

Факултет МАШИНСКИ

86/5
(Број захтева)

18.03.2010.
(Датум)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ Образац 1.

Већу научних области техничких наука

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

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

МОДЕЛИРАЊЕ И НУМЕРИЧКЕ СИМУЛАЦИЈЕ ВИХОРНИХ СТРУЈАЊА

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Механика флуида

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: АЛЕКСАНДАР (Слободан) ЂОЋИЋ

2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински фак. Београд

3. Година дипломирања: 2000

4. Назив магистарске тезе кандидата: Истраживање структуре нехомогене турбуленције применом
Инваријантне теорије

5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: Машински факултет Београд

6. Година одбране магистарске тезе: 2007.

7. Назив Факултета на коме је кандидат завршио докторске студије: /

Одсек, смер или група: /

Година завршетка докторских студија: /

Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)

на седници одржаној 18.03.2010. године
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 дисертације са образложењем.

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

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 86/5
Датум: 18.03.2010. године
Београд, Краљице Марије 16

На захтев мр Александра Ћоћића, дипл.инж.маш., бр. 86/1 од 19.01.2010. године, извештаја Комисије у саставу: проф.др Милан Лечић, проф.др Светислав Чантрак, проф.др Милош Павловић, проф.др Милош Бањац, проф.др Марко Иветић, Грађевински факултет Београд, бр. 86/4 од 16.03.2010. године, а на основу чл. 128. Закона о високом образовању, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду на седници од 18.03.2010. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације **«МОДЕЛИРАЊЕ И НУМЕРИЧКЕ СИМУЛАЦИЈЕ ВИХОРНИХ СТРУЈАЊА»** докторанта мр **АЛЕКСАНДРА ЋОЋИЋА**, дипл.инж.маш.

За ментора докторанту мр **Александру Ћоћићу**, именује се проф.др **Милан Лечић**.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

НАУЧНО НАСТАВНОМ ВЕЋУ

Машинског факултета Универзитета у Београду

Овде

Предмет: Извештај о пријави докторске дисертације мр Александра Ћоћића.

На основу одлуке Научно-наставног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 86/3 од 05.02.2010. године, а по пријави бр. 86/1 од 19.01.2010. године кандидата **мр Александра Ћоћића**, дипл. маш. инж., именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме и њено одобравање, испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и именовање ментора. Предложени назив теме докторске дисертације је ***Моделирање и нумеричке симулације турбулентних вихорних струјања***.

Научно подручје (научна област) истраживања у предложеној докторској дисертацији је механика флуида. У дисертацији ће бити истраживана турбулентна вихорна струјања, веома честа у техничкој пракси, посебно у турбомашинама. Главни акценат дисертације је на моделирању ове класе струјања, као и на нумеричким симулацијама истих. За нумеричке симулације користиће се програмски пакет (скуп C++ библиотека) отвореног кода под називом OpenFOAM. Поред нумеричког дела дисертације, чији је неизбежни пратилац и теоријско истраживање, биће обављена и експериментална истраживања помоћу сонди са усијаним влакнима.

Значај теме се огледа у њеној савремености, као и очекивању важних теоријских и примењених резултата који недостају. У новије време, из ове области се објављује завидан број референци, што указује на актуелност предмета истраживања и очекивани доприноси јасно говоре важности резултата који се очекују. Овде се ради евиденције наводе само неки од часописа у којима се публикују резултати истраживања из ове области:

- Journal of Fluid Mechanics
- Journal of Fluids Engineering
- Journal of Turbulence
- Ann Rev Fluid Mech
- Physics of Fluids
- Computers & Fluids
- ZAMM
- Journal of Heat and Mass Transfer

После проучавања достављеног материјала и детаљног образложења теме предложене докторске дисертације од стране кандидата, подносимо следећи извештај о прихватању теме докторске дисертације.

Извештај о прихватању теме докторске дисертације

1 Подаци о кандидату

1.1 Основни подаци

1.1.1 Лични подаци

- *Име, очево име и презиме:* АЛЕКСАНДАР, СЛОБОДАН, ЋОЋИЋ
- *Датум и место рођења:* 23.08.1975., Александровац, Србија
- *Адреса:* Типикова 3, 11000 Београд
- *Телефон:* 011 3302 308 *Моб:* 062 295 484
- *Email:* asocic@mas.bg.ac.rs

1.1.2 Образовање

- *2000-2007 Магистарске студије*
Машински факултет Београд, усмерење Примењена механика флуида. Сви испити положени са највећом оценом 10 (десет). Магистарска теза под називом "*Истраживање структуре нехомогене турбуленције применом инваријантне теорије*"; ментор је био проф. др. Светислав Чантрак, теза је одбрањена 07.06.2007. године на Машинском факултету у Београду.
- *1995-2000 Основне студије*
Машински факултет Београд, Одсек за аутоматско управљање. Дипломски рад из предмета *Пројектовање линеарних система* под називом: *Примена теорије генералисаних инверзи у анализи сингуларних система*, одбрањен са оценом 10 (десет) 27.10.2000. године.
- *1990-1994 Средњошколско образовање*
Гимназија општег смера у Александровцу, одељење Крушевачке гимназије, носилац Вукове дипломе. Матурски рад из Физике, тема: "*Нуклеарна физика - теорија и примена*".

1.1.3 Кретање у служби и боравци на специјализацијама

- од 07.12.2007. године асистент на Катедри за механику флуида, Машински факултет у Београду.
- од 15.07.2002 до 07.12.2007. године асистент-приправник на Катедри за механику флуида, Машински факултет у Београду.

- од 06.10.2003.-06.01.2004. године - стручно усавршавање Institut für Parallele und Verteilte Systeme, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland (стипендиста DAAD).
- од 01.11-15.11.2009. године - стручно усавршавање на Техничком Универзитету у Либерецу, Чешка.

1.1.4 Наставне активности

- Аудиторне вежбе из предмета: Механика флуида, Хидраулика и пнеуматика, Хидромеханика, Транспорт цевима, Транспорт чврстих материјала цевима, Динамика гасова, Механика флуида Б, Механика флуида М, Транспорт флуида цевима.
- Члан у две Комисије за одбрану дипломских радова.
- Скрипте (handout-и):
Скрипте за аудиторне вежбе из предмета: Механика флуида, Хидраулика и пнеуматика, Хидромеханика, Транспорт цевима, Транспорт Флуида цевима, Динамика гасова, Механика флуида Б, Механика флуида М.
Чантрак С., Лечић М., Тоћић А. (2008): Механика флуида - физичке основе, проблеми, Handout у оквиру предмета Механика флуида Б.
- Курсеви електронског учења на Moodle платформи из предмета Механика флуида, Динамика гасова, Транспорт цевима и Транспорт флуида цевима.
- Предавања и штампани манускрипт на Семинару на магистарским студијама:
 1. Тоћић А. (2002): Статистички опис турбуленције, Манускрипт предавања на магистарским студијама из предмета Турбулентна струјања, Машински факултет Београд.
 2. Тоћић А. (2002): Кавитација у техничким системима, Манускрипт предавања на магистарским студијама из предмета Вишефазна струјања, Машински факултет Београд.

1.1.5 Главне области истраживања

- Нумеричка механика флуида, Турбулентна струјања, Математичко моделирање струјања флуида.

1.1.6 Предавања на домаћим и иностраним семинарима

1. Ćoćić A. (2009): OpenFOAM and Open Source Philosophy in CFD, Lecture for PhD students at TU Liberec, Department of Fluid Power and Engineering, Czech Republic, 09.11.2009.
2. Тоћић А. (2009): Филозофија слободног софтвера и њена примена у едукацији и истраживању, Семинар Катедре за механику флуида, Машински факултет Универзитета у Београду, 15.04.2009.

3. Ćoćić A. (2008): An Introduction to OpenFOAM - Open Source CFD Software, Lecture for PhD students at TU Clausthal, Institut for Mechanics, Germany, 28.05.2008.
4. Тоћић А. (2008): Уводни појмови о $\text{\LaTeX}$ -у, Предавање у на докторским студијама на Машинском факултету у Београду у оквиру предмета *ОМНИР и комуникација*.
5. Тоћић А. (2008): Графички објекти у $\text{\LaTeX}$ -у, Предавање на докторским студијама на Машинском факултету у Београду у оквиру предмета *ОМНИР и комуникација*.
6. Тоћић А. (2008): OpenFOAM - уводно предавање, Предавање на Грађевинском факултету Универзитета, Катедра за хидротехнику и водно-еколошко инжењерство; Предмет: Нумеричка механика флуида, проф. др Марко Иветић, 10.04.2008.
7. Тоћић А. (2006): Основне компоненте уљно-хидрауличких система, Радни семинар на тему Уљне хидраулике са запосленима у Колубари из Лазаревца, Машински факултет Универзитета у Београду.
8. Тоћић А. (2006): Пропорционална и серво техника у уљној хидраулици, Радни семинар на тему Уљне хидраулике са запосленима у Колубари из Лазаревца, Машински факултет Универзитета у Београду.
9. Ćoćić A., Čantrak Dj. (2003): Ideas and fulfilling Lecture at Abteilung Simulation großer Systeme, Fakultät Informatik, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland, 18.12.2003.

1.1.7 Познавање рада на рачунару

- *Оперативни системи*: GNU/Linux, FreeBSD, Unix, Windows
- *Програмски језици*: FORTRAN, C/C++, Python, MPI, BASH
- *Програмски пакети*: $\text{\LaTeX}$, OpenFOAM, GNU GSL, Dolfn, Maxima, SciLab, QCad, GIMP, GNUPlot, GNUmeric, OOffice, GMSH, InkScape, XFig и др.

1.1.8 Знање страних језика

- Енглески (течно), француски (основно).

1.1.9 Чланство у струковним удружењима

- Српско друштво за механику.

1.2 Списак објављених радова

1.2.1 Научни радови у часописима међународног значаја (SCI листа)

1. Lečić M.R., Čantrak Dj.S., Čočić A.S., Banjac M.J. (2009): Piezoresistant Velocity Probe, *Experimental Techniques*, Vol. 33, May/June 2009, Issue 3, pp. 73-79, DOI: 10.1111/j.1747-1567.2009.00365.x, Society for Experimental Mechanics, Interscience, Wiley, ImpactFactor за 2008. год.: 0,268.

1.2.2 Научни радови у водећим часописима националног значаја

1. Lečić M., Radojević S., Čantrak Dj., Čočić A. (2007): V-type Hot Wire Probe Calibration, *FME Transactions*, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, New Series, Vol.35, Number 2, pp. 55-62., UDC:621, YU ISSN 1451-2092.

1.2.3 Рад саопштен на скупу међународног значаја, штампан у целини

1. Čočić A., Lečić M., Čantrak S. (2009): Investigation of Structure of Turbulent Flow in Circular Pipe With Sudden Area Contraction by Use of Invariant Theory and Numerical Simulations, XIV Conference on Modelling Fluid Flow, Budapest, Hungary.
2. Čočić A., Dobrnjac M., Lečić M. (2009): Primena slobodnog softvera za proračun vodovodnih mreža, *Međunarodna konferencija o dostignućima u mašinstvu i elektrotehnici, DEMI 2009*, Banja Luka, Bosna i Hercegovina.
3. Čantrak Dj., Ilić J., Hyde M., Čantrak S., Čočić A., Lečić M. (2008): PIV Measurements and Statistical Analysis of the Turbulent Swirl Flow Field, ISFV 13 - 13th International Symposium on Flow Visualization, FLUVISU 12 - 12th French Congress on Visualization in Fluid Mechanics, July 1-4., Nice, France, CD-ROM, ID 183-080420.

1.2.4 Радови штампани и изводу у материјалима скупова националног значаја

1. Лечић М., Тоћић А., Чантрак Ђ. (2003): Мерење поља притиска и брзине у слободном млазу помоћу сонде са диференцијалним пиезоотпорним сензором, *Зборник проширених резимеа*, стр. 59, Конгрес метролога 2003, Машински факултет Београд.

1.2.5 Учешће у научним пројектима финансираним од стране министарства науке и технолошког развоја Републике Србије

1. Истраживач на научном пројекту 14046 Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије под називом *"Истраживање и развој анемометарских сонди, мернокалибрационих поступака и оптичких метода за мерења у техничкој пракси"* - Технолошки развој, руководилац пројекта др Милан Лечић, доцент, 01.04.2008 - 31.03.2010. године.

2. Истраживач на научном пројекту ТР-6381Б Министарства науке и заштите животне средине Републике Србије под називом: *"Развој и реализација опреме, уређаја и сонди за мерење турбулентног брзинског поља флуида"*, од јуна 2005. године до јуна 2008. године.
3. Истраживач на научном пројекту бр. 1328 Министарства за науку и технологију Републике Србије *"Савремени проблеми механике флуида"*, од јануара 2003. до јануара 2005. године.

1.2.6 Стручни пројекти, експертизе и сарадња са привредом

1. Гајић А., Недељковић М., Пејовић С., Дубоњић Р., Божић И., Чантрак С., Тоћић А., Ивљанин Б., Рајић Р., Босанац Н., Гордић Р., Ђушић М. (2004) *"Повећање поузданости и расположивости хидроагрегата и његове ефикасности"* (Студија у оквиру *"Националног програма енергетске ефикасности"* МНТР - евидентациони број пројекта: ЕЕ 108- 179А), јун 2004.
2. Лечић М., Чантрак С., Росић Б., Анђелић Н., Чантрак Ђ., Тоћић А. (2005) Извештај о експертизи Пројекта *"Анализа нежељених померања у пумпној станици кондензаторске воде и предлог решења"* пројекантске фирме BDSP YU d.o.o., за ПЦ *"Ушће"* Нови Београд, изв.бр. 06-04-11/2005, Машински факултет Београд, новембар 2005.

1.3 Закључак о кандидату

- Кандидат је досадашњим истраживачким активностима испољио неоспорну надареност за научни рад.
- Публиковани радови у часописима међународног и националног значаја, као и учешћа у научно-истраживачким пројектима, указују на изразит смисао кандидата да се бави како теоријским, тако и сложеним експерименталним истраживањима.
- Досадашњи објављени радови и истраживачка делатност кандидата су суштински повезани са научном облашћу којој припада тема предложене докторске дисертације.

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

2.1 Предмет истраживања

Предмет докторске дисертације су комплексна теоријска, нумеричка и експериментална истраживања сложене структуре турбуленције при вихорним струјањима у правим кружним цевима и дифузорима. Истраживања у оквиру дисертације ће се састојати из три главна дела:

- Експериментални део истраживања биће посвећен мерењу карактеристика брзинског поља сондама са усијаним влакнима, као и усавршавање алгоритама при обради података добијених у поступку калибрације сонди са усијаним влакнима и резултата мерења;
- Теоријска разматрања посвећена динамици вртложности и кохерентним структурама у турбулентном вихорном струјању, са посебним акцентом на структури вртложног језгра, као и коришћењу инваријантне теорије у анализи структуре тензора турбулентних напона;
- У нумеричком делу истраживања, који представља главни акценат истраживања, тестирањем већ постојећих турбулентних модела, биће анализирани њихови недостаци, као и могућности корекције сваког од њих у овој класи струјања. Поред алгебарских, двоједначинских, као и RST (Reynolds Stress Transport) модела, као круна рада, биће коришћене и разне варијанте симулације великих вртлога (LES - Large Eddy simulation) која ће дати дубљи увид у просторно-временску еволуцију вртложних влакана, кохерентних структура и вртложног језгра, као и физичких феномена који се јављају у овој класи струјања;
- приликом сваког дела истраживања, биће дат приказ и анализа релевантне литературе и резултата истраживања других аутора из свих наведених области.

2.2 Циљ истраживања

- Овладавање HWA мерном техником и усавршавање алгоритама обраде података при калибрацији и мерењу;
- одговори на питања о динамици вртложности, кохерентних структуре и вртложног језгра у вихорном струјању;
- разматрање заједничког утицаја аксијалног деформисања флуидне струје и вихора при струјању у дифузорима;
- дубљи увид у физичку структуру вртложног језгра и кохерентних структура коришћењем симулације великих вртлога (LES), као и комбинованог приступа LES + RSTM, тј. симулација веома великих вртлога (VLES);

- које модификације треба унети у SGS (SubGrid Scale) моделирање, тј. у моделе које описују дешавања на размерама Колмогорова у симулацијама великих вртлога, у циљу што бољег слагања са експерименталним резултатима при вихорном струјању;
- развој програма за имплементацију мерних података добијених мерењима са сондама са усијаним влакнима у једном мерном пресеку као улазних параметара у симулацијама великих вртлога;
- додавање нових програмских модула у OpenFOAM-у, програмском пакету за нумеричку механику флуида (CFD) отвореног кода (Open Source) у симулацијама великих вртлога.

3 Полазне хипотезе

3.1 Основне хипотезе

Физичке појаве, процеси и феномени који се истражују у докторској дисертацији односе се на понашање реалних материјалних система чије се моделирање заснива на основним хипотезама непрекидне средине, тј. континуума. Основне хипотезе су:

- хипотезе механике континуума које се односе на структуру и природу материјалне средине;
- постојање физичко-хемијских процеса, микроскопских и макроскопских механизма преношења масе, импулса и енергије у непрекидним, лако покретљивим и деформабилним срединама;
- хипотезе о објективности, материјалности, индиферентности и инваријантности;
- фундаменталне хипотезе о понашању континуума у Еуклидовом метричком простору у апсолутном времену, без узимања у обзир ефеката теорије релативитета (Њутнова механика).

3.2 Хипотезе које се директно користе, формирају, проверавају и доказују сагласно циљу предложених истраживања

При дефинисању предмета, циља и садржаја истраживања у предложеној докторској дисертацији, утврђено је да се физичко-математичке анализе, методе мерења и обрада експерименталних података, као и у нумеричке симулације морају заснивати на следећим хипотезама:

- Радни медијум је ваздух који се у условима планираних истраживања понаша као њутновски флуид, тако да су конститутивне реолошке релације у складу са уопштеном Њутновом хипотезом и Стоксовим постулатима.

- Претходним истраживањима доказана је егзистенција вртложног језгра, као и постојање карактеристичних расподела брзине и притиска у турбулентном вихорном струјању.
- У процесима обраде и анализе како експерименталних, тако и резултата нумеричких симулација, користиће се хипотезе статистичких теорија и статистичке обраде података.
- Хипотеза о несаосном понашању и прецесионом кретању вртложног језгра биће детаљно истражена симулацијом великих вртлога.

4 Научне методе истраживања

Методе истраживања физичких појава и феномена се одвијају практично у три фазе. Прва фаза је уочавање појаве, у природи или техници. Друга фаза је процес математичког моделирања те појаве на основу физичких закона, конститутивних релација, теорема и одговарајућих претпоставки. Трећа фаза се односи на решавање једначина добијених математичким моделирањем, у последњим деценијама, најчешће нумеричким путем. Експериментална истраживања представљају неизбежно оруђе којим се показује у којој су мери математичко моделирање и резултати добијени нумеричким симулацијама добро описали посматрану појаву.

4.1 Опште и посебне научне методе које се примењују у планираном истраживању

Научна методологија решавања сложених проблема механике континуума, па према томе и проблема у предложеној дисертацији, заснована је на суштинској међузависности аналитичких, нумеричких и експерименталних метода и поступака.

4.1.1 Аналитичке методе

- Методе димензијске анализе
- Статистичке методе и принципи
- Методе механике континуума при описивању кретања непрекидних средина
- Моделирање турбуленције

4.1.2 Експерименталне методе

- Класична струјно-техничка мерења, везана за примену класичних мерних сонди за одређивање поља брзине и поља притиска (Питоова сонда, комбинована и угловна сонда, пиезо-сонда)
- Анеометарске методе са врелом жицом (HWA)

4.1.3 Нумеричке методе

- Нумеричке методе и алгоритми при обради резултата калибрације и мерења сонди са усијаним влакнима
- Дискретизација једначина, нумеричке шеме дискретизације, разне методе решавања система линеарних једначина
- Развој нумеричких алгоритама у симулацији великих вртлога
- Примена OpenFOAM-а у нумеричким симулацијама струјања, како приликом употребе већ постојећих турбулентних модела, тако и при симулацијама великих вртлога
- Посебни алгоритми у симулацијама великих вртлога и развој пратећих C++ програмских модула
- Имплементација развијених C++ модула у OpenFOAM.

4.2 Специфичне научне методе развијене у вези са реализацијом планираних истраживања

Комплексност истраживања у оквиру предложене докторске дисертације захтева развијање специфичних, како теоријских тако и нумеричких метода. Како је у раду неизбежна анализа извесних класа парцијалних диференцијалних једначина, онда се за њихово разматрање користе и специфичне квалитативне и квантитавне методе.

4.2.1 Специфичне аналитичке методе

Сложена тематика предложене дисертације намеће и примену специфичних аналитичких метода при истраживању. Турбулентна струјања се описују системом нелинеарних парцијалних диференцијалних једначина. Физичко-математичком анализом тих једначина неопходно је формирати математичке моделе који ће омогућити дубљи увид у физику вртложних структура. Такође, инваријанта теорија је моћан алат у анализи турбулентних струјања. У оквиру предложене дисертације биће примењене и развијене специјалне методе у оквиру те теорије.

4.2.2 Специфичне експерименталне методе

За предвиђена експериментална истраживања користиће се сонде са усијаним влакнима које омогућаваја мерења турбулентних брзинских поља са веома великом фреквенцијом узорковања сигнала. Та мерења су везана за временску промену брзине у једној тачки струјног поља, али мерењем у разним попречним пресецима дифузора и цеви, може се стећи увид о променама статистичких карактеристика брзинског поља, како одговарајућем попречном пресеку, тако и дуж осе цеви (дифузора). Како сонде са усијаним влакнима дају стварну (тренутну) брзину у тачакама струјног поља, ти подаци ће бити улазни параметри који ће генерисати турбуленцију у прорачунском домену у симулацијама великих вртлога.

4.2.3 Специфичне нумеричке методе

Приликом обраде резултата калибрације и мерења са сондама са усијаним влакнима биће развијени специфични алгоритми којима се напонском сигналу са сензора сонди једнозначно придружује одговарајући вектор брзине. Такође, у анализи експерименталних резултата је неопходна и примена статистичко-корелационе анализе. У нумеричким симулацијама струјања, неизбежно ће бити коришћене и специфичне нумеричке методе карактеристичне за ту област механике флуида. Биће тестирани ефикаснији алгоритми за решавање система линеарних једначина који су производ дискретизације парцијалних диференцијалних једначина које описују струјање. Затим ће бити анализиран утицај примене разних начина филтеровања сигнала у симулацији великих вртлога, и директно ће бити прорачунате кохерентне структуре и њихова просторно-временска еволуција. Комбиновани приступ нумеричких симулација тако што се један део струјног простора (гранични слој) прорачунава са RST моделима, док се остали део простора прорачава симулацијом великих вртлога биће такође анализиран. У анализи резултата нумеричких симулација и њиховом одговарајућем приказу биће примењиване разне интерполационе методе.

5 Очекивани научни допринос

Полазећи од циља научног истраживања у предложеној докторској дисертацији, очекује како научни, тако и стручни допринос. Изучавање наведених феномена спада у класу најкомплекснијих феномена турбуленције, који имају не само велики теоријски, већ и практични значај. Нумеричке симулације тих феномена дају много дубљи увид у њихову физику, и потенцијално откривају нове законитости у турбуленцији. Сагласно постављеном циљу, садржају и поступцима истраживања, очекују се следећи научни резултати:

- развој и примена нових алгоритама у поступцима калибрације сондама са усијаним влакнима;
- анализа резултата мерења и утврђивање структура турбуленције у правој кружној цеви и дифузору применом инваријантне теорије;
- моделирање и нумеричке симулације турбулентних вихорних струјања;
- одређивања просторно временске еволуције вртложног језгра симулацијама великих вртлога;
- заједнички утицај аксијалне деформације и вихора на структуре турбуленције при струјању у дифузорима.

Турбулентна вихорна струјања су веома присутна у техничкој пракси: струјања у турбомашинама, циклонима, приликом сагоревања у разним коморама, итд. Резултати експеримената и нумеричких симулација таквог струјања у правим кружним цевима и дифузору даће дубљи увид у физику турбуленције у овој класи струјања. То ће у великој мери помоћи да се таква струјања боље разумеју и предвиде помоћу нумеричких

симулација и у техничким уређајима, као и да се испита њихов утицај на ефикасност уређаја.

Из претходно реченог проистиче закључак да би реализација теоријских, експерименталних и нумеричких истраживања у предложеној докторској дисертацији у великој мери допринела не само новим научним и стручним знањима, већ и будућем развоју комплексних истраживања у овој области науке и технике.

6 План истраживања и структура дисертације

Истраживања у оквиру предложене дисертације су сложена и мултидисциплинарна. Она захтевају тесно повезивање теорије, експеримента и нумерике, па оно неминовно прожима целокупни програм и план истраживања у оквиру предложене докторске дисертације.

6.1 Редослед истраживања

Најпре се истражује физика процеса, проучавају достигнућа на теоријском пољу, формирају одговарајући математички модели и једначине које описују струјање. Због немогућности добијања егзактних решења тих једначина, биће тестирани постојећи модели турбуленције и тумачени одговарајући резултати добијени нумеричким симулацијама у програмском пакету за нумеричку механику флуида отвореног кода, OpenFOAM-у. Компарација тих резултата са експерименталним резултатима других аутора, ће дати дубљи увид о примењивости одговарајућих модела у овој класи турбулентних струјања, као и могућности њихове корекције, и додавањем нових програмских модула у OpenFOAM-у. Такође, у овој фази струјања ће бити урађене и прве симулације великих вртлога турбулентних вихорних струјања у цевима и дифузорима.

У другој фази истраживања прво се формира план експерименталних истраживања са одговарајућим фазама и приступа мерењима са сондама са усијаним влакнима на припремљеним инсталацијама. У оквиру овог дела се развијају и имплементирају одговарајући алгоритми за обраду сигнала калибрације и мерења користећи објектно-оријентисани приступ у програмирању, тј. развија се програм у ту сврху у програмском језику C++ на GNU/Linux платформи.

Трећа фаза истраживања је посвећена LES методи. Експериментални резултати мерења карактеристика турбуленције у разним попречним пресецима цеви и дифузора добијени у другој фази истраживања биће коришћени, како за поређење резултата добијених симулацијама великих вртлога, тако и као улазни параметри за генерисање турбуленције у једном делу прорачунског домена. У оквиру овог дела истраживања биће додати програмски модули у OpenFOAM, написани у C++, који ће симулацију великих вртлога учинити ефикаснијом и прилагођенијом за истраживања у предложеној докторској дисертацији.

6.2 Структура рада и преглед глава у предложеној докторској дисертацији

Структура предложене докторске дисертације је следећа

- 1. Увод**
- 2. Турбулентна вихорна струјања**
- 3. Мерења турбуленције са сондама са усијаним влакнима**
- 4. Симулације великих вртлога (LES)**
- 5. Анализа експерименталних резултата**
- 6. Анализа и резултати симулација великих вртлога**
- 7. Закључак**

Литература

Приказана структура рада, заједно са изложеном материјом у вези са предметом и циљем истраживања, хипотезама, методама и очекиваним научним доприносом, с једне стране јасно указује на актуелност и комплексност предложене докторске дисертације, а са друге стране пружа могућност остваривања оригиналних научних и стручних резултата у научним областима механике флуида.

7 Закључак и предлог

На основу биографије кандидата и списка објављених радова, детаљног образложења теме Комисија закључује следеће:

- Кандидат испуњава све потребне, законске и истраживачке услове за приступање изради докторске дисертације
- Предложена представља интересантну и савремену област за истраживање, да је као таква подобна и научно заснована и да може да буде предмет истраживања у докторској дисертацији

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

мр Александру Ћоћићу, дипл. инж. маш.

одобри тему докторске дисертације под називом

Моделирање и нумеричке симулације вихорних струјања

при чему се кандидату предлаже ментор **др Милан Лечић, в.проф.**

Београд, 15.03.2010. год.

др Милан Лечић, в. проф

проф. др Светислав Чантрак

проф. др Милош Павловић

др Милош Бањац, в.проф.

проф. др Марко Иветић,
Грађевински факултет
Универзитета у Београду

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: **МИЛАН ЛЕЧИЋ**

Звање: Ванредни професор

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

1. Čantrak, S., Beníšek, M., Nedeljković M. i Lečić, M. (2001) Problems of non-local turbulent transfer modelling. ZAMM, Vol.81, S4, S.913-914, Wiley-VCH, Berlin, Deutschland, ISSN 0044-2267, IF 0.644
2. Lečić M. R., Čantrak Đ.S., Čočić A. S. and Banjac M.J. (2008) Piezoresistant velocity probe. Experimental Techniques, Wiley, Inter Science, Early view, Published Online: Jun 28. 2008., DOI: 10.1111/j.1747-1567.2008.00365.x. , ISSN 0732-8818, IF 0.268
3. Miroslav H. Beníšek, Milan R. Lečić, Dejan B. Ilić and Đorđe S. Čantrak, Application of new classic probes in swirl fluid flow measurements. Experimental Techniques, Wiley, Inter Science, Рад прихваћен за штампу 15. 12. 2008. , ISSN 0732-8818, IF 0.268
4. Milan R. Lečić, (2009) A new experimental approach to the calibration of hot-wire probes, Flow Measurement Instrumentation, Vol. 20, Issue 3, Jun 2009, pp. 136-140., ISSN 0955-5986, IF 0.819
5. Milos Banjac, Mirjana Stamenic, Milan Lecic and Milan Stakic: “*Size distribution of agglomerates of milk powder in wet granulation process in a vibro-fluidized bed*” , Vol.26, No. 03, pp. 515-525, July-September 2009, Brazilian Journal of Chemical Engineering, ISSN 0104-6632, IF 0.475

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
