

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Hamad Alkaabi, M.Sc.**, студента докторских студија.

На основу извештаја ментора 679/1 од 15.03.2018. Наставно-научном већу Машинског факултета да је кандидат Hamad Alkaabi, M.Sc., завршио тезу под називом **АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОСНОСИМЕТРИЧНИХ ТЕЛА У НЕСИМЕТРИЧНОМ СТРУЈНОМ ПОЉУ** Наставно научно веће је одлуком 679/2 од 29.03.2018. формирало Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Hamad Alkaabi, M.Sc., на Енглеском језику под називом: **АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОСНОСИМЕТРИЧНИХ ТЕЛА У НЕСИМЕТРИЧНОМ СТРУЈНОМ ПОЉУ, (AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF AXI-SYMMETRIC BODIES IN NON-SYMMETRIC FLOW FIELDS)**

Након 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 **Hamad Alkaabi, M.Sc.**, је уписао прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2015/2016 године. По захтеву студента докторских студија **Hamad Alkaabi, M.Sc.**, број 1996/1 од 19.09.2017. сагласности ментора проф. др Златка Петровића, редовног професора и сагласности Катедре за ваздухопловство да му се одобри пријава теме докторске дисертације и именује Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације Одлуком број 1996/2 од 19.10.2017., Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду формирало је комисију у саставу:

1. др Златко Петровић, ред. проф. у пензији, ментор, Универзитет у Београду, Машински Београд.
2. др Иван Костић, ред. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет Београд.

3. др Александар Симоновић, ред. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет Београд.
4. др Огњен Пековић, доцент., Универзитет у Београду, Машински факултет Београд.
5. др Слободан Ступар, ред. проф. у пензији., Универзитет у Београду, Машински факултет Београд.

са задатком да припреми извештај о подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације. Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета бр. 1996/4 од 12.12.2017. је прихваћена оцена комисије и тема докторске дисертације под називом **АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОСНОСИМЕТРИЧНИХ ТЕЛА У НЕСИМЕТРИЧНОМ СТРУЈНОМ ПОЉУ, (AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF AXI-SYMMETRIC BODIES IN NON-SYMMETRIC FLOW FIELDS)** кандидата **Hamad Alkaabi, M.Sc.** и именовала ментора проф. др Златка Петровића, редовног професора Машинског факултета Универзитета у Београду.

Универзитет у Београду који је на седници одржаној 29.01.2018. донео Одлуку број 61206-5356-2-17 да се кандидату **Hamad Alkaabi, M.Sc.**, даје сагласност на предлог теме докторске дисертације под називом **АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОСНОСИМЕТРИЧНИХ ТЕЛА У НЕСИМЕТРИЧНОМ СТРУЈНОМ ПОЉУ, (AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF AXI-SYMMETRIC BODIES IN NON-SYMMETRIC FLOW FIELDS)** под менторством др Златка Петровића редовног професора Машинског факултета.

На основу обавештења 16.03.2018 ментора др Златка Петровића, редовног професора у пензији да је кандидат завршио докторску дисертацију под називом **АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОСНОСИМЕТРИЧНИХ ТЕЛА У НЕСИМЕТРИЧНОМ СТРУЈНОМ ПОЉУ, (AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF AXI-SYMMETRIC BODIES IN NON-SYMMETRIC FLOW FIELDS)**, као и на предлог Катедре за ваздухопловство Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду је донело Одлуку број 679/2 од 29.03.2018 о именовању комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

1. др Златко Петровић, ред. проф. у пензији, ментор, Универзитет у Београду, Машински Београд.
2. др Иван Костић, ред. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет Београд.
3. др Александар Симоновић, ред. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет Београд.
4. др Огњен Пековић, доцент., Универзитет у Београду, Машински факултет Београд.
5. др Слободан Ступар, ред. проф. у пензији., Универзитет у Београду, Машински факултет Београд.

Комисија је сачинила овај извештај и доставила га Наставно-научном већу Машинског факултета.

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 Машинског факултета Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци

Hamad Alkaabi, M.Sc., је рођен у Ал Аин-у у Уједињеним арапским емиратима. 2007 године је дипломирао на високој школи у Ал Аин-у. 2013 године је стекао бачелор диплому на универзитету Колорадо на одсеку за аеро-космо технику. Мастер студије је завршио на Машинском факултету Универзитета у Београду, где је стекао диплому Мастер. Мастер рад је одбранио са темом Динамика лета ракете. Тренутно се налази на последипломским студијама на Машинском факултету у Београду, Универзитета у Београду. Ожењен је и отац је једног дета. Истражује и ради тренутно у фирми ЕДПРО где је радио на неколико пројеката.

Електронска адреса: alkaabih999@gmail.com

2. Опис дисертације

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата **Hamad Alkaabi, M.Sc.**, под насловом **АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОСНОСИМЕТРИЧНИХ ТЕЛА У НЕСИМЕТРИЧНОМ СТРУЈНОМ ПОЉУ, (AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF AXI-SYMMETRIC BODIES IN NON-SYMMETRIC FLOW FIELDS)** изложена је на 196 страна, са 183 слике и дијаграма, и списком литературе са 33 наслова. Дисертација поред наведеног броја слика, садржаја дисертације, литературе и биографије, садржи следећих десет поглавља писаних на Енглеском језику:

1. Introduction
2. Governing Equations
3. Axis Symmetric Body Application
4. Results Presentation
5. Experimental Setup
6. Semi Empirical Methods
7. Results Comparision
8. Conclusions
9. References
10. Appendix A

2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу Introduction кандидат објашњава потребу за што тачнијом проценом аеродинамичких карактеристика самонавођених ракета са слободноротирајућим стабилизирајућим површинама. Наглашава потребу да се одреде границе применљивости савременог софтвера за прорачун тродимензионалног турбулентног струјања поређењем са резултатима мерења у аеротунелу. И прорачун и експериментална истраживања су изведена на идентичном моделу уз мала прилагођавања стварног облика нумеричком моделу.

У поглављу Governing Equations кандидат описује математички модел који је примењен у симулацији струјања око осно-симетричног тела (ракете). Кандидат се определио за Spalart-Allmaras турбулентни модел јер он добро описује струјања са

припојеним граничним слојем што је у највећој мери случај у опструјавању осно-симетричних тела при малим нападним угловима. Кандидат се определио за такозвани Pressure based solver јер су га интересовале подзвучне карактеристике летелице. Објашњење приступа је завршио прегледом коефицијената изабраног метода. Затим је објаснио метод адаптације прорачунске мреже којим се током итерација побољшава тачност решења и брзина решавања. Дат је низ слика са почетном прорачунском мрежом и са коначном прорачунском мрежом након достизања жељене тачности прорачуна.

У трећем поглављу под називом Axis Symmetric Body Application описан је прорачунски модел заједно са граничним условима и конвенцијом за контролне површине. У овом поглављу је презентован и CAD модел ракете који је коришћен за генерисање прорачунске мреже и за саме прорачуне струјања око ракете. Такође су објашњена уведена упрошћења облика како би се избегли непотребно ситни прорачунски елементи током генерисања прорачунске мреже. На крају одељка су дати параметри прорачунске мреже.

У поглављу Results Presentation су приказани резултати прорачуна струјања око ракете и израчунатих аеродинамичких коефицијената за низ нападних углова ракете и за сваки од нападних углова за различите отклоне командних површина. Резултати прорачуна су приказани у облику дијаграма аеродинамичких коефицијената и у облику Махових контура и контура притиска струјања око осно-симетричног модела ракете.

У поглављу Experiment Set up је описана опрема која је коришћена за експериментална одређивања аеродинамичких коефицијената осно-симетричних тела. Описан је аеротунел у ком су извршена мерења помоћу унутрашњих вага.

У поглављу Semi Empirical Methods је дат преглед приближних метода за процену аеродинамичких коефицијената ракета. Такође су представљене израчунате вредности тих коефицијената засноване на примени приближних семи емпиријских метода. Резултати приближних метода прорачуна су касније поређени са резултатима добијеним нумеричком симулацијом турбулентног струјања око ракете као и резултатима добијеним аеротунелским мерењима.

У поглављу Results Comparison је извршено поређење израчунатих вредности аеродинамичких коефицијената са резултатима мерења у аеродинамичком тунелу такође су поређени и коефицијенти добијени семи-емпиријским методама. Констатовано је изузетно добро поклапање резултата прорачуна са аеротунелским испитивањима осим за коефицијент ваљања прорачуни показују задовољавајући карактер промене тог коефицијента са нападним углом али се укупне вредности знатно разликују. Дијаграми су дати за различите нападне углове, различите отклоне командних површина и за различите брзине опструјавања.

У поглављу Conclusions су изведени закључци на основу прорачуна и експерименталних испитивања. Утврђено је да летелица губи ефикасност при већим отклонима командних површина и да се резултати прорачуна и мерења при већим отклонима командних површина знатније разликују. Гранична вредност отклона командних површина је око 15 степени, након чега наступају знатнији нелинерани ефекти чиме је контрола летелице отежана.

У поглављу References дата је листа радова који су разматрани при изради ове докторске тезе.

У поглављу Appendix A дате су слике са Маховим контурама добијене током прорачуна за различите почетне и граничне услове. Слике су груписане у додатку како би се растеретила глава у којој су представљени резултати прорачуна.

3. Оцена дисертације

3.1 Савременост и оригиналност

Теза се бави облашћу која је у свим земљама декларисана тако да су информације из те области ограничене и редуковане. Без детаљног познавања аеродинамичких карактеристика летелице немогуће ју је ефикасно и сигурно контролисати и водити. Ова теза је разоткрила проблеме у одређивању аеродинамичких карактеристика прорачунским методама и указала на границе примењивости таквих метода.

3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде ове тезе кандидату није била доступна уобичајена ширина различитих извора из ове области. Оно што је јавно доступно коришћено је са максималном критичношћу и обазривошћу. Кандидат се највише ослањао на експерименталне резултате помоћу којих је верификовао своје прорачуне и правилност приступа проблему.

3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

Кандидат је током израде ове тезе проучио доступну литературу из ове области и из ње извукао најважније смернице на којима је даље засновао свој допринос. Кандидат је од моделирања прорачунског модела, добијања резултата прорачуна, припреме аеротунелског модела и на крају аеротунелским испитивањима успоставио процедуру на основу које је успешно одредио границе примењивости турбулентног модела струјања за израчунавање аеродинамичких коефицијената осно-симетричних летелица.

Кандидат је током израде тезе применио савремене методе за истраживање и прикупљање релевантних научних извора. Кандидат је проучио теоријски и практично методе прорачуна турбулентних струјања у граничном слоју. Изабрао је метод за генерисање адаптивне прорачунске мреже. Применио нумеричку симулацију струјања око осно-симетричних тела. Упоредио резултате прорачуна са семи емпириским методама прорачуна аеродинамичких коефицијената и на крају припремио и извео експериментална мерења у аеротунелу као крајњи циљ верификације добијених резултата.

Примењене методе су адекватне обзиром на циљ истраживања и имају директну практичну примену при дефинисању контролних закона и закона управљања ракетама.

Метод је несумњиво адекватан јер као крајњи резултат веома поуздано одређује аеродинамичке коефицијенте летелице. Докторска теза је саставни део пројектовања носиметричне летелице па је њена примењивост несумњива.

3.4 Применљивост остварених резултата

Сама докторска дисертација је формулисана тако да се практични проблем решава савременим методама прорачуна. Да се резултати прорачуна верификују аеротунелским мерењима. Израчунати коефицијенти и деривативи се директно

примењују у симулацијама динамике осносиметричне летелице. Рад на решавању проблема тачног одређивања аеродинамичких коефицијената летелице је одредио област примењивости нумеричких прорачуна тако да је смањено време и цена експерименталног истраживања. Овиме је развој нових летелица знатно скраћен, а цена развоја умањена.

3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самостални 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. Проучио је више метода прорачуна аеродинамичких коефицијената осносиметричних тела. Бавио се проблемом адаптивних прорачунских мрежа. Изучио је методе за остваривање конвергенције прорачуна турбулентних модела Навије-Стоксових једначина. Бавио се припремом експерименталног одређивања аеродинамичких коефицијената. Извршио мерења и извео обраду резултата мерења. Припремио је резултате у форми која омогућује поређење и одлуке о применљивости методе за одређене услове лета летелице.

4. Остварени научни допринос

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Кандидат је током рада на докторској тези истраживао различите методе прорачуна струјања око осносиметричних тела и срачунавања аеродинамичких коефицијената. Од семиемпириских до метода за прорачунавање турбулентног струјања уз примену једначина Навије Стокса. Одредио је област примењивости појединих метода с обзиром на величину нападног угла летелице и на величину угла отклона командних површина.

Кандидат је одабрао најподеснији начин за генерисање прорачунске мреже, као и најподеснији начин за остваривање конвергенције прорачуна струјања.

Кандидат је експериментално утврдио аеродинамичке коефицијенте летелице поставком експерименталног постројења, прикупљањем и обрадом резултата мерења.

Резултати ове тезе су директно применљиви у фазама контроле и управљања летелицом. Научни доприноси су:

1. Допринос у пројектовању и конструисању осносиметричних тела са смањеном осетљивошћу на момент ваљања. Смањење аеродинамичког момента ваљања је остварено увођењем слободно-ротирајућих репних површина. Подаци о оваквом решавању несиметричности струјања око осносиметричног тела су веома редуковани, а експерименти су рађени у свега неколико земаља у свету.
2. Допринос у генерисању прорачунске мреже око осносиметричног тела. Мрежа је састављена из стационарног дела који обухвата највећи део струјног поља и обртног дела у зони слободно-ротирајућих репних површина. Мрежа је адаптабилна а уситњавање мреже је изведено на основу анализе градијената параметара струјног поља.
3. Допринос нумеричкој симулацији струјања око осносиметричног тела. Кандидат је решавао проблем струјања користећи различите методе за прорачун турбулентног струјања. Резултате прорачуна је поредио са

експерименталним резултатима које је измерио у аеротунелу Т-35 у Жаркову. Након изведених прорачуна кандидат је закључио да се задовољавајући однос квалитета решења у односу на нагажовано време рачунара може остварити користећи Спаларат-Алмарас апроксимацију турбулентног струјања. Нумеричка конвергенција се најбрже остварује на затварању прорачунског поступка итерирајући по притиску струјања.

4. Допринос у конструисању експерименталног модела, поставки експеримента и извођењу експеримента. Кандидат је конструисао експериментални модел са слободноротирајућим репним површинама и унутрашњим вагама за мерење аеродинамичких сила и момената. Кандидат је разрадио план експерименталног истраживања, а затим и спровео поступак мерења. Обзиром на веома мали број доступних информација за овакву врсту мерења кандидат је морао да развије оригиналну методологију конструкције модела и експерименталног истраживања.

4.2 Критичка анализа резултата истраживања

Докторска теза се пре свега бавила одређивањем аеродинамичких коефицијената летелица када оне лете у уобичајеним условима. Предмет истраживања нису биле граничне области лета када се испољавају снажни нелинеарни ефекти, а струјање око командних површина је под великим утицајем отцепљења струјања и засенчења од елемената конструкције летелице испред командних површина. Иако су поменути нелинеарни ефекти од мањег значаја при нормалним експлоатационим условима интересантно их је проучавати, што би могла бити област будућег интересовања кандидата.

Кандидат је квалитетно одредио аеродинамичке коефицијенте нумеричким прорачуном. Експерименталним истраживањем је потврдио одлично слагање резултата прорачуна за мале нападне углове и за мале отклоне командних површина. Већи нападни углови и већи отклони командних површина смањују ефикасност упарављања летелицом, повећавају отпор летелице, врше прераспodelу сила и момената и уводе вибрације па је уобичајено да се такви режими лета избегавају.

4.3 Верификација научног доприноса

Научни допринос је верификован објављивањем рада под називом: "Numerical and Experimental Determination of Canard Controlled Missile Aerodynamic Coefficients in Subsonic Regime", DOI Number: 10.17559/TV-20180724143418, рад ће бити публикован у јунском броју часописа Technical Gazette, ISSN 1848-6339, Vol 26/No.3, (IF=0,686 за 2017. годину)

4.4 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 одређивања аеродинамичких коефицијената и дериватива осно-симетричних летелица неопходних за ефикасну контролу и управљање летелицом, па сагласно томе предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом **АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОСНОСИМЕТРИЧНИХ ТЕЛА У НЕСИМЕТРИЧНОМ СТРУЈНОМ ПОЉУ, (AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF AXI-SYMMETRIC BODIES IN NON-SYMMETRIC FLOW FIELDS)** кандидата 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 19.09.2018.

Комисија за оцену и одбрану дисертације:

1. др Златко Петровић, ред. проф. у пензији, ментор, Универзитет у Београду, Машински Београд.
2. др Иван Костић, ред. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет Београд.
3. др Александар Симоновић, ред. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет Београд.
4. др Огњен Пековић, доцент., Универзитет у Београду, Машински факултет Београд.
5. др Слободан Ступар, ред. проф. у пензији., Универзитет у Београду, Машински факултет Београд.

To:

Your ref.:

Our ref.: AA-TV-20180724143418

Slavonski Brod, 16-10-2018

Subject: **Acceptance of Article**
Article ID: **TV-20180724143418**
DOI Number^{*)}: **10.17559/TV-20180724143418**
Title: **Numerical and Experimental Determination of Canard Controlled Missile Aerodynamic Coefficients in Subsonic Regime**
Author/s: **Hamad Al KAABI, Zlatko PETROVIĆ, Gordana DJUKANOVIĆ**

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. 26/No. 3 to be published towards the end of **June 2019**. The article is classified as **original scientific paper**. The Journal indexed in Web of Science (Science Citation Index Expanded), Journal Citation Reports (IF = 0,686 for 2017), 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