

## ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата mr Mostafa H.S. Abobaker-a магистра машинства и студента докторских студија

Одлуком од 2017. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата mr Mostafa H.S. Abobaker-a магистра машинства и студента докторских студија на Катедри за ваздухопловство на Машинском факултету Универзитета у Београду под насловом:

Low Reynolds Number Airfoils

Аеропрофили за мале Рејнолдсове бројеве

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 mr Mostafa H.S. Abobaker, магистар машинства, уписало је докторске студије у школској години 2013/2014, По захтеву кандидата mr Mostafa H.S. Abobaker број 2216/1 од 27.10.2015. год., предлога проф. др Златка Петровића и сагласности Катедре за ваздухопловство бр. 2216/2 од 16.11.2015. год. да му се одобри пријава теме докторске дисертације и именује Комисија за подношење извештаја о прихватању теме, Научно-наставно веће Машинског факултета Универзитета у Београду донело је Одлуку бр. 2216/5 од 10.12.2015. год. којом се прихвата тема докторске дисертације и именује ментор проф. др Златко Петровић и Комисија за подношење извештаја о прихватању теме докторске дисертације и њене научне заснованости у саставу:

др Златко Петровић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Машински факултет  
др Иван Костић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Машински факултет  
др Александар Симоновић, ванредни професор  
Универзитет у Београду, Машински факултет  
др Огњен Пековић, доцент  
Универзитет у Београду, Машински факултет  
др Зоран Стефановић, редовни професор у пензији  
Универзитет у Београду, Машински факултет

На основу извештаја комисије бр. 2216/4 од 1.12.2015. и одлуке ННВ под бројем 2216/5 од 10.12.2015. године поднет је захтев Машинског факултета Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду које је на седници бр. 61206-5700/2-15 одржаној 21.12.2015. год. донело Одлуку да се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације mr Mostafa H.S. Abobaker-а, магистра машинства под називом „Аеропрофили за мале Рејнолдсове бројеве“ (Low Reynolds Number Airfoils) под менторством проф. др Златка Петровића.

На основу обавештења проф. др Златка Петровића да је докторант mr Mostafa H.S. Abobaker, магистар машинства завршио докторску дисертацију под називом „Аеропрофили за мале Рејнолдсове бројеве“, предлога Катедре за ваздухопловство, Наставно- научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду донело је Одлуку 2510-2 бр. од 19.10.2017. год. о именовану Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

1. др Златко Петровић, редовни професор у пензији, Универзитет у Београду, Машински факултет, ментор
2. др Костић Иван, редовни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет
3. др Александар Симоновић, редовни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет
4. др Мирко Динуловић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет
5. др Слободан Ступар, редовни професор у пензији, Универзитет у Београду, Машински факултет

## **1.2 Научна област дисертације**

Научна област докторске дисертације је машинско инжењерство, а ужа научна област је ваздухопловство, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду. Израдом дисертације руководио је проф. др Златко Петровић, редовни професор на Катедри за ваздухопловство.

## **1.3 Биографски подаци о кандидата**

mr Mostafa H.S. Abobaker, је рођен 10.01.1969. године у Azawia, Либија. Основну школу, (малу матуру) је похађао у школи у Azawia, Либија у времену (1971-1976). Велику матуру је похађао такође у школи у Azawia, Либија у времену (1977-1983). Средњу школу је похађао у школи у Azawia, Либија у времену (1984-1986). B.Sc. је стекао на Engineering Academy Tajoura, у Триполију, Либија у времену (1988-1992). Магистрирао је на Машинском факултету Универзитета у Београду у периоду (1996-1998).

У времену од 1992. до 2003. године радио је као истраживач при одељењу за аеродинамику и механику лета Alfath Research center, Tripoli-Libya. Од 2003. до 2010. године је начелник тог одељења у Alfath Research center, Tripoli-Libya. Од 2010. до данас је запослен на катедри за ваздухопловство Engineering Faculty, Azawia University, Azawia, Libya. Од 2013. се налази на докторским студијама на Машинском факултету Универзитета у Београду.

Електронска адреса: mos479@gmail.com

Кандидат је ожењен и има седморо деце.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата mr Mostafa H.S. Abobaker-a магистра машинства, под

насловом „Аеропрофили за мале Рејнолдсове бројеве“ (Low Reynolds Number Airfoils) изложена је на 223 стране, са 156 слика и дијаграма, 9 табела, 276 једначина и списком литературе са 104 наслова. Дисертација поред наведеног садржаја слика и табела, садржаја дисертације, литературе и биографије, садржи следећих девет поглавља писаних на Енглеском језику:

1. Introduction
2. Two Dimensional Ideal Fluid Flow
3. Boundary Layer Modeling
4. Laminar Separation Bubble Modeling
5. Airfoil Parametric Representation
6. Aerodynamic Design and Shape Optimization
7. Airfoil Optimization Case Studies
8. Conclusion

### 2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу Увод кандидат образлаже значај истраживања метода пројектовања аеропрофила намењених применама код којих су мали Рејнолдсови бројеви струјања. Такође се осврће на најважније изворе које касније користи за валидацију својих резултата. Укратко објашњава концепт свог истраживања.

У другом поглављу кандидат се бави методом комплексног пресликавања произвољног аеропрофила на круг у комплексној равни. Кандидат је вођен идејом да се струјно поље невискозног и некомпесибилног флуида коригује граничним слојем и на тај начин се изврши прорачун реалног струјања. За право му дају скорашња истраживања која показују да модели турбуленције не дају квалитетнија решења од оних које је кандидат добио овим простим поступком суперпозиције два физички различита струјања. Предност усвојеног поступка за прорачун аеродинамичких карактеристика произвољних аеропрофила је брзина која је практично за неколико редова величина већа у односу на брзину прорачуна турбулентних модела струјања. Кандидат је верификовао прорачуне упоређујући резултате прорачуна са резултатим аеротунелских испитивања када нема значајног отцепљења струјања.

У трећем поглављу се кандидат бавио методама прорачуна граничног слоја где је одредио дебљину истискивања којом је модификовао оригинални облик аеропрофила а затим поново извршио прорачун нестишљивог и невискозног струјања. Поступак невискозног и некомпесибилног прорачуна је пратио са прорачуном дебљине истискивања онолико пута колико је било потребно да се оствари конвергенција ефективног облика аеропрофила. Овај корак је кандидат верификовао помоћу Еплеровог програма за конструисање аеропрофила и помоћу програма XFOIL Марка Дреле.

Четврто поглавље је посвећено моделирању граничног слоја у присуству ламинарног мехура на горњаци аеропрофила. Постојање мехура је специфичност струјања са малим Рејнолдсовим

бројем те је ово моделирање од изузетне важности за квалитет прорачуна струјања. Моделирање је поређено са резултатима добијеним помоћу програма XFOIL. Такође су резултати прорачуна поређени са аертунелским испитивањима до критичног нападног угла. Осим аеродинамички карактеристика поређене су расподеле притисака одређене прорачуном и мерењима у аертунелу. У свим случајевима је добијено веома добро поклапање са резултатима мерења.

У петом поглављу се кандидат бави методама за параметарско описивање облика аеропрофила. Параметарски приступ спада у такозване директне приступе јер генерисани аеропрофил увек има реалистичан облик. Ово је такође важан сегмент тезе јер је одабран поступак којим се облик аеропрофила систематски мења, а меморизује се само најбољи облик након сваког циклуса прорачуна аеродинамичких карактеристика. У раду је коришћено више начина за параметарско моделирање аеропрофила који се међусобно разликују по броју параметара који контролишу облик.

У шестом поглављу се кандидат бави оптимизацијом облика аеропрофила. Обзиром да је поступак одређивања оптималног облика зависан од неколико критеријума ово поглавље се бави вишњекритеријумском оптимизацијом за дефинисање облика аеропрофила за различите намене. Генетски алгоритам је изабран за само одређивање оптималног облика.

Седмо поглавље садржи резултате прорачуна (добијене облике аеропрофила и њихове аеродинамичке карактеристике) који су добијени под различитим ограничењима. Поступак је верификован на неколико начина. Потврђено је да када се зада специфична расподела притиска око неког познатог аеропрофила софтвер даје облик управо тог аеропрофила.

У закључку је кандидат сумирао своје резултате истраживања и нагласио поузданост и брзину одређивања оптималних облика аеропрофила.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1 Савременост и оригиналност**

Аеропрофили за мале Рејнолдсове бројеве се користе за мање беспилотне летелице, за лопатице ветротурбина, за лопатице елиса за аеропрофиле једрилица и за друге примене где је попречни пресек узгонске површине релативно мали или где је брзина струјања мала. Како је ово веома динамична област примена која се и даље бурно развија то је методика конструкције аеропрофила за ове намене актуелна. Кандидат је одабрао традиционални приступ који је са гледишта утрошеног рачунарског времена по једној итерацији веома јефтин, при чему није изгубио ништа на квалитету добијеног решења у односу на знатно рачунарски захтевније методе прорачуна. Нарочита пажња је посвећена моделирању ламинарног мехура чија појава је типична за струјања при малим Рејнолдсовим бројевима.

#### **3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу**

Анализом списка литературе која је коришћена током израде докторске дисертације може се закључити да је кандидат имао на располагању веома обимну литературу коју је проучио и на основу које је дефинисао циљеве истраживања саме дисертације. Кандидат је кроз објављивање резултата свог рада у међународном часопису, имао прилике да упозна стручну и научну јавност са резултатима својих истраживања. Од наведених радова који су коришћени као литература већина је из часописа са импакт фактором.

### **3.3 Опис и адекватност примењених научних метода**

Кандидат је током израде своје дисертације проучио обимну литературу и из ње извукао најважније смернице на којима је даље засновао свој допринос. За прорачун невискозног и некомп्रेसибилног струјања кандидат је развио оригинални софтвер којим је пресликавао аеропрофил произвољног облика на круг користећи брзу Фуријеову трансформацију, а затим је аналитички описано струјање око круга вратио назад у струјање око реалног аеропрофила чиме је добио расподелу брзина флуида по контури аеропрофила, асамим тим и расподелу притисака. Након тога је одређена дебљина истискивања граничног слоја при чему је нарочита пажња посвећена моделирању ламинарног мехура. За одређивање дебљине истискивања је такође развијен софтверски модул који је наизменично коришћен са модулом за пресликавање све док се није остварила конвергенција аеродинамичких карактеристика и карактеристика граничног слоја. Оптимални аеропрофил је одређен применом генетског алгоритма помоћу којег је диктиран процес систематског модификовања облика аеропрофила и одабир најуспешнијих према унапред дефинисаним критеријумима за вишекритеријумску оптимизацију. У изради су коришћене аналитичке методе моделирања и комплексног пресликавања, нумеричке, експерименталне и методе оптимизације.

### **3.4 Применљивост остварених резултата**

Развијени софтверски пакет је веома робустан и универзалан те се са великом поузданошћу може применити за конструисање нових облика аеропрофила за ниске брзине лета. Оптимизацију је могуће вршити по различитим критеријумима. Облик аеропрофила је могуће мењати на неколико могућих начина. Број параметара који се варира директно утиче на дужину рада оптимизационог процеса. Иако време рада рачунара (у разумним границама) не представља проблем ипак треба имати на уму да варирање већег броја параметара смањује брзину добијања резултата.

### **3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самосталан научни рад**

За време израде тезе кандидат је показао способност за научноистраживачки рад за примену аналитичких и нумеричких метода прорачуна. За комбиновање теорије и праксе. Самостално је разрађивао и примењивао поступке за дефинисање функције циља у вишекритеријумском оптимизационом процесу. Кандидат је целокупан софтвер развио у програмском окружењу Матлаб при чему је испољио велику вештину и способност да разрађене алгоритме претвори у код.

## **4. ОСТВРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### **4.1 Приказ остварених научних доприноса**

Кандидат је током израде своје тезе развио неколико софтверских међусобно повезаних модула који заједно представљају алат за оптимално пројектовање аеропрофила за мале Рејнолдсове бројеве према различитим аеродинамичким и летним критеријумима.

1. Модул за прорачун невискозног некомп्रेसибилног струјања комплексним пресликавањем произвољног облика аеропрофила на круг у комплексној равни. Након одређене расподеле брзина струјања флуида по контури аеропрофила израчунавају се

- сви остали неопходни аеродинамички параметри. Модул користи брзу Фуријеову трансформацију за пресликавање из једне комплексне равни у другу. Расподела брзина по контури аеропрофила је улазни параметар за прорачун дебљине истискивања граничног слоја.
2. Модул за прорачун граничног слоја. Овај модул на основу задате брзине опструјавања око контуре аеропрофила одређује дебљину истискивања којом се ефективно мења облик аеропрофила. Измењени облик захтева поновно одређивање расподела брзина, а нова расподела брзина захтева и нови прорачун дебљине истискивања. Поступак прорачуна се одвија циклично све док се не оствари конвергенција облика, а прорачуната дебљина истискивања постане непроменљива.
  3. Претходна два модула се примењују на аеропрофил чији је облик генерисан модулом за систематску промену облика аеропрофила. Могуће је бирати неколико различитих метода за генерисање облика аеропрофила. Почевши од НАКА формула за срачунавање координата аеропрофила, ПАРАСЕК метод којим се дефинишу типичне координате аеропрофила, Безијер метод којим се дефиниш спољне тангенте аеропрофила или ЦСТ метод са два или четири параметра.
  4. Модул за оптимизацију облика. У овом модулу се дефинише вишекритеријумска функција циља чији се минимум тражи применом генетског оптимизационог алгоритма. Систематичном изменом облика и прорачуном одговарајућих аеродинамичких карактеристика бира се генетским оптимизационим алгоритмом аеропрофил најбољих карактеристика.
  5. Сва четири модула чине јединствен робустан и веома поуздан софтвер за конструкцију оптималних облика аеропрофила за мале Рејнолдсове бројеве са релативно брзим израчунавањем аеродинамичких карактеристика за сваки генерисани облик.

#### **4.2 Критичка анализа резултата истраживања**

Научни допринос се састоји у оригиналном комбиновању различитих приступа у прорачуну струјања око аеропрофила без губитка тачности прорачуна. Развијен је веома брз, ефикасан и поуздан софтвер за пројектовање аеропрофила за мале Рејнолдсове бројеве који се заснива на генетском оптимизационом алгоритму и систематском варирању облика аеропрофила, прорачуну струјања и селекцији најоптималнијег облика. Софтвер омогућује оптимизацију по више принципа. Инверзну оптимизацију чини могућност да се специфицира расподела притиска па да се за њу одреди најоптималнији облик аеропрофила. Директна оптимизација омогућује оптимизацију одређеног аеродинамичког параметра варирањем облика аеропрофила за један услов лета. Оптимизација облика за један услов лета али за комбинацију аеродинамичких карактеристика. Оптимизација облика за више нападних углова али само за један аеродинамички параметар. И на крају могућност оптимизације са више аеродинамичких услова и за вишекритеријумску комбинацију аеродинамичких карактеристика. На крају оптимизациони софтвер дозвољава оптимизацију облика за више Рејнолдсових бројева.

#### **4.3 Верификација научних доприноса**

Кандидат је верификовао своје истраживање објављивањем рада у међународном часопису, M23

Abobaker M., Petrovic Z., Fotev V., Toumi N., Aerodynamic Characteristics of Low Reynolds Number Airfoils, Technical Gazette 19, No 4, (2012), p.p. 709-716, ISSN 1330-3651, Impakt F. (2016) 0.723.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације је закључила да теза представља оригинални научни рад са научним доприносом у области машинства-ваздухопловног инжењерства, а у ужем смислу третира проблематику конструкције и оптимизације облика нових аеропрофила намењених за мале Рејнолдсове бројеве који одговарају беспилотним летелицама, лопатицама ветрогенератора, лопатицама хеликоптера и лопатицама елиса, па сагласно томе предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Аеропрофили за мале Рејнолдсове бројеве“ (Low Reynolds Number Airfoils) кандидата mr Mostafa H.S. Abobaker-a, магистра машинства, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а када се за то стекну законски услови, изложи пред комисијом у истом саставу.

Београд 7.11.2017. год.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....  
др Златко Петровић, редовни професор у пензији  
Универзитет у Београду, Машински Факултет Београд

.....  
др Слободан Ступар, редовни професор у пензији  
Универзитет у Београду, Машински Факултет Београд

.....  
др Александар Симоновић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Машински Факултет Београд

.....  
др Мирко Динуловић, ванредни професор  
Универзитет у Београду, Машински Факултет Београд

.....  
др Иван Костић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Машински Факултет Београд