

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Машински факултет

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Тахе Салима Алтира (Taha Saleem Alteer)**, маг. инж. маш.

Одлуком Научно-наставног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 224/2 од 08.02.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Тахе Салима Алтира (Taha Saleem Alteer), маг. инж. маш., под насловом

Optimization of light aircraft engine cover made of composite material

(Оптимизација композитне моторске облоге (капотаж) лаке летелице)

После прегледа достављене дисертације, других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Таха Салим Алтир (Taha Saleem Alteer), маг. инж. маш уписао се на Докторске студије на Универзитету у Београду – Машинском факултету школске 2014/2015. године. У складу са дефинисаним планом студија и програмом усавршавања, кандидат је са просечном оценом 9,78 положио све предмете и одбранио пројекат идеје докторске дисертације. По положеним испитима докторских студија кандидат је поднео захтев за одобрење теме докторске дисертације број 252/1 дана 07.02.2022. на Универзитету у Београду - Машинском факултету. Кандидат је за ментора предложио проф. др Александра Грбовића, редовног професора Универзитета у Београду - Машинског факултета.

Наставно-научно веће Универзитета у Београду – Машинског факултета је на седници одржаној 06.04.2023. године донело Одлуку бр. 571/2 да се прихвати тема докторске дисертације кандидата кандидата Тахе Салима Алтира (Taha Saleem Alteer) под насловом **Оптимизација композитне моторске облоге (капотажа) лаке летелице (Optimization of light aircraft engine cover made of composite material)**. За ментора дисертације именован је др Александар Грбовић, редовни професор Машинског факултета у Београду. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је донело Одлуку бр. 61206-1350/2-23 од 15.05.2023. године, којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације Тахе Салима Алтира (Taha Saleem Alteer), под називом **Оптимизација композитне моторске облоге (капотажа) лаке летелице (Optimization of light aircraft engine cover made of composite material)**.

На основу обавештења проф. др Александра Грбовића да је кандидат Таха Салим Алтир (Taha Saleem Alteer) завршио докторску дисертацију Наставно-научно веће Универзитета у Београду – Машинског факултета, је на седници одржаној 08.02.2024. године донело Одлуку заведену под бр. 224/2 од године о именовану Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Тахе Салима Алтира (Taha Saleem Alteer) у саставу:

- др Александар Грбовић, редовни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет,
- др Игор Балаћ, редовни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет,
- др Гордана Кастратовић, редовни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „Оптимизација композитне моторске облоге (капотажа) лаке летелице“ („Optimization of light aircraft engine cover made of composite material“) припада научној области *Техничке науке – машинство*, односно ужој научној области – *ваздухопловство*, за коју је Универзитет у Београду - Машински факултет матичан. Ментор др Александар Грбовић је редовни професор (51 рад на SCI листи, 1206 цитата, h-index 19, извор Scopus) на Катедри за ваздухопловство Универзитета у Београду - Машинског факултета.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Таха Салим Алтир (Taha Saleem Alteer) је рођен 13.08.1965. у Албиди (Albydha), Либија, где је завршио основну и средњу школу у периоду 1973 – 1984. Школске 1987/88 уписао је, а 1990. године завршио студије на Машинском факултету у Злитену, Либија (Faculty of Mechanical Engineering, Zliten, Libya), да би магистарске студије уписао 2000. и исте завршио 2003.г. на Универзитету у Београду – Машинском факултету.

Таха Салим Алтир (Taha Saleem Alteer) поседује вишегодишње радно искуство. У периоду од 1991. године до 2010. године био је запослен као машински инжењер у Техничко-истраживачком центру са седиштем у Триполију (Technical Research Center Tripoli – Libya), а од 2010. запослен је у Министарству саобраћаја (Ministry of Transportation Tripoli – Libya).

Докторске студије на Универзитету у Београду – Машинском факултету уписује школске 2014/15 године.

Ожењен је и отац је двоје деце.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Тахе Салима Алтира „Оптимизација композитне моторске облоге (капотаж) лаке летелице“ („Optimization of light aircraft engine cover made of composite material“) је формата А4, има укупно 117 страна и написана је на енглеском језику. Илустрована је са 89 слике, садржи 62 нумерисаних израза и 21 табелу, литературу са 66 референци и прилог (Биографија аутора, Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу).

Докторска дисертација се састоји од следећих поглавља:

1. Увод са прегледом литературе (Introduction and Literature Review);
2. Одређивање механичких карактеристика композитних материјала (Determination of mechanical properties of composites);
3. Експериментална и нумеричка анализа механичких карактеристика композита (Experimental and numerical analyses for composite material characterization);
4. Димензионисање система за хлађење мотора (Sizing of engine cooling system);
5. Одређивање оптерећења капотажа током лета коришћењем нумеричких симулација (Numerical determination of loads on engine cover during flight);
6. Структурна анализа и оптимизација облика моторске облоге (капотаж) (Structural analysis and optimization of the engine cover shape);
7. Дефинисање производног процеса и израда оптимизоване моторске облоге (Production process definition and manufacturing of optimized engine cover);
8. Закључак (Conclusion);

Литература

Осим наведеног, докторска дисертација садржи странице са подацима о ментору и члановима Комисије, резиме на српском и енглеском језику, садржај, списак слика и табела, као и захвалнице.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу је, поред приказа мотива који су докторанда водили ка одабиру теме ове докторске тезе, представљен и преглед литературе везане за претходна и актуелна истраживања у предметној области. У складу с тим, указано је – кроз навођења одговарајућих референци – на чињеницу да је један од најзначајнијих трендова у

ваздухопловној индустрији у последњих неколико деценија све већа употреба композитних материјала. Како се стварне механичке карактеристике композита могу одредити тек након њихове израде и то коришћењем експерименталних метода, у овом је поглављу истакнута и неопходност примене нумеричких метода у приближном одређивању карактеристика дефинисаних композитних материјала, како би се време до добијања готове композитне конструкције скратило у највећој могућој мери. Докторанд је користио савремену литературу и – кроз каснији рад на дисертацији – демонстрирао разумевање модерних приступа у дефинисању и анализи композитних структура. У оквиру првог поглавља наведени су и циљ и предмет истраживања докторске дисертације, а на самом крају представљена је структура тезе са кратким описом садржаја сваког поглавља.

У другом поглављу је прво дат генералан осврт на композитне материјале и њихову класификацију. Представљене су и механичке карактеристике неких од данас најчешће коришћених типова влакана и матрица као компоненти које учествују у формирању композитног материјала. Уз кратак теоријски осврт на микро и макромеханику композита, у другом поглављу је представљено и аналитичко одређивање карактеристика композитног материјала добијеног комбиновањем одабраног влакна и епоксидне смоле. С обзиром да је докторанд своју тезу радио у оквиру пројекта израде лаког авиона четвороседа, могао је да користи само компоненте које је компанија имала на располагању и који су касније коришћени за израду епрувета за експериментално одређивање механичких карактеристика дефинисаног материјала.

У трећем поглављу представљене су експериментална анализа узорака израђеног композита, као и нумеричка анализа промене еластичних својстава композита са променом температуре. Посебна пажња је посвећена креирању епрувета за експериментално испитивање на затезање (према стандарду ASTM 3039) и на савијање (према стандарду ASTM 7264), у циљу добијања одговарајућих механичких карактеристика анализираних композита. С обзиром да је израђени композит био предвиђен да буде материјал моторске облоге (капотаж) летелице, те да током експлоатације он може бити изложен и високим и ниским температурама ($+40^{\circ}\text{C}$ и више на полетању, -20°C и ниже током лета), спроведена је и нумеричка анализа утицаја ниских и високих температура на најзначајније механичке карактеристике композита.

Анализа система за хлађења мотора током лета представљена је у четвртом поглављу, са основним циљем одређивања површине отвора на композитној моторској облози који ће обезбедити потребан проток ваздуха за хлађење мотора. Прорачун отвора на моторској облози урађен је аналитички: прво је одређена потребна количина ваздуха за хлађење мотора, затим распоред и величина делова инсталације испод капотажа (који утичу на његов облик), а онда и облик и величина чеоног отвора. На овај је начин докторанд, узимајући у обзир и геометрију целокупне летелице и друге улазне податке до којих је дошао током рада, дао предлог основног изгледа моторске облоге.

За потребе одређивања оптерећења којима ће облога бити изложена током експлоатације било је неопходно применити прорачунску механику флуида (Computational Fluid Dynamics - CFD) помоћу које се може предвидети и визуализовати струјно поље, те проценити аеродинамичке силе на облози у прописима дефинисаном критичном случају лета. Резултати CFD анализе дати су у петом поглављу. Да би се добило што реалније струјно поље, анализа је урађена на штраку (моделу) целе летелице и укључивала је утицај елисе, трупа, носне ноге и издувне цеви. У оквиру ове анализе прорачуни су извршени применом RANS (*Reynolds-Averaged Navier-Stokes*) декомпозиције основних једначина струјног тока, док је моделирање турбулентног струјања изведено уз помоћ $k-\omega$ турбулентног модела.

На основу излазних вредности добијених у петом поглављу, пре свега расподеле притиска на површини капотажа која је резултат аеродинамичких оптерећења, у **поглављу шест** урађена је структурална анализа композитне облоге са циљем изналажења оптималног слагања ламина путем варијације угла правца ношења влакана у односу на дефинисани референтни правац. Ова анализа је поред аеродинамичких оптерећења укључила и инерцијална оптерећења која се јављају у критичном случају лета. Структурна анализа је прво урађена за почетну оријентацију ламина (све су биле под нултим углом у односу на референтни правац), а онда су углови ламина варирани и вршена је структурна анализа сваке од усвојених варијација. Поређењем добијених вредности напона и релативних деформација моторске облоге утврђена је оптимална конфигурација оријентације ламина при којој су напони и релативне деформације најповољнији. Спроведена је и анализа отказа композита коришћењем Tsai – Hill критеријума која је показала да је и са овог аспекта конструкција високо поуздана. Утврђено је, међутим, да су померања под оптерећењем на одређеним деловима облоге превелика (виша од 10 мм) што је неповољно са аеродинамичког аспекта, па је дат предлог локалног ојачања композитне облоге коришћењем сендвич конструкције састављене од полимерне пене и усвојеног ламината. Направљен је нови нумерички модел и спроведене су анализе које су показале да је померање на критичном месту смањено на прихватљивих 2 мм уз задржану високу поузданост на отказ композитне конструкције. На овај је начин добијен оптималан облик капотажа који задовољава све постављене критеријуме.

Вредности добијене и описане у претходним поглављима искоришћене су да се у **седмом поглављу** пажња усмери на дефинисање и приказ процеса израде пројектоване облоге која је и направљена из неколико сегмената ручним слагањем слојева. Процес израде моторске облоге подразумевао је прављење и припрему одговарајућих алата (где је докторанд дао највећи допринос дефинисањем потребних облика калупа), затим припрему основног и помоћног материјала, слагање слојева и ојачање како је дефинисано у тези и, на крају, сам процес полимеризације. Након овога, уследила је и завршна обрада и монтажа облоге. Неколико месеци након што је прототип завршен, лаки четворосед је имао и успешан први лет.

Осмо поглавље доноси закључке и смернице за даља истраживања, као и остварени допринос кандидата решавању предметне проблематике.

У поглављу **Литература** дат је списак свих извора коришћених у писању дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „Оптимизација композитне моторске облоге (капотажа) лаке летелице“ (Optimization of light aircraft engine cover made of composite material), кандидата Тахе Салима Алтира (Taha Saleem Alteer) маг. инж. маш. даје савремен и оригиналан допринос процесу дефинисања и израде композитних конструкција које треба да у потпуности задовоље постављене критеријуме чврстоће/носивости, а да су истовремено и лаке и обликоване тако да и аеродинамички захтеви буду испуњени. Сложеност овако постављених задатака тражи нови приступ пројектовању чији исход мора да буде обликом и димензијама оптимизована структура која је резултат комбинованог експериментално-нумеричког приступа. Методологија предложена и реализована у овој дисертацији убрзава процесе пројектовања и производње, смањује материјалне трошкове везане за експериментални рад и повећава ефикасност свих фаза развоја летелице, те потенцијално

утиче и на смањење трошкова будућег одржавање ваздухоплова. Оригиналноста резултата добијених у оквиру дисертације потврђују радови који су саопштени на научним скуповима или објављени у научним часописима са SCI листе.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У изради дисертације је коришћена литература чији је списак дат у последњем поглављу. Коришћена литература обухвата укупно 66 референци, које се баве оправданошћу примене композита у ваздухопловству, затим проблемима одређивања механичких карактеристика различитих композитних материјала како експерименталним тако и нумеричким методама, као и проблемима примене композита у пројектовању.

Анализом списка коришћене литературе може се закључити да је кандидат располагао већином доступне референтне литературе и да је исту проучио у току израде дисертације и адекватно наводио. Она је послужила као полазна основа за формирање прегледа досадашњих истраживања и релевантан приказ тренутног стања у области.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У докторској дисертацији су примењене савремене научноистраживачке методе у теоријском и експерименталном истраживању чврстоће и поузданости реалне композитне конструкције изложене оптерећењима која су махом последица њене интеракције са окружењем. Посебна пажња је била посвећена анализи утицаја ниских и високих температура на механичке карактеристике композитног материјала од којег је конструкција начињена. Током реализације циљева истраживања коришћене су следеће методе и технике истраживања:

1. Преглед литературе и анализа постојећих метода одређивања механичких карактеристика композитних материјала, како експерименталних тако и нумеричких, као и анализа остварених резултата из предметне области дисертације (метода анализе).

2. Опис и поставка разматраног проблема (метода дескрипције).

3. Аналитичке методе израчунавања механичких карактеристика дефинисаног композитног материјала.

4. Експерименталне методе у сврху верификације претходно поменутих прорачуна (метода компарације).

5. Формирање меродавних нумеричких прорачунских модела заснованих на методи коначних запремина и методи коначних елемената, чија се примена изводи у оквиру програмских пакета Ansys Workbench и Ansys Fluent (нумеричке методе).

Изабране методе су адекватне за проблематику истраживања и правилно су коришћене за темељно представљање и анализирање проблема опструјавања, процене чврстоће предметне композитне конструкције и оптимизације њеног облика.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати докторске дисертације применљиви су у научном смислу, али превасходно имају велику практичну примену. Чињеница да је ова дисертација један од исхода развоја нове летелице и чињеница да су њени резултати већ примењени у пракси (прототип постоји и летна испитивања трају), говоре у прилог успешности истраживања спроведених у оквиру рада на њој.

Развијени нумерички модели омогућавају, на основу дефинисаних оптерећења, добијање реалистичне процене носивости композитне структуре у различитим сценаријима који могу укључивати и веће брзине, и веће осцилације температуре, па и вибрације које се са мотора могу пренети на капотаж. Методологија дизајна, анализе и оптимизовања (са аспекта испуњења пројектних услова) композитне облоге коју је докторанд демонстрирао и применио може бити успешно примењена на читав низ других композитних конструкција и то не само у ваздухопловству. Тиме се истиче њена практична примена и могућност имплементације у процесе развоја и производње.

Што се тиче примењивости научних резултата, промене вредности механичких карактеристика композита са променом температуре које су приказане у дисертацији могу послужити истраживачима да упореде њихове вредности и наставе истраживања у области која је, ако је судити по малом броју публикованих радова, још прилично неистражена.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Чланови Комисије сматрају да је кандидат показао да има смисао и знање неопходно да самостално препозна и систематски решава инжењерске и научне проблеме, примењујући савремене методе теоријског, нумеричког и статистичког карактера и да их ефикасно комбинује, као и да користи расположиву литературу и да успешно влада савременим истраживачким методама. Резултати докторске дисертације доказ су способности кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Отварени научни доприноси су следећи:

- Унапређен је процес пројектовања и прорачуна машинских конструкција кроз примену нумеричких метода, конкретно методе коначних елемената, у анализи утицаја ниских и високих температура на механичке карактеристике композита, а што је приказано у поглављу три дисертације на странама 35-43 и објављено у раду категорије M22 на стр. 130-135 наведеном под [1] у делу 4.3 овог реферата. Рад је доступан на следећем линку:

<http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0350-820X/2021/0350-820X2101127S.pdf>

Овај је допринос довео до развоја методологије анализе новопроекттованих и модификованих ваздухопловних композитних конструкција чија је основа комбиновани експериментално-нумерички приступ који омогућава идентификовање „слабих“ тачака структуре и њихово „поправљање“ у раним фазама пројекта. Успешно примењена у овој

дисертацији, ова методологија је ефикаснија, јефтинија и тачнија од чисто експерименталног или чисто нумеричког приступа, али захтева мултидисциплинарни приступ проблему и високо обучени кадар.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

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

Спроведеним истраживањем унапређено је пројектовање композитних ваздухопловних структура у смислу да је на бази добијених резултата, спроведених експеримената, развијених нумеричких модела, аналитичких прорачуна и усвојене методологије ефикасно одређена критична зона на којој може доћи до неке врсте отказа (у овом случају превеликих угиба), а онда дат предлог како тај нежељени ефекат минимизовати или уклонити. Истом методологијом је потом анализирана „поправка“ и утврђено колико је модификована структура резистентна на појаву истог или сличних отказа.

Посебна пажња посвећена је анализи утицаја ниских и високих температура на механичке карактеристике композита и консеквентно вредности померања композитне структуре под оптерећењем, а потом и изналажењу оптималног слагања композитних ламина које би требало да доведе до најповољније напонско-деформационе слике капотажа под оптерећењем. Кандидат је све ове задатке успешно спровео, успоставио везе између одговарајућих параметара и дефинисао облик структуре која је касније направљена и уграђена на летелицу.

4.3. Верификација научних доприноса

Верификација добијених оригиналних резултата остварена је кроз рад објављен у међународном часопису категорије M22, а који је везан за истраживања спроведена у оквиру ове докторске дисертације:

[1] Alteer T, Petrović V, Grbović A, Lozanović Šajić J, Balać I: Numerical Evaluation of the Elastic Properties of Carbon Fiber Reinforced Composite Material at Elevated and Lowered Temperatures, - Science of Sintering, Vol 53 (2021) 127-136, ISSN 0350-820X, IF 1.412.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и детаљне анализе докторске дисертације под називом „Оптимизација композитне моторске облоге (капотажа) лаке летелице“ (Optimization of light aircraft engine cover made of composite material), Тахе Салима Алтира (Taha Saleem Alteer) маг. инж. маш., Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације 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, стандардима и Статутом Машинског факултета у Београду. Комисија такође сматра да дисертација представља оригиналан и успешан научно-истраживачки рад, са којим је научна и стручна јавност је упозната кроз објављен научни рад објављен у врхунском међународним часопису категорије M22.

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључила је да дисертација представља оригинални научни рад са научним доприносом у области техничких наука, ужа научна област ваздухопловство, па сагласно томе предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да прихвати Реферат Комисије, да дисертацију под називом **„Оптимизација композитне моторске облоге (капотаж) лаке летелице“ (Optimization of light aircraft engine cover made of composite material)**, Тахе Салима Алтира (Taha Saleem Alteer) маг. инж. маш., стави на увид јавности и да Реферат упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 23.08.2024. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Александар Грбовић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Др Игор Балаћ, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Др Гордана Кастратовић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет