

Образац 2.

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
члану 6. и чл. 7 став 1. овог правилника)

2318/6
(Број захтева)

31.10.2011.године
(Датум)

ЗАХТЕВ
за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5 тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06)“, дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

СНЕЖАНЕ (СЛОБОДАН) МИЛИЋЕВ

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **СНЕЖАНА (СЛОБОДАН) МИЛИЋЕВ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА

Универзитет је дана 20.11.2009. год. својим актом под бр. 612-25/188/09 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **СНЕЖАНЕ (СЛОБОДАН) МИЛИЋЕВ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 01.09.2011. године, одлуком факултета под бр. 2318/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. Др Невена Стевановић	Ванредни професор	Механика флуида	Машински факултет Београд
2. Др Светислав Чантрак	Редовни професор	Механика флуида	Машински факултет Београд
3. Др Цветко Црнојевић	Редовни професор	Механика флуида	Машински факултет Београд
4. Др Милан Лечић	Ванредни професор	Механика флуида	Машински факултет Београд
5. Др Драгиша Никодијевић	Редовни професор	Теоријска и примењена Механика флуида	Машински факултет Ниш

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 29.09.2011. године.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом.

2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.

3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности, уколико је таквих примедби било.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 2318/4
Датум: 29.09.2011.
Београд, Краљице Марије 16

На основу чл. 128. Закона о високом образовању и извештаја Комисије у саставу: проф.др Невена Стевановић, ментор, проф.др Светислав Чантрак, проф.др Цветко Црнојевић, проф.др Милан Лечић, проф.др Драгиша Никодијевић, Машински факултет у Нишу о оцени докторске дисертације „Неизотермска струјања разређеног гаса у микроканалима“ докторанта мр Снежане Милићев, дипл.инж.маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 29.09.2011. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се извештај за оцену и одбрану докторске дисертације **„НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА“** докторанта **МР СНЕЖАНЕ МИЛИЋЕВ**, дипл.инж.маш.

Одобрава се одбрана докторске дисертације, пошто је докторска дисертација са извештајем Комисије за оцену и одбрану била стављена на увид јавности у трајању од 30 дана, па како је после свих разматрања на ННВ М.Ф. на крају извештај Комисије коначно усвојен, доставља се Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду да да сагласност на извештај о урађеној докторској дисертацији.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

**НАСТАВНО НАУЧНОМ ВЕЋУ МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У
БЕОГРАДУ**

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата
мр Снежане Милићев, дипл. инж. маш.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 2318/2 од 1.9.2011. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Снежане Милићев, дипл. инж. машинства, под називом: „НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА“, о чему подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Увод

1.1. Наслов и обим докторске дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Снежане Милићев, дипл. инж. маш., под насловом „НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА“ изложена је на 196 страна. Садржи и два додатка и списак коришћене и цитиране литературе на 10 страна.

1.2. Хронологија одобравања израде дисертације

Кандидат мр Снежана Милићев, дипл. инж. маш., пријавила је израду докторске дисертације 27.8.2009. год., под бројем 898/1 Катедри за механику флуида Машинског факултета у Београду. Кандидат је за ментора предложила доцента др Невену Стевановић. Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације је 9.10.2009. год. поднела извештај бр. 898/2 Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду од 15.10.2009. године. На основу пријаве кандидата и предлога Катедре, одлуком ННВ бр. 898/3 од 15.10.2009. год., прихваћен је предлог Комисије за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме у саставу: ментор, доц. др Невена Стевановић, проф. др Светислав Чантрак, проф. др Милош Павловић, проф. др Цветко Црнојевић и проф. др Драгиша Никодијевић, са Машинског факултета у Нишу.

Комисија је поднела извештај у коме предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под радним називом „НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА“ наводећи да кандидат испуњава законске услове за израду докторске дисертације, и да предложена тема као актуелна, атрактивна и значајна, може бити тема докторске дисертације. У вези са захтевом докторанта Снежане Милићев, дипл. инж. маш. да се одобри израда докторске

дисертације, одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета од 15.10.2009. год. о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и о именовању ментора, 20.11.2009. године Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност којом се одобрава рад на теми докторске дисертације „НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА“, под менторством доцента др Невене Стевановић. На основу одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и именовању ментора, а на основу сагласности Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, са седнице од 20.11.2009. год. Декан је 21.11.2009. год. донео закључак бр. 2267/1 (заведен 9.12.2009. год.) да се одобри рад на теми докторске дисертације „НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА“ кандидату мр Снежани Милићев.

О завршетку докторске дисертације „НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА“, ментор др Невена Стевановић, ван. проф. обавестила је Катедру за механику флуида, као и Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду. Предложена је Комисија за оцену и одбрану рада у саставу: ментор, др Невена Стевановић, ван. проф., проф. др Светислав Чантрак, проф. др Цветко Црнојевић, др Милан Лечић, ван. проф. и проф. др Драгиша Никодијевић, са Машинског факултета у Нишу.

На основу наведеног дописа Наставно-научно веће је на седници од 1.09.2011. године једногласно усвојило обавештење о завршетку дисертације кандидата мр Снежане Милићев под називом „НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА“ и усвојило предлог Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације (одлука бр. 2318/2 од 1.9.2011. године).

1.3. Место дисертације у одговарајућој научној области

Докторска дисертација „НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА“ припада области техничких наука, односно машинству, односно ужој научној области Механика флуида.

1.4. Биографски подаци о кандидату

Снежана С. Милићев (рођена Лазаревић) рођена је 1970. године у Београду. Основну школу завршила је 1984. године са одличним успехом. Средњу музичку школу уписала је 1984. године и завршила 1988. године, такође са одличним успехом.

Машински факултет у Београду, смер Термотехника, уписала је 1988. године. Дипломирала је 1993. године на тему „Таласна кретања течности и хидрауличке аналогije“. Просечна оцена током студија била јој је 9,74, на дипломском раду 10.

Последипломске студије на Машинском факултету у Београду уписала је 1993. године, смер Примењена механика флуида у машинству. Положила је све стручне испите на овим студијама, као и испите из страних језика, и тиме стекла услов за израду магистарске тезе. Магистарску тезу под насловом „Надзвучно опструјавање заобљених обртних тела са иглом“ одбранила је 1999. године.

Од новембра 1993. године била је запослена на Машинском факултету у Београду, у звању истраживач-приправник-таленат на Катедри за механику. Током школске 1993/94. године била је ангажована као сарадник у настави на предметима Кинематика и Хидраулика и пнеуматика. Од октобра 1995. запослена је као асистент-приправник на Катедри за механику. На овој катедри током две школске године учествовала је у настави на свим предметима Механика I-IV. Од октобра 1997. године запослена је на Катедри за механику флуида. На овој катедри ангажована је у настави на предметима Механика флуида, Динамика гасова, Хидраулика и пнеуматика, Транспорт чврстих материјала цевима, Механика флуида Б и Механика биофлуида. Бирана је у звање асистента 1999., 2004. и 2008. године. Говори енглески, а служи се и руским језиком.

Удата је и мајка троје деце, Милоша (2003), Мине (2003) и Јована (2005).

Радови објављени у целини у зборницима међународних конференција

1. Trišović, N., Maneski, T., Milićev, S., Sedmak, A., Smiljanić, P., "Optimal Finite-Element Modeling of Plate Structures", *Zbornik radova XIV Međunarodnog naučno-stručnog skupa Transport u industriji*, Beograd, 1996.
2. Milićev, S., Stevanović, N., "A Constant Wall Temperature Microchannel Gas Flow", *Proceedings of the 1st European Conference on Microfluidics-Microfluidics*, Bologna, 2008.
3. Stevanović, N., Milićev, S., "Inertia effect in Microbearing Gas Flow", *Proceedings of the 11th International Conference on Tribology*, Serbiatrib '09, Belgrade, 2009., pp. 202-208
4. Milićev, S. S., Stevanović, D. N., "A Different Walls Temperature Couette Slip Gas Flow", *Proceedings of the 3rd International Symposium Contemporary Problems of Fluid Mechanics*, Belgrade, 2011., pp. 129-138

Радови објављени у целини у часописима националног значаја

1. Milićev S., Ristić S., Vitić A., "Eksperimentalna ispitivanja uticaja igle na aerodinamičke karakteristike rakete", *Naučnotehnički pregled*, vol. 49, broj 6, 1999., str. 33-38
2. Ristić S., Milićev S., Vitić A., "Eksperimentalna ispitivanja uticaja šiljka na aerodinamičke karakteristike zaobljenog tela", *Tehnička dijagnostika*, br. 3-4, 2004., str. 17-25
3. Milićev, S., Pavlović, M., Ristić, S., Vitić, A., "On the Influence of Spike Shape at Supersonic Flow Past Blunt Bodies", *Facta Universitatis, Series: Mechanics, Automatic Control and Robotics*, Vol. 3, No. 12, 2002., pp. 371-382
4. Stevanović, D. N., Milićev, S. S., "A Constant Wall Temperature Microbearing Gas Flow", *FME Transactions*, Vol. 38, No. 2, 2010.

Радови објављени у часописима са SCI листе

1. Milićev, S., Pavlović, M., "Influence of Spike Shape at Supersonic Flow Past Blunt-Nosed Bodies", *AIAA Journal*, Vol. 40, No. 5, May 2002, pp. 1018-1020
2. Milićev, S. S., Stevanović, D. N., "A Microbearing Gas Flow with Different Walls' Temperatures", *Thermal Science*, ISSN 0354-9836, DOI: 10.2298/TSCI110804086M, **Impact factor: 0.724**, 2011, OnLine-First (00):86-86

Књиге и уџбеници

1. Глишић М., Тришовић Н., Јеремић О., Милићев С., Зековић Д., „Збирка задатака из Статике са изводима из теорије“, Машински факултет, Београд, 1998.

2. Опис дисертације

2.1. Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Снежане Милићев, дипл. инж. маш., под насловом „НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА“ изложена је на 196 страна. Садржи и два додатка и списак коришћене и цитиране литературе на 10 страна. Дисертација садржи следећих седам поглавља:

- Увод
- Основне једначине и гранични услови
- Преглед постојећих резултата
- Струјање гаса у микроканалима
- Микро-Куетово струјање гаса
- Струјање гаса у клизним гасним микролежајима
- Закључак

Дисертација садржи 83 слике и 475 једначина.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Рад има следећу структуру. Састоји се из седам поглавља. Прво поглавље је увод у коме су поред општих напомена везаних за микро-електро-механичке системе наведене области примене и позиционирани МЕМС-и на скали расположивих објеката у природи. Актуелни, занимљиви и све распрострањенији, ови системи у којима се често јављају струјања гасова указују на мотив за рад у овој области.

У другом поглављу дефинисане су основне једначине и гранични услови, као полазни оквир за решавање проблема разматраних у тези. Најпре су уведене напомене везане за струјање разређеног гаса, уз дефиниције релевантних параметара и наведена је област струјања којој припадају проблеми који се анализирају и решавају у овој тези. Затим су наведени начини моделирања и решавања струјног поља разређеног гаса. У оквиру тога разматрана је Болцманова (Boltzmann) једначина као полазиште за добијање система основних једначина које уз одговарајуће граничне услове омогућавају решавање проблема како у области континуума, тако и за веће вредности Кнудсеновог (Knudsen) броја, који важе у области струјања гаса са клизањем. Тако је формиран систем основних једначина који чине: једначина континуитета, Навије-Стоксова (Navier-Stokes) једначина и одговарајућа једначина енергије, које уз једначину стања и одговарајуће граничне услове који су реда тачности Кнудсеновог броја, чине затворен систем једначина, довољан за решавање проблема који се односе на неизотермска струјања гаса у микроканалима.

У трећем поглављу дат је преглед резултата из доступне литературе везане за ову област. Садржи преглед како аналитичких тако и нумеричких и експерименталних резултата са нагласком на оним са којима су поређени резултати добијени у овој тези.

Кључни резултати тезе дати су у четвртом, петом и шестом поглављу. Представљају решења дводимензијског, стишљивог, неизотермског струјања гаса у микроканалима, микро-Куетовог (Couette) струјања гаса и струјања гаса у гасним клизним микролежајима, редом. За све три групе проблема решења су добијена за две области струјања, континуум ($Kn < 10^{-3}$) и струјање гаса са клизањем, када је Кнудсенов број у области $10^{-3} \leq Kn \leq 10^{-1}$. Добијени резултати одговарају како струјањима гаса у микросистемима, тако и струјањима разређених гасова у системима стандардних димензија када су вредности Кнудсеновог броја такође у опсегу $10^{-3} \leq Kn \leq 10^{-1}$. При таквим струјањима јављају се клизање и температурски скок гаса на зидовима канала. Такође, за све анализиране проблеме резултати су добијени за два различита температурска гранична услова. У једном случају су температуре зидова једнаке (изотермски зидови), док су у другом температуре зидова међусобно различите, али константне. У проблемима решеним у тези узета је у обзир зависност динамичке вискозности и коефицијента топлотне проводљивости од температуре, у складу са моделом чврстих сфера. Модел обухвата молекуларне моделе од Максвелових молекула до модела молекула који се третирају као еластичне сфере. У свим случајевима разматрана су и једноставнија решења, добијена уз претпоставку о константним вредностима динамичке вискозности и коефицијента топлотне проводљивости.

У четвртом поглављу дата су решења конкретних проблема која се односе на неизотермско струјање гаса у микроканалима променљивог попречног пресека. Струјање гаса је стационарно, дводимензијско, стишљиво, дозвучно, а остварује се услед разлике притиска на улазу и излазу микроканала. Приликом дефинисања проблема струјања гаса у микроканалима примењена су два приступа. Код једног је познат однос улазног и излазног притиска у микроканалу, па се на основу њега одређује масени проток. У другом случају познат је масени проток, а одређује се однос притиска на улазу и излазу микроканала. Осим тога, у четвртом делу описана је метода пертурбација чијом применом су решени сви проблеми у овој тези. Ова метода уз одговарајуће претпоставке о малим вредностима Кнудсеновог и Маховог (Mach) броја, који карактеришу дозвучно струјање гаса са клизањем, и уз дефиницију малог параметра, омогућила је анализу величине појединих чланова у систему основних једначина и граничних услова. Притисак, брзина и температура, претпостављени у облику пертурбационог реда по Кнудсеновом броју омогућили су формирање низа система основних једначина и граничних услова, који су редом, $O(1)$,

$O(Kn)$, $O(Kn^2)$, итд. Сукцесивним решавањем ових система основних једначина и граничних услова добијени су брзина, температура и притисак дуж микроканала. Овакав начин омогућава добијање аналитичких решења уз учешће комплетног система једначина и граничних услова без икаквих упрошћења. При томе, прва апроксимација представља решење за струјања гаса у области континуума, док се већ у другој апроксимацији могу јавити сви преостали ефекти, као што су: клизање гаса и температурски скок гаса на зиду, инерција и дисипација. Зависно од међусобних односа Кнудсеновог, Маховог и Рејнолдсовог (Reynolds) броја (који су повезани егзактном релацијом) решени су проблеми струјања гаса у микроканалима при малим и при умерено великим вредностима Рејнолдсовог броја. Приказана су добијена решења и анализиран утицај величина од којих зависе притисак, температура и брзина гаса у микроканалима. То су: утицај температурске разлике зидова, геометријских карактеристика микроканала, разређености гаса (дефинисане вредношћу Кнудсеновог броја), Маховог или Рејнолдсовог броја, инерције, дисипације, као и утицај вредности температурско-вискозног индекса. Поређење са одговарајућим експериментима који се односе на изотермска струјања гаса у микроканалима дало је потврду резултата добијених у тези.

У петом поглављу анализирно је микро-Куетово струјање гаса, изазвано кретањем зидова микроканала. За услове микро-Куетовог струјања гаса (константан притисак у струјном пољу) добијено је аналитичко решење, као и нумеричко решење методом Рунге-Кута (Runge-Kutta) за поља брзине и температуре. Нумеричко решење је третирано као референтно, јер је добијено на основу комплетног система основних једначина и граничних услова. Средње квадратно одступање референтног нумеричког од аналитичког решења је испод једног процента. Иако је у случају микро-Куетовог струјања добијено тако поуздано аналитичко решење, у петом делу дато је и аналитичко решење за поља брзине и температуре добијено методом пертурбација. Међусобним поређењем резултата добијених у тези на сва три поменута начина, верификована је пертурбациона метода као погодна за решавање проблема микрострујања гасова уопште, посебно у случајевима у којима није могуће доћи до аналитичког решења на други начин. Код решења пертурбационом методом, добијен је потребан број апроксимација брзине и температуре за постизање задовољавајуће тачности. Приказана су добијена решења и анализиран утицај величина од којих зависе температура, брзина и топлотни флуks при микро-Куетовом струјању. То су: утицај разређености гаса, утицај температурске разлике зидова, Маховог или Рејнолдсовог броја, дисипације, као и утицај вредности температурско-вискозног индекса. Решења добијена у тези која се односе на микро-Куетово струјање гаса верификована су и поређењем са адекватним нумеричким резултатима других аутора датих у литератури. Том приликом добијено је одлично слагање.

Шесто поглавље односи се на струјање гаса у гасним клизним микролежајима, где се струјање гаса такође остварује кретањем зида. Уз одговарајуће претпоставке, методом пертурбација добијена су аналитичка решења за расподелу притиска дуж микролежаја, као и за поља брзине и температуре. Анализиран је утицај карактеристике микролежаја, нагиба микролежаја, разређености гаса, Маховог броја или Рејнолдсовог броја, инерције, дисипације, разлике температура зидова, као и утицај вредности температурско-вискозног индекса на расподелу притиска и поља брзине и температуре. Посебно је разматрано под којим је условима у појединим случајевима могуће повећати носивост, што је код лежаја од суштинске важности. Показано је да се занемаривањем инерције и дисипације добија носивост лежаја мања од реалне. Такође је показано да се носивост лежаја може повећати повећањем Маховог или Рејнолдсовог броја, карактеристике лежаја, као и смањењем вредности Кнудсеновог броја. Како ни у овом случају нису нађени резултати који се односе на неизотермска струјања гасова у микролежајима, поређење је вршено са неким изотермским решењима сличних карактеристика која су доступна у литератури.

Теза завршава закључком у коме су наведени њени главни резултати. Указано је и на могуће правце даљег развоја.

3. Оцена дисертације

3.1. Савременост, оригиналност и значај

Докторска дисертација „НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА“ представља савремен, оригиналан и значајан допринос разматраној проблематици. Значај ових истраживања огледа се кроз широку примену микро-електромеханичких система у различитим областима науке и технике. Како се у овим уређајима јавља струјање гасова и течности, механика флуида је једна од кључних научних дисциплина у проучавању и конструкцији различитих МЕМС-а и микроуређаја. Савременост проблема који су анализирани и решени у докторској дисертацији потврђују велика улагања у истраживања, пројектовање и производњу минијатурних струјних машина у целом свету, као што су микропумпе и микротурбине, микромлазници (саставни део микросателита), микролежаји, микросензори за мерење брзине, притиска и температуре, разне врсте актуатора... Оригиналност тезе је у аналитичком приступу и добијеним аналитичким решењима која се односе на неизотермско струјање гаса у микроканалима променљивог попречног пресека, неизотермско микро-Куетово струјање и неизотермско струјање гаса у микролежајима, за које у отвореној литератури не постоје аналитичка решења других аутора. Оригиналност потврђују резултати тезе дати у радовима који су публиковани и саопштени на научним скуповима и објављени у часописима.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији коришћена је обимна литература из области струјања гаса у микроканалима. Ово струјање постоји у већини МЕМС-а и микроуређаја. Ова литература је кандидату послужила као полазна основа за формирање прегледа постојећих експерименталних, аналитичких и нумеричких истраживања везаних за област микрострујања гасова. Осим тога послужила је кандидату и за верификацију резултата добијених у тези. На тај начин дат је релевантан приказ постојећег стања у овој области којој припадају проблеми решени у докторској дисертацији. Коришћена литература је избор савремене и актуелне литературе која осим прегледа постигнутих резултата указује на могуће правце даљег научног рада у датој области.

3.3. Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

У докторској дисертацији за решавања проблема струјања гасова у микросистемима коришћена је пертурбациона метода. Она је омогућила добијање аналитичких решења за неизотермско струјање гаса у микроканалима променљивог попречног пресека, неизотермско микро-Куетово струјање гаса и неизотермско струјање гаса у микролежајима. Решења за поља притиска, температуре и брзине претпостављена су у облику реда по Кнудсеновом броју, који је у овом случају реда величине малог параметра, што је омогућило добијање више апроксимација проблема. Прва апроксимација одговара решењу за услове струјања без клизања (континуум), док апроксимације вишег реда садрже корекције услед утицаја клизања на зиду и температурског скока, као и инерције, конвекције и дисипације. Адекватност примењене методе оправдана је потврдом тачности добијених резултата њиховим поређењем са резултатима доступним у литератури, добијеним другим методама. За разлику од решења датих у литератури, метода примењена у дисертацији омогућила је добијање решења која се могу репродуковати на једноставан начин.

3.4. Оцена примењивости и верификације остварених резултата

Резултати докторске дисертације поред научне вредности имају и широку практичну примену у прорачунима струјања гаса неопходним при пројектовању МЕМС-а. Остварени резултати омогућавају прорачун поља притиска, брзине и температуре при неизотермском

струјању гаса у различитим микросистемима, које је проузроковано разликом притиска или кретањем зидова. Резултати докторске дисертације верификовани су поређењем са адекватним резултатима доступним у литератури, при чему је остварено одлично слагање. Верификација остварених резултата потврђена је и кроз радове који су публиковани и саопштени на научним скуповима и објављени у часописима.

3.5. Оцена способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде ове дисертације показао да је у стању да самостално решава научне проблеме и да успешно влада научним и истраживачким методама. Поседује широко радно искуство и теоријско знање потребно за даљи успешан научно-истраживачки рад.

4. Остварен научни допринос

4.1. Приказ оствареног научног доприноса

Основни научни допринос дисертације јесу изведени аналитички изрази за поља брзине, температуре и притиска у разматраним случајевима неизотермског струјања гаса у микросистемима који осим ефеката разређености, који се манифестују постојањем клизања и температурског скока гаса на зиду, узимају у обзир и стишљивост гаса. Остварени научни допринос докторске дисертације „НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА“ је вишеструк:

- врло прегледно су приказани најновији резултати из области струјања разређеног гаса, чиме је јасно оправдан рад на проблемима решеним у тези;
- добијен је низ оригиналних аналитичких модела неизотермских струјања разређеног гаса у микроканалима променљивог попречног пресека за две карактеристичне групе проблема - неизотермска струјања изазвана разликом притиска и неизотермска струјања изазвана кретањем зидова микроканала;
- анализиран је утицај зависности динамичке вискозности и коефицијента топлотне проводљивости од температуре на тачност прорачуна поља притиска, брзине и температуре;
- спроведена је детаљна анализа утицаја разређености гаса, температурске разлике зидова, Маховог или Рејнолдсовог броја, инерције, дисипације, као и утицај вредности температурско-вискозног индекса на добијене резултате при различитим условима струјања гаса.
- добијена су оригинална и поуздана решења за одређивање пада притиска и поља брзине и температуре при неизотермском струјању гаса у микроканалима променљивог попречног пресека при задатом масеном протоку или при задатој разлици притиска;
- добијена су оригинална и поуздана решења за одређивање поља брзине и температуре при неизотермском микро-Куетовом струјању гаса и за размењену количину топлоте између гаса и зидова канала;
- добијена су оригинална и поуздана решења за одређивање расподеле притиска, као и поља брзине и температуре при неизотермском струјању гаса у микролежајима, на основу чега је одређена носивост микролежаја при различитим условима струјања гаса.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа литературе и сагледавања постојећих решења из области дисертације, констатујемо да су решења добијена у тези оригинална, значајна и применљива у пракси. Такође, на основу задатих циљева истраживања и добијених резултата решена су сва битна питања и проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања. С обзиром на значај истраживања у свим областима које су неопходне за пројектовање и развој МЕМС-а, као и

чињеницу да су у тези дати резултати који омогућавају прорачун неизотермског струјања гасова у различитим микросистемима, дисертација представља важан допринос у овој области. Имајући у виду једноставност, експлицитност и посебно репродуктивност добијених решења, што их издваја у односу на захтевна и скупа нумеричка и експериментална истраживања, очекује се имплементација резултата дисертације у будућим истраживањима као и при пројектовању MEMC-а.

4.3. Очекивана примена резултата у пракси

У отвореној литератури осећа се недостатак аналитичких решења неизотермских проблема струјања гаса у микроканалима, па се очекује значајна примена резултата датих у тези. Применом добијених аналитичких решења поједностављује се прорачун у односу на прорачун базиран на нумеричком приступу који је често дуготрајан и захтеван у погледу рачунарских ресурса. Осим тога, у тези приказан и верификован аналитички модел представља замену за изузетно скупа експериментална истраживања. Експерименти који се односе на неизотермска струјања гаса при температурским граничним условима разматраним у тези нису до сада остварени, па резултати тезе могу послужити и као основа за њихово осмишљавање и организацију.

Како су решења дата у тези добијена укључивањем свих ефеката карактеристичних за микрострујања гаса веома поуздана, очекује се њихова широка примена. С обзиром на једноставност, експлицитност и посебно репродуктивност добијених решења, што их издваја у односу на захтевна и скупа нумеричка и експериментална истраживања, очекује се имплементација резултата дисертације у будућим истраживањима као и при пројектовању MEMC-а.

4.4. Верификовани научни доприноси

Научни допринос докторске дисертације је верификован радовима објављеним у часописима и саопштеним на конференцијама током вишегодишњег истраживања:

M23 Рад у међународном часопису

1. Milićev, S. S., Stevanović, D. N., "A Microbearing Gas Flow with Different Walls' Temperatures", *Thermal Science*, ISSN 0354-9836, DOI: 10.2298/TSCI110804086M, 2011, OnLine-First (00):86-86, **Impact factor: 0.724**

M51 Рад у водећем часопису националног значаја

1. Stevanović, D. N., Milićev, S. S., "A Constant Wall Temperature Microbearing Gas Flow", *FME Transactions*, Vol. 38, No. 2, 2010., pp. 65-71

M33 Саопштења са међународних скупова штампана у целини

1. Milićev, S., Stevanović, N., "A Constant Wall Temperature Microchannel Gas Flow", *Proceedings of the 1st European Conference on Microfluidics-Microfluidics*, Bologna, 2008.
2. Stevanović, N., Milićev, S., "Inertia effect in Microbearing Gas Flow", *Proceedings of the 11th International Conference on Tribology*, Serbiatrib '09, Belgrade, 2009., pp. 202-208
3. Milićev, S. S., Stevanović, D. N., "A Different Walls Temperature Couette Slip Gas Flow", *Proceedings of the 3rd International Symposium Contemporary Problems of Fluid Mechanics*, Belgrade, 2011., pp. 129-138

5. Закључак и предлог

Докторска дисертација под називом „НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА“ кандидата мр Снежане Милићев, дипл. инж. маш., представља савремен и оригиналан научни допринос који уз потпуну анализу разматраних проблема омогућава прорачун неизотермских струјања гасова у различитим микросистемима. На основу онога што је приказано у докторској дисертацији и чињенице да је анализирана проблематика веома актуелна у научној јавности, са задовољством се констатује да је кандидат мр Снежана Милићев, дипл. инж. маш., успешно завршила докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима докторске дисертације. Кандидат је дошао до оригиналних резултата који су верификовани, па су веома применљиви у овој атрактивној области.

На основу прегледа докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом „НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА“ кандидата мр Снежане Милићев, дипл. инж. маш., Комисија за оцену и одбрану са задовољством констатује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима у научно истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима и Статутом Машинског факултета у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да овај Извештај прихвати, дисертацију стави на увид јавности, и упути извештај на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а да се након тога кандидат позове на јавну одбрану.

У Београду 19.9.2011.год.

Чланови Комисије за оцену и одбрану:

др Невена Стевановић, ментор,
ван. проф. Машинског факултета у Београду

др Светислав Чантрак,
ред. проф. Машинског факултета у Београду

др Цветко Црнојевић,
ред. проф. Машинског факултета у Београду

др Милан Лечић,
ван. проф. Машинског факултета у Београду

др Драгиша Никодијевић,
ред. проф. Машинског факултета у Нишу

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:2318/5
Датум:28.10.2011.
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 128. Закона о високом образовању и члана 12.2 Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 29.09.2011. године, донело је

ОДЛУКУ

I Прихвата се извештај о позитивној оцени урађене докторске дисертације коју је поднела мр СНЕЖАНА МИЛИЋЕВ и одобрава јавна одбрана дисертације по добијању сагласности од Универзитета, под насловом: „НЕИЗОТЕРМСКА СТРУЈАЊА РАЗРЕЂЕНОГ ГАСА У МИКРОКАНАЛИМА“

II Универзитет је дана 20.11.2009. године, својим актом број 612-25/188/09 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата.

III Радови кандидата у часопису међународног значаја:

1. Milićev, S., Pavlović, M., “Influence of Spike Shape at Supersonic Flow Past Blunt-Nosed Bodies”, *AIAA Journal*, Vol. 40, No. 5, May 2002, pp. 1018-1020
2. Milićev, S. S., Stevanović, D. N., “A Microbearing Gas Flow with Different Walls’ Temperatures”, *Thermal Science*, ISSN 0354-9836, DOI: 10.2298/TSCI110804086M, **Impact factor: 0.724**, 2011, OnLine-First (00):86-86

Одлуку доставити: кандидату, ментору, Катедри за механику флуида и архиви факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић