

Образац 2.

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

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

506/5

(Број захтева)

02.06.2016.године

(Датум)

З А Х Т Е В

за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

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

ОЛИВЕРА (ПЕТАР) КОСТИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **ОЛИВЕРА (ПЕТАР) КОСТИЋ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

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

Универзитет је дана 12.05.2014. год. својим актом под бр. 61206-1758/2014 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:
НУМЕРИЧКА СИМУЛАЦИЈА СТРУЈНОГ ПОЉА ВАЗДУХА У НАДЗВУЧНОМ МЛАЗНИКУ СА ПРЕПРЕКОМ НА ИЗЛАЗУ

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **ОЛИВЕРЕ (ПЕТАР) КОСТИЋ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 21.04.2016. године, одлуком факултета под бр. 844/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. Др Зоран Стефановић	Ред. проф. у пензији	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
2. Др Слободан Ступар	Ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
3. Др Александар Симоновић	Ванр. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
4. Др Марко Милош	Ванр. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
5. Др Слободан Гвозденовић	Ред. проф.	Ваздухопловство	Саобраћајни факултет Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 02.06.2016. године.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Радивоје Митровић

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом.

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

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

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 844/4
Датум: 02.06.2016. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 128. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 32. Закона о изменама и допунама Закона о високом образовању („Службени гласник РС“ број 44/2010) и члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и реферата Комисије у саставу: др Зоран Стефановић, ред. проф. М.Ф. у пензији, ментор др Слободан Ступар, ред. проф., др Александар Симоновић, ванр. проф., др Марко Милош, ванр. проф. и др Слободан Гвозденовић, ред. проф., Саобраћајни факултет Београд, о оцени докторске дисертације „Нумеричка симулација струјног поља ваздуха у надзвучном млазнику са препреком на излазу“ докторанда мр Оливере Костић, дипл. инж. маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 02.06.2016. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„НУМЕРИЧКА СИМУЛАЦИЈА СТРУЈНОГ ПОЉА ВАЗДУХА У НАДЗВУЧНОМ МЛАЗНИКУ СА ПРЕПРЕКОМ НА ИЗЛАЗУ“** докторанда мр **ОЛИВЕРЕ КОСТИЋ**, дипл. инж. маш.

Докторску дисертацију и реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији доставити на давање сагласности Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, по истеку рока од 30 дана у коме су били на увиду јавности.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Машински факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр **Оливере Костић**,
дипл. маш. инж.

Одлуком бр. 844/2 од 21.04.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације мр Оливере Костић, дипл. инж. маш. под насловом

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

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат мр Оливера Костић, дипл. маш. инж. пријавила је израду докторске дисертације 14.02.2014., бр. 346/1, Катедри за ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду и за ментора предложила редовног професора др Зорана Стефановића.

На основу пријаве кандидата и предлога Катедре, Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду је одлуком од 20.03.2014. године, бр. 506/2, именovalo Комисију за подношење извештаја о прихватању теме у саставу: ментор, др Зоран Стефановић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду, др Слободан Ступар, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду, др Александар Симоновић, ванредни професор Машинског факултета Универзитета у Београду, др Марко Милош, вандредни професор Машинског факултета Универзитета у Београду и др Бранислав Јојић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду у пензији.

Комисија је 01.04.2014. године, бр. 506/3, известила Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидат испуњава све услове предвиђене законом и Статутом Машинског факултета Универзитета у Београду за израду докторске дисертације са предложеним радним насловом „Нумеричка симулација струјног поља ваздуха у надзвучном млазнику са препреком на излазу“ кандидата мр Оливере Костић, дипл. инж. маш., под менторством редовног професора др Зорана Стефановића. Овај извештај је усвојен на седници Наставно-научног већа Машинског факултета 03.04.2014. године, одлука бр. 506/4.

На основу одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и именовању ментора, као и сагласности Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду бр. 61206-1758/2014 од 12. 05. 2014, декан Машинског факултета у Београду је 13. 05. 2014. године донео закључак бр. 1115/1 да се одобри рад на теми докторске дисертације „Нумеричка симулација струјног поља ваздуха у надзвучном млазнику са препреком на излазу“ кандидата мр Оливере Костић, дипл. инж. маш. под менторством редовног професора др Зорана Стефановића.

О завршетку докторске дисертације ментор проф. др Зоран Стефановића обавестио је Катедру за ваздухопловство и Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду, дописом бр. 844/1 од 11. 04. 2016. године. Предложена је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: ментор, др Зоран Стефановић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду у пензији, др Слободан Ступар, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду, др Александар Симоновић, ванредни професор Машинског факултета Универзитета у Београду, др Марко Милош, вандредни професор Машинског факултета Универзитета у Београду и др Слободан Гвозденовић, редовни професор Саобраћајног факултета Универзитета у Београду. На седници Наставно-научног већа 21.04.2016. године је једногласно усвојено обавештење о завршетку дисертације кандидата мр Оливере Костић, дипл. инж. маш. и предлог састава Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације (одлука бр. 844/2 од 21.04.2016.).

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада области Техничких наука, научна област Машинство - ваздухопловство. За ментора је одређен др Зоран Стефановић, редовни професор на Катедри за Ваздухопловство Машинског факултета у Београду.

1.3. Подаци о кандидату

1.3.1 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, одбравивши 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 дипломских студија 1994. године, била је запослена три године у Институту за ваздухопловство Машинског факултета у Београду у статусу „сарадник-таленат“ 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 радила је као сарадник у Иновационом центру Машинског факултета Универзитета у Београду.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду од 17.10.2014. изабрана је у звање „истраживач-сарадник“, а од 27. 11. 2015. запослена је на месту асистента за ужу научну област ваздухопловство на Катедри за ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду.

1.3.2 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 анализи базирани 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.

1.3.3 Стечено научно-истраживачко и наставно 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.

Током рада у Иновационом центру Машинског факултета Универзитета у Београду, од 2010 године до данас, учествовала је на пројекту лаког авиона BS-03 и коаутор је 27 извештаја везаних за овај пројекат.

Коаутор је једне књиге и више научно-стручних радова. Поседује активно знање енглеског језика.

На основу одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду од 16.10.2014. године ангажована је ради извођења вежби из предмета: Аеродинамичке конструкције на ОАС и Примењена аеродинамика и Аеродинамика великих брзина на МАС. На овим предметима обавља наставу и у садашњем звању асистента.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација „Нумеричка симулација струјног поља ваздуха у надзвучном млазнику са препреком на излазу“, кандидата мр Оливере Костић, дипл. инж. маш., написана је на 129 страна (не рачунајући насловну страну, садржај, листу слика, табела, ознаке, као и сажетак на српском и енглеском језику; укупно 144 стране).

Дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод
2. Преглед претходних релевантних истраживања
3. Основне једначине механике флуида
4. Опис експеримента
5. Приказ прорачунског модела
6. Анализа струјања у млазнику без препреке
7. Струјање у млазнику са раванском препреком – спојлером
8. Струјање у млазнику са млазним крилцем
9. Закључак
10. Литература

Дисертација има 54 цитиране референце, 94 слике укључујући и дијаграме, 18 табела и 102 једначине.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу 1 су приказана уводна разматрања везана за предмет и циљ дисертације, као и преглед разматраних система за управљање вектором потиска, са освртом на њихове предности и недостатке.

У поглављу 2 приказан је преглед претходних истраживања и публикација релевантних за анализе спроведене у току рада на дисертацији.

У поглављу 3 детаљно су приказане и изведене основне једначине механике флуида које су од значаја за разматрани проблем – једначина континуитета, једначина количине кретања, једначина енергије, а затим је представљен и турбулентни модел коришћен у дисертацији.

У поглављу 4 представљене су геометријске карактеристике експерименталног модела, конфигурације препрека, услови испитивања, начин аквизиције података и визуелизације струјања током аеротунелских испитивања која су спроведена од стране Машинског факултета Универзитета у Београду и ВТИ Жарково у оквиру програма истраживања метода управљања вектором потиска ракетних мотора.

У поглављу 5 описана је геометрија контролне запремине која је коришћена у CFD прорачунима и њено сегментирање. Детаљно је објашњено формирање прорачунске мреже, са посебним освртом на фазе развоја и извршене оптимизације. Дефинисани су сви најбитинији аспекти формираног прорачунског модела, коришћеног за анализе приказане у дисертацији, као и претходне анализе које су довеле до успостављања овог прорачунског алгорита.

У поглављу 6 представљени су резултати анализе струјања у празном млазнику. Квалитативна верификација извршена је поређењем колор Шлирен фотографија снимљених током експеримента са одговарајућим графичким приказима добијеним у програмима FLUENT, односно CFD Post. У циљу квантитативне верификације, вршена су поређења више прорачунски добијених параметара са одговарајућим расположивим експерименталним подацима. Поред тога, с обзиром да је помоћу CFD прорачуна могуће добити широк спектар података о карактеристикама струјног поља, приказани су и подаци добијени прорачуном за које не постоје експериментални подаци.

У поглављу 7 анализирано је струјање у млазнику са раванском препреком - спојлером. Размотрене су физичке појаве које се јављају при оваквим условима струјања, као и сложена струјна слика која при томе настаје. Извршена је квалитативна и квантитативна верификација прорачуна за различите конфигурације у смислу вертикалног и хоризонталног положаја препреке у односу на излазни пресек млазника, на основу чега је закључено да је примењени прорачунски модел погодан и за анализе других типова препрека које се користе у системима за векторисање потиска.

Коришћењем установљеног прорачунског модела извршена је анализа млазника са млазним крилцем, чији су резултати приказани у поглављу 8. Разматрано је више конструктивних конфигурација у смислу положаја млазног крилца у односу на млазник и дужине тетиве крилаца. У свим разматраним случајевима шарнирна оса је била постављена на средини тетиве аеропрофила крилца, а углови отклона су варирани од нултог отклона до $\delta = 40^\circ$. За квалитативну анализу струјања коришћени су прикази поља брзина и Маховог броја. Срачунате су нормалне и аксијалне компоненте силе потиска, на основу чега је извршена квантитативна анализа резултата и поређење разматраних конструктивних решења млазних крилаца и спојлера, као и међусобно поређење различитих разматраних конструктивних решења крилаца са аспекта аеродинамичке ефикасности и шарнирних момената потребних за погон.

У поглављу 9 сумирани су закључци спроведених прорачуна и анализа и дате су смернице за будућа истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под називом „Нумеричка симулација струјног поља ваздуха у надзвучном млазнику са препреком на излазу“ пружа савремен и оригиналан приступ у истраживању проблематике управљања вектором потиска ракетних мотора. У дисертацији су приказане фазе развоја методе генерисања оптималне, стационарне намески адаптиране прорачунске мреже, намењене анализи струјања у надзвучном млазнику са препреком на излазу, којом се могу обављати прорачуни врло сложених струјних поља у оквиру практичних 2D инжењерских анализа. Установљен је и унифицирани прорачунски алгоритам у оквиру коришћеног програмског пакета, који је у могућности да адекватно и врло ефикасно моделира физикалност струјања и даје сразмерно брзу и стабилну конвергенцију, у комбинацији са примењеним прорачунским мрежама, за све разматране случајеве категорија препрека. У дисертацији је дефинисан и алгоритам одређивања компоненти резултујуће силе потиска, који је омогућио компаративну анализу ефикасности разматраних система за управљање вектором потиска (УВП) – спојлера и млазних крилаца, како са аспекта остварених углова скретања резултујуће силе, тако и са аспекта прорачуна консеквентних губитака и потребних шарнирних момената за остваривање потребних отклона крилаца. Овим је установљен савремени прорачунски модел који је у могућности да, са примењеним високо-оптимизираним степеном дискретизације 2D прорачунског домена и дефинисаним прорачунским алгоритмом сложене физикалности струјног поља, омогући брзе и инжењерски ефикасне предикције оптималних конфигурација млазник-препрека.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији је коришћена литература из области теоријске, експериментале и CFD анализе различитих конфигурација система за управљање вектором потиска, као и литература у којој се разматрају турбулентни модели релевантни за анализе спроведене у дисертацији. Коришћена литература је представљала полазну основу за стицање увида, са једне стране у развој система за управљање вектором потиска, а са друге стране и у могућности CFD прорачуна за анализу и међусобно поређење конфигурација у прелиминарним фазама пројектовања. Један део библиографских јединица је из књига или зборника радова, а већи број представљају радови из ремираних међународних часописа. Целокупна коришћена литература даје релевантни приказ актуелног стања у области која била је предмет истраживања у овој дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Истраживање представљено у дисертацији посвећено је анализи веома комплексног струјног поља надзвучног млазника са препреком на излазу, чији је циљ моделирање функционисања одређених типова система за управљање вектором потиска ракетних мотора.

Како су полазну основу ових истраживања чинила испитивања обављена у надзвучном аеротунелу Т-36 ВТИ Жарково, која су вршена са ваздухом као радним флуидом и припадају категорији 2D тестова, све нумеричке симулације обављане су као 2D анализе надзвучне струје ваздуха. Тестови су вршени са различитим конфигурацијама раванских препрека, а њихови резултати послужили су за квалитативну и квантитативну верификацију резултата прорачуна, поређењем са експериментом, у току развоја и верификације коришћеног прорачунског модела.

Геометрија 2D млазника је креирана у модулу ANSYS Geometry-Design Modeler. Мреже су генерисане у модулу ANSYS ICEM CFD. CFD анализа струјања унутар млазника је извршена коришћењем модула FLUENT програмског пакета ANSYS, а визуелизација је обављана помоћу модула CFD-Post.

У формирању прорачунских мрежа коришћена је опција *Mapped Face Meshing*, која дефинише форму ћелија мреже сходно геометрији сегмента унутар кога се генерише. Димензионисање мреже обављено је опцијом *Edge Sizing*, која омогућава како задавање броја елемената по ивицама сегмената, тако и њену адаптацију у смислу смера и фактора згушњавања мреже (*Bias Factor*). Двоједначински турбулентни модел $k - \omega$ SST, који је коришћен за све прорачуне приказане у дисертацији познат је као изузетно робустан и релативно мало осетљив на начин генерисања и густину мреже. Ипак, посебна пажња је посвећена томе да се у критичним доменима контролне запремине, у близини зидова млазника и препрека, као и на угловима зидова и ивица препрека, обезбеди довољан број елемената мреже. Испитиване су стационарне наменски адаптиране мреже у три фазе развоја, при чему је у оквиру друге фазе сукцесивно вршена и аутоматска адаптација мреже према гредијенту густине у струјном пољу за дати степен конвергенције решења. Као оптималне показале су се стационарне мреже из треће фазе развоја, са сразмерно великим двоструким фактором згушњавања (по дужини и висини контролне запремине). Оне су омогућиле, у комбинацији са дефинисаним прорачунским алгоритмом, стабилну конвергенцију решења у случају свих разматраних конфигурација препрека.

За све финалне прорачуне усвојен је двоједначински турбулентни модел $k - \omega$ SST. На примењеним прорачунским мрежама, он је у поређењу са тестираним турбулентним моделима вишег реда давао практично подједнако квалитетна решења, уз мање ангажовање ресурса и брже извршење програма до конвергенције. У оквиру опције *Solution Methods*, за дискретизацију простора коришћене су опције *Least Squares Cell Based* за градијенте, док је за параметре струјања, као и за параметре k и ω у оквиру турбулентног модела, коришћена дискретизација првог реда (опција *First Order Upwind*). Након остварене конвергенције, накнадно продужење прорачуна са дискретизацијом другог реда није давало никакве видне промене, па су конвергенције са дискретизацијом првог реда усвајане као финалне. У прорачунима је коришћена опција активног управљања конвергенцијом решења (*Solution Steering*). Струјно поље је дефинисано као суперсонично, док је оптимизација домена мреже вршена *Reverse Cuthill-McKee* методом. Иницијализација прорачуна обављана је на четири нивоа опцијом *Full Multi-Grid solution initialization*. Задавани дијапазони Курантовог броја били су $1 \div 20$, зависно од конфигурације препреке и степена ефективног засенчења излазног пресека.

Развијена и примењена методологија одређивања компоненти сила, базирана на могућности пакета FLUENT да интегрално израчуна задате параметре по пресецима струјног поља и одређује силе које делују по зидовима и контурама препрека, омогућила је како успешно квантитативно поређење анализираних конфигурација спојлера и млазних крилаца, тако и одређивање шарнирних момената у случају крилаца.

3.4. Применљивост остварених резултата

Проблематика која је обухваћена овом дисертацијом веома је актуелна и значајна у областима анализе различитих типова препрека намењених векторисању потиска ракетних мотора у иницијалним фазама развоја, када се кроз 2D моделирање врши квалитативна и квантитативна евалуација различитих могућих конструктивних концепција. С обзиром да глобални прорачунски модел, развијен и приказан у оквиру ове дисертације омогућава сразмерно брзу и стабилну конвергенцију решења врло комплексних струјних поља, може бити применљив како у домену оперативне инжењерске праксе, тако и за даља научна истраживања у овој области.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде дисертације показао високу способност организације и самосталног извођења активности у оквиру научно-истраживачког рада, као и способност решавања сложених техничких проблема применом савремених научно-истраживачких метода. Велико искуство и рад кандидата на овладавању областима аеродинамике и прорачунске динамике флуида пружају основу за квалитетан даљи самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни допринос ове дисертације се огледа у следећем:

- У дисертацији је развијена 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 брзине излазне струје. Верификација добијених резултата обављена је поређењем са постојећим, валидним и релевантним експерименталним резултатима за категорију раванских препрека - спојлера, добијеним аеротунелским испитивањима у надзвучном аеротунелу Т-36 у ВТИ Жарково.
- Коришћењем најсавременијих софтверских алата, успешно су дефинисани оптимални прорачунски модели и мреже за прорачун реалне флуидне средине, са присуством косих и одвојених ударних таласа и експанзионих таласа, са областима масивног одвајања ваздушне струје, заробљених макро-вртлога и областима интензивне интеракције ударних таласа и зидова млазника.
- Анализа прорачунских модела и мрежа различитих типова и степена комплексности, обављена је на нивоу 2D модела, обзиром на чињеницу да су и аеротунелски експерименти, коришћени за развој, калибрацију и верификацију нумеричких прорачуна припадали истој категорији струјања. **Обављене анализе 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, потврдиле су квалитет установљеног прорачунског модела.**
- Прорачунски модел је успешно примењен и за CFD анализе још једног система за управљање вектором потиска ракетних мотора - млазних крилаца која нису била предмет испитивања у референтним експериментима обављеним у ВТИ Жарково. **Прорачунски модел се показао као врло ефикасан у смислу стабилности и брзине конвергенције решења и омогућио је опсежне компаративне анализе разних конфигурација спојлера и млазних крилаца.** Овим су потврђене широке могућности његове примене у анализи врло комплексних струјних поља надзвучних млазника са препрекама на излазу.
- Резултати и закључци добијени анализама приказаним у овој дисертацији корисни су 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.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне научне литературе и сагледавања постојећих решења из области докторске дисертације, комисија констатује да су приказани резултати истраживања значајни и да су оперативно применљиви у пракси. Истовремено, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, констатујемо да су пружени одговори на сва релевантна питања и да су решени сви проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања.

Приказани резултати демонстрирају применљивост овог прорачунског модела за широк спектар анализа комплексних струјних поља која се јављају у надзвучним млазницима са механичким елементима намењеним управљању вектором потиска.

4.3. Верификација научних доприноса

Резултати и научни допринос у области аеродинамике везан за CFD анализе струјања, као и зрелост кандидата за мултидисциплинарни научно-истраживачки рад, верификовани су следећим научним радовима:

Радови у међународном часопису (M23)

- Оливера Костић, Зоран Стефановић, Иван Костић: *Comparative CFD Analyses of a 2D Supersonic Nozzle Flow with Jet Tab and Jet Vane*, Tehnički vjesnik – Technical Gazette, ISSN 1330-3651, DOI: 10.17559/TV-20160208145336 - потврда о прихватању рада дата је у прилогу. (IF за 2014 годину 0.579)
- 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 4(2013), pp. 605-614. (IF за 2013. годину 0,615).
- Бојан Шекутковски, Иван Костић, Зоран Стефановић, Александар Симоновић, Оливера Костић: *A Hybrid Rans-Les Method with Compressible K-Omegasstsas Turbulence Model for High Reynolds Number Flow Applications*, Tehnički Vjesnik - Technical Gazette, ISSN 1330-3651, Vol. 22 5(2015), pp. 1237-1245. (IF за 2014 годину 0.579).

Радови у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (M24)

- Оливера Костић, Зоран Стефановић, Иван Костић: *CFD Modeling of Supersonic Airflow Generated by 2D Nozzle With and Without an Obstacle at the Exit Section*, FME Transactions, ISSN 1451-2092, 43(2015)2, pp. 107-113.
- Иван Костић, Зоран Стефановић, Оливера Костић: *Aerodynamic Analysis of a Light Aircraft at Different Design Stages*, FME Transactions, ISSN 1451-2092, 42(2014)2, pp. 94-105.

Радови у водећем часопису националног значаја (M51)

- Зоран Стефановић, Иван Костић, Оливера Костић: *Determination of Aerodynamic Characteristics of a Light Aircraft Using Viscous CFD Modeling*, Machine Design,

ISSN 1821-1259, Vol.6 (2014) No.3., pp. 71-78, 2014. (Рад по позиву редакције са конгреса KOD 2014, у часопису категорисан као Original scientific paper).

- Зоран Стефановић, Иван Костић, Оливера Костић: *Efficient Evaluation of Preliminary Aerodynamic Characteristics of Light Trainer Aircraft*, Engineering Review, ISSN 1330-9587 Vol. 32, 1, pp. 49-56, 2012. (Научни рад проистекао из излагања на конгресу IN-TECH 2011, објављен по позиву редакције као проширена и допунски рецензирана верзија)

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

- Зоран Стефановић, Иван Костић, Оливера Костић: *Determination of Aerodynamic Characteristics of a Light Aircraft Using Viscous CFD Modeling*, Proceedings of the 8th international Symposium Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering – KOD 2014, ISBN 978-86-7892-615-0, 12.-15.06.2014, Balatonfüred, Hungary, pp.109-116.
- 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, 24.-26.05.2012, Balatonfüred, Hungary, pp. 97-104.
- 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.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације, Комисија констатује да је Докторска дисертација под називом **„НУМЕРИЧКА СИМУЛАЦИЈА СТРУЈНОГ ПОЉА ВАЗДУХА У НАДЗВУЧНОМ МЛАЗНИКУ СА ПРЕПРЕКОМ НА ИЗЛАЗУ“**, кандидата мр Оливере Костић, дипл. инж. маш, урађена према свим стандардима у научно-истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и Статутом Машинског факултета у Београду. Дисертација садржи савремен и оригиналан научни допринос изузетно актуелној проблематици у ваздухопловству. Кандидат је дошао до оригиналних научних резултата, који су успешно верификовани, што обезбеђује могућност широке практичне примене.

Сходно претходно наведеном, Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да Реферат прихвати, дисертацију стави на увид јавности и упуту извештај на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да се након тога кандидат позове на јавну одбрану.

У Београду, 27. 05. 2016. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Зоран Стефановић, редовни професор у пензији,
ментор
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 Слободан Гвозденовић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

П Р И Л О Г

Потврда о прихватању SCI рада

To:

Your ref.:

Our ref.: AA-TV-20160208145336

Slavonski Brod, 07-06-2016

Subject: **Acceptance of Article**

Article ID: **TV-20160208145336**

DOI Number^{*)}: **10.17559/TV-20160208145336**

Title: **COMPARATIVE CFD ANALYSES OF A 2D SUPERSONIC NOZZLE FLOW WITH JET TAB AND JET VANE**

Author/s: **Olivera Kostić, Zoran Stefanović, Ivan Kostić**

Dear authors!

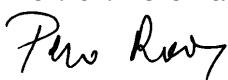
Your article (mentioned above) has been accepted for publication in the journal Tehnički vjesnik/Technical Gazette (Print: ISSN 1330-3651, Online: ISSN 1848-6339), Vol. 24/No. 5 to be published towards the end of **October 2017**. The article is classified as **original scientific paper**. The Journal indexed in Web of Science (Science Citation Index Expanded), Journal Citation Reports (IF = 0,579 for 2014), Scopus, INSPEC, Compendex, Geo Abstracts etc.

Attached is the Copyright Transfer Agreement with Payment Data. Please read carefully the enclosed Copyright Transfer Agreement with Payment Data and if you agree with the given terms fill in the necessary data, sign the form, keep a copy for yourself and send the original to our address by regular mail (also e-mail a copy to tehnvj@sfsb.hr or send a fax to +385 35 446 446).

When we have received the Copyright Transfer Agreement, your article will be published in the Journal.

Yours sincerely,

Editor-in-Chief:
Prof. dr. Pero Raos



STROJARSKI FAKULTET U SLAV. BRODU
SLAVONSKI BROD OIB 65410788616
Tel: 035 446 446 Fax 035 446 446

Enclosed documents:

- Copyright Transfer Agreement and Payment Data

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:844/4
Датум: 02.06.2016. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 128. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 32. Закона о изменама и допунама Закона о високом образовању („Службени гласник РС“ број 44/2010) и члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године), Наставно-научно веће на седници одржаној 02.06.2016. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„НУМЕРИЧКА СИМУЛАЦИЈА СТРУЈНОГ ПОЉА ВАЗДУХА У НАДЗВУЧНОМ МЛАЗНИКУ СА ПРЕПРЕКОМ НА ИЗЛАЗУ“** докторанда мр **ОЛИВЕРЕ КОСТИЋ**, дипл. маш. инж.

Јавна одбрана докторске дисертације обавиће се по добијању сагласности Универзитета у Београду.

Универзитет у Београду је својим Одлуком број 61206-1758/2014, од 12.05.2014. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

1. Оливера Костић, Зоран Стефановић, Иван Костић: *Comparative CFD Analyses of a 2D Supersonic Nozzle Flow with Jet Tab and Jet Vane*, Tehnički vjesnik – Technical Gazette, ISSN 1330-3651, DOI: 10.17559/TV-20160208145336 - потврда о прихватању рада дата је у прилогу. (IF за 2014 годину 0.579)
2. 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 4(2013), pp. 605-614. (IF за 2013. годину 0,615).
3. Бојан Шекутковски, Иван Костић, Зоран Стефановић, Александар Симоновић, Оливера Костић: *A Hybrid Rans-Les Method with Compressible K-Omegasstsas Turbulence Model for High Reynolds Number Flow Applications*, Tehnički Vjesnik - Technical Gazette, ISSN 1330-3651, Vol. 22 5(2015), pp. 1237-1245. (IF за 2014 годину 0.579).

Одлуку доставити: докторанду, ментору, Катедри за ваздухопловство и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић