

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

1780/5

(Број захтева)

19.01.2023.

(Датум)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације и о одређивању ментора

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

**„УТИЦАЈ СМИЦАЊА НА КОЕФИЦИЈЕНТ ОТПОРА МЕХУРА ПРИ ДВОФАЗНОМ
МЕХУРАСТОМ СТРУЈАЊУ“**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ

Механика флуида

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

- Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:
МИЛАН (МЛАЂЕН) РАКОВИЋ
- Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):
Мастер студије - Машински факултет Београд
- Година завршетка претходног нивоа студија: 2016.
- Година уписа на докторске студије: 2016.
- Назив студијског програма докторских студија: Машинско инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: др Александар Тоћић

Звање: ванредни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Burazer J., Novković Dj., **Ćočić A.**, Bukurov M., Lečić M.: Numerical Study of the L/D Ratio and Turbulent Prandtl Number Effect on Energy Separation in a Counter-Flow Vortex Tube, Journal of Applied Fluid Mechanics, 2022, Vol. 15, No. 5, pp. 1503-1511, ISSN: 1735-3645, IF=1,566, <https://doi.org/10.47176/jafm.15.05.1168> (M23)
2. Raković M., Radenković D., **Ćočić A.**, Lečić M.: Euler-Euler numerical simulations of upward turbulent bubbly flows in vertical pipes with low-Reynolds-number model, Advances in Mechanical Engineering, 2022, 14(4), ISSN: 1687-8140, IF=1,566, <http://dx.doi.org/10.1177/16878132221094909> (M23)
3. Janović N., **Ćočić A.**, Stamenić M., Janović A., Djurić M.: Side asymmetry in nasal resistance correlate with nasal obstruction severity in patients with septal deformities: Computational fluid dynamics study, Clinical Otolaryngology, 2020, 45(5):718-724, ISSN: 1749-4486, IF=3,270, <https://doi.org/10.1111/coa.13563> (M21)
4. **Ćočić A.**, S. Djordjević V.D.: One-dimensional analysis of compressible flow in solar chimney power plants, Solar Energy, Vol. 135, 2016, pp. 810-820, ISSN 0038-092X, IF 4.739, DOI: 10.1016/j.solener.2016.06.051 (M21)
5. Lečić M.R., **Ćočić A.S.**, Burazer J.M.: An Experimental Investigation and Statistical Analysis of Turbulent Swirl Flow in a Straight Pipe, Thermal Science, Vol. 21, Suppl. 3, 2017, pp S691-S704, ISSN 0354-9836, IF 1.433, <https://doi.org/10.2298/TSCI160201191L> (M22)
6. Burazer J.M., **Ćočić A.S.**, Lečić M.R.: Numerical Research of the Compressible Flow in a Vortex Tube Using OpenFOAM Software, Thermal Science, Vol. 21, Suppl. 3, 2017, pp S745-S758, ISSN 0354-9836, IF=1.433, <https://doi.org/10.2298/TSCI160223195B> (M22)
7. Novković Dj.M., Burazer J.M., **Ćočić A.S.**: Comparison of Different CFD Software Performances in the Case of An Incompressible Air Flow Through a Straight Conical Diffuser, Thermal Science, Vol. 21, Suppl. 3, 2017, pp S863-S874, ISSN 0354-9836, IF=1.433, DOI:10.2298/TSCI161020329N (M22)
8. Lečić M.R., **Ćočić A.S.**, Čantrak S.M.: Positioning Devices for Measuring Spatial Velocity Correlations in Turbulent Swirl Flow in the Pipe by Hot-Wire Probes, Experimental Techniques, vol. 40 (1), 2016, pp. 121-128, ISSN: 0732-8818, IF=1.018, <https://doi.org/10.1111/ext.12052> (M23)
9. **Ćočić A.S.**, Lečić M.R., Čantrak S.M.: Numerical analysis of axisymmetric turbulent swirling flow in circular pipe, Thermal Science, Vol. 18 (2), 2014, pp. 493-505, ISSN 0354-9836, IF=1.222, DOI: 10.2298/TSCI130315064C, (M23)
10. Lečić M.R., **Ćočić A.S.**, Čantrak S.M.: Original Measuring and Calibration Equipment for Investigation of Turbulent Swirling Flow in Circular Pipe, Experimental Techniques, Vol. 38(3), 2014, pp. 54-62, ISSN: 0732-8818, IF = 1.018, <https://doi.org/10.1111/j.1747-1567.2012.00812.x> (M23)

Обавештавамо вас да је Наставно – научно веће на седници одржаној 19.01.2023. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Прилог:

1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

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

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 1780/5
Датум: 19.01.2023. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Милана Раковића, маг. инж. маш.**, бр. 1780/1 од 10.11.2022. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Милан Лечић, ред. проф., др Владимир Стевановић, ред. проф., др Снежана Милићев, ванр. проф., др Новица Јанковић, доц. и др Душан Продановић, ред. проф., Универзитет у Београду – Грађевински факултет а на основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 64. Статута Машинског факултета – пречишћени текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 19.01.2023. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **МИЛАН РАКОВИЋ, маг. инж. маш.**, испуњава услове за израду докторске дисертације **«УТИЦАЈ СМИЦАЊА НА КОЕФИЦИЈЕНТ ОТПОРА МЕХУРА ПРИ ДВОФАЗНОМ МЕХУРАСТОМ СТРУЈАЊУ»**.

Одлуком ННВ број 1780/3, од 15.12.2022. године за ментора докторске дисертације Милана Раковића, маг. инж. маш. именован је др Александар Ћоћић, ванр. проф.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата **Милана М. Раковића, маг. инж. маш.** за израду докторске дисертације.

На основу поднете пријаве за израду докторске дисертације кандидата Милана М. Раковића, маг. инж. маш., број 1780/1 од 10.11.2022. године, затим дате сагласности Колегијума наставника Катедре за механику флуида број 1780/2 од 30.11.2022. године и Одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 1780/3 од 15.12.2022. године именовани смо за чланове Комисије за подношење реферата о теми докторске дисертације кандидата Милана М. Раковића, маг. инж. маш.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

о теми докторске дисертације под насловом

Утицај смицања на коефицијент отпора мехура при двофазном мехурастом струјању

1 Подаци о кандидату

1.1 Биографски подаци

Милан (Млађен) Раковић рођен је 08.04.1992. у Београду. Основну школу „Растко Немањић-Свети Сава“ у Новој Пазови завршио је 2007. године као носилац Вукове дипломе. Средњу школу „Земунска гимназија“ похађао је у периоду од 2007. до 2011. године и све четири године завршио са одличним успехом. Матурски рад је урађен на тему „Динамика флуида“.

По завршетку средње школе уписује се на Машински факултет Универзитета у Београду 2011. године. Основне академске студије завршава 2014. године са просечном оценом 9,93 (9 и 93/100) и наградом Студент генерације. Завршни (B.Sc.) рад на тему „Хидрауличне турбине у малим, мини и микро хидроенергетским постројењима“ одбрањен је са оценом 10 (десет) код проф. др Ивана Божића.

Мастер академске студије на модулу Хидроенергетика уписује 2014. године, а завршава их 2016. године са просечном оценом 9,90 (9 и 90/100) и наградом Студент генерације. Мастер (M.Sc.) рад урађен је на тему „Нумерички прорачун турбулентног струјања воде кроз цев са уграђеном мерном блендом“ под менторством проф. др Александра Тоћића. Рад је одбрањен са оценом 10 (десет).

Након дипломирања, 2016. године, кандидат уписује докторске академске студије на Машинском факултету у Београду при Катедри за механику флуида (број индекса Д05/2016). Као студент докторских студија изводио је аудиторне и лабораторијске вежбе из предмета *Механика флуида Б* на трећој години основних академских студија у току школске 2016/2017 године. Као добитник стипендије Министарства просвете, науке и технолошког развоја, ангажован је на пројекту под називом „Примена савремених мерних и прорачунских техника за изучавање струјних параметара вентилационих система на моделу енергетски изузетно ефикасног (пасивног) објекта“ чији је евиденциони број ТР35046.

Од 21. децембра 2017. запослен је на Машинском факултету у звању асистента при Катедри за механику флуида. У наредном периоду настављено је ангажовање кандидата у извођењу аудиторних и лабораторијских вежби на предмету *Механика флуида Б*. Од 2019. године кандидат је члан тима Лабораторије за механику флуида Машинског факултета у Београду и почиње активно да учествује у њеном раду.

1.2 Стечено научно-истраживачко искуство

Од уписа докторских студија кандидат учествује у извођењу наставе на предмету *Механика флуида Б*, одржавајући аудиторне и лабораторијске вежбе. Кандидат је учествовао у Комисијама за оцену и одбрану 3 мастер рада. Паралелно са наставним активностима, кандидат учествује у научним истраживањима која се спроводе при Катедри за механику флуида и која обухватају експериментални и нумерички приступ.

1.2.1 Активности на Докторским студијама

Кандидат Милан М. Раковић маг. инж. маш. је уписао Докторске студије на Машинском факултету у Београду школске 2016/2017. године и до сада је положио све испите предвиђене планом и програмом докторских студија. Положени испити са ЕСПБ бодовима и оценама су приказани у Табелама 1 - 4 које представљају положене испите у сваком од семестара на Докторским студијама.

Табела 1: Први семестар Докторских академских студија.

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
Виши курс математике	Проф. др Слободан Радојевић	5	10 (десет)
Нумеричке методе	Проф. др Миодраг Спалевић	5	10 (десет)
ОМНИР и комуникација	Проф. др Милош Недељковић	5	10 (десет)
Динамика вискозног нестишљивог флуида	Проф. др Милан Лечић	5	10 (десет)
Истраживање и публикување - I	Проф. др Александар Тоћић	10	10 (десет)

Табела 2: Други семестар Докторских академских студија.

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
Одабрана поглавља из механике флуида	Проф. др Цветко Црнојевић	5	10 (десет)
Теорија преноса масе, импулса и енергије	Проф. др Невена Стевановић	5	10 (десет)
Математичке методе механике флуида	Проф. др Снежана Милићев	5	10 (десет)
Истраживање и публикавање - II	Проф. др Александар Ђоћић	15	10 (десет)

Табела 3: Трећи семестар Докторских академских студија.

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
Вишефазна струјања Д	доц. др Дарко Раденковић	5	10 (десет)
Моделирање турбулентних струјања	доц. др Дарко Раденковић	5	10 (десет)
Истраживање и публикавање - III	Проф. др Милан Лечић	20	10 (десет)

Табела 4: Четврти семестар Докторских академских студија.

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
Истраживање и публикавање IV	Проф. др Александар Ђоћић	8	10 (десет)
Пројекат идеје докторске дисертације	Проф. др Милан Лечић	22	10 (десет)
	Проф. др Александар Ђоћић		
	доц. др Дарко Раденковић		

Кандидат је положио 4 обавезна предмета, 5 изборних предмета и 4 испита који обухватају активности истраживања и публикавања. Након свих положених испита кандидат је одбранио *Пројекат идеје докторске дисертације* пред Комисијом у следећем саставу: др Милан Лечић, ред. проф., др Александар Ђоћић, ван. проф. и др Дарко Раденковић, доцент. Тиме је кандидат остварио укупно 120 ЕСПБ бодова, чиме је испунио основни услов да пријави тему докторске дисертације.

