуповима категорије М34, једног саопштења приказаног на националном скупу категорије М64 и коаутор је једног саопштења приказаног на међународном скупу категорије М33.

Рад у истакнутом међународном часопису (М22)

Slavnić D., Živković L., Bjelić A., Bugarski B., Nikačević N., Residence time distribution and Peclet number correlation for continuous oscillatory flow reactors, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 92, no. 8, pp.2178–2188, 2017 (**IF(2017) = 2,587**) (ISSN: 0268-2575)

Slavnić D., Bugarski B., Nikačević N., Solids flow pattern in continuous oscillatory baffled reactor, *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification*, vol. 135, pp. 108–119, 2019, (IF(2018) = 3,031) (ISSN 0255–2701)

Рад у међународном часопису (M23)

Slavnić D., Bugarski B., Nikačević N., Hemijski reaktori sa oscilirajućim tokom fluida, *Hemijska Industrija*: vol. 68, no. 3, pp. 363–379, 2014), (IF(2014)=0,364) (ISSN:0367–598X)

Саопштења са међународног скупа штампано у целини(M33)

Kljajić N., Todić B., **Slavnić D.**, Nikačević N., Turbulent flow modeling in continuous oscillatory flow baffled reactor using STAR CCM, 29th *European symposium on computer aided process engineering*, Eindhoven, Netherlands, 2019, vol. 46 , pp. 841–846

Саопштења са међународног скупа штампано у изводу (M34)

D. Slavnić, B. Bugarski, N. Nikačević, Solids flow pattern in oscillatory baffled reactor, 10th European Congress of Chemical Engineering, 3th *European Congress of Applied Biotechnology and 5th European Process Intensification Congress*, Nice, France, 27.9 – 1.10.2015., p.14532.

D. Slavnić, M. Carević, D. Bezbradica, B. Bugarski, N. Nikačević, Synthesis of galacto-oligosaccharides in continuous oscillatory baffled reactor with immobilized enzymes, 10th *World Congress of Chemical Engineering*, Barcelona, Spain, 01. – 05.10. 2017.

D. Slavnić, M. Carević, D. Bezbradica, N. Nikačević, Continuous synthesys of galactooligosacharides in liquid-solid oscillatory flow reactor, 2nd *International Process Intensification Conference* , Leuven, Belgium 27. – 29.05. 2019.

Саопштење са националног скупа штампано у изводу (M64)

D. Slavnić, L. Živković, A. Bjelić, B. Bugarski, N. Nikačević, Raspodela vremena zadržavanja u reaktoru sa oscilirajućim tokom fluida, 51. *Savetovanje srpskog hemijskog društva*, Niš, 5. –7.6. 2014. godine, p. 33

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега наведеног Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Данијеле Славнић, дипл. инж. технологије, под насловом „Динамика струјања течности и честица у реакторима са осцилаторним током и примена на биохемијску реакцију уз употребу имобилисаних ензима" представља значајан и оригиналан научни допринос у ужој научној области Хемијско инжењерство, што је и потврђено објављивањем радова у часописима од међународног значаја. Постављени предмет и циљеви дисертације су остварени. Комисија је мишљења да докторска дисертација у потпуности испуњава све захтеване критеријуме као и да је кандидат током израде дисертације показао изузетну научно истраживачку способност, оригиналност и самосталност у свим фазама израде ове дисертације. Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих и приказаних резултата, Комисија предлаже Наставно – научном већу Технолошко – металуршког факултета, Универзитета у Београду, да прихвати овај Реферат, пружи на увид јавности поднету докторску дисертацију кандидата Данијела Славнић, дипл. инж. технологије, у законом предвиђеном року, као и да Реферат упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да након завршетка процедуре позове кандидата на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 20.05. 2020. године.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Дејан Безбрадица, редовни професор, Универзитет у Београду, Технолошко–
металуршки факултет

Др Бранко Бугарски, редовни професор, Универзитет у Београду, Технолошко–
металуршки факултет

Др Михал Ђуриш, научни сарадник, Универзитет у Београду, Институт за хемију,
технологију и металургију