

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

2837/4
(Број захтева)Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)30.11.2017.
(Датум)

З А Х Т Е В
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

УТИЦАЈ ХРАПАВОСТИ ЗИДОВА КАНАЛА ПРИ СТРУЈАЊУ МЕШАВИНЕ ГАСА И ЧЕСТИЦА У УНУТРАШЊИМ ТУРБУЛЕНТНИМ СТРУЈАЊИМА

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Механика флуида

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: ДАРКО (РАДОМИР) РАДЕНКОВИЋ
2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд
3. 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 30.11.2017
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

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: 2837/4
Датум: 30.11.2017. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Дарка Раденковића**, дипл. инж. маш., бр. 2552/1 од 17.10.2017. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Цветко Црнојевић, ред. проф., др Милан Лечић, ред. проф., др Невена Стевановић, ред. проф., др Никола Младеновић, ред. проф. и др Горан Живковић, виши научни сарадник, ИНН Винча Београд, број 2837/3 од 29.11.2017. 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 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 30.11.2017. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **ДАРКО РАДЕНКОВИЋ**, дипл. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«УТИЦАЈ ХРАПАВОСТИ ЗИДОВА КАНАЛА ПРИ СТРУЈАЊУ МЕШАВИНЕ ГАСА И ЧЕСТИЦА У УНУТРАШЊИМ ТУРБУЛЕНТНИМ СТРУЈАЊИМА»**.

За ментора студенту **Дарку Раденковићу**, именује се **др Цветко Црнојевић, ред. проф.**

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Машински факултет

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата **Дарка Р. Раденковића** за израду докторске дисертације

Одлуком **Наставно-научног већа** бр. **2837/2** од **09. 11. 2017.** године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Дарка Р. Раденковића**, дипл.инж.маш, студента Докторских студија, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме:

„Утицај храпавости зидова канала при струјању мешавине гаса и честица у унутрашњим турбулентним струјањима“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Дарко Р. Раденковић је рођен 06.12.1986. год. у Београду, општина Савски венац, Србија. У Новој Пазови је завршио основну школу, а затим гимназију у Земуну. Машински факултет Универзитета у Београду је уписао школске 2005/06 године. Основне академске студије завршио је са просечном оценом 9.79 (девет и 79/100). Мастер академске студије, модул Термоенергетика, завршио је са просечном оценом 10 (десет). За време студија био је стипендиста Министарства просвете као и Фонда за младе таленте.

На Машинском факултету Универзитета у Београду ради као асистент на Катедри за механику флуида од 24. 12. 2010. год. Од 15. 09. 2011. год. обавља дужност Секретара Катедре за механику флуида.

Учествује као истраживач на научном пројекту TR 35046 Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије под називом „Примена савремених мерних и прорачунских техника за изучавање струјних параметара вентилационих система на моделу енергетски изузетно ефикасног (пасивног) објекта”, Технолошки развој, руководилац пројекта др Милан Лечић, редовни професор.

Познаје програмске језике и пакете: FORTRAN, C++, MatLab, LaTeX, AutoCad, Microsoft Office, SolidWorks ...

Од страних језика говори енглески језик.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Дарко Р. Раденковић уписао је Докторске академске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2010/2011. године. Положио је све испите који су предвиђени Планом усавршавања са оценом 10 (десет).

- Положени обавезни предмети:

- Виши курс математике (проф. др Стојан Раденовић)
- Нумеричке методе (проф. др Миодраг Спалевић)
- Одабрана поглавља из механике флуида (проф. др Светислав Чантрак)
- ОМНИРиК (проф. др Милош Недељковић)

- Положени изборни предмети:

- Динамика вискозног нестишљивог флуида (проф. др Цветко Црнојевић)
- Теорија граничног слоја (проф. др Цветко Црнојевић)
- Турбулентна струјања (проф. др Милан Лечић)
- Математичке методе механике флуида (проф. др Снежана Милићев)
- Вишефазна струјања (проф. др Цветко Црнојевић)

Поред тога, кандидат је положио четири лабораторијска предмета: Истраживање и публикавање I, Истраживање и публикавање II, Истраживање и публикавање III и Истраживање и публикавање IV.

Пројекат идеје докторске дисертације кандидат је одбранио пред комисијом у саставу: проф. др Цветко Црнојевић - потенцијални ментор, проф. др Милан Лечић и проф. др Невена Стевановић.

За време рада на Машинском факултету Универзитета у Београду, кандидат је држао аудиторне вежбе из предмета са Катедре за механику флуида: Механика флуида Б, Механика флуида М, Уљна хидраулика и пнеуматика, Транспорт флуида цевима и Динамика гасова, као и лабораторијске вежбе из Механике флуида Б.

Кандидат Дарко Р. Раденковић је објавио следеће радове:

Радови у домаћим часописима међународног значаја, М24

1. Radenković D., Burazer J., Novković Đ.: Anisotropy analysis of turbulent swirl flow, FME Transactions, Vol. 42, pp. 19-25, 2014
2. Novković Đ., Lečić M., Burazer J., Radenković D.: Flow simulations in a small bulb turbine using two-equation turbulence models, FME Transactions, Vol. 42, pp. 118-127, 2014
3. Radenković D., Milićev S., Stevanović N.: Rarefied gas flow in microtubes at low Reynolds numbers, FME Transactions, Vol. 43, pp. 329-335, 2015

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу, М34

1. Radenković D., Crnojević C.: Calculation of flow parameters of the mixing chamber gas

ejector that is used to transport the disperse phase, 3rd International Symposium Contemporary Problems of Fluid Mechanics, May 12-13th, 2011. Proceeding in CD, pp. 167-173.

2. Novković Đ, Lečić M, Burazer J, Radenković D. : Numerical flow simulations in the Agnew micro hydro turbine, Turbulence workshop – International Symposium, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Aug. 31st – Sept. 2nd, 2015, Proceedings on USB, ISBN 978-86-7083-865-9

1.3 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат Дарко Р. Раденковић је положио све испите који су предвиђени програмом на Докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду са просечном оценом 10 (десет). Поред тога, кандидат је аутор 3 рада објављених у домаћим часописима међународног значаја (M24) и два рада са међународног скупа штампаног у изводу (M34). Кандидат се оствареним резултатима показао способним за истраживања у оквиру будуће докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Интеракција честица и флуида је важан елемент при моделирању струјања дисперзног материјала. Та интеракција је предмет изучавања великог броја експерименталних и нумеричких студија са обзиром на велику практичну примену.

При пнеуматском транспорту честица у дугачком цевоводу правоугаоног попречног пресека, мале висине, налази се да храпавост зида остварује значајан ефекат на особине флуида и дисперзне фазе (Sommerfeld (1999), Benson et al. (2005)). Попут судара честица, храпавост зида цеви утиче на хомогенизацију струјања дисперзне фазе.

Велики број материјала за инжењерску примену има нормалну расподелу висине (углова) неравнина. Међутим, честица која удара у зид цеви, не „види” ту расподелу као нормалну, јер су због долазног оштрог угла честица делови неких неравнина заклоњени (тзв. ефекат сенке). Овај ефекат је нарочито важан при мањим долазним угловима честица.

При нумеричким симулацијама, утицај храпавости углавном се узима у обзир преко стохастичких процедура. Једна од тих процедура (Sommerfeld (1999)) је:

- када честица дође до зида, ствара се тзв. виртуелни зид према одговарајућој нормалној дистрибуцији
- уколико се честица, после примене једначина импулса за судар честице и зида, не враћа у струјни ток, судар се одбације као нереалан и виртуелни зид се поново генерише. Процедура се понавља све док се честица не врати у струјни ток.

Мана наведене процедуре је велики број генерисаних честица које се крећу близу зида цеви. Модификација наведене методе је извршена у раду Kopan et al. (2009), где су узети у обзир вишеструки удари честица од зида цеви, све док честица не напусти регион зида.

У досадашњим истраживањима везаним за ову тему, међудејство храпавости и честица, проучавано је углавном као дводимензијско. Наставак ових истраживања, уједно и један од предмета истраживања ове тезе, је формирање процедуре која обухвата и латерално кретање честице. Новонастала процедура представљаће наставак метода приказаних у радовима

Sommerfeld (1999) и Konan et al. (2009).

С обзиром на то да је храпавост тродимензијска, нове процедура ће омогућити детаљније истраживање утицаја храпавости на флуид и дисперзну фазу. Проучавање се изотропне и анизотропне површине зидова.

Нумеричка симулација струјања ће бити прво изведена и верификована теоријским и експерименталним подацима у случају турбулентног струјања чистог флуида у каналу правоугаоног попречног пресека. Затим, различити стохастички модели ће бити имплементирани и резултати симулација ће бити упоређени. Очекивани резултати нумеричких симулација су профили брзине и интезитети флуктуација брзине струјања ваздуха, као и профил брзине дисперзне фазе.

При нумеричкој симулацији струјања дисперзне фазе, користиће се Ојлер - Лагранжов метод: за прорачун струјања флуида користиће се Ојлеров приступ, док ће се за честице користити Лагранжов приступ.

Списак радова који ће се користити при изради дисертације је:

1. Malloupas, G., van Wachem, B.: *Large eddy simulation of turbulent particle-laden channel flow*, - Int. J. Multiphase Flow, Vol 54, 2013, pp. 65–75.
2. Sommerfeld, M.: *Analysis of collision effects for turbulent gas-particle flow in a horizontal channel: Part I. Particle transport*, - Int. J. Multiphase Flow , Vol 29, 2003, pp. 675–699.
3. Sommerfeld, M., Huber, N.: *Experimental analysis and modeling of particle-wall collisions*, - Int. J. Multiphase Flow, Vol 25, 1999, pp. 1457–1489.
4. Sommerfeld, M., Kussin, J.: *Wall roughness effects on pneumatic conveying of spherical particles in a narrow horizontal channel*, - Powder Technol., Vol 142, 2004, pp. 180–192.
5. Squires, K., Simonin, O.: *LES-DPS of the effect of wall roughness on dispersed-phase transport in particle-laden turbulent channel flow*, - Int. J. Heat Fluid Flow, Vol 29, 2006, pp. 619–629.
6. Tsuji, Y., Morikawa, Y., Tanaka, T., Nakatsukasa, N., Nakatani, M.: *Numerical simulation of gas-solid two-phase flow in a two-dimensional horizontal channel*, - Int. J. Multiphase Flow, Vol 13, No 5, 1987, pp. 671–684.
7. Tsuji, Y., Oshima, T., Morikawa, Y.: *Numerical simulation of pneumatic conveying in a horizontal pipe*, - KONA 3, 1985, pp. 38–51.
8. Vreman, A.: *Turbulence characteristics of particle-laden pipe flow*, - J. Fluid Mech., Vol 584, 2007, pp. 235–279.
9. Vreman, A.: *Turbulence attenuation in particle-laden flow in smooth and rough channels*, - J. Fluid Mech., Vol 773, 2015, pp. 103–136.
10. Benson, M., Tanaka, T., Eaton, J.: *Effects of wall roughness on particle velocities in a turbulent channel flow*, - ASME J. Fluids Eng., Vol 127, 2005, pp. 250–256.
11. Breuer, M., Alletto, M., Langfeldt, F.: *Sandgrain roughness model for rough walls within*

Eulerian-Lagrangian predictions of turbulent flows, - Int. J. Multiphase Flow, Vol 43, 2012, pp. 157–175.

12. Cheng, Z., Zhu, M.: *Analyzing the effect of wall roughness on gas-particle flow in confined channels based on a virtual-wall-group concept*, - Int. J. Multiphase Flow, Vol 77, 2015, pp. 158–170.
13. Garcia, N., Stoll, E.: *Monte carlo calculation for electromagnetic-wave scattering from random rough surfaces*, - Phys. Rev. Lett., Vol 52, 1984, pp. 1798–1801.
14. Konan, A., Badarayani, S., Simonin, O., Squires, K., 7 2007: *LES/DPS of horizontal gas-solid channel flow with particle-particle collision and wall roughness effects*. In: *6th International Conference on Multiphase Flow*. ICMF2007, Leipzig, Germany, p. 11.
15. Konan, N., Kannengieser, O., Simonin, O.: *Stochastic modeling of the multiple rebound effects for particle-rough wall collisions*, - Int. J. Multiphase Flow, Vol 35, 2009, pp. 933–945.
16. Konan, N. A., Simonin, O., Squires, K. D.: *Detached eddy simulations and particle Lagrangian tracking of horizontal rough wall turbulent channel flow*, - Journal of Turbulence, Vol 12, 2011, pp. 1–21.

3. Полазне хипотезе

У раду Konan et. al. (2009), описане су детерминистичке симулације удара честице у храпаву дводимензијску (2Д) структуру, генерисану у сагласности са приступом описаним у раду Sommerfeld (1999). Да би се добила и латерална компонента брзине при судару са храпавом површином, неопходно је генерисати тродимензијску структуру. Потом, у детерминистичкој симулацији, велики број честица под одговарајућим углом се судара са храпавом површином и честице се прате све док не напусте регион зида. Разматраће се идеално-еластични судар, а потом ће се размотрити и утицај трења. Планира се проширивање постојећих 2Д модела и извршиће се поређење са резултатима детерминистичке симулације. Симулација великих вртлога (Large Eddy Simulation – LES) треба да покаже утицај храпавости при пнеуматском транспорту на флуид и дисперзну фазу.

4. Научне методе истраживања

Научне методе истраживања које би се користиле при изради дисертације су:

- Детерминистичке симулације судара великог броја честица у храпаву површину. Статистичка анализа добијених резултата и моделирање судара честице са 3Д храпавим зидом.
- Ојлер-Лагранжова LES симулација пнеуматског транспорта у каналу правоугаоног попречног пресека мале висине. Поређење са експерименталним резултатима и међусобно поређење различитих струјних конфигурација.

5. Очекивани научни допринос

Новија истраживања потврђују значајан утицај храпавости зида канала на флуид и на дисперзну фазу при пнеуматском транспорту честица. Утицај храпавости, до сада, узимао се путем 2Д модела или путем 3Д упрошћених модела. Резултујућа стохастичка процедура треба тачније да моделира међудејство честица и зида цеви и та процедура би представљала проширење 2Д

процедура које се користе за прорачун међудејства честица и зида цеви. Нова процедура моћи ће да се користи у свим Ојлер-Лагранж симулацијама дисперзних струјања, уколико ефекат храпавости зида није занемарљив.

LES симулација треба да пружи тачније информације о утицају храпавости на флуид и дисперзну фазу при пнеуматском транспорту у каналу правоугаоног попречног пресека. Потребно је проучити и изотропне и анизотропне површине зида цеви.

Новонасталу процедуру могуће је користити за процену утицаја храпавости и при флуидизацији.

Очекивани научни допринос се може сумирати као:

1. Развој 3Д модела за међудејство честице и храпавог зида. Овај модел је наставак постојећих метода из радова Sommerfeld (1999) и Konan et al. (2009).
2. LES симулација пнеуматског транспорта у каналу правоугаоног попречног пресека, мале висине. Очекују се тачнији резултати од постојећих симулација овог струјања, због реалнијег описа судара честица са зидом.

6. План истраживања и структура рада

План истраживања састоји се од следећих фаза:

- детаљна анализа детерминистичких 2Д симулација и модела
- формирање 3Д храпавог зида и детерминистичка симулација удара честица у храпав зид
- анализа резултата 3Д симулације и моделирање судара честице са зидом
- имплементација модела у програмски код и LES Ојлер-Лагранж симулација пнеуматског транспорта у каналу
- анализа добијених резултата

Структура докторске дисертације је следећа:

1. Увод
2. Преглед истраживања
3. Једначине кретања флуида и дисперзне фазе
4. Удар честице у 3Д храпави зид
5. LES симулација пнеуматског транспорта у каналу правоугаоног попречног пресека
6. Закључак
7. Литература
8. Прилози

7. Закључак и предлог

На основу изложене анализе пријаве теме кандидата Дарка Р. Раденковића, дипл. инж. маш., студента Докторских студија, Комисија закључује да је предложена тема адекватна за израду докторске дисертације, као и да кандидат испуњава законске и истраживачке квалификације за рад на докторској дисертацији.

Имајући у виду све наведено, Комисија предлаже Већу докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду да се кандидату

Дарку Р. Раденковићу, дипл. инж. маш.

студенту Докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду, одобри израда докторске дисертације под називом:

„Утицај храпавости зидова канала при струјању мешавине гаса и честица у унутрашњим турбулентним струјањима“

која припада области техничких наука, **машинство**, ужој научној области **Механика флуида**.
За **ментора** током израде дисертације предлаже се проф. др **Цветко Црнојевић**, редовни професор на Катедри за механику флуида, Машинског факултета Универзитета у Београду.

У Београду,
21. 11. 2017. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
проф. др Цветко Црнојевић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

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

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

.....
проф. др Никола Младеновић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др Горан Живковић, виши научни саветник,
Институт за Нуклеарне Науке Винча

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: Цветко Црнојевић

Звање: редовни професор

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

1. Protic Z., Šašic M., Crnojevic C.: *Determination of Flow Losses in T-Pieces for High Pressure Climate Plants*. ZAMM 66 (1986) Vol. 4, pp. 256-258.
Impact Factor: 1.332
2. Crnojevic C.: *Theoretical-Experimental Determination Coefficients of Energy Loss in the T-branches*. ZAMM 69 (1989) 6, p. T564-T567.
Impact Factor: 1.332
3. Crnojevic C.: *Experimental Determination of Coefficients Energy Flux and Momentum flux in the T-branches*. ZAMM 71 (1991) 5, p. T499-T502.
Impact Factor: 1.332
4. Crnojevic C., Roy G., Bettahar A. and Florent P.: *Influence of regulator diameter and injection nozzle geometry on flow structure in pneumatic dimensional control systems*. Transactions of ASME, Journal of Fluids Engineering, Vol. 119., pp. 609-615, September 1997.
M21, Journal Impact Factor: 1.437
5. Crnojevic C. and Djordjevic D.V., *Correlated Compressible and Incompressible Channel Flows*. Transactions of ASME, Journal of Fluids Engineering, Vol. 119., pp. 911-915, December 1997. M21
(<http://fluidsengineering.asmedigitalcollection.asme.org/journal.aspx>)
6. Crnojevic C., Decool F. and Florent P.: *Swirl measurements in a motor cylinder*. Journal Experiments in Fluids, Vol. 26, pp.542-548, 1999.
M21, Impact Factor: 1.832
7. Djordjevic D.V. and Crnojevic C.: *Friction dominated, subsonic compressible flow in channels of slowly varying cross section*. Int. Journal Heat and Fluid Flow, Vol. 20, pp. 166-171, 1999.
M21, Impact Factor: 1,873

8. Vujičić M., Crnojević C.: Calculation of the turbulent flow in plane diffusers. International Journal of Numerical Methods for heat & Fluid Flow, Vol. 17, No. 5, pp.533-547 (2007).

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
