

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Образац 1.

2534/4
(Број захтева)

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

30.11.2017.
(Датум)

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 И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА СИМУЛАЦИЈА УТИЦАЈА АТМОСФЕРСКОГ ГРАНИЧНОГ СЛОЈА НА СТРУЈНО ПОЉЕ ОКО ГРАЂЕВИНСКИХ ОБЈЕКТА (NUMERICAL AND EXPERIMENTAL SIMULATION OF ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER INFLUENCE ON FLOW PATTERNS AROUND BUILDING STRUCTURES)

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Ваздухопловство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: AHMED ALI IRHAYIM ABUBAKER

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

3. Година дипломирања: 2012.

4. Назив магистарске тезе кандидата: /

5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: /

6. Година одбране магистарске тезе: /

7. Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: /

Година уписа докторских студија: 2013.

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

на седници одржаној 30.11.2017
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Радивоје Митровић

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: 2534/4
Датум: 30.11.2017. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Ahmed Ali Irhayim Abubaker**, MSc., dipl.ing.mas., бр. 2534/1 од 16.10.2017. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Иван Костић, ред. проф., др Часлав Митровић, ред. проф., др Александар Бенгин, ред. проф., др Александар Симоновић, ред. проф. и др Слободан Ступар, ред. проф. М.Ф. у пензији, број 2534/3 од 23.11.2017. године, а 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 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 30.11.2017. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **AHMED ALI IRHAYIM ABUBAKER**, MSc., dipl.ing.mas. испуњава услове за израду докторске дисертације **«НУМЕРИЧКА И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА СИМУЛАЦИЈА УТИЦАЈА АТМОСФЕРСКОГ ГРАНИЧНОГ СЛОЈА НА СТРУЈНО ПОЉЕ ОКО ГРАЂЕВИНСКИХ ОБЈЕКТА (NUMERICAL AND EXPERIMENTAL SIMULATION OF ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER INFLUENCE ON FLOW PATTERNS AROUND BUILDING STRUCTURES)»**.

За ментора студенту **Ahmed Ali Irhayim Abubaker**, именује се др **Иван Костић**, ред. проф.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата **Ahmed Ali Irhayim Abubaker** за израду докторске дисертације

Одлуком 2534/2 бр. од 09.11.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Ahmed Ali Irhayim Abubaker** за израду докторске дисертације и научне заснованости теме “**Нумеричка и експериментална симулација утицаја атмосферског граничног слоја на струјно поље око грађевинских објеката**” (Numerical and experimental simulation of atmospheric boundary layer influence on flow patterns around building structures).

НАПОМЕНА: наслов дисертације изворно предложен од стране кандидата “Нумеричко и експериментално истраживање утицаја атмосферског граничног слоја на струјно поље око грађевинских објеката” (Numerical and experimental investigation of atmospheric boundary layer influence on flow patterns around building structures) комисија је, уз сагласност кандидата, кориговала као што је приказано горе, обзиром на чињеницу да наслов дисертације не треба да садржи термине који се иначе код научних радова (дисертације) подразумевају, као на пример истраживање, анализа, развој, прилог и томе слично.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Ahmed Ali Irhayim Abubaker рођен је 27. 01. 1983. године у Тамизаваху, Либија. Основну школу завршио је 1997. године, док је средњу школу - природни смер завршио у граду Аламарифа 2000. године. Дипломирао је на Универзитету Сабха у Либији, на Факултету за инжењерство и технологију, Катедра за машинско инжењерство, 2005. године.

У периоду 2006. – 2008. похађао је дипломске студије на Универзитету у Триполију (раније Ал-Фатех), где је положио све предвиђене испите.

Године 2009. уписао се на Мастер академске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду, Катедра за ваздухопловство, које је успешно завршио одбраном

тезе под насловом “ CFD analysis of Separation and Reattachment for a Flow in Sudden Expansion Channel ”, 2012. године.

Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписао је школске 2013/14. године на Катедри за ваздухопловство. Област научно-истраживачког рада којом се бавио на докторским студијама, везана за компјутерску анализу и симулације спољашњих и унутрашњих струјања, представља наставак и надградњу истраживачког рада којим се бавио и током мастер академских студија. Оперативно користи програмске пакете MS Office, MATLAB, CATIA, VLAERO, ANSYS DesignModeler, ICEM CFD, ANSYS Fluent, CFD-Post и друге. Говори енглески и арапски језик. Захтев за одобравање дисертације поднео је 16. 10. 2017. године, након врло добрих резултата постигнутих у CFD симулацији и моделирању атмосферског граничног слоја за дијапазоне брзина од 1 – 50 m/s, верификованих поређењем са постојећим резултатима добијеним релевантним аеротунелским испитивањима.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Научноистраживачке активности кандидата, од уписа на докторске студије па до пријаве теме дисертације, везане су за област подзвучне аеродинамике. Кандидат је током прве године студија био укључен у компјутерску анализу 2D опструјавања аеропрофила NASA 65₂ – 415 са отклоњеним закрилцем са једним процепом, у оквиру пројекта развоја једномоторног лаког клипноелисног авиона на Машинском факултету Универзитета у Београду. Анализирано је вискозно струјање при различитим угловима отклона и са различитим геометријама канала (процепа) између торзионе кутије крила и закрилца. Из овог истраживања проистекао је рад изложен на конгресу SRMA 2014, који је у зборнику штампан у целини. Пројекат овог лаког авиона је успешно заживео у пракси.

Даље научноистраживачке активности кандидата везане су за CFD анализу 2D струјања око аеропрофила у симулираном радном делу аеротунела, при чему је варирана релативна висина радног дела у односу на тетиву. При томе су вршени упоредни прорачуни како са присуством зидова тако и без њих (слободна атмосфера) за исте вредности нападних углова и брзина, из чега су утврђене потребне корекције за утицај зидова аеротунела.

Из ових активности проистекло је интересовање кандидата како за област експерименталне аеродинамике, тако и за могућност CFD симулација струјања у аеротунелу, односно формирања прорачунског модела који би представљао “виртуелни аеротунел”. Кандидат је прорачуне обављао у програмском пакету Ansys Fluent, при чему је вршио опсежне анализе како утицаја разних типова прорачунских мрежа, тако и физикалних модела и прорачунских опција на стабилност и конвергенцију решења. Вршена је квалитативна и квантитативна верификација решења поређењем са расположивим резултатима аеротунелских испитивања. Из ових истраживања проистекао је и рад који је у часопису на SCI листи у финалној фази рецензије.

Утицај на коначно опредељење кандидата за област и тему докторске дисертације имала су испитивања модела кула за хлађење термоелектране Колубара са елементима за симулацију атмосферског граничног слоја, која су осамдесетих година двадесетог века вршена у подзвучном аеротунелу Машинског факултета Универзитета у Београду, а које је кандидат својим CFD прорачунским моделом успешно моделирао.

Током докторских студија кандидат је редовно похађао наставу и положио је следеће предмете:

	Subject	Professor	Final mark
1.	Advanced Numerical Methods	Prof. dr Zlatko Petrović	9 (nine)
2.	Special Topics in Thermodynamics	Prof. dr Milan Petrović	9 (nine)
3.	Structural Integrity	Prof. dr Aleksandar Sedmak	8 (eight)
4.	Planning, Performing and Controlling Projects	Prof. dr Bojan Babić	10 (ten)
5.	Selected topics in Fluid Mechanics	Prof. dr Zoran Stefanović	10 (ten)
6.	Research and Development Methodology	Prof. dr Zlatko Petrović	10 (ten)
7.	Airfoils and Hydrofoils	Prof. dr Zoran Stefanović	10 (ten)
8.	Boundary Layer and Control of Separations	Prof. dr Zoran Stefanović	10 (ten)
9.	Design of Aerospace Structures	Prof. dr Aleksandar Grbović	10 (ten)
10.	Finite Elements Methods in Applications	Prof. dr Aleksandar Grbović	10 (ten)
11.	Research and Publication 1	Prof. dr Ivan Kostić	10 (ten)
12.	Research and Publication 2	Prof. dr Marko Miloš	10 (ten)
13.	Research and Publication 3	Prof. dr Ivan Kostić	10 (ten)
14.	Research and Publication 4	Prof. dr Ivan Kostic	10 (ten)

Пројекат идеје докторске дисертације, коју је кандидат успешно одбранио, сажет је у следећем:

“Искуство и истраживања су показали да је правилно познавање и оређивање утицаја атмосферског опструјавања (ветрова, удара буре) на разне типове грађевинских објеката од суштинског значаја за њихово оптимално структурално димезионисање и очување њиховог интегритета током употребе. При томе је важно имати на уму да се сви грађевински објекти налазе унутар атмосферског граничног слоја, чија дебљина и профил зависе од типа и конфигурације околног терена и ветрова карактеристичних за дати регион. Правилним одређивањем струјне слике у домену датог објекта могуће је одредити оптерећења која ваздушна струја врши на различите делове његове конструкције и оптимално их димензионисати. У ту сврху обављају се испитивања у радим деловима аеротунела, како модела препрека које генеришу атмосферски гранични слој, тако и самих грађевинских објеката. Међутим, у савременим условима брзог развоја рачунарског хардвера и софтвера, компјутерске CFD анализе почињу у солидној мери да замењују сразмерно скупа аеротунелска испитивања.

Иницијална истраживања у овој дисертацији обухватиће могућности правилне и адекватне нумеричке симулације атмосферског граничног слоја, моделираног у радном делу аеротунела. Као полазна основа користиће се како резултати аеротунелских испитивања раније обављених у подзвучном аеротунелу Машинског факултета Универзитета у Београду, тако и у другим реномираним институцијама које су обављале ову врсту анализа и публиковале релевантне резултате. Циљ је установљавање, верификација и валидација прорачунског модела и методе оптималног генерисања прорачунских мрежа, који ће омогућити CFD анализу моделирања атмосферског граничног слоја у радним деловима аеротунела. У широком дијапазону брзина ветра (тј. струјања у радном делу), оквирно од $1 \div 50 \text{ m/s}$, уз коришћење одговарајућих типова препрека за генерисање профила брзина,

потребно је обезбедити задовољавајућу подударност срачунатих профила брзине и степена турбуленције са онима добијеним током експеримента. Ова иницијална истраживања односиће се на формирање профила атмосферског граничног слоја, без присуства грађевинских објеката.

У наредној фази анализираће се струјна поља око карактеристичних конфигурација грађевинских објеката мање и средње величине, која се налазе унутар домена атмосферског граничног слоја. У овој фази вршиће се како испитивања расподела притисака око одговарајућих модела грађевинских објеката у подзвучном аеротунелу Машинског факултета Универзитета у Београду, тако истовремено и CFD анализа струјања у компјутерски симулираном радном делу тунела са истим објектом. Испитиваће се могућност установљеног прорачунског модела да адекватно моделира струјање око различитих карактеристичних грађевинских конфигурација при различитим смеровима и брзинама ветра. Квантитативна верификација дефинисаног прорачунског модела обављаће се поређењем струјних слика остварених у аеротунелу визуелизацијом струјног поља, са постпроцесорским приказом коришћењем одговарајућих програмских модула (Ansys Fluent, CFD Post), док ће се квантитативне верификације вршити мерењем остварених притисака на моделу и поређењем са вредностима срачунатим CFD анализом. Успешност оваквог прорачунског модела омогућила би замену великог броја скупих радних сати реалног аеротунела много јефтинијим, компјутерски симулираним “виртуелним радним делом аеротунела”, уз могућност поуздане примене на широком спектру проблема опструјавања грађевинских објеката мале и средње величине.”

На међународној конференцији студената основних, мастер и докторских студија кандидат има рад објављен у целини у зборнику радова:

1. Bojan Šekutkovski, Ahmed Abubaker, Olivera Kostić, Determination of the Aerodynamic Characteristics of the NACA 65₂ - 415 Airfoil With Single Slotted Flap, Proceeding of 4th International Symposium for Students - SRMA 2014, Kraljevo, 6th – 8th November 2014, Faculty of Mechanical Engineering Kraljevo, pp.1-8.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Ahmed Ali Irhayim Abubaker, студент докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду, завршио је Мастер академске студије и стекао звање Дипломирани машински инжењер – Мастер, такође на Машинском факултету Универзитета у Београду, 2012. године. Током докторских студија положио је 10 предмета и стекао 50 ESPB бодова, док је кроз лабораторијски истраживачки рад стекао 75 ESPB бодова. Са укупно сакупљених 125 ESPB бодова и одбраном Пројекта идеје дисертације стекао је услов за пријаву докторске дисертације.

Кандидат има један рад на међународној конференцији, а у припреми и рецензији је неколико радова у међународним часописима.

Кроз положене предмете и лабораторијски рад у областима које кандидат примењује у свом истраживању током докторских студија, као и кроз истраживачки рад на претходном нивоу школовања у оквиру мастер студија, кандидат је у потпуности уведен у проблематику докторске дисертације. Тиме су се стекли како формални, тако и објективни услови за наставак рада на докторској дисертацији под предложеним насловом.

2. Предмет и циљ истраживања

Аеродинамичка анализа опструјавања грађевинских објеката има задатак да пројектантима обезбеди изузетно важне улазне податке везане за утицај правца и брзине ветра на генерисање допунских структуралних оптерећења, која у неким случајевима могу битно утицати на интегритет како делова структуре објеката, тако и комплетних грађевина. Неки карактеристични примери су: нафтне платформе на океанима изложене ударима урагана; високи солитери са више десетина спратова, чије љуљање би под утицајем јачих ветрова, који чак не морају бити екстремне јачине, могло потпуно да онемогући живот и функционисање у њима; осциловање високих и/или дугачких мостова у зонама јаким ветрова, или у кањонима где се брзина ветра због вентури-ефекта може многоструко увећати, које може паралисати њихово коришћење или, при уласку у резонантну фреквенцију, чак довести до њиховог рушења.

Међутим, мерења указују на то да су климатске промене током протеклих година утицале и на увећање просечних брзина ветрова у областима у којима екстремне појаве као што су торнада, урагани, монсуни и сл. нису присутни. У том смислу критичне су и грађевине мањих и средњих величина (типичне за периферијске делове великих урбаних средина, или мање градове) где, због неадекватног димензионисања, под рафалним ударима ветра, долази до урушавања кровних конструкција, већих надстрешница, тераса, фасада итд., а то доводи не само до појаве материјалне штете, већ и угрожавања безбедности. У свету је установљено више стандарда који дају препоруке везане за процене расподеле притисака и оптерећења под утицајем ветра и на оваквим објектима (EUROCODE, ASCE, National Building Code of Canada и др.). Међутим, пракса показује да су такве препоруке, осим што се у одређеној мери међусобно разликују, такође и доста уопштене и да се велики број специфичних случајева из праксе не може сасвим адекватно подвести под њих. Примарни разлог је чињеница да се сви објекти на Земљи налазе у зони која се назива атмосферским граничним слојем. У њему брзина ветра прогресивно опада са висином, а профил и висина овог слоја у великој мери зависе како од конфигурације терена (брдовити, планински, равничарски), тако и од конкретног типа "подлоге" по којој ваздух струји (густо насељена област, рурална област, шума, ливаде, море, итд.).

Обзиром на чињеницу да је аналитички приступ у аеродинамичкој анализи овакве категорије проблема у могућности да пружи само неке ограничене и генералне смернице, анализа конкретних случајева, историјски посматрано, пренета је прво на домен експерименталних истраживања. Мерења на самом терену свакако представљају најпоузданији извор података, али су се у многим случајевима у пракси показала као врло скупа и дуготрајна, или их је чак било немогуће адекватно обавити. Зато се у ову сврху многа испитивања обављају на моделима направљеним у одговарајућој размери, у радним деловима аеротунелима који се изворно користе за испитивања аеродинамике ваздухоплова. Временом, у свету су изграђени и специјализовани аеротунели, чија је намена моделирање и анализа самог атмосферског граничног слоја, као и анализа опструјавања, расподеле притисака, степена турбуленције, поља брзина итд. око грађевинских објеката унутар адекватно моделираног граничног слоја за дато географско окружење.

Експериментална испитивања опструјавања грађевинских објеката изворно су била вршена углавном или за објекте екстремних димензија - високи облакодери, делови индустријских постројења (димњаци, куле за хлађење), вијадукти и мостови итд., или за објекте изложене екстремним ветровима (нафтне платформе под ударом урагана и сл.). Међутим, у новије време све више аеротунелских испитивања се, из претходно поменутих разлога, обавља и на моделима грађевинских објеката мање и средње величине. При томе се врше како наменска испитивања појединачних објеката у изградњи, тако и испитивања категорија објеката систематизованих по њиховом референтном облику, као и критичних делова објеката - надстрешница, кровова, и друго. Иако је развој савремене науке и технологије омогућио да аеротунелска испитивања данас постану финансијски пријемљивија

и да се могу обављати и за ове категорије објеката (и не буду више искључиво привилегија пројеката грађевинских подухвата са високим буџетом), она још увек захтевају како значајна финансијска средства, тако и време које је потребно за израду модела објеката и препрека за адекватну симулацију граничног слоја, постављање сета модела и препрека у радном делу, обављање испитивања и обраду добијених резултата.

Са убрзаним развојем рачунарског хардвера и софтвера, ова проблематика почела је успешно да прелази и у домен компјутерске аеродинамичке анализе. У области прорачунске динамике флуида (CFD – Computational Fluid Dynamics) до данас је за моделирање и нумеричку анализу спољашњих и унутрашњих струјања развијен већи број релевантних програмских пакета којима се може постићи значајна уштеда у времену и новцу у односу на адекватна аеротунелска испитивања. При томе се анализа у овом домену може вршити у два правца. Први је нумеричко моделирање атмосферског граничног слоја и самог грађевинског објекта у контролној запремини која обухвата довољно велики домен реалног географског окружења - у размери 1 : 1. То и у данашњим условима може представљати изузетно захтеван задатак у смислу потребних хардверских ресурса и времена извршења прорачуна, уколико се жели сразмерно висок степен дискретизације простора у циљу добијања квалитетних и поузданих резултата. Други приступ било би моделирање самог радног дела аеротунела са комплетном поставком експеримента и номиналним параметрима струјања у њему, такође у размери 1 : 1, што је у смислу хардверских захтева и времена извршења прорачуна много повољније. То фактички представља формирање виртуелног аеротунела чији је "рад" много јефтинији од рада реалног тунела, што важи и за израду виртуелних CAD модела препрека и грађевинских објеката у односу на оне који се реално праве у радионици. За рад на овој дисертацији усвојен је други наведени приступ.

Једна од предности савремених нумеричких прорачунских пакета у односу на класичне експерименталне методе јесте то што имају могућност генерисања изузетно великог броја података о струјању које се анализира. Квантитативна анализа добијених резултата врши се на основу нумеричких вредности из излазног блока, у овом случају у виду одређивања профила брзина унутар атмосферског граничног слоја симулираног у радном делу аеротунела, степена турбуленције по висини граничног слоја и у околини модела објекта, континуална расподела коефицијента притиска по контурама модела грађевинског објекта, одређивање како укупне силе која на њега делује, тако и парцијалног утицаја на његове критичне делове, итд. Квалитативна анализа обавља се помоћу одговарајућих модула за постпроцесирање, који омогућавају да се резултати представе на начин који највише одговара врсти проблема који се проучава. Могућности графичког приказивања резултата су практично бесконачне (у локалним 2D пресецима, глобална 3D графика, анимације итд.). Ово може бити од велике користи за представљање и детаљну анализу физикалности разматраног струјног поља, идентификовање проблематичних области и репројектовање конструкције објекта у циљу редуковања критичних аеродинамичких оптерећења и његове структуралне оптимизације, итд.

Иницијална истраживања у овој дисертацији обухватиће могућности правилне и адекватне нумеричке симулације атмосферског граничног слоја, моделираног у радном делу аеротунела. Као полазна основа користиће се како резултати аеротунелских испитивања раније обављених у подзвучном аеротунелу Машинског факултета Универзитета у Београду, тако и у другим реномираним институцијама које су обављале ову врсту анализа и публиковале релевантне резултате. Циљ је установљивање, верификација и валидација прорачунског модела и методе оптималног генерисања прорачунских мрежа, који ће омогућити CFD анализу моделирања атмосферског граничног слоја у радним деловима аеротунела. У широком дијапазону брзина ветра (тј. струјања у радном делу), оквирно од $1 \div 50 \text{ m/s}$, уз коришћење одговарајућих типова препрека за генерисање профила брзина, потребно је обезбедити задовољавајућу подударност срачунатих профила брзине и степена турбуленције са онима добијеним током експеримента. Ова иницијална истраживања

односиће се на формирање профила атмосферског граничног слоја, без присуства грађевинских објеката.

У наредној фази анализираће се струјна поља око модела изабраних репрезентативних конфигурација грађевинских објеката превасходно мање и средње величине, која се налазе унутар домена симулираног атмосферског граничног слоја. У овој фази вршиће се како испитивања расподеле притисака око одговарајућих модела грађевинских објеката у подзвучном аеротунелу Машинског факултета Универзитета у Београду, тако упоредо и CFD анализа струјања у компјутерски моделираном радном делу овог аеротунела са истим објектом. Испитиваће се могућност коришћења установљеног прорачунског модела за анализу струјања око различитих грађевинских конфигурација при различитим смеровима и брзинама ветра, уз услов стабилне конвергенције решења за све експерименталне случајеве.

Успешност оваког прорачунског модела омогућила би замену великог броја скувих радних сати реалног аеротунела много јефтинијим, компјутерски симулираним “виртуелним радним делом аеротунела”, уз могућност поуздане примене на широком спектру проблема опструјавања грађевинских објеката мале и средње величине. При томе би један мањи број испитивања у аеротунелу био искоришћен за поређење и валидацију нумерички остварених резултата, док би остали карактеристични случајеви били анализирани искључиво нумерички. Исто тако, коришћење на овај начин калибрисаног прорачунског модела омогућило би ефикаснији избор, димензионисање и позиционирање препрека за сваку наредну серију експеримената у аеротунелу. На овај начин био би добијен ефикасан спрегнути систем нумеричке и експерименталне анализе. Он би уз финансијску и временску уштеду у односу на чисто експериментални присуп омогућио дотупност ове врсте анализа и у оквиру грађевинских пројеката са скромнијим буџетом.

Генерисање 3D модела радног дела подзвучног аеротунела Машинског факултета, одговарајућег система препрека за симулирање атмосферског граничног слоја, као и грађевинских објеката намењених испитивању, биће обављана у програмском пакету CATIA. На основу овако дефинисане геометрије, за формирање одговарајуће контролне запремине биће коришћен модул ANSYS DesignModeler, док ће се за генерисање прорачунских мрежа користити ANSYS ICEM CFD. CFD анализа струјања унутар контролне запремине ће бити вршена коришћењем модула FLUENT програмског пакета ANSYS. Визуелизације параметара струјног поља унутар контролне запремине биће обављане у FLUENT-у, као и коришћењем програмског модула CFD-Post.

Циљеви истраживања могу се сажети у следећем:

- Дефинисаће се параметри прорачунског физикалног модела и прорачунских мрежа, који ће давати најбоља могућа поклапања са расположивим релевантним експерименталним резултатима при моделирању струјног поља атмосферског граничног слоја, у планираном релевантном дијапазону брзина од $1 \div 50 \text{ m/s}$.
- Прорачунски модел мора бити у могућности да, са овако дефинисаним параметрима прорачуна који се односе како на физикални модел, тако и на алгоритам генерисања мреже, уз модификације које се односе на прилагођавање актуелној геометрији, ефикасно симулира утицаје различитих могућих типова препрека (као што су раванске, сабљасте, пирамидице, купе, паралелопипеди, итд.) које се могу користити за оптимално моделирање атмосферског граничног слоја у радном делу аеротунела за конкретно географско окружење које се нумерички моделира.
- У циљу иницијалне верификације прорачунског модела, у свим анализираним случајевима мора се најпре остварити стабилна и прогресивна конвергенција нумеричких решења за анализу атмосферског граничног слоја без присуства грађевинских објеката. Квалитативна верификација вршиће се поређењем визуелизације струјног поља обављеног у аеротунелу са одговарајућим визуелизацијама параметара струјног поља у постпроцесорским модулима коришћеног нумеричког пакета. Квантитативна верификација обавиће се поређењем

вредности мерених параметара у разним пресецима радног дела аеротунела (профили брзина, степен турбуленције по висини слоја, итд.) са истим тим параметрима добијеним нумеричком анализом.

- У наредној фази, у подзвучном аеротунелу Машинског факултета Универзитета у Београду обавиће се серија аеротунелских испитивања модела грађевинских објеката наменски изабраних типичних конфигурација, којима ће се обухватити специфичности типичних мањих и средњих грађевина (са равним и косим крововима, са надстрешницама и/или терасама различитих типова, величина и висина). Током експеримената, биће вршена визуелизација струјног поља и мерење притисака у релевантним тачкама и зонама модела објекта. Истовремено, обављаће се и компјутерска анализа струјања у симулираном радном делу око модела геометрије идентичне оној која се користи током експеримента. Поређењем остварених струјних слика, као и поређењем мерених и срачунатих притисака, извршиће се даља верификација и по потреби допунске корекције, ажурирање и оптимизација прорачунског алгорита.
- Овако установљен прорачунски модел, верификован иницијалним аеротунелским испитивањима за сваку наредну поставку, биће у могућности да замени значајан број радних сати аеротунела. Спрегнутим експерименталним и нумеричким приступом, укупни трошкови анализе аеродинамичких оптерећења која делују на грађевинске објекте при различитим брзинама ветра, за одговарајуће конфигурације терена и профиле атмосферског граничног слоја, могу бити знатно редуковани. На тај начин, оваква испитивања постала би приступачна и грађевинским пројектима са нижим буџетом. Довољно велики прикупљени статистички узорци током ових испитивања треба да омогуће и одређена унапређења стандарда и препорука везаних за оптимално пројектовање грађевинских објеката мање и средње величине са аспекта утицаја праваца и брзина ветрова карактеристичних за дати регион.

Релевантни библиографски извори на које се надовезују предвиђена истраживања у предложеној дисертацији су:

1. Snæbjörnsson, J. T.: *Full- And Model Scale Study Of Wind Effects On A Medium-Rise Building In A Built Up Area*. Ph. D. Thesis, Department of Structural Engineering, Norwegian University of Science and Technology Trondheim, Norway, September 2002.
2. Suárez, J. D. C.: *Wind-Induced Pressures On Canopies Attached To The Walls Of Low-Rise Buildings*. Master Thesis , Department Of Building, Civil and Environmental Engineering, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada, November 2012.
3. Endo, M.: *Wind Tunnel Modeling And Analysis Of Wind Effects On Low-Rise Buildings*. Ph. D. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University Fort Collins, Colorado, Summer 2011.
4. Wilcox, D. C.: *Turbulence Modeling for CFD*, DCW Industries, Inc., California, USA, 2006.
5. Lakehal, D., Rodi W.: *Calculation of the Flow past a Surface-Mounted Cube with Two-Layer Turbulence Models*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 67&68, (1997), pp. 65-78.
6. Plate, E. J.: *Methods of investigating urban wind fields-physical models*. Atmospheric Environment.33, (1999) pp. 3981-3989.
7. Farell,C.; Iyengar, A. K.S.: *Experiments on the wind tunnel simulation of atmospheric boundary layers*. J. of Wind Eng. and Ind. Aerody. 79, (1999), pp.11–35.
8. William,V.; Burton, B.S.M.E.: *Wind Tunnel Simulation of An Atmospheric Boundary Layer*. M.Sc. Thesis, Texas Tech University, 2001.
9. Benson, J.: *Boundary-layer response to a change in surface roughness*. M.Sc. Thesis, The University of Reading Department of Meteorology, 15th August 2005.

10. Kayisoglu, B.: *Investigation of Wind Effects on Tall Buildings through Wind Tunnel Testing*. M.Sc. Thesis, School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, June 2011.
11. Yang, W.; Quan, Y.; Jin, X.; Tamura, Y.; Gu, M.: *Influences of Equilibrium Atmosphere Boundary Layer and Turbulence Parameter on Wind Loads of Low-rise Buildings*. J. of Wind Eng. and Ind. Aerody. 96, 10(2008), pp. 2080-2092.
12. Shojaei, S. M. N.; Uzol, O.; Kurc, O.: *Atmospheric boundary layer simulation in a short wind tunnel*. Int. J. Environ. Sci. Technol, 11(2014), pp:59–68.
13. Blocken, B.; Carmeliet, J.; Stathopoulos, T.: *CFD Evaluation of Wind Speed Conditions in Passages Between Parallel Buildings - Effect of Wall-Function Roughness Modifications for the Atmospheric Boundary Layer Flow*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 95, 9(2007), pp. 941-962.
14. Yassen, Y. E.; Abdelhamed, A. S.: *CFD Modeling of the Atmospheric Boundary Layer in Short Test Section Wind Tunnel*. American Journal of Aerospace Engineering, 2, 1(2015), pp. 38-46.
15. Kareem, A.; Cermak, J.E.: *Pressure Fluctuations on A Square Building Model in Boundary-Layer Flows*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 16, (1984), pp.17-41.
16. Ikhwan, M.: *Investigation of Flow and Pressure Characteristics around Pyramidal Buildings*. Ph. D. Thesis, Fridericiana University in Karlsruhe, Germany, 18 April 2005.
17. ASCE.: *Wind tunnel Studies of Buildings and Structures*. Journal of Aerospace Engineering, (January 1996), PP.19-37.
18. Akins, R. E.; Cermak, J. E.: *Wind Pressures on Buildings*. Fluid Dynamics and Diffusion Laboratory College of Engineering Colorado State University Fort Collins, Colorado, Fall 1976.
19. Sitheeq, M. M.; Iyengar, A. K.S.; Farell, C.: *Effect of turbulence and its scales on the pressure field on the surface of a three-dimensional square prism*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 96-71, (1997), pp. 461-471.
20. Delaunay, D.; Lakehal, D.; Pierrat, D.: *Numerical approach for wind loads prediction on buildings and structures*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 57, (1995), pp.307-321.
21. Hunt A.: *Wind-Tunnel Measurements of Surface Pressures on Cubic Building Models at Several Scales*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 10, (1982), pp.137-163.
22. Baskaran, A.; Kashef, A.: *Investigation of air flow around buildings using computational fluid dynamics techniques*. Journal of Engineering Structures. 18, (1996), pp.861-875.
23. Dagnew, A. K.; Bitsuamalk, G.T.; Merrick, R.: *Computational evaluation of wind pressures on tall buildings*. Americas Conference of Engineering. 11, (2009), pp. 1-17.
24. Roh, H.W.; Kim, H.R.: *Wind Pressure Distribution on Canopies Attached to Tall Buildings*. Journal of Mechanical Science and Technology. 25 (7), (2011), pp.1767-1774.
25. Goyal, R.; Ahuja, A.K.: *The Distribution of Pressure Near The Corners of Flat Canopy Attached to The Gable Roof Buildings*. The Fourth International Symposium on Computational Wind Engineering, Yokohama, 2006.
26. Yang, W.; Jin, X.; Jin, H.; Gu, M.; Chen, S.: *Application of new inflow boundary conditions for modeling equilibrium atmosphere boundary layer in rans-based turbulence models*. In: Proceedings of International Conference on Wind Engineering / Australia, 2007, pp. 591–598
27. Blocken, B.; Carmeliet, J.; Stathopoulos, T.: *CFD Evaluation of Wind Speed Conditions in Passages Between Parallel Buildings - Effect of Wall-Function Roughness Modifications for the Atmospheric Boundary Layer Flow*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 95, 9(2007), pp. 941-962.

28. Blocken, B.; Stathopoulos, T.; Carmeliet, J.: *CFD Simulation of the Atmospheric Boundary Layer: Wall Function Problems*. Atmospheric Environment. 41, 2(2007), pp. 238-252.
29. Leifsson, L.; Koziel, S.; Andrason, F.; Magnusson, K.; Gylfason, A.: *Numerical Optimization and Experimental Validation of a Low - Speed Wind Tunnel Contraction*. Procedia Computer Science, 9(2012), pp. 822-831.
30. Fraser, S.M., Carey, C.; Moustafa, A.A.A.: *Numerical and experimental analysis of flow around isolated and shielded cubes*, Appl. Math. Modelling, 14, (1990), pp.588-597.

3. Полазне хипотезе

- Основна хипотеза у изради ове дисертације јесте да се моделирање струјања око грађевинских објеката унутар атмосферског граничног слоја може успешно обављати у радном делу аеротунела. При томе се између реалних објеката у природи и модела објекта мора успоставити геометријска сличност, у размери одговарајућој за габарите радног дела конкретног аеротунела, тако да се утицај чврстих непорозних зидова радног дела на струјање своди на нужни минимум.
- Успостављање сличности природе струјања у реалном окружењу и на улазу у радни део аеротунела, базирано на једнакости Рејнолдсових бројева везаних за репрезентативне габарите контролне запремине, практично је немогуће. То проистиче из чињенице да су аеротунелски модели од неколико десетина, до неколико стотина пута мањи од реалних објеката, па би брзина ваздушне струје у аеротунелу, за остваривање једнакости габаритних Рејнолдсових бројева, морала бити исто толико пута већа него у природи.
- Упркос претходном ограничењу, релевантни резултати могу се добити у случајевима када су профили брзина по релативној висини атмосферског граничног слоја у природи и аеротунелу подударни, када је поклапање степена турбуленције по његовој висини у природи и у експерименту задовољавајуће и када су задовољени одређени емпиријски захтеви везани за Рејнолдсов број базиран на карактеристичној дужини храпавости. Исто тако, да би се остварила задовољавајућа сличност струјне слике у непосредној околини реалног и моделираног објекта, потребно је испунити захтеве везане за минималне вредности Рејнолдсовог броја одређеног према габариту модела. Превођење сила и притисака остварених на моделу у бездимензионе величине врши се према усвојеном стандарду за реалне објекте (нпр. динамички притисак у граничном слоју на оној висини која одговара висини објекта). Применом ових постулата, разлика габаритних Рејнолдсових бројева у природи и аеротунелу постаје ирелевантна у смислу практичних инжењерских анализа.
- Ниво развоја савременог хардвера и софтвера омогућава веродостојно нумеричко моделирање комплетног струјног поља у радном делу аеротунела, како у контексту анализе самог атмосферског граничног слоја, тако и у смислу опструјавања модела разматраних грађевинских објеката у домену граничног слоја.
- Верификацију установљеног прорачунског модела и алгоритама генерисања прорачунских мрежа, као и адекватност њихове примене на конкретним проблемима, могуће је поуздано обавити: а) квалитативним поређењем струјних слика визуелизираних у аеротунелу и добијених нумеричком анализом коришћењем одговарајућих постпроцесорских модула, као и б) квантитативним поређењем измерених и срачунатих профила брзина и степена турбуленције унутар граничног слоја и расподеле коефицијената притиска по контури модела грађевинског објекта.

4. Научне методе истраживања

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

- методе експерименталног моделирања и анализе
- методе нумеричког моделирања и анализе
- 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 експерименталног и нумеричког моделирања, симулације и анализе атмосферског граничног слоја у радном делу аеротунела и опструјавања модела грађевинских објеката унутар његовог домена.
- Коришћењем најсавременијих софтверских алата, установиће се оптимални прорачунски модели и мреже за прорачун реалне флуидне средине, са присуством различитих наменских типова препрека, чији је задатак формирање профила атмосферског граничног слоја оговарајућег за дато географско окружење, у коме се налазе разматрани грађевински објекти.
- Верификација резултата добијених нумеричком анализом биће обављена квалитативним и квантитативним поређењем са валидним и релевантним експерименталним резултатима, добијеним испитивањима како у подзвучном аеротунелу Машинског факултета Универзитета у Београду, тако и у другим релевантним аеротунелским инсталацијама у свету. У смислу квалитативне верификације, вршиће се поређење струјног поља визуелизованог у аеротунелу и у коришћеном нумеричком пакету. Квантитативне верификације вршиће се поређењем профила брзина и степена турбуленције како по вертикалном профилу граничног слоја тако и у непосредној околини модела објеката, као и поређењем мерених и срачунатих расподела притисака на самом моделу грађевинског објекта.
- Овако адекватно калибрисан нумерички модел биће у могућности да замени велики број радних сати аеротунела. При започињању испитивања сваког новог сета објеката, биће неопходно извршити иницијална аеротунелска испитивања и обавити верификовње резултата нумеричког модела на претходно дефинисан начин, а затим коришћењем нумеричке анализе обавити остатак испитивања у “виртуелном аеротунелу”. Таквим комбиновањем експерименталног и CFD приступа у оквиру ове врсте анализа биће могуће остварити знатне временске и финансијске уштеде, а ова

испитивања ће учинити знатно приступачнијим и развојним пројектима са нижим буџетом.

- У циљу верификације прорачунског модела, биће обављена систематска експериментална и нумеричка анализа опструјавања карактеристичних конфигурација грађевинских објеката мање и средње величине, са различитим типовима, положајима и величинама надстрешница, тераса, закошених кровних конструкција и др. Резултати и закључци добијени овим путем биће корисни како за даља научна истраживања, тако и за унапређење инжењерске праксе у области аеродинамичке анализе атмосферског граничног слоја и опструјавања грађевинских објеката. Ови резултати ће такође представљати и релевантне улазне базе података за допуну и унапређење препорука и стандарда у области пројектовања грађевинских објеката изложених утицају ветра.

6. План истраживања и структура рада

Технологија рада на дисертацији, редослед истраживања и структура предвиђених фаза и активности у истраживању, као и структура рада који из њих проистиче, требало би да задовоље следећи редослед и концепт:

- Уводна разматрања
- Преглед литературе у разматраној области
- Експерименталне методе и поступци намењени анализи утицаја атмосферског граничног слоја на опструјавање грађевинских објеката
- Преглед нумеричких метода и алата који ће бити коришћени за прорачуне
- Дефинисање параметара прорачуна, прорачунских мрежа, солвера и метода оптимизације прорачуна
- Верификација прорачунског модела атмосферског граничног слоја поређењем нумеричких резултата са постојећим, валидним и релевантним експерименталним резултатима
- Анализа и приказ добијених резултата за различите карактеристичне типове конфигурација грађевинских објеката
- Квантитативна и квалитативна валидација, систематизација и генерализација резултата прорачуна
- Формирање закључака и предлог будућих истраживања
- Списак коришћене литературе

7. Закључак и предлог

Анализом релевантних података из пријаве коју је поднео кандидат Ahmed Ali Irhayim Abubaker, M.Sc, дипл. инж. маш., Комисија закључује да кандидат испуњава све законом предвиђене услове и истраживачке квалификације за израду докторске дисертације.

Имајући у виду наведено Комисија предлаже Већу докторских студија да кандидату

Ahmed Ali Irhayim Abubaker

одобри израду докторске дисертације под називом:

Нумеричка и експериментална симулација утицаја атмосферског граничног слоја на струјно поље око грађевинских објеката

(Numerical and experimental simulation of atmospheric boundary layer influence on flow patterns around building structures)

из уже научне области ваздухопловство. За ментора рада на дисертацији предлаже се проф. др Иван Костић, редовни професор на Катедри за Ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду.

Београд, 21.11.2017. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

Проф. др Иван Костић,
редовни професор Универзитета у Београду, Машински факултет

Проф. др Часлав Митровић,
редовни професор Универзитета у Београду, Машински факултет

Проф. др Александар Бенгин,
редовни професор Универзитета у Београду, Машински факултет

Проф. др Александар Симоновић,
редовни професор Универзитета у Београду, Машински факултет

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

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Ahmed Ali Irhayim Abubaker

Име и презиме ментора: Иван Костић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Иван Костић: *Numerical Evaluation of the Aerodynamic Influence of the Helicopter Composite Blade Trailing Edge Tabs*, Archive of Applied Mechanics - Springer-Verlag, ISSN 0939-1533, (2007) 77: pp. 893-909. (IF за 2007 годину 0,523).
2. 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 2009 годину 0,533).
3. Златко Петровић, Слободан Ступар, Иван Костић, Александар Симоновић: *Determination of a Light Helicopter Flight Performance at the Preliminary Design Stage*, Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering, ISSN 0039-2480, 56(2010)9, pp. 535-543, UDC 533.661:629.01 (IF за 2009 годину 0,533).
4. Александар Симоновић, Иван Костић, Слободан Ступар, Златко Петровић: *Laboratory Tests of a Hybrid Metal-Composite Transport Helicopter Blade Segment*, Experimental Techniques, John Wiley and Sons, ISSN 0732-8818, 32 (2012), pp. 22-32 (IF за 2012 годину 0.378).
5. 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 (IF за 2013 годину 0.615).
6. Јелена Сворцан, Слободан Ступар, Драган Комаров, Огњен Пековић, Иван Костић: *Aerodynamic Design and Analysis of a Small-scale Vertical Axis Turbine*, Journal of Mechanical Science and Technology, Springer, ISSN 1738-494X, 27 (8) (2013), pp. 2367-2373 (IF за 2013 годину 0.703).
7. Taha Ahmed Abdullah, Златко Петровић, Зоран Стефановић, Иван Костић, Јован Исаковић: *Two-Dimensional Wind Tunnel Measurement Corrections by the Singularity Method*, Tehnički Vjesnik - Technical Gazette, ISSN 1330-3651, 22(2015)3, pp. 557-565 (IF за 2015 годину 0.464).
8. 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, 22(2015)5, pp. 1237-1245. (IF за 2015 годину 0.464).

9. Бојан Шекутковски, Иван Костић, Александар Симоновић, Philip Cardiff, Владимир Јазаревић: *Three-Dimensional Fluid-Structure Interaction Simulation with a Hybrid RANS-LES Turbulence Model for Applications in Transonic Flow Domain*, Aerospace Science and Technology, Elsevier, ISSN 1270-9638, 49 (2016) pp. 1-16 (IF за 2015 годину 1.751).
10. 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, 24(2017)5, pp. 1335-1344. (IF за 2015 годину 0.464).
11. Тони Иванов, Александар Симоновић, Небојша Петровић, Васко Фотев, Иван Костић: *Influence of Selected Turbulence Model on the Optimization of a CST Parameterized Airfoil*, Thermal Science, ISSN 0354-9836, DOI: 10.2298/TSCI160209194I (IF за 2015 годину 0.939).

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 21.11.2017.

М.П.