

Факултет Технолошко-металуршки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

35/144
(Број захтева)
27. 6. 2025.
(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 чл. 48 ст. 5 тач. 3) Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“ бр. 201/2018, 207/2019, 213/2020, 214/2020, 217/2020, 230/21, 232/22, 233/22 и 236/22), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације::

КАНДИДАТ Стефан (Александар) Бошковић
(име, име једног од родитеља и презиме)

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

пријавио је докторску дисертацију под називом:

Математичко моделовање процеса електростатичке екструзије

из научне области: Технолошко инжењерство
Универзитет је дана 19. 1. 2022. својим актом под бр. 61206-170/2-22 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

Математичко моделовање процеса електростатичке екструзије

Име и презиме ментора: др Радојица Пешић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној 20. 3. 2025. одлуком факултета под бр. 35/48, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Зорица Кнежевић Југовић	редовни професор	Биохемијско инжењерство и биотехнологија	ТМФ
2.	Др Бранко Бугарски	редовни професор у пензији (од 30. 9. 2023.)	Хемијско инжењерство	ТМФ
3.	Др Александар Белић	научни саветник	Физика	Институт за физику
4.	Др Милан Миливојевић	ванредни професор	Хемијско инжењерство	ТМФ
5.	Др Верица Ђорђевић	доцент	Хемијско инжењерство	ТМФ

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности 9. 5. 2025.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана 26. 6. 2025.

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној **26. 6. 2025.**

одлуком факултета под бр. 35/149, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Зорица Кнежевић Југовић	редовни професор	Биохемијско инжењерство и биотехнологија	ТМФ
2.	Др Бранко Бугарски	редовни професор у пензији (од 30. 9. 2023.)	Хемијско инжењерство	ТМФ
3.	Др Александар Белић	научни саветник	Физика	Институт за физику
4.	Др Милан Миливојевић	ванредни професор	Хемијско инжењерство	ТМФ
5.	Др Верица Ђорђевић	доцент	Хемијско инжењерство	ТМФ

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

Студент је уписан на докторске студије школске 2017/2018. године.

Решењем декана бр. 20/171 од 2. 10. 2023. одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до 30. 9. 2026. године

ДЕКАНКА ФАКУЛТЕТА

др Мирјана Кијевчанин, 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



Република Србија
Универзитет у Београду
Технолошко-металуршки факултет

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ ФАКУЛТЕТ

Бр. 20/171

02. 10. 2023 год.
БЕОГРАД

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета у Београду бр. 201/2018") и члана 76. 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 **Стефан Бошковић**, број индекса 2017/4001, уписан у прву годину докторских академских студија школске 2017/2018 године продужава се рок за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до 30.09.2026 године.



Декан

Проф. др Петар Ускоковић

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. 41. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 26. 6. 2025. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата о оцени докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије у саставу: др Зорица Кнежевић-Југовић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Бранко Бугарски, редовни професор у пензији Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, др Александар Белић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за физику, Институт од националног значаја за Републику Србију, др Милан Миливојевић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет и др Верица Ђорђевић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, о прегледу и оцени урађене докторске дисертације под називом: „**Математичко моделовање процеса електростатичке екструзије**“ коју је поднео **Стефан Бошковић**, мастер инжењер технологије 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 Стефана Бошковића, под називом „**Математичко моделовање процеса електростатичке екструзије**“ Одлуком број: 61206-170/2-22 од 19. 1. 2022. године.

Верификација научних доприноса:

Категорија M21a:

1. **Bošković, S.A.**, Bugarski, B.: Two-phase electro-magneto-fluid dynamics model and its computational fluid dynamics implementation, - *Physics of Fluids*, vol. 36, no. 2, p. 022019, 2024 (**IF(2022)=4.6**) (ISSN: 1070-6631) (DOI: 10.1063/5.0190651).

Категорија M23:

1. **Bošković, S.A.**, Karač, A., Vrhovac, S.B., Belić, A., Bugarski, B.: Investigation of electrohydrodynamic calculations, - *Hemjska industrija*, vol. 76, no. 2, pp. 65-74, 2022 (**IF(2022)=0.9**) (ISSN: 1552-0633) (DOI: 10.2298/HEMIND211110010B).

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

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

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. 41. и 42. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 26. 6. 2025. године, донета је

О Д Л У К А

о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације

Именује се Комисија за одбрану докторске дисертације **Стефана Бошковића**, мастер инжењера технологије, са темом под називом „**Математичко моделовање процеса електростатичке екструзије**“, у саставу:

1. Др Зорица Кнежевић-Југовић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
2. Др Бранко Бугарски, редовни професор у пензији Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
3. Др Александар Белић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за физику, Институт од националног значаја за Републику Србију,
4. Др Милан Миливојевић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет,
5. Др Верица Ђорђевић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

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

Д Е К А Н К А

Проф. др Мирјана Кијевчанин

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Стефана Бошковића, мастер инжењера технологије

Одлуком број 2025-35/48 од 20.03.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидата Стефана Бошковића под насловом

Математичко моделовање процеса електростатичке екструзије

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

Школске 2017/18. године кандидат Стефан Бошковић, мастер инжењер технологије, уписао је докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, студијски програм Хемијско инжењерство.

18. новембра 2021. године је на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета одлука бр. 35/295 о именовању чланова Комисије за оцену подобности теме и кандидата Стефана Бошковића, мастер инжењера технологије, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Математичко моделовање процеса електростатичке екструзије“.

23. децембар 2021. године је на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду прихваћен извештај Комисије (одлука бр. 35/374) за оцену подобности теме и кандидата Стефана Бошковића, мастер инжењера технологије, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Математичко моделовање процеса електростатичке екструзије“.

19. јануар 2022. године је на седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду донета одлука 02 број: 61206-170/2-22 о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације кандидата Стефана Бошковића, мастер инжењера технологије, под називом: „Математичко моделовање процеса електростатичке екструзије“.

02. октобар 2023. године, решењем бр. 20/171, кандидату је одобрено продужење рока за завршетак докторских академских студија до 30.09.2026. године.

30. мај 2024. године је на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета одлука бр. 35/135 о промени ментора проф. др Бранка Бугарског због његовог одласка у пензију. За ментора је именован доц. др Радојица Пешић.

17. јун 2024. године је на седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду донета одлука 02 број: 61206-2145/2-24 о давању сагласности на Одлуку Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду о промени ментора проф. др Бранка Бугарског и именовању ментора доц. др Радојице Пешића.

20. марта 2025. године је на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета одлука (бр. 2025-35/48) о образовању Комисије за оцену докторске дисертације, у саставу који чине:

1. Др Зорица Кнежевић Југовић, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, Београд;
2. Др Бранко Бугарски, редовни професор у пензији Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, Београд;
3. Др Александар Белић, научни саветник Универзитета у Београду, Институт за физику, Београд;
4. Др Милан Миливојевић, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, Београд;
5. Др Верица Ђорђевић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, Београд.

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 Радојица Пешић, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет, је на основу објављених радова и искуства компетентан да руководи израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Стефан (Александар) Бошковић је рођен 08.01.1993. године у Београду, где је завршио основу школу и Шесту београдску гимназију. Основне академске студије је уписао на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду школске 2011/12. године и завршио школске 2015/16. са просечном оценом 9,73 на студијском програму Хемијско инжењерство, подручје Хемијско процесно инжењерство. На истом факултету и истом студијском програму је уписао и завршио мастер академске студије школске 2015/16. године са просечном оценом 10,00, стекавши звање мастер инжењер технологије – мастер хемијски инжењер, и уписао докторске академске студије школске 2017/18. године. На докторским академским студијама је положио све испите, укључујући и завршни испит, са оценом 10. Током студија је био стипендиста министарства надлежног за просвету (стипендија за изузетно надарене студенте и студентска стипендија). Добитник је награде Панта С. Тутунџић Технолошко-металуршког факултета за изузетан успех на првој, другој, трећој и четвртој години основних академских студија, као и за изузетан успех током студирања и завршетак студија школске 2014/2015 године, као и Специјалног признања Српског хемијског друштва за 2016. годину.

Обавио је студентску праксу у НИС-у, ЈКП Београдски водовод и канализација, Еон плус д.о.о. и IMG – Engineering & Construction. У Магдебургу у Немачкој је био гостујући истраживач у Макс Планк институту за динамику сложених техничких система од 04.04. до 01.07.2016. године. Радио је као инжењер развоја у Рафинерији нафте Београд у Београду од 14.03. до 18.08.2017. године. Стекао је звање истраживач приправник 2018. године и запослио се у Иновационом центру Технолошко-металуршког факултета у Београду, д.о.о, где и даље ради у звању истраживача сарадника. Радио је као истраживач приправник на

пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја „Развој нових инкапсулационих и ензимских технологија за производњу биокатализатора и биолошки активних компонената хране у циљу повећања њене конкурентности, квалитета и безбедности“ бр. ИИИ 46010 од 09.07.2018. до 31.12.2019. године и као истраживач сарадник на пројекту научно-технолошке сарадње са НР Кином „Development of novel fermentation products enriched with plant and mushroom extracts“ у периоду 2022-2024. године. Био је рецензент у једном међународном часопису. Говори енглески језик, а служи се француским.

Из области којој припада предложена тема докторске дисертације, кандидат је аутор, или коаутор, три научна рада у међународним часописима, два рада у националним часописима и два саопштења на међународним скуповима.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Стефана Бошковића, под називом: „Математичко моделовање процеса електростатичке екструзије“, написана је ћиричним писмом српског језика на укупно 103 стране куцаоног текста и садржи 31 слику, 8 табела и 132 библиографске јединице. Докторска дисертација садржи следећа поглавља: 1. *Увод*, 2. *Математичко моделовање процеса са утицајем електричног или магнетног поља*, 3. *Испитивани системи и методи*, 4. *Резултати и дискусија*, 5. *Закључци*, 6. *Списак ознака и скраћеница* и *Литература*. Поред овога, докторска дисертација садржи насловне стране на српском и енглеском језику, списак чланова комисије, сажетак на српском и енглеском језику и садржај. На крају докторске дисертације дата је биографија кандидата, изјава о ауторству, изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторске дисертације, изјава о коришћењу и оцена извештаја о провери оригиналности докторске дисертације.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу 1. *Увод* је приказан преглед процеса електростатичке екструзије и основа математичког моделовања. Процес електростатичке екструзије је разложен на потпроцесе, описано је на који начин се одвија процес, са којом опремом и дат је преглед постојећих теорија које приказују овај процес. Под основама математичког моделовања је укратко описан начин формирања математичког модела процеса, а описане су и електрохидродинамика, електромагнетофлуидодинамика и рачунарска динамика флуида.

Поглавље 2. *Математичко моделовање система са дејством електричног или магнетног поља* је подељено на три целине:

- У првој целини је дат облик корелационе једначине за пречник величине честица које се добијају као исход процеса електростатичке екструзије;
- У другој целини су дате једначине двофазног електрохидродинамичког модела савршеног диелектрика и различите врсте израза које су укључене у софтвер за рачунарску динамику флуида – између осталог су дати изрази за Навије-Стоксову једначину која укључује електричне силе (диелектричну и електростриктивну силу), изрази за електричне силе и величине неопходне за њихово израчунавање, израз за електрични Куронов број, као и изрази за електричну пермитивност којима се узима у обзир постојање два флуида;
- У трећој целини је дато извођење двофазног електромагнетофлуидодинамичког модела (ЕМФД) и описан начин његовог укључивања у софтвер за рачунарску динамику флуида – у ове изразе спадају и Навије-Стоксова једначина у коју су

укључене електрична, магнетна и електромагнетна сила, затим појединачни изрази за ове три силе и изрази за величине које су неопходне за њихово израчунавање, као и изрази за електрични и магнетни Курунов број, при чему су одређени изрази поједностављени и прилагођени коришћеном софтверу за рачунарску динамику флуида.

У поглављу 3. *Испитивани системи и методи* су наведени подаци и методи коришћени приликом формирања корелационе једначине за пречник величине коначно добијених честица у процесу електростатичке екструзије и приликом симулација вршених софтвером за рачунарску динамику флуида, посебно за двофазни електрохидродинамички модел савршеног диелектрика и посебно за ЕМФД модел. За симулације софтвером су наведене карактеристике коришћених једнодимензионих, осносиметричних и тродимензионалних геометрија, мреже, коришћени гранични услови, карактеристике флуида, као и начин обраде резултата. За модел савршеног диелектрика су детаљно описане једнодимензионе симулације и симулације у којима се флуидна кап окружена другим флуидом деформише под утицајем електричног поља. За ЕМФД модел су детаљно описане симулације у којима се кап окружена другим флуидом деформише под утицајем електричног или магнетног поља, затим симулације процеса електропоређења и електроспреј процеса, као и предвиђања величине честица које се добијају у процесу електростатичке екструзије. Приликом обраде резултата су коришћени и софтвери Paraview и Gnuplot.

Поглавље 4. *Резултати и дискусија* је такође подељено на три дела:

- Најпре су дати резултати и дискусија за коришћену корелациону једначину која повезује пречник величине честица добијених процесом електростатичке екструзије са битним процесним параметрима, али која ипак има ограничену применљивост;
- У другом делу су дати резултати и дискусија повезани са симулацијама извршеним коришћењем софтвера за рачунарску динамику флуида који је проширен са двофазним електрохидродинамичким моделом савршеног диелектрика – извршене су једнодимензионе симулације при постојању електричног поља које су коришћене приликом одабира најпогоднијих варијанти израза за одређене величине и симулације у којима је флуидна кап окружена другим флуидом у којима електрично поље доводи до деформације капи које су биле блискије аналитичким предвиђањима од резултата других аутора доступних у литератури;
- У трећем делу су дати резултати симулација извршених употребом софтвера за рачунарску динамику флуида проширеним са електромагнетофлуидодинамичким моделом (ЕМФД), што је модел који је први пут постављен у овом раду. Резултати симулација су такође продискутовани и извршено је њихово поређење са резултатима добијеним применом аналитичких једначина и резултатима датим у литератури. Ове симулације су обухватале:
 - симулације деформације капи окружене другим флуидом када деформацију изазива електрично или магнетно поље. У случају утицаја електричног поља на деформацију капи добијени резултати су ближи резултатима добијеним из аналитичких једначина у односу на резултате из литературе. У случају утицаја магнетног поља на деформацију капи добијени резултати су блиски резултатима које даје аналитичка једначина;
 - симулације процеса електропоређења које су први пут у овом раду изведене употребом Навије-Стоксове једначине и чији резултати су веома блиски резултатима добијеним на основу аналитичке једначине;
 - симулације електроспреј процеса, као дела процеса електростатичке екструзије, при чему је један од флуида био високопроводљив. На основу резултата ових симулација израчунате су величине честица које се добијају у

процесу електростатичке екструзије, а добијени резултати су приближнији лабораторијским резултатима објављеним у литератури у односу на резултате које дају аналитичке једначине.

У поглављу 5. *Закључци* су сумирани резултати спроведених истраживања, која су обухваћена овом дисертацијом, и наглашени су главни научни доприноси истраживања.

У поглављу 6. *Списак ознака и скраћеница* су наведене ознаке и скраћенице које су коришћене у докторској дисертацији.

Поглавље *Литература* садржи наводе цитиране у докторској дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Процес електростатичке екструзије се примењује у многим областима истраживања и индустрије, као на пример у биотехнологији, фармацији и хемијском инжењерству. Упркос релативно широкој примени у пракси, приметан је недостатак математичких модела који би описали споменути процес на одговарајући начин и који би омогућили адекватна израчунавања параметара процеса. Овај проблем је посебно изражен у случају рада са високопроводљивим течностима. Постављање довољно доброг математичког модела је корак који је потребан како би била омогућена оптимизација процеса електростатичке екструзије, а употреба овог процеса постала још чешћа, како у лабораторијама, тако и у индустрији.

У овој дисертацији су разматрани феномени који припадају пољу електрохидродинамике, која је савремена наука и која ипак и даље има нека фундаментална питања која су тренутно нерешена. Почевши од, на пример, питања које силе уопште треба урачунати у прорачуну, а које се смеју занемарити. Услед тога, свако ново откриће које се тиче основа прорачуна у електрохидродинамици може имати утицаја на велики број будућих истраживања. Такође, закључци до којих се дође могу имати утицаја и на друга поља у којима се испитује утицај електричног или електромагнетног поља (нпр. на оптику).

Оригиналност ове докторске дисертације се најјасније може видети по томе што је у њој изведен нови електромагнетофлуидодинамички модел система под утицајем електричног и магнетног поља, који је при томе био двофазан, користећи изворе из електромагнетике и механике флуида, уз мањи утицај електрохидродинамике и магнетохидродинамике. Оригиналност ове дисертације се може видети и по томе да је први пут неки електромагнетофлуидодинамички модел уопште уграђен у неки софтвер. Такође, у овој дисертацији је процес електропредења први пут симулиран коришћењем неког модела који укључује Навије-Стоксову једначину. Сам модел је, између осталог, применљив и на високопроводљиве флуиде.

На основу наведеног се може закључити да су у овој докторској дисертацији обрађене савремене теме на оригиналан начин.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији је цитирано 132 литературна извора објављених у периоду од 1908. до 2024. године. У оквиру литературних навода налазе се углавном референце новијег датума, али су присутне и старије референце које се још увек користе у својим областима. Коришћена литература је првенствено из области електростатичке екструзије и електроспреј процеса, електрохидродинамике, електромагнетике и рачунарске динамике флуида. На основу коришћене литературе, може се закључити да је Кандидат адекватно упознат са разматраним областима и да прати актуелна истраживања.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У дисертацији је, најпре, постављена полуемпиријска корелација за израчунавање пречника честица добијених у процесу електростатичке екструзије, чији облик је одређен на основу одговарајућих теоријских једначина. Одређене су вредности појединих коефицијената у корелацији на основу литературно доступних података, за које сврхе је коришћен нелинеарни решавач генерализованог смањеног градијента из софтвера Microsoft Excel 2010.

С обзиром да је електрохидродинамика од раније успостављена област која се бави протицањем течности под утицајем електричног поља, у овом раду је оправдано размотрана њена употреба приликом дефинисања математичког модела процеса електростатичке екструзије (у којем управо долази до протицања флуида у електричном пољу) и дубље је извршена анализа модела који су већ присутни у оквиру ове области. С друге стране, с обзиром да електрохидродинамика има одређена ограничења, њихово превазилажење је изведено употребом електромагнетике и механике флуида, како би се поставио електромагнетофлуидодинамички модел (ЕМФД). С обзиром на то да у процесу електростатичке екструзије у систему постоје два флуида, и ЕМФД модел и електрохидродинамички модел савршеног диелектрика су дефинисани тако да буду применљиви у двофазним системима.

Пошто је процес електростатичке екструзије систем са протицањем флуида, у раду је примењена рачунарска динамика флуида, који је омогућио адекватну симулацију процеса. Оба модела дефинисана у раду су уграђена у софтвер за рачунарску динамику флуида OpenFOAM® (двофазни електрохидродинамички модел савршеног диелектрика уграђен у верзију 8, а двофазни ЕМФД модел уграђен у верзију 9). Софтвер OpenFOAM® је веома широко коришћен софтвер који је способан за прављење различитих геометрија и мрежа и за широки спектар различитих симулација у оквиру динамике флуида, а како се ради о софтверу отвореног кода написаном у програмском језику C++, могуће је у њега уградити нове моделе којима би се повећао број могућих врста симулација. У овом раду је искоришћен двофазни решавач interFoam који већ постоји у споменутом софтверу, али који не укључује ни утицај електричног поља нити утицај магнетног поља на флуиде који протичу, тако да је решавач проширен на начин да ови утицаји буду узети у обзир. Ова одлука је оправдана с обзиром на то да решавач interFoam може да се користи и за симулацију процеса екструзије течности када нема утицаја електричног поља. Геометрије и мреже за потребе прорачуна су направљене коришћењем софтвера OpenFOAM®. Резултати симулација добијени коришћењем проширених решавача су обрађивани коришћењем алата за накнадну обраду резултата у оквиру софтвера OpenFOAM®, софтвером Paraview и софтвером Gnuplot. Резултујуће деформације капи и пречници млаза течности код процеса електропредења су упоређени са резултатима добијеним на основу аналитичке једначине. Извршена је симулација електроспреј процеса (који представља део процеса електростатичке екструзије), а добијене величине капи су искоришћене за израчунавање величине честица добијених на крају целог процеса електростатичке екструзије. Добијени резултати су упоређени са резултатима које дају аналитичке једначине, као и са експерименталним резултатом датим у литератури.

3.4. Применљивост остварених резултата

На основу резултата добијених приликом истраживања, може се закључити да ова докторска дисертација даје допринос и да је применљива како за сами разматрани процес електростатичке екструзије (који се користи у биотехнологији, фармацији и хемијском инжењерству), тако и за друге процесе и у другим пољима.

Приликом разматрања модела савршеног диелектрика из електрохидродинамике изведен је одређени број закључака и запажања који су применљиви и на друге моделе за

описивање протицања флуида при утицају електричног поља. Наиме, испитивана је употребљивост у прорачуну различитих израза за диелектричну силу, и показано је да електростриктивна сила утиче на резултате прорачуна (што може допринети чак и дискусији у вези са овом силом у оквиру поља оптике). Такође, показано је да провером ротора јачине електричног поља могу да се открију нумеричке грешке у прорачуну, а и изведен је израз за електрични Куронов број и испитивана су различита подешавања прорачуна.

У овом раду је и изведен нови двофазни електромагнетофлуидодинамички (ЕМФД) модел. Први пут је електромагнетофлуидодинамички модел уопште уграђен у софтвер за рачунарску динамику флуида. Овај модел је применљив и на лабораторијском и на индустријском нивоу, а применљив је и на високопроводљиве флуиде. С обзиром да је применљив на случајеве на које је применљива рачунарска динамика флуида, у овој дисертацији је коришћен не само за симулацију процеса електростатичке екструзије, већ и за прорачуне у случају процеса електропоређења и за случајеве када је кап једног флуида окружена другим флуидом и деформише се услед утицаја електричног или магнетног поља. У овој дисертацији је први пут симулиран процес електропоређења коришћењем модела који укључује Навије-Стоксову једначину. На основу ове дисертације је могуће наставити са откривањем нових примена овде датог ЕМФД модела, као и наставити развој електромагнетофлуидодинамике и уградњу ЕМФД модела и у друге софтвере.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

У свом досадашњем научно-истраживачком раду и током израде докторске дисертације, кандидат Стефан Бошковић, мастер инжењер технологије, показао је изразиту самосталност у решавању сложених инжењерских теоријских и нумеричких проблема. Претраживање и анализу литературних података је обавио на студиозан и аналитичан начин, на основу чега је поставио и успешно реализовао концепт постављања математичког модела процеса кроз проширење постојећег решавача у оквиру софтвера за рачунарску динамику флуида. Да би то урадио, успешно је овладао знањима везаним за програмирање у одређеном програмском језику и коришћењем других дигиталних алата. Такође, самостално и успешно је презентовао резултате свог научноистраживачког рада кроз писање и објављивање научних радова. На основу досадашњег залагања и показане стручности, Комисија је мишљења да кандидат поседује све квалитете који су неопходни за самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси докторске дисертације кандидата Стефана Бошковића огледају се у следећем:

- изведен је нови електромагнетофлуидодинамички модел (ЕМФД), за симулацију процеса у двофазним проточним системима, који може да се укључи у софтвере за рачунарску динамику флуида и који је применљив и на лабораторијском и на индустријском нивоу;
- електромагнетофлуидодинамички модел је први пут укључен у софтвер за рачунарску динамику флуида;
- процес електропоређења је први пут симулиран коришћењем модела који укључује Навије-Стоксову једначину;
- електроспреј процес је симулиран за случај у којем је била високопроводљива течност;

- у оквиру електрохидродинамике је показано да електростриктивна сила утиче на резултате симулација, да се израчунавањем вредности ротора јачине електричног поља могу открити нумеричке грешке у прорачуну, а изведен је и електрични Куронов број за који је показано да је побољшао квалитет прорачуна.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Главни резултат истраживања докторске дисертације кандидата Стефана Бошковића је постављање новог електромагнетофлуидодинамичког (ЕМФД) модела. Овај модел је значајан због тога што је изведен полазећи од електромагнетике и механике флуида уз мањи утицај електрохидродинамике и магнетохидродинамике, при чему је модел двофазни, може бити укључен у софтвере за рачунарску динамику флуида, а може бити примењен и на лабораторијском и на индустријском нивоу. Због свега овога, овај ЕМФД модел може допринети разумевању сложених мултифизичких система и представљати основ за даљи развој електромагнетофлуидодинамике као засебне области.

У овој докторској дисертацији није извршено само извођење ЕМФД модела, већ је први пут неки ЕМФД модел уопште укључен у неки софтвер за рачунарску динамику флуида. С обзиром на то да је описан и начин на који је ово укључивање извршено и да је описан начин на који су превазиђене тешкоће које су се при томе појавиле, олакшано је могуће будуће укључивање овог или неких будућих ЕМФД модела како у коришћени софтвер, тако и у друге софтвере за рачунарску динамику флуида.

Значајан резултат истраживања представљају и извршене симулације. Процес електропоређења је први пут симулиран коришћењем модела који укључује Навије-Стоксову једначину, што је значајно због значаја процеса електропоређења за примену у различитим пољима, као и због чињенице да се он већ увелико користи у различите сврхе. Пошто су дати детаљи симулација, очекује се да то олакша будуће симулирање процеса електропоређења. Електроспреј процес (који представља део процеса електростатичке екструзије) је такође симулиран и то за случај у којем је коришћена високопроводљива течност што чини овај случај посебно тешким за симулирање, а овај резултат истраживања битним и самим тим што је показано да је уопште могуће извршити овакву симулацију.

У раду су дата и одређена разматрања на основу модела савршеног диелектрика која се тичу електрохидродинамике и која могу допринети и овој науци и укључивању електрохидродинамичких модела у софтвере за рачунарску динамику флуида. Ова разматрања се тичу и одређених основа електрохидродинамике, попут тога које електричне силе треба укључити у прорачуне, итд. Показано је да електростриктивна сила ипак утиче на резултате прорачуна и да је квалитет прорачуна слабији уколико се она занемари. Дата су и разматрања која се тичу и начина прорачуна. Констатовано је да чак и када се у софтвер укључи исправан електрохидродинамички модел може доћи до веома великих нумеричких грешака, које се могу приметити ако се провери вредност ротора јачине електричног поља. Кроз ове провере је показано и какве мреже је боље користити за нумерички прорачун и како подешавати сам прорачун. Изведен је и електрични Куронов број који је, такође, уведен у прорачун како би се побољшали резултати прорачуна.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Стефан Бошковић, мастер инжењер технологије и студент докторских академских студија Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду је резултате истраживања добијене у току израде докторске дисертације потврдио објављивањем научних радова у међународним и националним часописима. Такође је објавио и радове у зборницима научних скупова међународног значаја штампаних у целини.

Научни радови категорије M20 који су произашли као резултат рада кандидата на докторској дисертацији:

Категорија M21a:

1. **Bošković, S.A.**, Bugarski, B.: Two-phase electro-magneto-fluid dynamics model and its computational fluid dynamics implementation, - *Physics of Fluids*, vol. 36, no. 2, p. 022019, 2024 (**IF(2022)=4.6**) (ISSN: 1070-6631) (DOI: 10.1063/5.0190651).

Категорија M21:

1. Petrović, P., Balanč, B., Mijalković, J., Đukić, T., **Bošković, S.**, Đorđević, V., Bugarski, B., Nedović, V., Knežević-Jugović, Z.: Complexation with Alginate in Pumpkin Leaf Protein Solutions for the Encapsulation of Folic Acid: The Effect of Extraction Protocols, - *Foods*, vol. 22, no. 13, p. 3695, 2024 (**IF(2022)=5.2**) (ISSN: 2304-8158) (DOI: 10.3390/foods13223695).

Категорија M23:

1. **Bošković, S.A.**, Karač, A., Vrhovac, S.B., Belić, A., Bugarski, B.: Investigation of electrohydrodynamic calculations, - *Hemijska industrija*, vol. 76, no. 2, pp. 65-74, 2022 (**IF(2022)=0.9**) (ISSN: 1552-0633) (DOI: 10.2298/HEMIND211110010B).

4.4. Провера оригиналности докторске дисертације

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, коришћењем програма iThenticate извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидата Стефана Бошковића, мастер инжењера технологије, под називом: „Математичко моделовање процеса електростатичке екструзије“. Провера оригиналности ове докторске дисертације је извршена 24.03.2025. године и утврђено је да подударање текста износи 3%. Највеће подударности се односе на два научна рада која је објавио аутор дисертације што је у складу са чланом 9. Правилника, а велики број подударности се односи на изворе који се односе на теме и области које немају никакве везе са темом ове докторске дисертације, што показује да се ради искључиво о техничком подударању одређеног броја речи. На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити (позитивна оцена).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега наведеног Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Стефана А. Бошковића, мастер инжењера технологије, под насловом „Математичко моделовање процеса електростатичке екструзије“ представља значајан и оригиналан научни допринос у области којој дисертација припада, што је и потврђено објављивањем радова у часописима међународног значаја. Предмет и циљеви који су дефинисани у извештају за оцену научне заснованости теме су остварени. Стога, Комисија је мишљења да ова докторска дисертација испуњава све захтеване критеријуме као и да је кандидат током израде дисертације показао научно-истраживачку способност у свим фазама израде 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 се докторска дисертација под називом: „Математичко моделовање процеса електростатичке екструзије“ кандидата Стефана Бошковића, мастер инжењера технологије, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, и да се након завршетка ове процедуре кандидат позове на усмену одбрану Дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 15.04.2025. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Зорица Кнежевић Југовић, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Бранко Бугарски, редовни професор у пензији
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Александар Белић, научни саветник
Универзитет у Београду, Институт за физику

.....
Др Милан Миливојевић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Верица Ђорђевић, доцент
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет