

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)

846/5

(Број захтева)

12.06.2016. године

(Датум)

ЗАХТЕВ**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:

ВЛАДИМИРА (МИЛОШ) ЈАЗАРЕВИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **ВЛАДИМИР (МИЛОШ) ЈАЗАРЕВИЋ** уписан у трећу годину Докторских студија 2012 год

(име, име једног од родитеља и презиме)

Поднео је захтев за израду докторске дисертације:

ОПТИМИЗАЦИЈА АЕРОАКУСТИЧНИХ ФЕНОМЕНА КОД УЗГОНСКИХ ПОВРШИНА

Универзитет је дана 12.05.2014. год. својим актом под бр. 61206-2065/2014 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

ОПТИМИЗАЦИЈА АЕРОАКУСТИЧНИХ ФЕНОМЕНА КОД УЗГОНСКИХ ПОВРШИНА

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **ВЛАДИМИРА (МИЛОШ) ЈАЗАРЕВИЋА**
(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 22.04.2016. године, одлуком факултета под бр. 846/3, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. Др Бошко Рашуо	Ред.проф. у пензији	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
2. Др Александар Бенгин	Ред.проф.	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
3. Др Александар Вег	Ред.проф.	Теорија механизма и машина и инжењерско цртање са нацртном геометријом	Машински факултет Београд
4. Др Марко Милош	Ванр.проф.	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
5. Др Жарко Стевановић	Научни саветник	Ваздухопловство	Институт Винча

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 12.05.2016. 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: 846/5
Датум: 12.05.2016. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета и реферата Комисије у саставу: др Бошко Рашуо, ред. проф. М.Ф. у пензији, ментор, др Александар Бенгин, ред. проф., др Александар Вег, ред. проф., др Марко Милош, ванр. проф. и др Жарко Стевановић, научни саветник, Институт Винча, о оцени докторске дисертације „Оптимизација аероакустичних феномена код узгонских површина“ студента докторских студија **Владимира Јазаревића**, дипл. инж. маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 12.05.2016. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ОПТИМИЗАЦИЈА АЕРОАКУСТИЧНИХ ФЕНОМЕНА КОД УЗГОНСКИХ ПОВРШИНА“** студента **ВЛАДИМИРА ЈАЗАРЕВИЋА**, 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, студенту, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Владимира Јазаревића**,
дипл. инж. маш., студента докторских студија.

Одлуком 846/3 бр. од 22.04.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед,
оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Владимира Јазаревића, дипл. инж. маш.,
под насловом

**ОПТИМИЗАЦИЈА АЕРОАКУСТИЧНИХ ФЕНОМЕНА КОД
УЗГОНСКИХ ПОВРШИНА**

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 Владимир Јазаревић, дипл. инж. маш. прву годину докторских студија
уписао је школске 2008/2009 на Univeritat de Polytecnica de Cataluca у Шпанији на одсеку за
прорачунску механику у оквиру катедре за Отпорност материјала која је у склопу
Грађевинског факултета. После завршене прве две године и положених свих испита, због
проблема са финансирањем, трећу годину уписује на Машинском факултету Универзитета у
Београду, Одсек за ваздухопловство школске 2012./2013.

Кандидат Владимир Јазаревић, дипл. инж. маш. пријавио је израду докторске
дисертације 19. марта 2014. године, бр. 608/1, Катедри за ваздухопловство Машинског
факултета Универзитета у Београду и за ментора предложио редовног професора др Бошка
Рашуо.

На основу пријаве кандидата и предлога Катедре, одлуком Наставно-научног већа
Машинског факултета Универзитета у Београду од 3. априла 2014. године, бр. 608/3,
именована је Комисија за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске
дисертације и научне заснованости теме у саставу: ментор, Проф. др Бошко Рашуо редовни
професор Машинског факултета Универзитета у Београду, Проф. др Александар Бенгин,
редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду и Проф. др Бранислав
Јојић, редовни професор Универзитета у Београду у пензији.

Комисија је 16. априла 2014. године, бр. 608/4, 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 и да предложена тема радног назива „Оптимизација аероакустичних феномена код узгонских површина“ може бити предмет докторске дисертације.

На захтев Владимира Јазаревића, дипл. инж. маш. и извештаја Комисије у саставу: Проф. др Бошко Рашуо, ментор, Проф. др Александар Бенгин и Проф. др Бранислав Јојић, бр. 608/4 од 16. априла 2014. године, а на основу чл. 128. Закона о високом образовању, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду на седници од 24. априла 2014. године, донело је одлуку бр. 608/5 да се прихвата предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације „Оптимизација аероакустичних феномена код узгонских површина“ кандидата Владимира Јазаревића, дипл. инж. маш. и да се за ментора именује проф. др Бошко Рашуо. Одлука је достављена Већу Научних области техничких наука Универзитета у Београду на сагласност.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је дало сагласност на предлог теме докторске дисертације „Оптимизација аероакустичних феномена код узгонских површина“ кандидата Владимира Јазаревића, дипл. инж. маш., под менторством редовног професора др Бошка Рашуо, 12. маја 2014. године, одлука бр. 61206-2065/2014.

На основу одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и именовању ментора и сагласности Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, декан Машинског факултета у Београду је 27. маја 2014. год. донео закључак бр. 1119/1 да се одобри рад на теми докторске дисертације „Оптимизација аероакустичних феномена код узгонских површина“ кандидату Владимиру Јазаревићу, дипл. инж. маш.

О завршетку докторске дисертације ментор проф. др Бошко Рашуо обавестио је Катедру за ваздухопловство, дописом број 846/1 од 11. априла 2016. године. Катедра за ваздухопловство је својим дописом број 846/2 од 14. априла 2016. године предложила Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: ментор Проф. др Бошко Рашуо, Проф. др Александар Бенгин, Проф. др Александар Вег, Проф. др Марко Милош, и др Жарко Стевановић, научни саветник, Институт Винча. На седници Наставно-научног већа 21. априла 2016. године је усвојено обавештење о завршетку дисертације кандидата Владимира Јазаревића, дипл. инж. маш. и предлог састава Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације (бр. 846/3 од 21. априла 2016. године).

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада области Техничких наука, научна област Машинство. За ментора је одређен др Бошко Рашуо, редовни професор на катедри за Ваздухопловство Машинског факултета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат Владимир Јазаревић, дипл. инж. маш. је рођен 10.03.1983. године у Београду. Основну и средњу техничку школу је завршио у Београду. Основне студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписао је школске 2002./2003. године, где је и дипломирао на катедри за Ваздухопловство са просечном оценом 8.5/10. Дипломски рад са темом „Концептуални дизајн лаке композитне летелице“ одбранио је у септембру 2007. године са оценом 10. Од септембра 2007. до августа 2008 године био је запослен као сарадник на пројектима на институту за ваздухопловство Машинског факултета универзитета у Београду. Од августа 2008. до јануара 2009. запослен је као машински

инжењер у фирми Делта Аир Инжењеринг у Београду. Од фебруара 2009. до фебруара 2012. запослен је у фирми "International Centar for Numerical Methods in Engineering - CIMNE" - Barcelona - Шпанија. Од марта 2012 је запослен у фирми Engine Development and Production - EDePro у Београду.

Кандидат Владимир М. Јазаревић, дипл. инж. маш. прву годину докторских студија уписао је школске 2008./2009. године на Univeritat de Polytecnic de Cataluca у Шпанији на одсеку за прорачунску механику у оквиру катедре за Отпорност материјала која је у склопу Грађевинског факултета. После завршене прве две године и положених свих испита, због проблема са финансирањем, трећу годину уписује на Машинском факултету Универзитета у Београду, Одсек за ваздухопловство школске 2012./2013.

У циљу реализације програма усавршавања кандидат је положио све испите предвиђене планом и програмом докторских студија са просечном оценом 10,00. Кандидат Владимир М. Јазаревић, дипл. инж. маш. је аутор више радова објављених у међународним часописима и на међународним конференцијама. Два рада су објављена у часописима са СЦИ листе.

Основни правац рада кандидата Владимира М. Јазаревића, дипл. инж. маш., током докторских студија је математичко и нумеричко моделирање напредних стабилизационих метода за решавање парцијалних диференцијалних јендачина као и њихова примена на физикалним проблемима као што је аероакуситка. Након положених свих испита и испуњених свих осталих обавеза предвиђених Планом и програмом докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду, као и Програмом усавршавања договореним са потенцијалним ментором кандидат Владимир М. Јазаревић, дипл. инж. маш. је 16. априла 2014. године Комисији за докторске студије Машинског факултета Универзитета у Београду поднео захтев за пријаву докторске дисертације под радним називом „Оптимизација Аероакустике код узгонских површина“.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација „Оптимизација Аероакустичних феномена код узгонских површина“, кандидата Владимира М. Јазаревића дипл. инж. маш. изложена је на 220 страна.

Дисертација садржи следећих седам поглавља:

1. Увод,
2. Аероакустика и прорачунска аероакустика,
3. Нумеричко моделирање турбулентног струјања и развој Ортогоналне Сабгрид скеил стабилизационе методе са динамичким праћењем малих вртлога (Orthogonal Subgrid scale stabilization method with dynamical subscales),
4. Прорачун акустичних извора и Директна Фуријеова Трансформација,
5. Прорачун и симулација акустичног поља притиска,
6. Симулација Аероакустике на узгонским површинама и компарација нумеричких модела,
7. Закључак

Дисертација садржи списак од 170 коришћених референци и цитиране литературе на 12 страна и 3 прилога на укупно 47 страна.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу дисертације истакнут је значај аероакустике авиона и како бука коју генеришу аеродинамичке површине авиона приликом полетања и слетања утичу на

људе који живе у околини аеродрома. Изнесени су будући правци како да се редукује бука и како је снижавати са годинама које су пред нама.

Изнесен је преглед релевантне научне литературе у којем су анализирани карактеристике појединачних фаза моделирања прорачунске аероакустике, са посебним освртом на моделирање турбулентног струјања при малим маховим бројевима, тј. некомпресибилним струјањима.

У наставку су приказане карактеристике аероакустике и прорачунске аероакустике са освртом на физикалност процеса као и методологије прорачуна аероакустичних феномена. Дат је кратак осврт на основна полазишта ове области од којих је најзначајнији допринос дао Лајтхил, који је први формулисао аероакустику која долази са аеродинамичких површина. Са друге стране, дат је кратак преглед приступа прорачуна аероакустике као и главни проблеми са којима се при томе сусрећу истраживачи и инжењери у пракси.

У следећем делу првог поглавља дат је преглед коришћених методологија у дисертацији као и истраживачки циљеви дисертације где је апосторфиран другачији приступ моделирања турбулентног струјања од класичног, који се обично користи у пракси. На крају је дат кратак преглед дисертације.

У другом поглављу дисертације су изнесене основне теоријске поставке физикалне аероакустике и дефинисани су аналитички модели за њено решавање. Приказано је пар најпознатијих методологија, од којих је најбитнија Лајтхил аналоиџа, која је централна и најбитнија за тезу. У овој методологији Лајтхил је презентовао трансформацију Навије-Стоксове јендачине у таласну јендачину као и њено прилагођавање за моделирање аероакустичних феномена чији је извор аеродинамичка бука. Поред тога дефинисани су потребни монополи, диполи као и квадриполи као и њихов значај који имају за генерисање акустичних извора као и њиховог интезитета.

На крају је презентована комплетна методологија симулације аероакустичних феномена изнетих у тези, где је за први корак дефинисана симулација комплетног турбулентног струјања помоћу прорачунске динамике флуида (CFD - Computational Fluid Dynamics).

Добијено нестационарно поље брзина се затим користи да се израчуна двострука дивергенција Рејнолдсовог стрес тензора који представља акустичне изворе. Прелазак срачунатих акустичних извора из временског домена у фреквенци домен је урађен са Директном Фуријеовом трансформацијом. Израчунати акустични извори су десни члан нехомогене Хелмхолцове једначине чијим решавањем Галеркиновим приступом методом коначних елемената чиме се добија расподела акустичног притиска у прорачунском домену.

Предмет трећег поглавља дисертације обухвата дефинисање ортогоналне сабгрид скеил стабилизационе методе са динамичким праћењем малих вртлога (Orthogonal Subgrid Scale stabilization method with dynamical subscale). Превасходно је дефинисана некомпресибилна Навије-Стоксова једначина као и њена варијациона формулација и укратко је презентована математичка позадина дефинисања постојање јединственог решења задате једначине.

После тога је дефинисана симулација великих вртлога LES (Large Eddy Simulation) методологија за моделирање турбулентног струјања где је приказано пар модела за моделирање малих вртлога који се добијају после филтрације Навије-Стоксове једначине. Презентован је између осталог и Смагорински модел који ће се користити у даљим поглављима тезе и као упоредни модели. Укратко су приказане добре и лоше стране изабраног модела као и могућност симулације турбуленције.

У наредном кораку је дефинисана Галеркинова метода коначних елемената за просторну дискретизацију Навије-Стоксове једначине као и модели за временску дискретизацију.

Наредни корак је резервисан за дефинисање ортогоналне сабгрид скеил стабилизационе методе где је представљена њена формулација као и позитивне стране дате формулације, као што је глобално одржање количине кретања и моделирање Рејнолдс стрес

тензора остатка који моделира турбуленцију малих вртлога. Дефинисано је и динамичко праћење малих вртлога са којима успевамо коректно да моделирамо узајамну расподелу енергије измeђу малих и великих вртлога. Веома битан аспект ове формулације је моделирање кинетичке енергије као и њене дисипације са развијањем вртлога што је поткрепљено са математичком теоријом за обе формулације превасходно дефинисане. На крају је приказана имплементација методе у Матлаб софтвер окружењу и на приказаном примеру, који има аналитичко решење, може се видети која је тачност задате формулације.

У четвртом поглављу су презентовани, превасходно, прорачун акустичних извора као дупла дивергенција Рејнолдсовог стрес тензора где се добија алокација и интезитет акустичних извора у временском домену. Пошто је Хелмхолцова једначина у фреквентном домену а акустични извори су изворни чланови нехомогоне Хелмхолцове једначине, потребно је дати изворе у временском домену трансформисати у акустичне изворе у фреквентном домену, што је урађено са Директном Фуријеовом трансформацијом.

Превасходно је презентована Директна Фуријеова трансформација као и прорачунски брза Фуријеова трансформација и дата је кратка анализа карактеристика обе методе. Из задатих карактеристика обе методе због могућности не складиштења велике количине података код Директне фуријеове трансформације се имплементира директно у временску петљу приликом решавања Навије-Стоксове једначине где се добија на времену прорачуна али се и редукује меморијски простор потребан за алокацију велике количине временских инстанци поља брзине струјања.

У петом поглављу ове дисертације аутор је презентовао нестационарну и стационарну Хелмхолцову једначину. Приказани су проблеми који се јављају приликом симулације акустичног поља са великим таласним бројевима као и граничним условима који се јављају на ободима прорачунског домена а који замењују безгранични домен.

Дефинисано је зашто се јавља "pollution" грешка са математичке стране гледишта и шта је потребно да би се овај проблем превазишао. Дефинисан је затворени математички модел који је добро дефинисан и као такав погодан за решавање.

Направљен је бенчмарк проблем у једној и две димензије за хомогену Хелмхолцову једначину као и бенчмарк проблем за нехомогену Хелмхолцову једначину где је нумеричко решење нађено са Галеркиновим приступом методом коначних елемената. Поред тога, за једнодимензиону Хелмхолцову једначину имплементиран је стабилизациони модел, дефинисан у трећем поглављу, где је приказано да са задатом методологијом је могуће веома успешно превазићи проблеме "pollution" грешке, тј. да нумеричка пропација таласа се простира у домену са истим таласним бројем као и егзактно решење.

У шестом поглављу дисертације приказана је симулација опструјавања око аеропрофила са закрилцем, упрошћеног попречног пресека стајног трапа, као и дводимензионе секције пројектила "ALAS" (Advanced Light Attack System). Сви наведени примери симулирани су са уобичајним индустријским приступом тј. са познатом симулацијом великих вртлога LES (Large Eddy Simulation), методом Смагоринског, као и са презентованом методологијом Ортоганалне сабгрид скеил стабилизационе методе са динамичким праћењем малих вртлога. Презентоване су главне разлике ових методологија као и профили брзина и притиска у различитим временским инстанцама. Исто тако приказане је и временска еволуција у времену поља брзине и притиска за разне карактеристичне чворове прорачунске мреже. Упоредо са тим резултатима је приказан и спектар фреквенција добијеног поља брзине струјања где се лако може видети главна разлика у приступу моделирања турбулентног струјања. Затим је приказано поље акустичних извора, за обе већ наведене методологије где се лако може уочити већа присутност дипола и квадрипла за стабилизациону методу што доводи до закључка да бољим моделирањем малих вртлога се добија веродостојнија алокација и интезитет акустичних извора.

На крају је урађена комплетна симулација акустичног поља за мале таласне бројеве где је коришћена методе коначних елемената са Галеркиновим приступом.

Ови класични примери су показали реалну апликацију презентоване стабилизационе методе и њену могућност да се моделира турбулентно струјање као и да презентовани нови модел је много мање дисипативан као и да динамичко моделирање малих величина или вртлога даје добру дистрибуцију енергије између малих и великих вртлога тј, у могућности смо да се моделира повратна дистрибуција енергије са малих вртлога на велике вртлоге.

У седмом поглављу дисертације изнет је детаљан закључак са критичком анализом остварених резултата спроведених нумеричких симулација. Такође су дате могуће смернице за даља истраживања из ове значајне области коју обрађује ова дисертација. Истакнут је научни допринос дисертације као и могућност примене добијених резултата у реалним условима.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „Оптимизација аероакустичних феномена на узгонским површинама“ даје савремен и оригиналан приступ истраживању нумеричког моделирања као једног од корака моделирања аероакустике и како то моделирање утиче на преостала два корака симулације тј., прорачун акустичних извора као и пропагацију акустичних таласа у посматраном домену. Научни допринос ове дисертације се пре свега огледа у стварању нове, јединствене стабилизационе методе која својом имплементацијом уједно моделира и турбулентно струјање која као такво моделира све физикалне карактеристике развијеног турбулентног струјања у отвореном простору. Презентована методологија је затим искоришћена да се анализира и какав је њен утицај на преостале кораке симулације аероакустичних феномена. Због робустности саме симулације утрошен је одређени труд да се редукује потребна меморија за чување велике количине података створене симулацијом Навије-Стоксове јендачине.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији је коришћена обимна литература из нумеричког моделирања турбуленције као и прорачунске аероакустике. Коришћена литература се може поделити на три групе: радови који се баве нумеричким моделирањем турбуленције, радови који се баве физикалностима аероакустике и радови који се баве прорачунском аероакустиком. Литература је кандидату послужила као полазна основа за формирање прегледа досадашњих истраживања из прорачунске аероакустике. Самим тим, дат је релевантан приказ тренутног стања у области којој припадају проблеми разматрани у докторској дисертацији. Коришћена научна литература је служила као почетна основа за конципирање нумеричког моделирања турбуленције, а такође је указала и на могуће правце побољшања постојећих и имплементацију софистициранијих нумеричких модела коришћених за симулацију сложених аероакустичних феномена.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Научне методе које су примењене у поступку реализације научних резултата могу се поделити на три групе: математичко моделирање, нумеричке методе и симулација аероакустичних феномена. Математичко моделирање подразумева преглед математичке теорије као и дефинисање теорема и дефиниција које задати модели треба да испуне да би задовољавали одређене услове који би осигурали постојање и јединственост решења.

Нумеричко моделирање и презентовање нове методологије даје могућност да се карактеристике турбулентног струјања моделирају чисто нумерички. Самим тим се

омогућује да симулације нису зависне од проблема који се симулира и да се са одређеним нумеричким аргумендима покрије велики дијапазон практичних проблема. Битно је напоменути да стабилизациона метода осим што омогућава да се користе исте апроксимативне функције што даје стабилизацију конвектног члана за струјања где је брзина струјања доминантна а да се са додатним моделирањем и апроксимирањем малих вртлога природно описују сложене карактеристике турбулентног струјања.

3.4. Применљивост остварених резултата

Кандидат Владимир М. Јазаревић је радом на докторској дисертацији остварио значајне научно-истраживачке резултате са трајном научном вредношћу и практичном применљивошћу у области моделирања и симулације турбуленције као и аероакустике која за извор звука има турбулентно струјање флуида.

Развијени и верификовани нумерички модел стабилизације који је у стању да моделира турбуленцију и који је интензивно примењиван при испитивању аероакустичних феномена на узгосним површинама и разних других компоненти авиона. Резултати су упоређени са индустријским класичним приступом моделирања турбуленције методом Великих вртлога (LES - Large Eddy Simulation). Резултати турбулентног струјања као и алокација и интензитет акустичних извора су упоређени, где је закључак, да је презентована нова методологија, боља од свих постојећих у више аспеката компарације.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде ове дисертације показао способност самосталног извођења научно-истраживачких пројеката, као и способност решавања сложених техничких проблема применом савремених научно-истраживачких метода. Велико радно искуство у области нумеричког моделирања и нумеричке симулације аероакустичних феномена на различитим узгосним површинама пружају основу за даљи и квалитетан самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни допринос ове дисертације је остварен у:

- Унапређењу Стабилизационе методе СГС (Сабгрид Скејл стабилизације) у виду дефинисања нове методе која има ортогоналну пројекцију моделирања малих величина, тј. вртлога на простор који је дефинисан методом коначних елемената и која узима у обзир евалуацију тих малих величина у времену тј. узима се у обзир динамика малих вртлога.
- Дефинисању другачијег приступа моделирања турбулентног струјања који је чисто нумерички и који у себи носи моделирање како великих тако и малих вртлога, као и дефинисање малих величина које се не могу ухватити порачусном мрежом. Самим тим је унапређено глобално нумеричко моделирање количине кретања које се принципијално губи у другим, постојећим методама порачуна.

- Дефинисана нова стабилизациона метода омогућава коришћење истих апроксимативних функција за поље притиска и брзине струјања што омогућава лакшу и бржу имплементацију у софтвер који решава парцијалне диференцијалне једначине методом коначних елемената.
- Моделирање Рејнолдс стрес тензора који је задужен за ефекте турбулентног струјања малих вртлога и њен утицај на велике вртлоге.
- Динамичким праћењем малих величина тј., вртлога и њиховим моделирањем успешно је моделирана размена енергије између малих и великих вртлога, где треба напоменути, да је са овим новим приступом успешно моделирана енергија коју мали вртлози предају великим што није случај у великом броју класичних нумеричких приступа.
- Посебно треба напоменути да је са овом унапређеном методологијом успешно ухваћен спектрум у фреквеннтном домену развијеног турбулентног струјања који је приказан на конкретним примерима из аероакустичне апликације, где се показује да форуалција није превише дисипативна као методологије које се обично користе у аероакустичној примени.
- Посебно је дат акценат на моделирање акустичних извора Лајтхиловом методом где наведена метода за моделирање турбулентног струјања даје диполе који се јављају не само од величина које се могу ухватити прорачуснском мрежом, него и диполе који долазе од малих вртлога.
- Применом Директне Фуријеове трансформације унутар временске петље за решавање Навије-Стоксове једначине, чиме се даје могућност да се уштеди велика количина меморије која је потребна за складиштење временских корака поља брзине које користи брза Фуријеова трансформација.
- Имплементација нове Стабилизационе методе за решавање Хелмхолцове једначине ефикасно решава проблеме које изазива "pollution" грешка која се јавља при великим таласним бројевима.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

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

Установљене чињенице истраживања су корак напред и воде ка унапређењу постојећих података о карактеристикама нумеричког моделирања турбулентног струјања као и какав утицај има то моделирање на алокацију и јачину акустичних извора као и пропагацију у прорачуснском домену.

Развијени комплексни стабилизациони нумерички модел поседује велику применљивост с обзиром да је конципиран на чистом нумеричком приступу и да не узима никакве физичке моделе и самим тим није завистан од проблематике решавања тј., има широк спектар примене у индустријским апликацијама аероакустике као и других грана индустрије.

4.3. Верификација научних доприноса

Радови објављени у научним часописима међународног значаја

- **Радови у врхунским међународним часописима (M21):**

1. Šekutkovski, B., Kostić, I., Simonović, A., Cardiff, P., **Jazarević, V.**, Three-dimensional fluid–structure interaction simulation with a hybrid RANS–LES turbulence model for applications in transonic flow domain, **Aerospace Science and Technology**, Volume 49, February 2016, Pages 1-16, Elsevier Ltd., doi: 10.1016/j.ast.2015.11.028, ISSN: 1270-9638, na SCI listi; IF 0.940.

- **Радови у међународним часописима (M23):**

1. **Jazarević V.**, Rašuo, B., Numerical prediction of aerodynamic noise generated from missile for low mach number flows, **Technical Gazette**, Vol. 24, No. 3, June 2017., DOI: 10.17559/TV-20141231143143, ISSN: 1330-3651, (prihvaaen za štampu), na SCI listi; IF 0.579.

- **Радови у међународним часописима (M24):**

2. **Jazarević V.**, Rašuo, B., Computation of acoustic sources for the landing gear during the take-off and landing, **FME Transactions**, Vol. 41 No 3, 2013., Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, ISSN 1451-2092, Belgrade, (strane 180-188).
3. Rašuo, B., **Jazarević V.**, Numerical Calculation of Acoustic Sources for the Landing Gear of Aeroplane during Take-off and Landing, **PAMM**, Volume 15, Issue 1, October 2015, Pages: 529 – 530 (2015), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, DOI 10.1002/pamm.201510255, ISSN: 1617-7061, Weinheim, Germany.

Зборници међународних скупова

- **Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33):**

1. **Jazarević, V.**, Rašuo, B., Computation of acoustic sources for the landing gear during the take-off and landing, Fourth Serbian (29th Yu) **Congress on Theoretical and Applied Mechanics**, Vrnjačka Banja, Serbia, 4-7 June 2013, ISBN 978-86-909973-5-0, p.p. 597-602.

- **Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34):**

2. Rašuo, B., **Jazarević, V.**, Numerical Calculation of Acoustic Sources for the Landing Gear of Aeroplane during Take-off and Landing, **GAMM 86th Annual Scientific Conference** - Lecce, Italy, March 23 – 27, 2015, Book of Abstract, p. 476.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација под називом „ОПТИМИЗАЦИЈА АЕРОАКУСТИЧНИХ ФЕНОМЕНА КОД УЗГОНСКИХ ПОВРШИНА“, кандидата Владимира Јазаревића, дипл. инж. маш., садржи савремен и оригиналан научни допринос, који омогућава целовиту анализу разматраних проблема у вези са нумеричким моделирањем турбулентног некомпрсбилног струјања и како такво има значајан утицај на одређивање акустичних

извора као и акустичну пропагацију кроз прорачунски домен. На основу онога што је приказано у докторској дисертацији и чињенице да је анализирана проблематика изузетно актуелна, са задовољством се констатује да је кандидат Владимир Јазаревић, дипл. инж. маш., студент докторских студија успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима. Кандидат је дошао до оригиналних научних резултата, који су и верификовани, што им обезбеђује широку примену у области нумеричког моделирања турбулентног струјања и како то моделирање утиче на алокацију и јачину акустичних извора а касније и пропагацију таласа притиска кроз прорачунски домен.

На основу прегледа докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану докторске тезе под називом „ОПТИМИЗАЦИЈА АЕРОАКУСТИЧНИХ ФЕНОМЕНА КОД УЗГОНСКИХ ПОВРШИНА“, кандидата Владимира Јазаревића, дипл. инж. маш., са задовољством се констатује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима у научно-истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и Статутом Машинског факултета у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да Извештај прихвати, дисертацију стави на увид јавности и упути извештај на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да се након тога кандидат позове на јавну одбрану.

У Београду 5. 05. 2016. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Бошко Рашуо, Универзитет у Београду
Машински факултет

.....
Проф. др Александар Бенгин, Универзитет у Београду
Машински факултет

.....
Проф. др Александар Вег, Универзитет у Београду
Машински факултет

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

.....
Др Жарко Стевановић, Универзитет у Београду
Институт Винча

To:

Your ref.:

Our ref.: AA-TV-20141231143143

Slavonski Brod, 29-03-2016

Subject: **Acceptance of Article**

Article ID: **TV-20141231143143**

DOI Number^{*)}: **10.17559/TV-20141231143143**

Title: **NUMERICAL PREDICTION OF AERODYNAMIC NOISE GENERATED FROM MISSILE FOR LOW MACH NUMBER FLOWS**

Author/s: **Vladimir Jazarević, Boško Rašuo**

Dear authors!

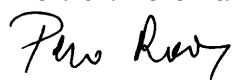
Your article (mentioned above) has been accepted for publication in the journal Tehnički vjesnik/Technical Gazette (Print: ISSN 1330-3651, Online: ISSN 1848-6339), Vol. 24/No. 3 to be published towards the end of **June 2017**. The article is classified as **original scientific paper**. The Journal indexed 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:846/5
Датум: 12.05.2016. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 12.05.2016. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ОПТИМИЗАЦИЈА АЕРОАКУСТИЧНИХ ФЕНОМЕНА КОД УЗГОНСКИХ ПОВРШИНА“** студента **ВЛАДИМИРА ЈАЗАРЕВИЋА**, дипл. инж. маш.

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

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-2065/2014, од 12.05.2014. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

1. **Jazarević V.**, Rašuo, B., Numerical prediction of aerodynamic noise generated from missile for low mach number flows, **Technical Gazette**, Vol. 24, No. 3, June 2017., DOI: 10.17559/TV-20141231143143, ISSN: 1330-3651, (prihvaćen za štampu), na SCI listi; IF 0.579.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић