

Факултет МАШИНСКИ

184/4
(Број захтева)

Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)

01.03.2012. године
(Датум)

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

МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ РАЗВИЈЕНОГ ТУРБУЛЕНТНОГ СТРУЈАЊА У ПРАВИМ ПРАВОУГАОНИМ КАНАЛИМА

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Механика флуида

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: БРАНИСЛАВ (ДРАГИ) СТАНКОВИЋ
2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет у Београду
3. Година дипломирања: 1996.
4. Назив магистарске тезе кандидата: Оптимизација шаржних процеса
5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: University of Newcastle upon Tyne
6. Година одбране магистарске тезе: 2001.
7. Назив Факултета на коме је кандидат завршио докторске студије: _____ /

Одсек, смер или група: _____ / _____

Година завршетка докторских студија: _____ / _____

Обавештавамо Вас да је _____
(назив надлежног тела Факултета)

на седници одржanoј 01.03.2012.
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Прилог:

1. Предлог теме докторске disertacije sa obrazloženjem.
2. Akt nadležnog tela fakulteta o podobnosti teme za izradu doktorске disertacije.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број:184/4
Датум:01.03.2012.године
Београд, Краљице Марије 16

На захтев мр Бранислава Станковића, дипл.инж.маш., бр. 2963/1 од 29.11.2011. године, извештаја Комисије у саставу: проф.др Светислав Чантрак, проф.др Цветко Црнојевић, проф.др Милан Лечић, др Срђан Белошевић, виши научни сарадник ИНН Винча, др Мирослав Бенишек, ред.проф. М.Ф. у Београду у пензији, бр. 184/3 од 27.02.2012. године, а на основу чл. 128. Закона о високом образовању, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду на седници од 01.03.2012. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације **«МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ РАЗВИЈЕНОГ ТУРБУЛЕНТНОГ СТРУЈАЊА У ПРАВИМ ПРАВОУГАОНИМ КАНАЛИМА»** докторанта **МР БРАНИСЛАВА СТАНКОВИЋА**, дипл.инж.маш.

За ментора докторанту **Мр Браниславу Станковићу**, именује се **проф.др Светислав Чантрак**.

Одлуку доставити: Већу Научних области техничких наука Универзитета у Београду на сагласност, ментору и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
Машинског факултета Универзитета у Београду
Декану проф. др Милораду Милованчевићу

Предмет: Извештај о прихватању теме докторске дисертације кандидата мр Бранислава Станковића, дипл. инж. маш.

На основу Одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 184/2 од 26.01.2012. године, а по Пријави за израду докторске дисертације број 2963/1 од 29.11.2011. године кандидата мр Бранислава Станковића, дипл. инж. маш., именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме и њено одобравање, испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и именовање ментора. После проучавања достављеног материјала подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

Предложени назив теме је:

**Математичко моделирање развијеног турбулентног струјања
у правим правоугаоним каналима**

1. Подаци о кандидату

Бранислав (Драги) Станковић је рођен 01.04.1970. године у Београду. Дипломирао је 20.09.1996. године на Машинском факултету Универзитета у Београду, на одсеку за Процесну технику, одбраном дипломског рада под насловом: „Физичко-математички модели, закони трења и прорачуни двофазних струјања у системима процесног машинства“, на Катедри за Механику флуида, под менторством проф. др Светислава Чантрака, са оценом 10. Просечна оцена на крају студија била је 8,68.

Магистрирао је са дистинкцијом 12.09.2001. године на Универзитету у Њукаслу у Великој Британији, на групи за примену аутоматског управљања у процесној техници, одбраном магистарског рада под насловом: „Оптимизација шаржних процеса“, под менторством др Марк Вилиса.

Од 01.07.2006. године запослен је у Лабораторији за термотехнику и енергетику Института за нуклеарне науке Винча. По одлуци Научног већа Института за нуклеарне науке Винча, 24.05.2007. године, стекао је истраживачко звање истраживач сарадник.

У досадашњем истраживачком раду проучавао је проблеме моделирања турбулентних струјања и са њима повезане, нумеричке методе за решавање система једначина које описују турбулентне токове.

Објавио је следеће радове:

1. V.Bakić, S.Nemoda, M.Sijerčić, V.Turanjanin, B.Stanković, Experimental and numerical investigation of premixed acetylene flame, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 49, 2006, p. 4023-4032.
2. V.Bakić, M.Schmid, B.Stanković, Experimental investigation of turbulent structures of flow around a sphere, *Thermal Science*, Vol. 10, No. 2, 2006, p. 97-113.
3. B.Stanković, V.Bakić, Scheduling of Batch Operations – Model Based Optimisation Approach, *Facta Universitatis Series Mechanical Engineering*, Vol. 4, No. 1, 2006, p. 83-92.
4. B.Stanković, V.Bakić: „Prikaz stanja optimizacije šaržnih procesa u industrijskoj praksi“, CD-ROM Zbornik radova 19. Kongres o procesnoj industriji PROCESING 2006. Beograd, 14-16. jun 2006., str. 1-8.
5. V.Turanjanin, V.Bakić, B.Stanković, M.Pezo, Fossil Fuels Substitution by the Solar Energy Utilization for the Hot Water Production in the Heating Plant „Cerak“ in Belgrade, CD-ROM Proceedings IV Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, June 4-8 2007, Dubrovnik, Croatia (ISBN 13: 978-953-6313-87-7; ISBN 10: 953-6313-87-1), p. 1-10.
6. V.Bakić, G.Živković, M.Pezo, B.Stanković: „Numerical Simulation of the Air Flow around the Arrays of Solar Collectors“, CD-ROM Zbornik radova 13. Simpozijum termičara, 16-19. oktobar 2007., Sokobanja (ISBN: 978-86-80-587-80-6), str. 1-6.
7. V.Bakić, G.Živković, M.Pezo, B.Stanković, V.Turanjanin: „Uticaj vetra na radne parametre ravnog pločastog kolektora“, CD-ROM Međunarodni Simpozijum ELEKTRANE 2008., Vrnjačka Banja 28-31. oktobar 2008., str. 1-6.
8. Srdjan Belošević, Miroslav Sijerčić, Nenad Crnomarković, Branislav Stanković, Dragan Tucaković, Numerical prediction of pulverized coal flame in utility boiler furnaces, *Energy & Fuels* 23 (2009), pp. 5401-5412.
9. Srdjan Belošević, Miroslav Sijerčić, Nenad Crnomarković, Branislav Stanković, Numerical optimization of combustion and flame in pulverized coal-fired furnaces with respect to energy efficiency, Conference Full Text CD-ROM (ISBN 978-83-929704-0-8), *Energy Efficiency and Air Pollutant Control Conference, Wroclaw 2009*, Wroclaw, Poland, September 21-25, 2009, pp. 1-37.
10. B. Stanković, S. Belošević, M. Sijerčić, V. Bakić, Izbor optimalnih profila brzine i temperature u laminarnom graničnom sloju pri opstrujavanju ravne ploče primenom integralnog metoda proračuna, CD-ROM *Proceedings 14th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia*, Sokobanja, 13-16.10.2009. (ISBN: 978-86-80587-96-7), str. 35-42.
11. Vukman V. Bakić, Valentina M. Turanjanin, Marina P. Jovanović, Milada L. Pezo, Branislav D. Stanković, Mogućnost i opravdanost korišćenja supstitucije fosilnih goriva sunčevom energijom pri proizvodnji sanitarne tople vode, *Termotehnika*, 2010, XXXVI, 2-3, str. 257-265.
12. Branislav Stanković, Srđan Belošević, Miroslav Sijerčić, Nenad Crnomarković, Dragan Tucaković, Modeling and Analysis of NO_x Formation and Destruction in a Pulverized Coal-Fired Utility Boiler Furnace, CD-ROM *Međunarodna konferencija ELEKTRANE 2010*, 26-29. Oktobar 2010., Vrnjačka Banja (ISBN: 978-86-7877-020-3), str. 1-14.

13. Srdjan Belošević, Miroslav Sijerčić, Branislav Stanković, Nenad Crnomarković, Modeling and Optimization of NO_x Emission and Pulverized Coal Flame in Utility Scale Furnaces, CD-ROM *Proceedings Twenty-Seventh Annual International Pittsburgh Coal Conference PCC 2010*, Istanbul, Turkey, October 11-14, 2010 (ISBN: 1-890977-27-6), p. 1-22.
14. N.Đ. Crnomarković, M.A. Sijerčić, S.V. Belošević, B.D. Stanković, Influence of the Radiation Models on Results of Numerical Simulations of Pulverized Coal Furnaces, CD-ROM *Međunarodna konferencija ELEKTRANE 2010*, 26-29. Oktobar 2010., Vrnjačka Banja, Srbija (ISBN: 978-86-7877-020-3), str. 1-10.
15. Branislav Stanković, Srdan Belošević, Miroslav Sijerčić, Exploration Study of Fully Developed two-Dimensional Turbulent Channel Flow with Reynolds Stress Closures, , Serbia, CD-ROM *Proceedings 3rd International Symposium Contemporary Problems of Fluid Mechanics* (ISBN 978-86-7083-725-6), University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, 12. & 13. May 2011., p. 47-57.
16. Srdan Belošević, Branislav Stanković, Miroslav Sijerčić, Nenad Crnomarković, Slobodan Đekić, Dragan Tucaković and Titoslav Živanović, Simulation and optimization of combustion modifications in pulverized coal utility boiler with respect to NO_x emission and heat transfer efficiency, *Proceedings of the 24th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems* (Edited by: Milorad Bojić, Noam Lior, Jovan Petrović, Gordana Stefanović, Vladimir Stevanović, ISBN 978-86-6055-016-5), ECOS 2011, Novi Sad, Serbia, July 4-7, 2011, pp. 655-668.
17. Nenad Crnomarkovic, Miroslav Sijercic, Srdjan Belosevic, Branislav Stankovic, Dragan Tucakovic and Titoslav Zivanovic, Influence of forward scattering on prediction of temperature and radiation fields inside the pulverized coal furnace, *Proceedings of the 24th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems* (Edited by: Milorad Bojić, Noam Lior, Jovan Petrović, Gordana Stefanović, Vladimir Stevanović, ISBN 978-86-6055-016-5), ECOS 2011, Novi Sad, Serbia, July 4-7, 2011, pp. 692-703.
18. B. Stanković, S. Belošević, M. Sijerčić, N. Crnomarković, V. Beljanski, I. Tomanović, A. Stojanović, Investigation of Fully Developed Plane Turbulent Channel Flow by means of Reynolds Stress Models, *Proceedings/The 3rd International Congress of Serbian Society of Mechanics* (IConSSM 2011), Vlasina lake (Serbia), 5-8 July 2011 (editors Stevan Maksimović, Tomislav Igić, ISBN 978-86-909973-3-6), p. 321-338.
19. V. B. Beljanski, I. D. Tomanović, S. V. Belošević, M. A. Sijerčić, B. D. Stanković, N. Đ. Crnomarković, A. D. Stojanović, Numerical prediction of overfire air influence on FEGT and NO_x emission in 350 MW_e pulverized coal utility boiler, CD-ROM *Proceedings* (ISBN 978-86-6055-018-9), *15th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia*, Sokobanja, Serbia, 18-21 October 2011, str. 103-112.

На основу изложених биографских података, као и објављених радова, закључује се да кандидат испуњава све потребне услове за приступање изради докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет докторске дисертације је математичко моделирање и нумеричка симулација развијеног турбулентног тока у правим каналима правоугаоног попречног пресека. Турбулентно струјање кроз праволинијске цевоводе (канале) правоугаоног попречног пресека јавља се у различитим техничким применама као што су: размењивачи топлоте, турбомашине, вентилациони и расхладни системи, канали са електростатичким пречистачима димних гасова парних котлова, уводници ваздуха млазних мотора, млазници, дифузори итд. Пројектовање и анализа оваквих компонената система зависе од постојања података за читав домен геометрија и параметара струјања, који се могу извести из експерименталних истраживања, или применом прорачунских метода. При томе, развој

експерименталних база података је скуп и дуготрајан процес, тестови често не могу да обухвате сву различитост феномена, а поједине корелације се не могу егзактно експериментално одредити. Поуздано дефинисање турбулентног струјања у правим правоугаоним, или квадратним каналима (као њиховој посебној форми), неопходна је основа и за случајеве у којима постоји промена облика пресека и/или главног правца струјања.

Важан физички аспект турбулентног струјања у правим тродимензионалним правоугаоним каналима, као једном од фундаменталних проблема у механици флуида, јесте појава Prandtl-овог секундарног струјања друге врсте у равни управној на правац главног-аксијалног тока, које узрокује и кривљење контура средње брзине главног тока према угловима пресека. У области сваког угла јављају се по два секундарна вртлога која ротирају у контра смеру и играју кључну улогу у транспортним процесима између угла и центра канала. Многа експериментална истраживања бавила су се турбулентним токовима у правим каналима пресека различитог од кружног. Прво запажање секундарног тока оваквог типа добијено визуелизацијом струјања публиковано је 1926. (J. Nikuradse), али се тек након следећих 30 година обнавља интересовање за ову тематику. Секундарна струјања друге врсте јављају се као последица анизотропије турбулентних напона, настале услед дејства зида на флуид у специфичним геометријама. Ова струјања имају значајан утицај на транспорт количине кретања, као и знатно усложњавање структуре поља турбулентних напона у односу на кружне цеви и дводимензионалне канале. Детаљна истраживања секундарног струјања показују да између секундарног и аксијалног струјања такође постоје врло сложена међудејства, па се као директна манифестација секундарног струјања може сматрати и осредњена вртложност аксијалног тока. Због описане сложености разматраног струјног поља, чак и приближни прорачуни ових појава у литератури се тешко налазе. При практичним прорачунима струјања, секундарно струјање се често занемарује, како због непознавања и недостатака одговарајућих података, тако и због још увек неразвијених погодних прорачунских метода. Може се сматрати да још увек не постоји коначна теорија која би објаснила структуру струјног поља која узрокује појаву секундарног тока у оваквим геометријама. Много простора још увек остаје за разумевање физике процеса. Стога је интересовање за коректну нумеричку симулацију оваквих турбулентних токова и данас актуелно, а доминантан је правац истраживања везан за изналажење оптималних приступа моделирању феномена турбуленције као узрочника појаве секундарног тока.

Једначине конзервације масе и количине кретања описују струјање флуида детаљније и тачније од било ког мерења. За случај турбулентног струјања описаног Reynolds-овим транспортним једначинама не постоји егзактно решење због вишка непознатих. Појава и развој математичког моделирања турбуленције омогућили су затварање система транспортних једначина, прорачун битних карактеристика турбулентних струјања као и предикцију пратећих транспортних турбулентних процеса. Захваљујући својим перформансама ова дисциплина је заузела значајно место у научноистраживачким анализама како у замени и допуни физичких експеримената за проверу теоретских поставки тако и у екстраполацији постојећих сазнања на нове неутврђене ситуације. Област развоја и примене диференцијалних математичких модела турбулентних транспортних процеса већ деценијама представља једну од најдинамичнијих области техничко-технолошких наука. Диференцијални математички модели турбулентних струјања пружају детаљан опис процеса и нуде могућност ефикасне и поуздане анализе утицаја великог броја учествујућих параметара. Бројни су различити приступи моделирању као и модификације појединих модела и учествујућих феномена. Избор оптималног приступа и модела за одређене проблеме и сврхе није једноставан. Потребно је познавање суштине феномена турбуленције као и сопствено искуство на развоју и решавању одређених проблема. Коначни тест ма ког прорачунског модела који се односи на канал правоугаоног пресека је предикција струјног поља, узимајући у обзир анизотропију турбуленције и пратеће Prandtl-ово секундарно струјање друге врсте.

Генерално најширу примену су за сада нашли двоједначински диференцијални модели засновани на концепту турбулентне вискозности. Међу њима се као најпоузданији, најбоље верификован и најчешће примењиван, посебно за комплексне токове са разменом топлоте и масе, истиче $k-\epsilon$ модел турбуленције. Међутим, стандардни двоједначински модели турбуленције, који користе хипотезу о турбулентној вискозности и претпостављају изотропију у турбулентном току, не могу да предвиде постојање поменутог секундарног струјања. С друге стране, напонски модели турбуленције одсликавају локалну структуру и неізотропност турбуленције. Као алтернатива јављају се DNS/LES (Direct Numerical Simulation/Large Eddy Simulation) прорачуни, али су ове методе ограничене густином прорачунске мреже, чији укупан број чворова за DNS расте приближно са кубом Reynolds-овог броја средњег тока.

У постојећој констелацији могућности и потреба, логичним, оправданим и оптималним избором за решавање проблема затварања система једначина кретања, може се сматрати диференцијални напонски модел турбуленције, чија је главна предност у оптималном компромису између тренутног познавања физике турбуленције и могућности ефикасног решавања моделираних једначина расположивим рачунарима. Иако су у инжењерској пракси мање заступљени, напонски модели турбуленције су показали предност, како у погледу тачности тако и у погледу универзалности. Покушано је да се слабости модела базираних на концепту турбулентне вискозности које се испољавају код токова у правоугаоним геометријама превазиђу директним затварањем једначина кретања са транспортним једначинама за турбулентне напоне. Напонски модели омогућују прорачун турбулентних корелација које је тешко добити мерењем, омогућујући на тај начин истинску предикцију и прогнозирање транспортних процеса у сасвим непознатим условима. Овај модел, поред профила брзина, омогућава увид у дистрибуцију турбулентних напона као и утицај појединих механизма (продукција, дифузија, редистрибуција, ...) турбулентних интеракција у току. Ове могућности дају перспективу и за моделирање још једног значајног параметра турбуленције, а то је анизотропија турбулентних напона, која представља и основни узрок појаве секундарног тока. Потенцијали овог приступа моделирању ипак нису у потпуности искоришћени, па чак ни истражени, због постојећих нумеричких потешкоћа и недовољне тачности у моделирању појединих чланова, који се не појављују у једноставнијим моделима. Диференцијални напонски модели су за сада највиши ниво моделирања који се може применити за практичне прорачуне и имају за сада највише шанси за детаљно проучавање турбулентних токова.

На тржишту су расположиви комерцијални софтверски пакети развијени од стране специјализованих фирми, који обезбеђују квалитативне али не безусловно и квантитативне показатеље различитих разматраних процеса. Њихово коришћење и посебно управљање њима нису једноставни. Већина сегмената софтвера није доступна корисницима. До многих информација је тешко или немогуће доћи. Они су заправо усмерени ка решавању рутинских проблема, а примена искључиво оваквих нумеричких кодова тешко да се може сматрати примереном за научна разматрања, стицање нових сазнања и достизање нивоа развоја у свету. Они не доприносе сопственом развоју, што би требало да пружи основни смер једне докторске дисертације.

Проблем који се овде третира код нас није решаван, а у свету, мада је разматран различитим приступима, још се није дошло до сасвим поузданих решења, нарочито када је реч о детаљном локалном опису турбулентног тока. У оквиру дисертације биће развијен нумерички код на основу диференцијалног напонског модела турбуленције за високе Reynolds-ове бројеве. За верификацију модела поред расположивих нумеричких резултата добијених DNS симулацијама у домену релативно ниских Reynolds-ових бројева, користиће се и расположива експериментална истраживања у области високих Reynolds-ових бројева. Модел ће потом бити примењен за опис и истраживање феномена настанка, одржања и утицаја секундарног средњег струјања друге врсте, кохерентних вртложних структура и

осталих карактеристика потпуно развијеног турбулентног тока у квадратном и правоугаоном каналу.

Научни циљ дисертације је вишеструк и обухвата:

- адаптацију математичког модела и нумеричког кода за симулацију потпуно развијеног турбулентног монофазног изотермног тока у тродимензионалној геометрији правог квадратног и правоугаоног канала,
- адекватну верификацију нумеричког кода и валидацију прорачуна са циљем поуздане примене модела у техничкој пракси и
- примену нумеричког кода за проучавање развијеног турбулентног струјања у правом каналу квадратног и правоугаоног пресека, са нагласком на анализу доприноса појединачних чланова у транспортним једначинама за турбулентне напоне и опис настанка и карактеристика секундарног средњег струјања друге врсте, као основне одлике турбулентног тока у оваквим геометријама.

3. Полазне хипотезе

У овој докторској дисертацији полази се од следећих основних хипотеза:

- разматра се струјање у развијеном турбулентном току,
- разматра се нестишљив флуид,
- парцијалне диференцијалне једначине могу се дискретизовати, а добијени систем линеарних алгебарских једначина нумерички решити са задовољавајућом тачношћу,
- коначним бројем контролних запремина, може се на задовољавајући начин апроксимирати континуално струјно поље.

4. Научне методе истраживања

Методе које ће се у истраживањима користити обухватају:

- критичку анализу различитих приступа моделирању разматраног проблема,
- математичко моделирање процеса,
- верификацију развијеног нумеричког кода,
- поређење резултата моделирања са експерименталним резултатима и DNS предикцијама у циљу валидације прорачуна и математичког модела,
- нумеричку студију посматраних процеса и појава у разматраној геометрији.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани резултати и научни допринос дисертације су вишеструки. Ради се о првом докторату који је посвећен овој проблематици код нас, посебно што је реч о тродимензионалној геометрији. С једне стране, очекивани резултат дисертације је математички модел струјања на бази диференцијалног напонског модела турбуленције и нумерички код за симулацију развијеног турбулентног тока у правим квадратним и правоугаоним каналима. С друге стране, на основу изведених нумеричких симулација, биће представљена обимна нумеричка студија физике процеса и детаљна анализа комплексног турбулентног тока у разматраној геометрији. Нумеричка студија биће изведена са посебним освртом на карактеристике секундарног Prandtl-овог струјања друге врсте, као и профиле интензитета турбуленције у координатним правцима и билансних чланова у транспортним једначинама за турбулентне напоне, уз анализу и оцену њиховог утицаја на комплетно турбулентно струјно поље и његову анизотропију. Добијени нумерички резултати послужиће и као основа за превазилажење постојећих дилема које се јављају у избору нумеричких метода за опис овако комплексних токова. Практични значај предложене дисертације је у развоју и оптимизацији нумеричког модела за решавање комплексног турбулентног тока у квадратним и правоугаоним каналима као основе за бројне примене у техници, које се односе

на транспорт флуида у монофазном и двофазном току, као и трансфер топлоте и масе. Допринос докторске дисертације тако не би имао само научни карактер, већ би се огледао и у томе што би развијени математички модел могао да практично послужи за истраживања у областима и техничким системима које обухватају секундарна струјања друге врсте у циљу оптимизације комплексних транспортних процеса који су под значајним утицајем ових струјања. Као резултат, ово би могло дати и усавршавање технологије у специфичним применама.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање ће се извршити у оквиру планиране структуре докторске дисертације:

1. **Увод**
 - 1.1 Поставка проблема истраживања
 - 1.2 Циљ истраживања
 - 1.3 Преглед досадашњих истраживања
2. **Физика секундарних струјања**
 - 2.1 Феномени и класе секундарних струјања
 - 2.2 Структура струјања и механизам преноса турбулентних транспортних процеса Prandtl-ових секундарних струјања друге врсте
 - 2.3 Узроци настанка секундарних струјања у праволинијским цевоводима чији попречни пресеци нису кружни
 - 2.4 Утицај секундарног тока на примарно струјање
 - 2.5 Значај секундарног струјања за глобални прорачун струјања
3. **Математички модел и нумерички метод за решавање проблема турбулентног струјања у правим правоугаоним каналима**
 - 3.1 Основне једначине кретања вискозног флуида. Једначина вртложности.
 - 3.2 Преглед приступа моделирању турбуленције
 - 3.3 Анализа једначине вртложности. Утицај појединачних чланова.
 - 3.4 Избор оптималног модела турбуленције
 - 3.5 Једначине напонског модела турбуленције
 - 3.6 Гранични услови. Концепт зидних функција
 - 3.7 Основне карактеристике нумеричког метода и компјутерског кода
4. **Нумерички прорачун и анализа добијених резултата**
 - 4.1 Верификација компјутерског кода. Утицај прорачунске мреже
 - 4.2 Прелиминарно тестирање модела у дводимензионалном каналу
 - 4.3 Оптимизација развијеног диференцијалног напонског модела турбуленције. Утицај граничних услова на зиду.
 - 4.4 Валидација прорачуна у правом тродимензионалном квадратном каналу
 - 4.5 Анализа механизма турбулентних интеракција и доприноса појединачних чланова у транспортним једначинама за турбулентне напоне
 - 4.6 Анализа настанка и карактеристика стабилних кохерентних вртложних структура
 - 4.7 Детаљан опис структуре развијеног турбулентног струјања у појединим областима
 - 4.8 Нумеричка студија развијеног турбулентног тока у 3D геометрији правог квадратног канала, применом диференцијалног напонског модела турбуленције
 - 4.9 Генерализација проблема за случај струјања у правом правоугаоном каналу
5. **Закључак**
 - 5.1 Сумирани резултати
 - 5.2 Потенцијална примена
 - 5.3 Могућности даљег истраживања у овој области

7. Закључак и предлог

Анализом Пријаве за израду докторске дисертације кандидата мр Бранислава Станковића, дипл. инж. маш., Комисија закључује да предложена тема представља интересантну и савремену област за истраживање, да је као таква пододна и научно заснована и да може да буде предмет истраживања у докторској дисертацији, као и да кандидат испуњава и законске и истраживачке квалификације за рад на докторској дисертацији.

Стога, Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду и Већу научне области за техничко-технолошке науке Универзитета у Београду да кандидату:

мр Браниславу Д. Станковићу, дипл. инж. маш.

одобри тему докторске дисертације под називом:

**Математичко моделирање развијеног турбулентног струјања
у правим правоугаоним каналима**

при чему се кандидату предлаже ментор:

Проф. др Светислав Чантрак

С поштовањем,

У Београду, 27. фебруара 2012. год.

Чланови Комисије

Проф. др Светислав Чантрак

Проф. др Цветко Црнојевић

Проф. др Милан Лечић

Др Срђан Белошевић
виши научни сарадник
Институт Винча

Др Мирослав Бенишек
ред. проф. у пензији

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата мр Бранислава Станковића

Име и презиме ментора: Светислав Чантрак

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Čantrak S. M. (1988) Beitrag zur theoretischen Untersuchung wirbelhafter stationärer Strömungen ideal elektrisch leitender Gase, ZAMM – Z. Angew. Math. Mech. Band 68, Heft 5, T 282 – T 284, ISSN 0946-8463, IF: 0,188
2. Čantrak S., Benišek M., Nedeljković M, Lečić M. (2001) Problems of Non-Local Turbulent Transfer Modelling, ZAMM, Vol. 81, S4, S. 913-914, ISSN 0044-2267, IF: 0,238
3. Acrivlellis M., Čantrak S., Jungbluth H. (1982) Untersuchungen der Korrelationen höherer Ordnung in drallbehafteter Rohrströmung, Z. f. Flugwiss. u. Weltraumforschung (ZFW), B.6, H.2, pp 117-120, ISSN 0342-068X, IF: 0,213
4. Ćirić R., Čantrak S., Raić K.T., Rudolf R., Anžel I. (2009) Distribution of the Carbide Phase in the Viscoplastic Layer during the Rotational Friction-Welding of Various Steels, Metals and Materials International, Vol. 15, No. 5, pp. 831-841, ISSN 1598-9623, IF: 1,09
5. Lečić M.R., Ćočić A.S., Čantrak S.M. (2012) Original Measuring and Calibration Equipment for Investigation of Turbulent Swirling Flow in Circular Pipe, Experimental Techniques, DOI: 10.1111/j.1747-1567.2012.00812.x, ISSN 0732-8818, IF (2010): 0,505

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу

часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11,M12,M13,M14,M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односно дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум 29.02.2012.

М.П.

проф. др Милорад Милованчевић