

Факултет МАШИНСКИ

506/4
(Број захтева)

03.04.2014.
(Датум)

Образац 1.
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

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

НУМЕРИЧКА СИМУЛАЦИЈА СТРУЈНОГ ПОЉА ВАЗДУХА У НАДЗВУЧНОМ МЛАЗНИКУ СА ПРЕПРЕКОМ НА ИЗЛАЗУ

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Ваздухопловство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: ОЛИВЕРА (ПЕТАР) КОСТИЋ

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

3. Година дипломирања: 1994.

4. Назив магистарске тезе кандидата: Интерференција крило-труп методом панел

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

6. Година одбране магистарске тезе: 2006.

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 03.04.2014. 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:506/4
Датум:03.04.2013. године
Београд, Краљице Марије 16

На захтев мр Оливере Костић, дипл.инж.маш., бр. 346/1 од 14.02.2014. године, извештаја Комисије у саставу: проф.др Зоран Стефановић, ментор, проф.др Слободан Ступар, проф.др Александар Симоновић, проф.др Марко Милош и др Бранислав Јојић, ред.проф. М.Ф. у пензији, бр. 506/3 од 01.04.2014. године, а на основу чл. 128. Закона о високом образовању, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду на седници од 03.04.2014. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације **«НУМЕРИЧКА СИМУЛАЦИЈА СТРУЈНОГ ПОЉА ВАЗДУХА У НАДЗВУЧНОМ МЛАЗНИКУ СА ПРЕПРЕКОМ НА ИЗЛАЗУ»** докторанта **МР ОЛИВЕРЕ КОСТИЋ**, дипл.инж.маш.

За ментора докторанту **Мр Оливери Костић**, именује се **проф.др Зоран Стефановић**.

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

Предмет: Подобност теме и кандидата мр Оливере Костић, дипл. маш. инж., магистра техничких наука, за израду докторске дисертације под насловом:

**НУМЕРИЧКА СИМУЛАЦИЈА СТРУЈНОГ ПОЉА ВАЗДУХА У
НАДЗВУЧНОМ МЛАЗНИКУ СА ПРЕПРЕКОМ НА ИЗЛАЗУ**

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду од 20.03.2014, бр. 506/2, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата мр Оливере Костић, дипл. маш. инж. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме “Нумеричка симулација струјног поља ваздуха у надзвучном млазнику са препреком на излазу”.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Оливера Костић (рођена Живковић), дипломирани инжењер машинства, рођена је 26.11.1969. год. у Београду, где је завршила основну школу, а затим Математичку гимназију. Машински факултет Универзитета у Београду уписала је 1988. године. Дипломирала је на Одсеку за ваздухопловство 1994. године са просечном оценом 8,79, одбранивши дипломски рад са оценом 10. Након дипломирања, уписала је магистарске студије на Одсеку за ваздухопловство, а магистарску тезу „Интерференција крило-труп методом панела“ под менторством проф. др Слободана Ступара одбранила је 22. 12. 2006. године.

Након завршетка студија била је запослена три године у Институту за ваздухопловство Машинског факултета у Београду у звању „Истраживач-сарадник“ и у том периоду је активно учествовала на већем броју актуелних пројеката.

Од фебруара 1999. године радила је у „Визахем-Рекорд“ ДОО у Београду прво на радном месту „Технолог одржавања процесних машина и опреме“, а од 2006. до 2008. године као „Шеф техничко-енергетског бироа“.

Од јула 2008. до септембра 2010. године радила је у фирми „Верс“ ДОО као одговорно лице за испитивање услова радне околине.

Од 15. 09. 2010. године до данас ради као сарадник у Иновационом центру Машинског факултета Универзитета у Београду.

1.2. Подаци о магистратури

Тема: Интерференција крило-труп методом панела

Област: машинство-ваздухопловство

Ментор: проф. др Слободан Ступар

Факултет: Машински факултет Универзитета у Београду

Датум одбране: 22. 12. 2006. године

У магистарском раду је рађена нумеричка анализа узгонских карактеристика авиона применом методе панела. Панелне методе пружају могућност да се већ у фази прелиминарног развоја пројекта брзо и ефикасно дефинише глобална геометрија и диспозиције његових узгонских површина – крила, хоризонталног репа или канара. У раду су представљени најрелевантнији теоријски аспекти коришћеног панелног кода, укључујући поступке моделирања ефеката узгонске интерференције крило – труп, при чему се “крило” користи као универзални термин за узгонске површине. Прорачунски модел је верификован на три карактеристичне конфигурације – безрепац, канар и два борбена авиона са класичним хоризонталним репом. У прва два случаја поређење је обављено на основу расположивих експерименталних резултата, док су у трећем анализе базиране на познатим концепцијским разликама, укључујући и анализе карактеристика уздужне статичке стабилности. Показано је да се оваквим прорачунским моделом, који неминовно подразумева наменска геометријска поједностављења, могу успешно анализирати и дефинисати прелиминарне узгонске конфигурације ваздухоплова. У односу на изворни код типа Vudvord – Karmajkl, у овом случају уведене су одређене модификације у смислу његове примене, при чему су одређени аспекти моделирања узгонске интерференције на трупу посебно анализирани. Тако добијени резултати представљају врло квалитетан улаз за даљу детаљнију разраду пројекта коришћењем прорачунских алгоритама високог нивоа комплексности, чије би коришћење за иницијално дефинисање облика и положаја узгонских површина летелице у присуству трупа свакако изисковало неупоредиво више времена.

Сматрамо да је испуњен услов да кандидат има магистратуру из области из које жели да ради докторат.

1.3. Стечено научно-истраживачко искуство

У току рада у Институту за ваздухопловство Машинског факултета у Београду држала је вежбе на предмету Програмирање, на првој години додипломских студија. У области ваздухопловних пројеката радила је на пословима пројектовања и испитивања лопатица репног ротора хеликоптера Ми-8 од пластичних композитних материјала, као и на статичким, динамичким и фреквентним испитивањима композитних крила ваздухопловне једрилице „Вук-Т“, за потребе

ванредног одржавања и обнављања пловидбености. У области неваздухопловних пројеката овог Института била је укључена у послове пројектовања, прорачуна, израде и испитивања резервних композитних крила вентилатора расхладних торњева од 110 MW термоелектране „Колубара“, као и на репројектовању лопатице ротора 38. ступња парне турбине ниског притиска за исту термоелектрану. Коаутор је једне књиге и више научно-стручних радова. Говори енглески језик.

Кандидат је у прилогу дао списак објављених радова, саопштења на конгресима и пројеката на којима је учествовао.

Радови објављени у научним часописима:

1. Иван Костић, Зоран Стефановић, Златко Петровић, Оливера Костић, Abdulhakim Essari: *Hybrid Approach in the Initial Aerodynamic, Stability and Performance Calculations of a Light Aircraft*, Tehnički vjesnik – Technical Gazette, ISSN 1330-3651, Vol. 20 (2013), 4, pp. 605-614 (**импакт фактор за 2012. годину 0,601**).
2. Зоран Стефановић, Иван Костић, Оливера Костић: *Efficient Evaluation of Preliminary Aerodynamic Characteristics of Light Trainer Aircraft*, Научни рад проистекао из излагања на конгресу, објављен позиву редакције (проширена и допунски рецензирана верзија) у часопису Engineering Review, Vol. 32, 1, pp. 49-56, 2012

Радови објављени у зборницима научно – стручних скупова:

1. Зоран Стефановић, Иван Костић, Оливера Костић: *Primary Aerodynamic Analyses of a New Light Aircraft in Symmetrical Flight Configurations*, Proceedings of the 7th international Symposium Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering – KOD 2012, ISBN 978-86-7892-399-9, pp.97-104, Balatonfüred, Hungary, 24.-26.05.2012. (Напомена: скуп међународног значаја, објављен у целини)
2. Зоран Стефановић, Иван Костић, Оливера Костић: *Efficient Evaluation of Preliminary Aerodynamic Characteristics of Light Trainer Aircraft*, Proceedings of International Conference on Innovative Technologies IN-TECH 2011, 01.-03.09.2011., Bratislava, Slovakia, pp. 520-523. (Напомена: скуп међународног значаја, објављен у целини)
3. Оливера Живковић, Иван Костић: *Примена методе носећих површина у прелиминарној анализи међусобног утицаја узгонских површина - XXII југословенски конгрес теоријске и примењене механике ЈУМЕН '97*, стр. 63-68, Врњачка Бања, 1997.
4. Т. Драговић, З. Петровић, С. Пешић, Ч. Митровић, И. Костић, Д. Цветковић, А. Бенгин, Д. Бекрић, С. Јеремић, О. Живковић: *Пројектовање, израда и експлоатација композитних лопатица вентилатора расхладних кула ТЕ “Колубара”* - Научноистраживачки симпозијум са међународним учешћем “Стваралаштво као услов привредног развоја”, Београд 1996.
5. Оливера Живковић, Иван Костић, Златко Петровић, Часлав Митровић: *Нумеричка анализа узгонских карактеристика лаког авиона конфигурације*

канар методом носеће површине - Симпозијум "Ваздухопловство '95", стр. А73-А78, Београд 1995.

Пројекти у којима је кандидат учествовао:

1. Пројекат: *Идејни пројекат лаког авиона за основну обуку*, ев. бр. 345/1 од 19.11.2009, руководиоца проф. др Зоран Стефановић (пројекат Иновационог центра Машинског факултета у Београду):

Zoran Stefanović, Ivan Kostić, Olivera Kostić: WING AIRFOIL SELECTION, izveštaj br. BS03-C-TR-AD01-01

Zoran Stefanović, Ivan Kostić, Olivera Kostić: PRELIMINARY AERODYNAMIC ANALYSIS, WING AERODYNAMICS CHARACTERISTICS, izveštaj br. BS03-C-TR-AD02-01

Zoran Stefanović, Ivan Kostić, Olivera Kostić: PRELIMINARY AERODYNAMIC ANALYSIS, AIRPLANE AERODYNAMICS CHARACTERISTICS, izveštaj br. BS03-C-TR-AD03-01

Zoran Stefanović, Ivan Kostić, Olivera Kostić: AIRPLANE LIFT AND DRAG ENVELOPE, izveštaj br. BS03-C-TR-AD04-01

Zoran Stefanović, Ivan Kostić, Olivera Kostić: ESTABLISHING THE WING PARAMETERS, izveštaj br. BS03-C-TR-GD04-01

Zoran Stefanović, Ivan Kostić, Olivera Kostić: PRELIMINARY PERFORMANCE CALCULATIONS, izveštaj br. BS03-C-TR-PE01-01

Zoran Stefanović, Ivan Kostić, Olivera Kostić: AERODYNAMIC ANALYSIS OF AIRPLANE FOR SYMMETRICAL FLIGHT CONDITION CASES BASED ON 3D VORTEX LATTICE METHOD, izveštaj br. BS03-P-TR-AD01-01

Zoran Stefanović, Ivan Kostić, Olivera Kostić: DATA SUMMARY OF AERODYNAMIC ANALYSIS FOR SYMMETRICAL FLIGHT CONDITION CASES OBTAINED FROM 3D VORTEX LATTICE SOFTWARE, izveštaj br. BS03-P-TR-AD02-01

Zoran Stefanović, Ivan Kostić, Olivera Kostić: AIRPLANE FULL 3D VISCOUS COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANALYSIS, izveštaj br. BS03-P-TR-AD03-01

Ivan Kostić, Olivera Kostić, Milivoje Tomić: ELECTRONIC SYSTEM INSTALATION QUALITY REGULATION, izveštaj br. BS03-P-TR-EV04-01

Ivan Kostić, Olivera Kostić, Milivoje Tomić: INTERNAL STANDARD No IS.1.10.01, izveštaj br. BS03-P-TR-GD08-01

Ivan Kostić, Olivera Kostić, Milivoje Tomić: INTERNAL STANDARD No IS.1.10.02, izveštaj br. BS03-P-TR-GD09-01

Zoran Stefanović, Ivan Kostić, Olivera Kostić: PERFORMANCE ANALYSIS OF BS – 03 AIRPLANE FOR VERSION: UTILITY, izveštaj br. BS03-P-TR-PE01-01

Zoran Stefanović, Ivan Kostić, Olivera Kostić: PERFORMANCE ANALYSIS OF BS – 03 AIRPLANE FOR VERSION: AEROBATIC, izveštaj br. BS03-P-TR-PE02-01

Zoran Stefanović, Ivan Kostić, Olivera Kostić: STATIC STABILITY ANALYSIS, izveštaj br. BS03-P-TR-PE03-01

Ivan Kostić, Olivera Kostić, Milivoje Tomić: INTERNAL STANDARD No IS.1.10.03, izveštaj br. BS03-P-TR-PR01-01

- Ivan Kostić, Olivera Kostić, Milivoje Tomić: INTERNAL STANDARD No IS.1.10.04, izveštaj br. BS03-P-TR-PR02-01
- Ivan Kostić, Olivera Kostić, Milivoje Tomić: PITOT SYSTEM QUALITY REGULATION, izveštaj br. BS03-P-TR-SY03-01
- Ivan Kostić, Olivera Kostić, Milivoje Tomić: HIDRAULIC SYSTEM QUALITY REGULATION, izveštaj br. BS03-P-TR-SY04-01
- Ivan Kostić, Olivera Kostić, Milivoje Tomić: SYSTEMS FOR HEATING AND VENTILATION QUALITY REGULATION, izveštaj br. BS03-P-TR-SY05-01
- Ivan Kostić, Olivera Kostić, Milivoje Tomić: POWER PLANT SYSTEM QUALITY REGULATION, izveštaj br. BS03-P-TR-SY06-01
- Ivan Kostić, Olivera Kostić, Milivoje Tomić: FUEL SYSTEM QUALITY REGULATION, izveštaj br. BS03-P-TR-SY07-01
- Ivan Kostić, Olivera Kostić, Milivoje Tomić: AIRPLANE CONTROLS SYSTEM QUALITY REGULATION, izveštaj br. BS03-P-TR-SY08-01
- Zoran Bojanić, Zoran Stefanović, Aleksandar Pantović, Zlatko Petrović, Aleksandar Grbović, Danilo Petrašinović, Ivan Kostić, Olivera Kostić, Aleksandar Bojanić, Irena Stepić, Bojan Šekutkovski: STATIC STRENGTH TEST OF THE WING CASE D-23, izveštaj br. BS03-D-TR-TO01-01
- Zoran Bojanić, Zoran Stefanović, Aleksandar Pantović, Zlatko Petrović, Aleksandar Grbović, Danilo Petrašinović, Ivan Kostić, Olivera Kostić, Aleksandar Bojanić, Irena Stepić, Bojan Šekutkovski: STATIC TEST OF VERTICAL TAIL CASE C-3 AND FUSELAGE UNDER ITS INFLUENCE, izveštaj br. BS03-D-TR-TO02-01
- Zoran Bojanić, Zoran Stefanović, Aleksandar Pantović, Zlatko Petrović, Aleksandar Grbović, Danilo Petrašinović, Ivan Kostić, Olivera Kostić, Aleksandar Bojanić, Irena Stepić, Bojan Šekutkovski: STATIC TEST OF ENGINE MOUNT AND FUSELAGE UNDER ITS INFLUENCE, izveštaj br. BS03-D-TR-TO03-01
- Zoran Bojanić, Zoran Stefanović, Aleksandar Pantović, Zlatko Petrović, Aleksandar Grbović, Danilo Petrašinović, Ivan Kostić, Olivera Kostić, Aleksandar Bojanić, Irena Stepić, Bojan Šekutkovski: STATIC TEST OF HORIZONTAL TAIL, izveštaj br. BS03-D-TR-TO04-01
2. Т. Драговић, З. Петровић, С. Пешић, Ч. Митровић, И. Костић, Д. Цветковић, А. Бенгин, Д. Бекрић, С. Јеремић, О. Живковић: *Пројектовање, прорачун, израда и испитивање крила вентилатора расхладног торња од 110MW термоелектране “Колубара”* - Институт за ваздухопловство Машинског факултета, Београд 1995.

Књига:

1. Драган Цветковић, Часлав Митровић, Иван Костић, Александар Бенгин, Драгољуб Бекрић, Саша Јеремић, Сузана Поповић, Оливера Живковић: *Војни авиони и хеликоптери - основни подаци и огољене конструкције, практикум*, YU ISBN 86-7991-021-X, издавач CET - Computer Equipment and Trade, обим 192 стране, Београд 1995.

1.4. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу биографских података кандидата, досадашњих научних и стручних активности и остварених резултата, Комисија сматра да је кандидат мр Оливера Костић, дипл. маш. инж., магистар техничких наука, способна и подобна за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

У области динамике флуида за моделирање и нумеричку анализу спољашњих и унутрашњих струјања развијен је велики број програмских пакета којима, не само да се постиже уштеда у времену и новцу у односу на експериментална испитивања, већ се могу ефикасно користити као замена за експерименте које је компликовано или понекад немогуће извести. Са друге стране, класичним начинима моделирања базираним на упрошћеним нумеричким методама и претпоставкама, не може се постићи она тачност коју може пружити адекватно калибрисан и еталонизирани нумерички пакет. Нумерички пакети имају могућност генерисања великог броја података о струјању које се анализира. Квантитативна анализа добијених резултата врши се на основу нумеричких вредности из излазног блока. Квалитативна анализа обавља се помоћу одговарајућег кода за постпроцесирање, који омогућава да се резултати представе на начин који највише одговара врсти проблема који се проучава. Могућности графичког приказивања резултата су практично бесконачне (2D, 3D графика, анимације итд.), што може бити од велике користи за представљање физикалности разматраног проблема, идентификовање проблематичних области, квалитативно (али у одређеним аспектима и квантитативно) поређење са записима добијеним одговарајућим поступком визуелизације струјања током обављања експеримента, итд.

У овој дисертацији биће извршена нумеричка анализа струјања унутар, на излазном пресеку и у простору иза конвергентно-дивергентног млазника са надзвучном излазном струјом, без препреке и са препреком на његовом излазу. Тачна (верна) симулација струјања у млазнику битна је за предвиђање расподеле притисака и брзина за различите облике геометрије млазника, као и режиме струјања. Да би симулација струјања била што ближа реалности, потребно је дефинисати одговарајући модел “вештачке” вискозности и њен интензитет, алгоритам решавања, контролне параметре итеративног поступка, форму задавања граничних услова, турбулентни модел и његове улазне параметре итд. Такође, потребно је тестирањем кроз довољан број итерација пронаћи одговарајући тип мреже, локалну расподелу њене густине и квалитет, тако да она пружа задовољавајућу тачност, имајући при томе на уму расположиве рачунарске ресурсе.

Полазну основу ове дисертације чине аеротунелска испитивања, спроведена од стране Машинског факултета Универзитета у Београду и ВТИ Жарково, у оквиру програма истраживања метода управљања вектором потиска савремених ракетних мотора. У овом приступу, увођењем препреке (одређеног облика, нагиба, степена засенчења, итд.) у надзвучну излазну струју иза млазника, постиже се скретање излазног млаза у односу на осу, без потребе за закретањем целог млазника. У

првим фазама истраживања, уместо ракетног мотора и његовог реалног осносиметричног млазника, испитивања су вршена у радном делу аеротунела Т-36 (медијум је ваздух) на скалираном моделу конвергентно-дивергентног млазника правоугаоног попречног пресека. Овим је обављена симулација квази-2D струјања за излазне Махове бројеве 2.3 – 2.6, при чему је вршено варирање облика, висине и растојања (од излазног пресека) различитих типова препрека. Коришћењем сканивалва и пратеће опреме за аквизицију, мерени су и меморисани притисци на зидовима млазника и на препрекама, док су фотографски записи добијени коришћењем колор Schlieren методе визуелизације струјања, унутар и иза млазника.

Ова аеротунелска испитивања су полазна основа нумеричких анализа у овој дисертацији, при чему ће иницијална моделирања бити вршена под претпоставком чистог 2D струјања. То подразумева да су бочни зидови аеротунелског модела млазника у бесконачности и да немају никаквог утицаја на струјање у њему. Након тога, прећи ће се на 3D анализу са присусвом бочних зидова, при чему ће се, у циљу смањења ангажовања ресурса и времена, прорачун најпре вршити на полумоделима. С обзиром да неки сложени прорачунски модели могу дати квалитетније резултате при коришћењу пуног модела (иако је анализа формално посматрано равански симетрична), финалне анализе обавиће се по потреби и на пуном 3D моделу. На основу овога, биће могуће обавити компаративну анализу ових приступа у моделирању, како у смислу квалитета добијених резултата тако и њихове захтевности са аспекта рачунарских ресурса и времена.

Геометрија 2D млазника ће бити креирана у модулу ANSYS Geometry-Design Modeler, док ће 3D модели бити генерисани у програмском пакету CATIA. Мреже ће бити генерисане у модулу ANSYS Mesh-Meshing. CFD анализа струјања унутар млазника ће бити извршена коришћењем модула FLUENT програмског пакета ANSYS. Визуелизација ће бити обављана помоћу модула CFD-Post.

Циљеви истраживања могу се сажети у следећем:

- Дефинисаће се параметари прорачунског модела и прорачунских мрежа који ће давати најбоља могућа поклапања са добијеним експерименталним резултатима, при моделирању струјног поља суперсоничног раванског млазника без и са препрекама на излазу, у циљу управљања вектором излазне струје, за све расположиве експерименталне случајеве који се могу свести на анализу у домену дводимензионалног струјања. У овој фази нумеричка анализа се врши у 2D прорачунском простору, без утицаја бочних зидова.
- Прорачунски модел мора бити у могућности да нумерички обради оваква струјања са изузетно великим локалним градијентима параметара струјања. Поред динамички адаптивних мрежа, које се током рада програма аутоматски оптимизирају у областима великих градијената релевантних параметара струјања, али при томе могу знатно продужити време конвергенције прорачуна, биће анализиране и стационарне наменски адаптиране мреже, чијом се оптимизацијом у критичним доменима струјног поља такође може остварити стабилна конвергенција у краћем временском периоду.

- Процена квалитета прорачунских модела и коришћених мрежа вршиће се: А) квантитативно, на основу срачунатих и експериментално одређених вредности притисака у мерним тачкама на зидовима млазника и препрека и Маховог броја на излазу, и Б) квалитативно, поређењем простирања косих и закривљених ударних таласа, положаја зоне отцепљења на зиду млазника и утицаја одвођења масе кроз процеп између препреке и зида млазника. Квалитативна поређења обављају се на основу Schlieren фотографија снимљених током испитивања у аеротунелу и постпроцесорског приказа параметара струјног поља добијених CFD анализом.
- На основу закључака изведених у претходним корацима, прелази се на анализу у 3D прорачунском домену, која одговара реалној геометрији аеротунелске инсталације раванског млазника (која сада укључује и присуство бочних зидова), коришћене за испитивања како квази-2D случајева (препреке константне висине по ширини радног дела на излазу из млазника), тако и 3D случајева са трапезном препреком (променљива висина препреке по ширини правоугаоног радног пресека).
- Са аспекта најбољег искоришћења рачунарских ресурса, обавиће се анализа и дефинисање оптималног прорачунског модела и његових параметара, као и типа и квалитета прорачунских мрежа, којима се генерално могу остварити најпоузданији резултати, у поређењу са расположивим експерименталним вредностима добијеним за тестиране случајеве (вертикалне и закошене препреке, без и са процепом у односу на излаз млазника, различитих степена засенчења излазног пресека).
- На овај начин долази се до прорачунског алгорита којим се могу добити детаљне информације о природи струјања унутар, на излазу и иза млазника за сваки од тестираних случајева, од оних која су остварена у аеротунелу у време обављања експеримента. С друге стране, с поузданошћу се може вршити и ефикасна анализа нових могућих конструктивних решења препрека намењених оваквом концепту векторисања излазног млаза (у смислу потребног времена, ресурса и цене), и обавити избор најбољих потенцијаних конструктивних решења.

Најзначајније публикације у овој области, које ће бити полазна основа за развој методологије која је тема ове дисертације, су:

1. Б. Јојић, З. Стефановић, Ђ. Благојевић, В. Милосављевић, С. Вучковић, З. Рајчић: *Истраживања у области савременог ракетног погона УВП*, Машински факултет Универзитета у Београду - ВТИ Жарково, Београд 1984.
2. Б. Јојић, З. Стефановић: *Теоријска анализа и конструктивно решење 2D модела УВП намењеног експерименталном испитивању у аеротунелу*, Институт Машинског факултета Универзитета у Београду, Београд 1983.
3. З. Стефановић: Докторска дисертација, Универзитет у Београду, 1986.
4. Z. Stefanović, M. Miloš, I. Todić, M. Pavlović: *Investigation of the Pressure Distribution in a 2D Rocket Nozzle with a Mechanical System for Thrust Vector Control (TVC)*, *Strojarstvo* 53 (4) (2011), ISSN 0562-1887, pp. 287-292.

5. Narasaki, T.: *The Boundary Layer Separation and Shock Wave Formation Due the External Disturbances in Rocket Nozzle Flow and Their Utilization for the Thrust and TVC Systems*, TR-WT, NAL, Tokyo, Japan, 1980.
6. Lee, D. H.: *Compressible Turbulent Boundary Layer in Strong Adverse Pressure Gradient*, AIAA Journal, Vol. 21, No.4, 1983.
7. D. C. Wilcox: *Turbulence Modeling for CFD*, DCW Industries, Inc., California, USA, 2006.
8. A. Pope, K. Goin: *High-Speed Wind Tunnel Testing*, John Willey & Sons, New York, 1965.
9. Natta, P., Kumar, R., Hanumantha, R.: *Flow Analysis of Rocket Nozzle Using Computational Fluid Dynamics (CFD)*, International Journal of Engineering, Research and Applications, 2 (5) (2012), ISSN 2248-9622, pp. 1226-1235.
10. ANSYS FLUENT 14.0: *Theory Guide*, ANSYS, Inc., Canonsburg, PA, 2011.
11. ANSYS FLUENT 14.0: *User's Guide*, ANSYS, Inc., Canonsburg, PA, 2011.
12. ANSYS FLUENT 14.0: *Tutorial Guide*, ANSYS, Inc., Canonsburg, PA, 2011.

3. Полазне хипотезе

- Основна хипотеза у изради ове дисертације је да се моделирање струјања у конвергентно-дивергентном млазнику, са надзвучном излазном струјом и препреком на излазу, коришћењем нумеричке анализе може извршити са задовољавајућом тачношћу, избором одговарајућих алгоритама и задавањем одговарајућих параметара прорачуна.
- Анализирана флуидна средина је стишљива и вискозна и биће нумерички моделирана узимајући у обзир све релевантне утицајне факторе, укључујући и површинску храпавост опструјаваних контура.
- Као референца за верификовање резултата нумеричких анализа користе се подаци са оговарајућих аеротунелских мерења, који се сматрају квалитетним, релевантним и валидним.
- С обзиром на категорију аеротунелских испитивања, нумеричко моделирање опструјаване геометрије може се обавити као чисто 2D струјање без бочних зидова, као симетрични 3D полумодел и по потреби пун 3D модел правоугаоног попречног пресека, подужно променљиве геометрије, са бочним зидовима.
- На сваком од наведених нивоа биће тестирани прорачунски модели и мреже који могу дати квалитетна решења са аспекта практичне инжењерске примене. Овим ће се, за разматране типове препрека намењене закретању вектора излазне струје, дефинисати они модели који су у могућности да третирају ову врсту проблема, и утврдити оптималан ниво комплексности моделирања са аспекта биланса између остварене тачности резултата и потребног ангажовања рачунарских ресурса.
- Овако стечена искуства у моделирању изузетно комплексног струјања, којим се бави ова дисертација, могу се генерализовати у циљу практичне оптимизације сличних конструктивних решења, уз мање временске и финансијске трошкове у односу на испитивања у аеротунелима.

4. Научне методе истраживања

У оквиру истраживања на предложеној теми, а у поступку реализације научних резултата, користиће се следеће опште и посебне научне методе:

- метода анализе
- метода моделирања
- метода коначних запремина
- метода симулације
- метода компарације
- метода калибрације и еталонизације
- метода оптимизације
- метода генерализације
- метода експертског мишљења

5. Очекивани научни допринос

Очекивани научни допринос може се резимирати у следећем:

- У дисертацији ће бити дефинисана и приказана методологија нумеричке анализе изузетно комплексног вискозног стишљивог струјања унутар и иза конвергентно-дивергентног млазника са надзвучном излазном струјом, са различитим типовима препрека на излазу, намењеним усмеравању вектора излазне струје. Верификација добијених резултата биће обављена поређењем са постојећим, валидним и релевантним експерименталним резултатима, добијеним аеротунелским испитивањима
- Коришћењем најсавременијих софтверских алата, дефинисаће се оптимални прорачунски модели и мреже за прорачун реалне флуидне средине, са присуством косих и закривљених ударних таласа и експанзионих таласа, са областима масивног одвајања ваздушне струје и заробљених макро-вртлога.
- Анализа прорачунских модела и мрежа различитих типова и степена комплексности, биће обављена на нивоу 2D и 3D модела. Биће дефинисани прорачунски модели и мреже којима се анализа оваквих комплексних струјања може обављати на поменутих нивоима. Извршиће се њихова компаративна анализа у смислу остварене тачности резултата за потребе оперативне инжењерске примене с једне стране, и свеукупне захтевности са аспекта ангажовања рачунарских ресурса и потребног времена рада, с друге.

- Резултати и закључци добијени овим анализама биће корисни како за даља научна истраживања, тако и за унапређење инжењерске праксе у области оптимизације конструкције надзвучних млазника, код којих се увођење препрека у излазну струју користи као начин за усмеравање и управљање вектором излазне струје.

6. Структура докторске дисертације

Структура рада би требало да задовољи следећи концепт:

- Уводна разматрања
- Преглед нумеричких метода и алата који ће бити коришћени за прорачуне
- Дефинисање и генерисање прорачунских модела млазника
- Дефинисање параметара прорачуна, тј. прорачунских мрежа, солвера и метода оптимизације прорачуна
- Приказ добијених резултата за различите типове препрека
- Квантитативна и квалитативна валидација резултата прорачуна
- Формирање закључака

7. Закључак и предлог

На основу анализе предлога докторске дисертације мр Оливере Костић, дипл. маш. инж., Комисија за подношење извештаја о прихватању теме и оцену научне заснованости докторске дисертације закључује да је предложена тема научно утемељена и адекватна за израду докторске дисертације, као и да кандидат испуњава све Законом и Статутом Машинског факултета предвиђене услове за рад на предметној докторској дисертацији, тако да предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату

мр Оливери Костић, дипл. инж. машинства,

одобри израду докторске дисертације са темом:

НУМЕРИЧКА СИМУЛАЦИЈА СТРУЈНОГ ПОЉА ВАЗДУХА У НАДЗВУЧНОМ МЛАЗНИКУ СА ПРЕПРЕКОМ НА ИЗЛАЗУ

научна област: **машинство.**

За ментора кандидата мр Оливере Костић, дипл. инж. машинства, током рада на овој докторској дисертацији предлаже се **др Зоран Стефановић, редовни професор** на катедри за ваздухопловство Машинског факултета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Проф. др Зоран Стефановић,
ментор, редовни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Слободан Ступар,
редовни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Александар Симоновић,
ванредни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Марко Милош,
ванредни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Бранислав Јојић,
редовни професор у пензији, Универзитет у Београду, Машински факултет

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата **мр Оливера Костић**, дипл. Инж.

Име и презиме ментора: **др Зоран Стефановић**
Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Иван Костић, Зоран Стефановић, Златко Петровић, Оливера Костић, Abdulhakim Essari: Hybrid Approach in the Initial Aerodynamic, Stability and Performance Calculations of a Light Airplane, Tehnički Vjesnik - Technical Gazette, ISSN 1330-3651, 20(2013)4, pp. 605-614, UDK 62(5)=163.42=111 (IF за 2012 годину 0.60)
2. М. Benisa, Бојан Бабић, Зоран Стефановић, Александар Грбовић: *Computer-Aided Modeling of the Rubber-pad Forming Process*, Materials and technology 46 (5), 2012, pp. 503-50, UDK 621.7.01:519.61/.64, ISSN 1580-2949, (IF за 2012 годину 0.571).
3. Родољуб Томић, Седмак Александар, Милош Марко, Зоран Стефановић: *Thermal Stress Analysis of a Hydride Structure With Cracks In The Matrix (Resin) Composite Material*. –Thermal Science, 2011., Vol. 15, No. 2, pp. 559- 563 (ISSN 0354-9836) (IF за 2011 годину 0.779)
4. Зоран Стефановић, Милош Марко, Ивана Тодић : *Investigation of the Pressure Distribution in 2D Rocket Nozzle with Mechanical System for Thrust Vector Control (TVC)*, Strojarstvo, Vol. 53, No. 4, pp. 287-292, 2011., 563 (ISSN 0562-1887) UDK 532.517.2:623.463:519.62/.63.) (IF за 2011 годину 0.222)
5. Зоран Стефановић, Иван Костић: *Analysis of the Sailplane Final Approaches Performed by Cosine-Law Speed Variations*, Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering, ISSN 0039-2480, 56(2010)7-8, pp. 436-446, UDC UDK 629.734.33:351814343 (IF за 2010 годину 0.466).
6. Khan Muhammad Ashraf, Ивана Тодић, Милош Марко, Зоран Стефановић : *Control of Electro-Mechanical Actuator for Aerospace Applications*, - Strojarstvo, 2010., Vol. 52, No. 3, pp. 303-313, UDK 629.735.036.7:681.515.8 (ISSN 0562-1887) (IF за 2010 годину 0.222)
7. Бранислав Јојић, Зоран Стефановић, Ђорђе Благојевић, Момчило Милиновић ВЛРХИЕ СИСТЕМЊИ УПРАВЛЕНИЕ ВЕКТОРОМ ТАГИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЕ В СОПЛЕ РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ, UDC:629.78.036.54-66, IZVESTIYA VYSSHIKH UCHEBNYKH ZAVEDENII AVIATIONAYA TEKHNIKA, pp 17-31, ISSN 0579-2975, Москва 1988. (IF за 1988 годину 0.004)

8. Зоран Стефановић, Томислав Драговић, Славко Пешић: AERODYNAMIC LOADS INVESTIGATION OF HIGH COOLING TOWERS, Z.Angew.Math.Mech. 68 (1988) No 5, pp 295-298, Berlin , ISSN 0044-2267 (IF за 1988 је 0.188)

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 односне 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 _____

М.П.
