

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

935/4
(Број захтева)Већу научних области техничких наука(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)14.07.2022.
(Датум)

ЗАХТЕВ
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОЦЕВИМА

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Механика флуида

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: ИВА (ИВАН) ГУРАНОВ2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд3. Година дипломирања: 2010.

4. Назив магистарске тезе кандидата: _____

5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: _____

6. Година одбране магистарске тезе: _____

7. Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: _____

Година уписа докторских студија: 2010.Обавештавамо Вас да је _____ Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 14.07.2022
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.

2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 935/4
Датум: 14.07.2022. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Иве Гуранов**, магист. инж. маш., бр. 820/1 од 25.05.2022. године да јој се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Снежана Милићев, ванр. проф., др Невена Стевановић, ред. проф., др Милан Лечић, ред. проф., др Александар Ћоћић, ванр. проф. и др Маша Букуров, ред. проф., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, број 935/3 од 04.07.2022. године, 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 14.07.2022. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **ИВА ГУРАНОВ**, магист. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОЦЕВИМА»**.

За менторе студенту **Иви Гуранов**, именују се **др Снежана Милићев, ванр. проф. и др Невена Стевановић, ред. проф.**

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Машински факултет

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата **Иве И. Гуранов** за израду докторске дисертације

На основу Пријаве за израду докторске дисертације број 820/1 од 25.05.2022. године коју је поднела кандидаткиња Ива И. Гуранов, маг. инж. маш., студент Докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду, сагласности Катедре за механику флуида број 935/1 од 15.06.2022. године и одлуке Наставно научног већа Машинског факултета у Београду број 935/2 од 23.06.2022. године именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под насловом

„Струјања разређеног гаса у микроцевима“

На основу материјала приложеног уз захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Ива (Иван) Гуранов рођена је 18.09.1986. г. у Загребу, Република Хрватска. Основну школу „Свети Сава“ у Житишту и Техничку школу у Зрењанину, смер машински техничар, завршила је са одличним успехом и за постигнуте резултате награђена је дипломама „Вук Стефановић Караџић“.

Школске 2005/2006. године уписала се на Машински факултет Универзитета у Београду. Основне академске студије завршила је 2008. године са просечном оценом 9,63 (девет и 63/100) са оценом 10 (десет) на завршном раду под насловом „Истраживање буке вентилатора“ из предмета Пумпе и вентилатори, ментор проф. др Милош Недељковић. Дипломске академске (мастер) студије уписала је школске 2008/2009. године на модулу Хидроенергетика. Дипломски-мастер рад на тему „Примена *OpenFOAM*-а при истраживању ламинарног струјања у криволинијском каналу квадратног попречног пресека“ одбранила је 01.10.2010. са оценом 10 (десет), ментор проф. др Милан Лечић. Просечна оцена током мастер студија је 9,80 (девет и 80/100).

Школске 2010/2011. уписује Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду, број индекса Д10/10. Кандидаткиња је положила све испите на Докторским студијама са просечном оценом 10,00 (десет). Од 01. јануара 2011. запослена је на Машинском факултету Универзитета у Београду у својству истраживача-сарадника на пројекту Министарства науке, просвете и технолошког развоја „Примена савремених мерних и прорачунских техника за изучавање струјних параметара вентилационих система на моделу

енергетски изузетно ефикасног (пасивног) објекта“, број пројекта: ТР 35046, руководилац пројекта: проф. др Милан Лечић.

Током Основних академских, Мастер академских и Докторских академских студија за постигнуте резултате добитник је следећих награда, признања и стипендија, а остварила је и наведена додатна искуства:

Награде и признања

- Награде за изузетан успех и постигнуту просечну оцену на свим годинама Основних академских студија (прва година 9,28; друга година 9,90; трећа година 9,67) и свим годинама Дипломски академских-мастер студија (прва година 9,64; друга година 9,90)

Стипендије

- Стипендија СЕЕРУС програма за студентску размену: Катедра за енергетику, Машински факултет, Технички универзитет у Либерецу, Чешка, 1. – 28. Јун 2011.
- Стипендија Фондације за развој научног и уметничког подмлатка Републике Србије, октобар 2008. – октобар 2010.
- Стипендија Министарства просвете Републике Србије, октобар 2006. – септембар 2008.

Додатна искуства

- Активно учествовала у еталонирањима мерила протока ваздуха (гаса) у оквиру Лабораторије за механику флуида, Машинског факултета Универзитета у Београду, према методи еталнирања NIST Special Publication 250-49 (NIST Calibration Service for Gas Flow Meters), 2012-2018.
- Уверење о похађању и положеном курсу за коришћење CAD софтвера – Autodesk Inventor, број: 01-VI-020/13, Београ, мај 2013.
- Признање за обављену праксу програма „БГ пракса – 2010“, Београдске електране, мај – новембар 2010.
- Сертификат за учешће на Светском првенству ваздухопловних моделара у класи собних модела (категорија F1D) организованог у сарадњи са Међународном ваздухопловном федерацијом FAI, Ваздухопловни савез Србије, Београд, 9-14. август 2010.
- Признање за похађање курса: Инспекција на бази ризика – област енергетика, у оквиру пројекта: „ESPRiT-Steinbeis Advanced Risk Technologies“, диплома бр. 16411-3/27/2009, Београд, март 2009.

Кандидаткиња поседује и наведено знање страних језика, као и познавање наведених оперативних система, софтверских пакета и програмских језика:

Знање страних језика

- Српски језик, – матерњи језик
- Енглески језик – виши ниво
- Немачки језик – почетни ниво

Познавање оперативних система, софтверских пакета и програмских језика

- Оперативни системи: Windows, GNU/Linux
- Софтверски пакети: Autodesk Inventor, AutoCAD, SolidWorks, MatLab, Microsoft Office, Libre Office, Latex, OpenFOAM, Xfig, GIMP, Gnuplot, Octave, SciLab
- Програмски језици: Fortran, Java, JavaScript, Kotlin

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

1.2.1. Преглед положених испита

Кандидаткиња Ива И. Гуранов је уписала Докторске академске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2010/2011. године. Положила је све испите предвиђене Програмом усавршавања са просечном оценом 10,00. Приказ свих положених испита дат је у наредној табели.

Ред. бр.	Назив предмета	Година студија и ЕСПБ				Оцена
		1. година		2. година		
		1. сем. (30)	2. сем. (30)	1. сем. (30)	2. сем. (30)	
1.	ОМНИР и комуникација (о)	5				10 (десет)
2.	Виши курс математике (о)	5				10 (десет)
3.	Нумеричке методе (о)	5				10 (десет)
4.	Теорија хидродинамичке стабилности (и)	5				10 (десет)
5.	Одабрана поглавља из механике флуида (о)		5			10 (десет)
6.	Математичке методе механике флуида (и)		5			10 (десет)
7.	Виши курс биомеханике флуида (и)		5			10 (десет)
8.	Турбулентна струјања (и)			5		10 (десет)
9.	Локомоторни биоинжењеринг (и)			5		10 (десет)
10.	Истраживање и публикување 1	10				10 (десет)
11.	Истраживање и публикување 2		15			10 (десет)
12.	Истраживање и публикување 3			20		10 (десет)
13.	Истраживање и публикување 4				8	10 (десет)
14.	Пројекат идеје докторске дисертације				22	10 (десет)

Легенда: о – обавезни предмет, и – изборни предмет.

1.2.2. Учесће у извођењу наставе

Кандидаткиња је активно укључена у наставни процес и ангажована на одржавању аудиторних вежби (шк. 2011/2012., 2012/2013., 2014/2015., 2015/2016.) и лабораторијских вежби (шк. 2011/2012., 2012/2013., 2013/2014., 2014/2015., 2015/2016.) на предмету Механика флуида Б на Машинском факултету Универзитета у Београду. Од 2010/2011. континуално учествује у организацији и одржавању испита, како катедре за Механику флуида, тако и Факултета.

У току школске 2014/2015. и 2015/2016. активно је укључена у наставни процес и ангажована на одржавању аудиторних вежби, као и у организацији и одржавању испита на предметима: Механика флуида, Механика 1, Механика 2, Техничка механика, Наука о чврстоћи, Отпорност материјала, на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду.

1.2.3. Списак објављених радова

Категорија M20 - радови објављени у научним часописима међународног значаја

1.2.3.1. Рад у врхунском међународном часопису (категорија M21)

- [1] Kostić S., Stojković M., **Guranov I.** and Vasović N.: *Revealing the background of groundwater level dynamics: Contributing factors, complex modeling and engineering applications*, CHAOS SOLITONS & FRACTALS, Vol. 127 (October 2019), ISSN: 0960-0779, (<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2019.07.007>), pp. 408-421.

1.2.3.2. Рад у међународном часопису (категорија M23)

- [1] **Guranov I.**, Milićev S., Stevanović N.: *Non-isothermal rarefied gas flow in microtube with constant wall temperature*, ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING, Vol. 13 (2021), (DOI: 10.1177/16878140211065147), pp. 1-9.

1.2.3.3. Рад у националном часопису међународног значаја (категорија M24)

- [1] Kostić S., **Guranov I.**, Vasović N. and Kuzmanović D.: *MECHANICS OF WEATHERED CLAY-MARL ROCK MASSES ALONG THE RUPTURE SURFACE IN HOMOGENEOUS DRY SLOPES*, Theoretical and Applied Mechanics, Published by Serbian Society of Mechanics and Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts, Vol. 43 (2016), Issue 1, ISSN/ISBN: 1450-5584, (DOI: 10.2298/TAM160531005K), pp. 85-98.

Категорија M30 - зборници међународних научних скупова

1.2.3.4. Саопштење са међународног скупа штампано у целини (категорија M33)

- [1] **Guranov I.**, Milićev S. and Stevanović N.: *PRESSURE DISTRIBUTION IN MICROTUBES WITH VARIABLE CROSS SECTION*, Proceedings of the The 7th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Sremski Karlovci, June 24-26, 2019, ISSN/ISBN: 978-86-909973-7-4, (COBISS.SR-ID 277232652), pp. 1-8 (F1a)
- [2] **Guranov I.**, Kostić S. and Vasović N.: *PERIODIC AND AUTOREGRESSIVE MODELS OF GROUNDWATER LEVEL DYNAMICS*, Proceedings of the The 6th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Tara, June 19-21, 2017, ISSN/ISBN: 978-86-909973-6-7, (COBISS.SR-ID 272288012), pp. 1-10 (I2d)
- [3] Kostić S., **Guranov I.** and Vasović N.: *NONLINEAR TIME SERIES ANALYSIS OF FLUID DYNAMICS: STOCHASTIC GROUNDWATER LEVEL OSCILLATION*, Proceedings of the The 5th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Arandjelovac, June 15-17, 2015, ISSN/ISBN 978-86-7892-715-7, (COBISS.SR-ID 296997639), pp. 1-8 (F1b).
- [4] **Guranov I.**, Ćoćić A. and Lečić M.: *Numerical Studies of Viscoelastic Flow Using the Software OpenFOAM*, PAMM-Special Issue: 84th Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics (GAMM), Novi Sad 2013, Vol 13, No 1, ISSN/ISBN: 1617-7061, (DOI: 10.1002/pamm.201310276), pp. 591-592.
- [5] Ćoćić, A., **Guranov, I.**, Lečić, M.: *Numerical investigation of laminar flow in square curved duct with bend*, Proceedings of the 3rd International Congress of Serbian Society of Mechanics, Vlasina Lake, Serbia, July 2011, ISSN/ISBN 978-86-909973-3-6, (COBISS:SR-ID 187662860), pp. 1275-1283.

- [6] Ćoćić, A., **Guranov, I.**: *An Overview of OpenFOAM CFD Software*, Proceedings of Third International Symposium Contemporary problems of Fluid Mechanics, Belgrade, Serbia, May 2011, ISSN/ISBN: 978-86- 7083-725- 6, pp. 119-126.

1.2.3.5. Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (категорија M34)

- [1] **Guranov I.**, Milićev S. and Stevanović N.: *INFLUENCE OF SECOND ORDER EFFECTS ON PRESSURE DISTRIBUTION IN MICROTUBES*, Proceedings of the 8th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Kragujevac, June 28-30, 2021, ISSN/ISBN: 978-86-909973-8-1, (COBISS.SR-ID 41508105), pp. 93-94
- [2] **Guranov I.**, Milićev S. and Stevanović N.: *AN ISOTHERMAL COMPRESSIBLE SLIP GAS FLOW THROUGH MICROTUBE*, Book of abstracts - 6th International conference of applied science (ICAS 2018), University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, Banja Luka, May 09-11, 2018, ISBN: 978-99938-39-80-4, pp. 35-35

Категорија M80 - техничко решење

1.2.3.6. Ново техничко решење (метода) примењено на националном нивоу (категорија M82)

- [1] Костић С., **Гуранов И.** и Васовић Н.: *Нов поступак прорачуна стабилности косина у интактним чврстим стенским масама, стенским масама са једним предоминантним механичким дисконтинуитетом и стенским масама са развијеном кором површинског распадања*, Прихваћено на VIII седници Матичног одбора за уређење, заштиту и коришћење земљишта, воде и ваздуха Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, 23.10.2017.

1.2.4. Учесће у научним пројектима

1. Истраживач-сарадник, од 01.01.2011, на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја: ТР 35046, под називом „*Примена савремених мерних и прорачунских техника за изучавање струјних параметара вентилационих система на моделу енергетски изузетно ефикасног (пасивног) објекта*“, руководилац: др Милан Лечић, редовни професор.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходног приказа резултата досадашњег рада кандидаткиње Иве И. Гуранов, Комисија је стекла увид у способности и научно-истраживачки рад кандидаткиње и констатује да је:

- Кандидаткиња положила све испите и извршила све обавезе предвиђене наставним планом и програмом Докторских студија, и тако стекла 120 ЕСПБ бодова, чиме је остварила услов да јој се одобри израда докторске дисертације;
- Публиковала више радова у научним часописима и научним скуповима из области којој припада предложена тема докторске дисертације.

Биографски подаци, положени испити, научне и стручне активности, исказано интересовање, истраживачки рад и објављени радови, према мишљењу Комисије,

квалификују Иву И. Гуранов за самосталан и успешан научно-истраживачки рад на предложеној теми.

2. Предмет и циљ истраживања

Струјање гаса кроз микроцеви, које се карактерише као разређено струјање, представља случај струјања који се данас може срести у многим областима, као и у деловима различитих уређаја. Микро-електро-механички системи (MEMS) представљају системе чија је карактеристична димензија реда величине микрометра. Њихова примена се среће у разним областима индустрије и медицине. Данас се развијају системи све мањих и мањих димензија, јер напредак индустрије и развој технолошких процеса омогућавају јефтинију израду оваквих уређаја. Неизоставни део MEMS-а су микроцеви које могу бити провидне, флексибилне, биокомпатибилне, што их чини погодним за примену у биомедицини. Микроцеви су често и део микроактуатора, сензора, вентила, као и микроизмењивача топлоте. Микроизмењивачи топлоте се користе као расхладни уређаји у разним гранама индустрије: аутомобилској, ваздухопловној и процесној индустрији, енергетици, термотехници, микроелектроници, биоинжењерингу, итд. Зато су проблеми који се разматрају при струјању разређеног гаса у микроцевима веома актуелни, па је допринос истраживањима у овој области веома значајан.

У области механике флуида, увек је актуелна потреба за развојем тачних аналитичких и лако поновљивих решења. Уколико се оваква решења верификују поређењем са резултатима других аутора (експерименталним, нумеричким), њихова даља примена може бити врло корисна и разнолика. Могу се користити при развоју одговарајућих система, као и за верификацију решења добијених другим методологијама. У области струјања разређеног гаса кроз системе микродимензија очигледан је недостатак аналитичких решења. Оваква решења представљала би оригинални научни допринос, а њихова једноставност омогућила би примену и у будућим истраживањима.

Циљ истраживања у овој докторској дисертацији је креирање аналитичких модела за поједине случајеве струјања разређеног гаса у микроцевима, за које још нису дата аналитичка решења у литератури. Применом пертурбационе методе добиће се решења за поља брзине, притиска и температуре за неколико разматраних случајева струјања разређеног гаса у микроцевима. Планира се да разматрани случајеви обухвате струјања у микроцевима променљивог попречног пресека (конвергентна, дивергентна и микроцев константног попречног пресека), као и струјања гаса у микроцевима прстенастог попречног пресека. За поменуте случајеве разматраће се изотермско и неизотермско струјање разређеног гаса. Добијена решења поредиће се са резултатима доступним у литератури.

2.1. Релевантна литература

- [1] Sharipov, F. M., *Rarefied gas dynamics – Fundamentals for Research and Practice*, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 2016.
- [2] Karniadakis, G., Beskok, A., Aluru, N., *Microflows and Nanoflows: Fundamentals and Simulation*, Springer, New York, 2005.
- [3] Gad-el-Hak, M., editor, *The MEMS Handbook*, CRC Press, 2002.
- [4] Sharipov, F. M., Seleznev, V. D., Rarefies gas flow through a long tube at any pressure ratio, *Journal of Vacuum Science and Technology A*, 1994, 12, 2933-2935.

- [5] Hemadri, V., Biradar, G. S., Shah, N., et al., *Experimental study of heat transfer in rarefied gas flow in circular tube with constant wall temperature*, Experimental Thermal and Fluid Science, 2018, 93, 326-333.
- [6] Spiga, M., Vocale, P., *Slip flow in elliptic microducts with constant heat flux*, Advances in Mechanical Engineering, 2012, 4, 481280.
- [7] Kushwaha, H. M., Sahu, S. K., *Analysis of gaseous flow in micropipe with second order velocity slip and temperature jump boundary conditions*, Heat and Mass Transfer, 2014, 50, 1649-1659.
- [8] Barisik, M., Yazicoglu, A. G., Cetin, B., et al., *Analytical solution of thermally developing microtube heat transfer including axial conduction, viscous dissipation and rarefaction effects*, International Communications in Heat and Mass Transfer, 2015, 67, 81-88.
- [9] Aziz, A., Niedbalski, N., *Thermally developing microtube gas flow with axial conduction and viscous dissipation*, The International Journal of Thermal Sciences, 2011, 50(3), 332-340.
- [10] Chen, S., *Lattice Boltzmann method for slip flow heat transfer in circular microtubes: extended Graetz problem*, Applied Mathematics and Computation, 2010, 217(7), 3314-3320.
- [11] Cetin, B., Bayer, O., *Evaluation of Nusselt number for a flow in a microtube using second-order slip model*, Thermal Science, 2011, 15(1), S103-S109.
- [12] Maharjan, D., Hadj-Nacer, M., Ho, M. T., et al., *Simulation of heat transfer across rarefied gas in annular and planar geometries: comparison of Navier-Stokes, S-Model and DSMC methods results*, ASME 2015 13th international conference on nanochannels, microchannels, and minichannels collocated with the ASME 2015 international technical conference and exhibition on packaging and integration of electronic and photonic microsystems, San Francisco, CA, USA, 6–9 July 2015, paper no. ICNMM2015- 48034, V001T04A032, pp.1–10.
- [13] Pantazis, S., Valougeorgis, D., *Heat transfer through rarefied gases between coaxial cylindrical surfaces with arbitrary temperature difference*, European Journal of Mechanics - B/Fluids, 2010, 29(6), 494-509.
- [14] Duan, Z., Muzychka, Y. S., *Slip Flow Heat Transfer in Annular Microchannels With Constant Heat Flux*, Journal of Heat Transfer, 2008, 130(9), 092401(8 pages).
- [15] Colin, S., *Gas microflows in the slip flow regime: A critical review on convective heat transfer*, Journal of Heat Transfer, 2012, 134(2), 020908.

Литература која представља основу за стицање академског знања из области струјања разређеног гаса у елементима микродимензија дата је референцама [1]-[3].

Струјање разређеног гаса у микроцевима разматрали су различити аутори. Наведена литература је полазна основа за преглед постојећих истраживања струјања разређеног гаса у микроцевима, као и за верификацију резултата који се очекују у докторској дисертацији.

Примена кинетичке теорије гасова на изотермско струјање разређеног гаса, изазвано разликом притисака између два резервоара која су повезана помоћу микроцеви, приказана је у [4]. Експериментално истраживање струјања разређеног гаса са преносом топлоте у цеви кружног попречног пресека са константном температуром зида, где су по први пут изведена локална мерења температуре у разређеном гасу, представљено је у [5]. Нумерички – користећи комерцијални софтвер, потпуно-развијено стационарно струјање разређеног гаса у елиптичним микроцевима, а занемарујући стишљивост и вискозну дисипацију, анализирали су Шпига и Вокале [6]. Слична анализа је спроведена у [7] узимајући у обзир и вискозну дисипацију.

Проширени Грецов проблем разређеног гаса у микроцеви разматрало је неколико аутора [8]-[10]. Аналитичко решење овог проблема обухвата утицај аксијалне кондукције и вискозне дисипације и користи Грам-Шмит ортогонализациону технику [8]. Азиз и Нидбалски [9] су комбиновали аналитички и нумерички приступ, дајући упоредну анализу

модела клизања првог и другог реда нестишљивог струјања гаса са вискозном дисипацијом и аксијалном кондукцијом. Струјање разређеног гаса са преносом топлоте у микроцевима засновано на Латис-Болцмановој методи истраживао је Чен [10].

Поптуно развијени температурски профил и Нуселтов број аналитички су одређени за нестишљиво струјање разређеног гаса, са граничним условима клизања и температурског скока другог реда, где решење укључује вискозну дисипацију и аксијалну кондукцију [11]. Пренос топлоте при струјању разређеног гаса између два коаксијална цилиндра на различитим температурама разматран је у [12] и [13]. Махарјан и остали [12] су решење добили користећи С кинетички модел и ДСМК технику са имплементираним Лин-Вилис граничним условом температурског скока, док су Пантазис и Валугеоргис добили решење базирано на нелинеарном С кинетичком моделу са Ђерђињани-Лампис граничним условима. Дуан и Музичка [14] су разматрали термички и хидродинамички потпуно развијено струјање у прстенастој микроцеви за два карактеристична температурска гранична услова: један зид изолован, а други са константним топлотним флуksom, као и случај константног топлотног флуksа на оба зида. Колин [15] је у прегледном раду разматрао конвективни пренос топлоте у различитим микрогеометријама, анализирајући ефекте разређености у режиму струјања гаса са клизањем.

3. Полазне хипотезе

Основне научне хипотезе од којих ће се поћи у истраживању струјања разређеног гаса у микроцевима и на којима ће се заснивати неке активности током рада на тези, везане су за примену основних закона механике флуида: закон одржања масе, количине кретања и енергије. Осим тога користе се и хипотезе везане за дефинисање граничних услова карактеристичних за струјања разређеног гаса у условима струјања са клизањем: Максвелов услов клизања гаса на зиду који је тачности реда Кнудсеновог броја, услов клизања гаса на зиду тачности реда квадрата Кнудсеновог броја (Хсиа-Домото) и услов Смолучовског који се односи на скок температуре гаса у односу на температуру зида. Рад се базира на хипотези да се струјање одвија при малим вредностима Кнудсеновог броја, што омогућава претпоставку решења поља притиска, брзине, температуре у облику пертурбационих серија развијених у ред по Кнудсеновом броју. Како се претпоставља да су брзине струјања у микроцевима мале, уводи се хипотеза о дозвучном струјању при ком не долази до загушења.

4. Научне методе истраживања

За решавање проблема струјања разређеног гаса у микроцевима примењена је пертурбациона метода. Развој одговарајућих величина (притиска, температуре, пројекција брзине) у пертурбациону серију омогућава добијање решења за поље тих величина. Брзине, притисак и температура развијају се у серију по Кнудсеновом броју, где први елемент такве серије представља прву апроксимацију, која обухвата решење за услове континуума. Остале апроксимације представљају утицај клизања, температурског скока, инерције, конвекције, рада услед вискозних сила-дисипације и рада услед ширења. Потврда валидности примењене методе се очекује упоређивањем добијених резултата у овом докторату са одговарајућим резултатима доступним у литератури.

Осим тога, научне методе истраживања у овој докторској дисертацији заснивају се на познавању диференцијалног и интегралног рачуна, као и примене нумеричких метода за решавање система диференцијалних једначина.

5. Очекивани научни допринос

У оквиру докторске дисертације очекује се добијање оригиналних аналитичких решења за поље брзине, притиска и температуре, при струјању разређеног гаса у микроцеви. Конкретно, очекује се да се дође до ових решења за струјање разређеног гаса кроз дивергентну, конвергентну микроцев, микроцев константног попречног пресека, као и прстенасту микроцев. Ово је уједно и очекивани научни допринос, јер су решења презентована у литератури нумеричка, експериментална и аналитичка која не узимају у обзир све ефекте који су узети у обзир у овој дисертацији.

Значај очекиваних аналитичких решења огледа се у једноставности и лакој поновљивости. Такође, она се могу користити и као валидација нумеричких или експерименталних резултата. Осим тога, верификација аналитичког решења добијеног пертурбационом методом омогућава примену ове методе и на многе друге случајеве струјања у микроцевима.

6. План истраживања и структура рада

6.1. План истраживања

План истраживања предложене докторске дисертације састојаће се из следећих фаза:

- Прикупљање, преглед и анализа доступне литературе, заједно са идентификацијом проблема и могућим правцима истраживања.
- Упознавање са методологијама решавања проблема у наведеној 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 и гранични услови
- Изотермско струјање гаса у микроцеви променљивог попречног пресека
- Неизотермско струјање гаса у микроцеви константног попречног пресека
- Изотермско струјање гаса у микроцеви прстенастог попречног пресека
- Неизотермско струјање гаса у микроцеви прстенастог попречног пресека
- Закључак
- Списак коришћене литературе

7. Закључак и предлог

Анализом пријаве теме кандидаткиње Иве И. Гуранов, маг. инж. маш., Комисија за оцену подобности и научне заснованости теме закључује да је предложена тема научно утемељена, актуелна и одговарајућа за израду докторске дисертације, као и да кандидаткиња испуњава све предвиђене услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Машинског факултета, при чему поседује истраживачке способности за рад на докторској дисертацији. Имајући у виду све наведено, Комисија предлаже Већу докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду да се кандидаткињи Иви И. Гуранов, маг. инж. маш., студенткињи Докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду, одобри израда докторске дисертације под називом:

„Струјања разређеног гаса у микроцевима“.

Тема припада области техничких наука – машинство, ужој научној области – механика флуида, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан. За менторе ове докторске дисертације предлажу се: др Снежана Милићев, ванредни професор Машинског факултета Универзитета у Београду, и др Невена Стевановић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 28.06.2022. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

.....
др Невена Стевановић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

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

.....
др Александар Тоћић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др Маша Букуров, редовни професор,
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: **Снежана Милићев**

Звање: **ванредни професор**

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI) листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Milićev S. S.**, Stevanović D. N., *Influence of Transport Coefficients' Dependence on Temperature for Gas Flow in Microbearing*, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 14, 6, pp. 1-16, 2022, ISSN: 1687-8132, <https://doi.org/10.1177/16878132221103942> (M23, IF=1.316 (2020) , izvor KoBSON)
2. Guranov, I. I., **Milićev, S. S.**, Stevanović, D. N., *Non-isothermal rarefied gas flow in microtube with constant wall temperature*, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 13, 11, pp. 1-9, 2021, ISSN: 1687-8132, <https://doi.org/10.1177/16878140211065147> (M23, IF=1.316 (2020), izvor KoBSON)
3. **Milićev, S. S.**, Stevanović, D. N., *Gas Flow in Microchannels and Nanochannels With Variable Cross Section for All Knudsen and All Mach Number Values*, Journal of Fluids Engineering-Transactions of the ASME, Vol. 143, 2, pp. 021203(13 pages), 2021, ISSN: 0098-2202, <https://doi.org/10.1115/1.4048288> (M22, IF=1.995 (2020), izvor KoBSON)
4. **Milićev, S. S.**, Stevanović, D. N., *Navier-Stokes-Fourier Analytic Solutions for Non-Isothermal Couette Slip Gas Flow*, Thermal Science, Vol. 20, 6, pp.1825-1833, 2016, ISSN: 0354-9836, <https://doi.org/10.2298/TSCI160423221M> (M23, IF=1.093 (2016), izvor KoBSON)
5. **Milićev, S. S.**, Stevanović, D. N., *A non-isothermal Couette slip gas flow*, Science China-Physics Mechanics & Astronomy, Vol. 56, 9, pp. 1782-1797, 2013, ISSN: 1674-7348, <https://doi.org/10.1007/s11433-013-5120-7> (M23, IF=0.864 (2013), izvor KoBSON)

(навести најмање један рад у случају менторства дисертације која се пријављује до 31.12.2008. године, односно најмање три рада у случају менторства дисертације која се пријављује у периоду од 1.01.2009. до 31.12.2009. године, односно најмање пет радова у случају менторства дисертације која се пријављује почев од 1.01.2010. године)

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: **Невена Стевановић**

Звање: **редовни професор**

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI) листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Milićev S. S., **Stevanović D. N.**, *Influence of Transport Coefficients' Dependence on Temperature for Gas Flow in Microbearing*, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 14, 6, pp. 1-16, 2022, ISSN: 1687-8132, <https://doi.org/10.1177/16878132221103942> (M23, IF=1.316 (2020) , izvor KoBSON)
2. Guranov, I. I., Milićev, S. S., **Stevanović, D. N.**, *Non-isothermal rarefied gas flow in microtube with constant wall temperature*, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 13, 11, pp. 1-9, 2021, ISSN: 1687-8132, <https://doi.org/10.1177/16878140211065147> (M23, IF=1.316 (2020), izvor KoBSON)
3. Milićev, S. S., **Stevanović, D. N.**, *Gas Flow in Microchannels and Nanochannels With Variable Cross Section for All Knudsen and All Mach Number Values*, Journal of Fluids Engineering-Transactions of the ASME, Vol. 143, 2, pp. 021203(13 pages), 2021, ISSN: 0098-2202, <https://doi.org/10.1115/1.4048288> (M22, IF=1.995 (2020), izvor KoBSON)
4. Milićev, S. S., **Stevanović, D. N.**, *Navier-Stokes-Fourier Analytic Solutions for Non-Isothermal Couette Slip Gas Flow*, Thermal Science, Vol. 20, 6, pp.1825-1833, 2016, ISSN: 0354-9836, <https://doi.org/10.2298/TSCI160423221M> (M23, IF=1.093 (2016), izvor KoBSON)
5. Milićev, S. S., **Stevanović, D. N.**, *A non-isothermal Couette slip gas flow*, Science China-Physics Mechanics & Astronomy, Vol. 56, 9, pp. 1782-1797, 2013, ISSN: 1674-7348, <https://doi.org/10.1007/s11433-013-5120-7> (M23, IF=0.864 (2013), izvor KoBSON)

(навести најмање један рад у случају менторства дисертације која се пријављује до 31.12.2008. године, односно најмање три рада у случају менторства дисертације која се пријављује у периоду од 1.01.2009. до 31.12.2009. године, односно најмање пет радова у случају менторства дисертације која се пријављује почев од 1.01.2010. године)

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