1.2.2 Списак објављених научних радова

Као резултат истраживачког рада кандидат је објавио 8 радова у научним часописима и на скуповима међународног значаја:

Радови објављени у међународним часописима (M21-M23)

- [1] **Raković M**, Radenković D., Ćočić A., Lečić M., *Euler-Euler numerical simulations of upward turbulent bubbly flows in vertical pipes with low-Reynolds-number model*. Advances in Mechanical Engineering, 14(4), 2022. IF(2021): 1,623 (M23).
<https://doi.org/10.1177/16878132221094909>

- [2] Radulović S., Milković D., **Raković M.**, Simić G., Kostić A., *Influence of the Head Wind on Determining Braking Performance of Zaccs Tank Wagon*, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 19, No. 6, 2022, 81-98, ISSN 1785-8860. IF (2021): 1,711 (M23)
http://acta.uni-obuda.hu/Radulovic_Milkovic_Rakovic_Simic_Kostic_124.pdf

Рад у часопису међународног значаја верификованом посебном одлуком (M24)

- [3] Jović A. S., **Raković M. M.**, Čantrak Dj. S., Janković N. Z.: *Do-it-Yourself Microfluidics and Possibilities for Micro PIV*, FME Transactions, VOL. 46, No 4, 2018, pp. 525-529.

Саопштења са међународних скупова штампана у целини (M33)

- [4] **Raković M. M.**, Ćočić A. S., Lečić M. R.: *Numerical study on aerodynamic drag reduction of a tractor-trailer model*, 7th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Turbulence Minisymposium, Sremski Karlovci, Serbia, June 24-26, 2019, ISBN 978-86-909973-7-4, paper M3c, pp. 1-8
- [5] Ćočić A. S., **Raković M. M.**, Ilić D. B., Lečić M.R., *Numerical Computations of Turbulent Flow Through Orifice Flow Meter*, 6th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Turbulence Minisymposium, Mountain Tara, Serbia, June 19-21, ISBN: 978-86-909976-6-7, COBISS.SR-ID 237139468, paper M2a, pp. 1-10

Саопштења са међународних скупова штампана у изводу (M34)

- [6] Novković Dj. M., Burazer J. M., **Raković M.M.**, Lečić M.R.: *Assessment of the turbulence modeling accuracy on the TKE level in swirl-free diffuser flow*, ICAS 2018, Book of abstracts, 09.05.2018. - 11.05.2018., ISBN 978-99938-39-80-4, page 162.
- [7] **Raković M. M.**, Ćočić A. S., Crnojević C. Dj., Lečić M. R.: *Numerical Study of Flow Past Solid Sphere using OpenFOAM*, ICAS 2018 Book of abstracts, 09.05.2018.- 11.05.2018., ISBN 978-99938-39-80-4, page 164.
- [8] **Raković M.**, Radenković D., Ćočić A. and Lečić M.: *Influence of the drag coefficient of a single bubble in vertical upward turbulent bubbly flows*, ICAS 2022 Book of abstracts, 25.05.2022.-28.05.2022., ISBN: 978-99938-39-99-6, page 85.

1.3 Учешће у научноистраживачким пројектима

Милан Раковић је тренутно учесник на пројекту под називом „Примена савремених мерних и прорачунских техника за изучавање струјних параметара вентилационих система на моделу енергетски изузетно ефикасног (пасивног) објекта“ чији је евиденциони број ТР35046 и који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

1.4 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу приказаног прегледа наставних и научно-истраживачких активности кандидата Милана Раковића, Комисија констатује да је кандидат положио све испите предвиђене планом и програмом Докторских студија, одбранио Пројекат идеје докторске дисертације, чиме је стекао укупно 120 ЕСПБ бодова и остварио услов да му се одобри израда докторске дисертације.

Кандидат је публикувао више радова у научним часописима и научним скуповима који припадају ужој научној области механика флуида.

Према мишљењу Комисије, биографски подаци, научно-истраживачки рад, положени испити и објављени радови, квалификују кандидата Милана Раковића за самосталан и успешан научно-истраживачки рад на предложеној теми докторске дисертације.

2 Предмет и циљ истраживања

Због значајне примене у индустријским постројењима и честе појаве у природи, област вишефазног струјања је чест предмет истраживања [1], [2], [3]. Основна карактеристика вишефазног струјања је да се оно јавља у различитим облицима. При томе треба имати у виду да се својства различитих облика вишефазног струјања могу међусобно значајно разликовати, па је веома тешко направити свеобухвати математички модел који би успешно описао све облике вишефазног струјања.

Мехурасти ток представља једну од врста вишефазног струјања у којој је вода континуална, тј. носећа фаза, а мехурови гаса ношена, тј. распршена или дисперзна фаза. Ова врста вишефазног струјања је често била предмет експерименталних и нумеричких испитивања [4], [7], [8]. Када се говори о нумеричким симулацијама двофазног мехурастог тока, треба напоменути да коначан договор око облика основних једначина које описују ову врсту струјања још увек није постигнут [1], [2]. У овим једначинама појављују се силе које треба да опишу међусобно деловање фаза током струјања. Изрази за силе који описују то међудејство нису универзални и често њихова директна примена не даје увек резултате са задовољавајућом тачношћу [7]. Једна од сила чије исправно математичко моделирање има велики утицај на тачност нумеричког прорачуна двофазног мехурастог струјања је сила отпора мехура.

Због значаја силе отпора посвећује се велика пажња њеном физичко-математичком моделирању, те стога у литератури постоји више предложених израза за коефицијент отпора. Такође, уочено је да коефицијент отпора нема исту вредност када се мехур налази у униформној струји флуида и када се налази у струји флуида у којој постоји градијент брзине [9]. Дакле, постоји утицај смицања на вредност коефицијента отпора мехура. Због тога је уведена корекција при рачунању коефицијента отпора која узима у обзир степен смицања. Показано је да увођење ове корекције при рачунању коефицијента отпора доприноси тачнијим резултатима нумеричких прорачуна [7]. Међутим, постојећа корекција коефицијента отпора се може користити само у нумеричким прорачунима у којима се користе турбулентни модели за високе вредности Рејнолдсовог броја (енгл. High-Reynolds Number Turbulence Models - HRN). Ако се постојећа корекција коефицијента отпора

искористи заједно са турбулентним моделима за ниске вредности Рејнолдсовог броја (енгл. Low-Reynolds Number Turbulence Models - LRN) резултате није могуће добити јер се јавља нестабилност и дивергенције решења током нумеричког прорачуна.

Циљ истраживања у овој докторској дисертацији је утврђивање разлога за немогућност коришћења постојеће корекције коефицијента отпора заједно са LRN турбулентним моделима. Анализом постојећих, и у литератури доступних, експерименталних резултата треба предложити нову корекцију коефицијента отпора која ће успешно узети у обзир утицај смицања на вредност коефицијента отпора и коју ће бити могуће користити са LRN турбулентним моделима. Та могућност треба да представља њену основну предност у односу на постојећу корекцију.

Да би предложена корекција била тестирана, њу је потребно имплементирати у програмски код софтвера OpenFOAM и потом извршити серију нумеричких прорачуна мехурастог струјања. Прорачуне треба извршити са новом корекцијом и без ње. Резултате и једне и друге групе нумеричких прорачуна треба упоредити са експерименталним резултатима који су доступни у литератури. Оваквим поређењем могуће је извести закључке о утицају нове корекције коефицијента отпора.

Нова корекција коефицијента отпора, са доказаном предношћу у односу на постојећу корекцију, треба да представља оригинални научни допринос.

2.1 Релевантна литература

- [1] Guan Heng Yeoh, Jiyuan Tu, *Computational Techniques for Multi-Phase Flows*, (2009.) ISBN: 9780080914893
- [2] Bengt Andersson, Ronnie Andersson, Love Hakansson, Mikael Mortensen, Rahman Sudiyo, Berend van Wachem *Computational Fluid Dynamic s for Engineers*, Cambridge University Press, (2012), ISBN:9781139093590, DOI:<https://doi.org/10.1017/CBO9781139093590>
- [3] Мане Шашић, *Транспорт флуида цевима*, Машински факултет Универзитета у Београду, (1982)
- [4] Liu T. *Experimental investigation of turbulence structure in two-phase bubbly flow*, PhD Thesis, Northwestern University, Evanston, IL, USA, 1989.
- [5] T.J. Liu, S.G. Bankoff, *Structure of air-water bubbly flow in a vertical pipe—I. liquid mean velocity and turbulence measurements*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 36, Issue 4, 1993, Pages 1049-1060, ISSN 0017-9310, [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(05\)80289-3](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(05)80289-3).
- [6] T.J. Liu, S.G. Bankoff, *Structure of air-water bubbly flow in a vertical pipe—II. Void fraction, bubble velocity and bubble size distribution*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 36, Issue 4, 1993, Pages 1061-1072, ISSN 0017-9310, [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(05\)80290-X](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(05)80290-X).
- [7] Hosokawa S. and Tomiyama A. *Multi-fluid simulation of turbulent bubbly pipe flows*, Chem Eng Sci 2009; 64: 5308–5318.

- [8] Shawkat M.E., Ching C.Y. and Shoukri M. *Bubble and liquid turbulence characteristics of bubbly flow in a large diameter vertical pipe*, Int J Multiphase Flow 2008; 34: 767–785.
- [9] Legendre D. and Magnaudet J. *The lift force on a spherical bubble in a viscous linear shear flow*, J. Fluid Mech 1998; 368: 81–126.
- [10] Colombo M., Rzehak R., Fairweather M. et al. *Benchmarking of computational fluid dynamic models for bubbly flows*, Nucl Eng Des 2021; 375: 111075.
- [11] Colombo M. and Fairweather M. *Multi-fluid computational fluid dynamic predictions of turbulent bubbly flows using an elliptic-blending Reynolds stress turbulence closure*, Front Energy Res 2020; 8: 44.

Аутори књига које нуде шира академска знања у области вишефазног струјања, као што су [1]–[3], сагласни су у томе да коначан блик основних једначина вишефазног струјања није постигнут, и да је ова област истраживања захтевнија у односу на случај једнофазног струјања флуида.

До времена развоја нумеричких поступака за решавање основних једначина, и развоја рачунара који су способни да такве прорачуне изврше, доминантно је било ослањање на експериментална испитивања.

Обимно експериментално испитивање спроведено је у докторској дисертацији [4]. Постигнути резултати су касније објављени у радовима [5] и [6]. Испитивано је двофазно мехурасто струјање у вертикалној цеви кружног попречног пресека, пречника $D = 38 \text{ mm}$ и укупне дужине $L = 2800 \text{ mm}$. За стварање двофазног тока, испод улаза у вертикалну цев је постављен сноп од 64 паралелне игле кроз које се у воду уводи ваздух. Пре стварања мешавине измерени су протоци обе фазе коришћењем мерних бленди. За мерења у самом мерном пресеку, коришћене су сонде са ужареним влакном. Обрадом резултата добијени су подаци о профилима брзине течне фазе, профилима брзине гасовите фазе, затим о профилима кинетичке енергије турбуленције и о расподели удела гасовите фазе по попречном пресеку. Испитивање обухвата чак 48 случајева који су добијени комбиновањем различитих вредности протока фаза. Овако обимно експериментално истраживање је важно јер може послужити за валидацију нумеричких резултата.

Слично експериментално испитивање је представљено у раду [7]. Овде је коришћена вертикална цев мањег пречника $D = 25 \text{ mm}$, укупне дужине $L = 2000 \text{ mm}$. За стварање двофазног тока коришћена је посебно пројектована комора, чија геометрија је приказана у раду. За мерење брзине течне фазе коришћен је ЛДА систем. Обрадом сигнала израчунава се и кинетичка енергија турбуленције течне фазе. За праћење кретања мехурова гаса коришћене су две брзе камере. Синхронизацијом снимања добијају се слике мехурова из два међусобно управна правца, што даје могућност да се обрадом слика одредити брзина кретања мехура, његов облик и запремина. Такође, одређује се расподела удела гасовите фазе по попречном пресеку. И ова база експерименталних података представља важан критеријум за валидацију нумеричких резултата. Овај рад има још један велики значај за ову докторску дисертацију, јер су у овом раду приказани и резултати нумеричких прорачуна, о чему ће бити речи.

Пошто однос пречника цеви и пречника мехура може имати значајаног утицаја на расподелу мехурова по попречном пресеку цеви, важно је и експериментално испитивање спроведено у великој цеви пречника $D = 200 \text{ mm}$ и укупне дужине $L = 9560 \text{ mm}$. Оно је приказано у раду [8]. Ту су као резултат приказани профили брзина обе фазе и профили удела гасовите фазе.

Докторска дисертација кандидата Милана М. Раковића се највише ослања на радове [7] и [9]. Основна тема рада је утицај смицања на коефицијенте отпора и узгона чврсте честице. Закључци до којих се дошло важе и за мехурове. Извршеним директним нумеричким прорачунима опструјавања свере струјом флуида са градијентом брзине, показано је да постоји утицај смицања на вредности коефицијената отпора и узгона. Дата је препорука за увођење корекције коефицијента отпора која узима у обзир утицај смицања. Ова корекција зависи од степена смицања.

У раду [7] након спроведеног експеримента, који је већ описан, извршене су нумеричке симулације струјања. Том приликом је у нумеричким прорачунима коришћена корекција коефицијента отпора, предложена у раду [9]. Анализом резултата закључено је да уведена корекција утиче на резултате нумеричких прорачуна и да они боље одговарају експерименталним резултатима. Нумерички прорачуни су извршени уз коришћење зидних функција и стандардног $k - \epsilon$ турбулентног модела, који је турбулентни модел високог Рејнолдсовог броја.

Отворено је питање да ли је у прорачунима вишефазног струјања оправдано користити зидне функције које су изведене за случај једофазног струјања. Да би се избегла ова дилема користе се LRN турбулентни модели који не користе зидне функције као граничне услове. Оваквих случајева у литератури има мало, као што су [10] и [11].

Међутим, корекција из рада [9] се не може користити у прорачунима заједно са LRN турбулентним моделима. Неопходно је физичко-математичким моделирањем доћи до израза за корекцију силе отпора мехура која ће имати ту могућност. Затим, нову корекцију је потребно имплементирати у програмски код и тестирати кроз примену у нумеричким прорачунима и поређењем тако добијених резултата са доступним експерименталним резултатима [5], [6], [7] и [8].

3 Полазне хипотезе

Основне научне хипотезе од којих ће се поћи у истраживању двофазног межурастог струјања у вертикалним цевима везане су за примену основних закона механике флуида: закон о одржања масе и закон о промени количине кретања. За описивање двофазног струјања користи се модел два флуида, што значи да се основне једначине пишу за сваку фазу, и да у једначинама постоје чланови који треба да опишу међусобно деловање фаза. Међу тим члановима се налази и сила отпора. Приликом дефинисања израза за рачунање коефицијента отпора треба узети у обзир утицај смицања.

Струјање је стационарно и изотермско, вода је нестишљив флуид, а ваздух се третира као идеалан гас. Свака фаза има своју брзину, док се сматра да фазе деле заједничко поље притиска. За описивање феномена турбуленције у течном фазу користи се Рејнолдсов статистички приступ и $k - \epsilon$ Launder Sharma турбулентни модел, који спада LRN турбулентне моделе. Струјање ваздуха се сматра ламинарним.

4 Научне методе истраживања

Применом методе коначних запремина врши се дискретизација полазног система основних једначина. Систем дискретизованих једначина се итеративно решава коришћењем одговарајућег алгоритма. У овом случају то је PIMPLE алгоритам. За извршавање нумеричког прорачуна потребно је поставити одговарајуће граничне и почетне услове. Као резултат нумеричког прорачуна добијају се вредности физичких величина у дискретним тачкама прорачунског простора. Величине које се одређују су брзине обе фазе, притисак, кинетичка енергија турбуленције течне фазе, удео фаза. Од интереса је посматрати расподелу ових физичких величина у пресецима прорачунског простора који одговарају мерним пресецима извршених експеримената, да би се спровело поређење резултата.

5 Очекивани научни допринос

У оквиру докторске дисертације биће извршено физичко-математичко моделирање и добијање новог израза за коефицијент отпора који треба да узме у обзир утицај смицања. Нова корекција треба да буде таква, да за разлику од постојеће, буде компатибилна са турбулентним моделима ниског Рејнолдсовог броја. Нову корекцију треба имплементирати у софтвер за нумеричко прорачунавање струјања флуида. Треба извести низ нумеричких прорачуна, резултате упоредити са доступним експерименталним подацима и извести закључке о ефикасности нове предложене корекције коефицијента отпора.

6 План истраживања и структура рада

6.1 План истраживања

План истраживања предложене докторске дисертације састоји се из следећих фаза:

- Прикупљање, преглед и анализа доступне литературе.
- Упознавање са методологијама решавања проблема у области дисертације.
- Примена одговарајуће методологије на решавање проблема у предложеној области истраживања.
- Анализа добијених резултата.
- Валидација добијених резултата у докторату кроз поређење са одговарајућим резултатима доступним у литератури.
- Верификовање добијених резултата кроз публикацију научно-истраживачког рада.

6.2 Структура рада

Планирано је да се докторска дисертација састоји из следећих поглавља:

- Увод
- Преглед постојећих истраживања
- Основне једначине вишефазног струјања
- Турбуленција у вишефазним струјањима
- Моделирање чланова који описују међусобно деловање фаза
- Нумерички прорачуни мехурастог струјања
- Експериментално испитивање мехурастог струјања
- Закључак
- Прилог
- Списак коришћене литературе

7 Закључак и предлог

На основу Одлуке Наставно-научног већа број 1780/3 од 15.12.2022. године, за ментора кандидата **Милана М. Раковића**, маг. инж. маш. током рада на докторској дисертацији именован је др Александар Тоћић, ванредни професор Универзитета у Београду - Машинског факултета са чиме је Комисија сагласна.

На основу пријаве теме кандидата Милана Раковића, маг. инж. маш., Комисија за оцену подобности и научне заснованости теме закључује да је предложена тема научно утемељена, актуелна и подобра за израду докторске дисертације. Такође, Комисија закључује да кандидат испуњава све предвиђене услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Машинског факултета, и да поседује истраживачке способности за рад на докторској дисертацији. Стога Комисија предлаже Већу докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду да се кандидату Милану Раковићу, маг. инж. маш., студенту Докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду, одобри израда докторске дисертације под називом:

Утицај смицања на коефицијент отпора мехура при двофазном мехурастом струјању

Тема припада области техничких наука - машинство, ужој научној области - Механика флуида.

Београд, 26. децембар 2022. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Милан Лечић, редовни професор,
Универзитет у Београду - Машински факултет

др Владимир Стевановић, редовни професор,
Универзитет у Београду - Машински факултет

др Снежана Милићев, ванредни професор,
Универзитет у Београду - Машински факултет

др Новица Јанковић, доцент,
Универзитет у Београду - Машински факултет

др Душан Продановић, редовни професор,
Универзитет у Београду - Грађевински факултет

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:1780/3
Датум: 15.12.2022.
Београд, Краљице Марије бр.16

На основу члана 64. Статута Машинског факултета Универзитета у Београду број 1136/4 од 28.06.2021. године и члана 20. а сагласно члану 29. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду од 24.05.2016.г., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној дана 15.12.2022. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Именује се **др Александар Ћоћић, ванр. проф.** за ментора докторске дисертације **„УТИЦАЈ СМИЦАЊА НА КОЕФИЦИЈЕНТ ОТПОРА МЕХУРА ПРИ ДВОФАЗНОМ МЕХУРАСТОМ СТРУЈАЊУ“** кандидата **МИЛАНА РАКОВИЋА, маг. инж. маш.** студента докторских студија.

Одлуку доставити: ментору, докторанту и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић