

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

2292/2

(Број захтева)

09.12.2021.

(Датум)

Већу научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на одлуке о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и о именовању комисије за одбрану**

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације:

КАНДИДАТ ABDULRAZAG ABDALLAH ELMILADI

:

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму МАШИНСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

пријавио је докторску дисертацију под називом:

НАПОНСКА АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИЈА СЛАГАЊА ЛАМИНА КОМПОЗИТНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ
ДЕФИНИСАНЕ ГЕОМЕТРИЈЕ ЗА ЗАДАТЕ УСЛОВЕ ОПТЕРЕЋЕЊА (STRESS ANALYSIS AND OPTIMIZATION
OF LAMINATE LAYUP OF DEFINED COMPOSITE STRUCTURE GEOMETRY UNDER GIVEN LOADING
CONDITIONS)

из научне области: Отпорност конструкција

Универзитет је 24.02. својим актом под 61206-477/2-
дана 2020. бр. 20

дао сагласност на предлог теме докторске
дисертације

која је гласила:

НАПОНСКА АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИЈА СЛАГАЊА
ЛАМИНА КОМПОЗИТНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ
ДЕФИНИСАНЕ ГЕОМЕТРИЈЕ ЗА ЗАДАТЕ УСЛОВЕ
ОПТЕРЕЋЕЊА (STRESS ANALYSIS AND
OPTIMIZATION OF LAMINATE LAYUP OF DEFINED
COMPOSITE STRUCTURE GEOMETRY UNDER GIVEN
LOADING CONDITIONS)

Име и презиме ментора др Игор Балаћ, ред. проф.

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној
_____ 19.11.2020. _____

одлуком факултета под бр. 1738/2, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Милорад Милованчевић	Ред. проф.	Отпорност конструкција	Машински факултет
2.	Др Александар Грбовић	Ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет
3.	Др Нина Обрадовић	Научни саветник	Наука о материјалима	Институт техничких наука САНУ, Београд

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности __20.12.2021.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана __09.12.2021. _____

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној __19.11.2020. _____

одлуком факултета под бр. 1738/2

, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	Др Милорад Милованчевић	Ред. проф.	Отпорност конструкција	Машински факултет
2.	Др Александар Грбовић	Ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет
3.	Др Нина Обрадовић	Научни саветник	Наука о материјалима	Институт техничких наука САНУ, Београд

Напомена: уколико је члан Комисије у пензији навести датум пензионисања.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

- Прилози:
1. Одлука Наставно-научног већа о усвајању извештаја Комисије за оцену докторске дисертације и одлука о именовању Комисије за одбрану докторске дисертације
 2. Извештај Комисије о оцени докторске дисертације
 3. Примедбе на извештај Комисије о оцени докторске дисертације (уколико их је било) и мишљење Комисије о примедбама

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 2292/2
Датум: 09.12.2021. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017 и 27/2018-др. закон), члана 48. Статута Универзитета у Београду, члана 42. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду и чланова 38. и 39. Правилника о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду и реферата Комисије у саставу: др Милорад Милованчевић, ред. проф., др Александар Грбовић, ред. проф. и др Нина Обрадовић, научни саветник, Институт техничких наука САНУ, Београд о оцени докторске дисертације **„Напонска анализа и оптимизација слагања ламина композитне конструкције дефинисане геометрије за задате услове оптерећења (Stress analysis and optimization of laminate layup of defined composite structure geometry under given loading conditions)“** студента докторских студија **Abdulrazag Abdallah Elmiladi, маг. инж. маш.**, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 09.12.2021. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„НАПОНСКА АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИЈА СЛАГАЊА ЛАМИНА КОМПОЗИТНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ ДЕФИНИСАНЕ ГЕОМЕТРИЈЕ ЗА ЗАДАТЕ УСЛОВЕ ОПТЕРЕЋЕЊА (STRESS ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF LAMINATE LAYUP OF DEFINED COMPOSITE STRUCTURE GEOMETRY UNDER GIVEN LOADING CONDITIONS)“** студента **ABDULRAZAG ABDALLAH ELMILADI, маг. инж. маш.**

Докторску дисертацију и реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији доставити на давање сагласности Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, по истеку рока од 30 дана у коме су били на увиду јавности.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, студенту, ментору проф. др Игору Балаћу и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Машински факултет

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Абдулразага Абдалаха Елмиладија (Abdulrazag Abdallah Elmiladi), маг. инж. маш.

Одлуком Научно-наставног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 1738/2 од 19.11.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Абдулразага Абдалаха Елмиладија (Abdulrazag Abdallah Elmiladi)** маг. инж. маш., под насловом „Напонска анализа и оптимизација слагања ламина композитне конструкције дефинисане геометрије за задате услове оптерећења (STRESS ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF LAMINATE LAYUP OF DEFINED COMPOSITE STRUCTURE GEOMETRY UNDER GIVEN LOADING CONDITIONS).

На основу увида у завршену дисертацију, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Абдулразаг Абдалах Елмилади (Abdulrazag Abdallah Elmiladi) маг. инж. маш. уписао је прву годину Докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2016/17 године, да би наредне школске године уписао другу годину студија. По положеним испитима докторских студија кандидат је поднео захтев за одобрење теме докторске дисертације број 2354/1 од 11.12.2019. на Катедри за отпорност конструкција Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат је за ментора предложио проф. др Игора Балаћа, редовног професора Машинског факултета у Београду.

Одлуком Наставно-научног већа број 113/2 од 23.01.2020. године прихваћена је тема докторске дисертације под насловом „Напонска анализа и оптимизација слагања ламина композитне конструкције дефинисане геометрије за задате услове оптерећења (STRESS ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF LAMINATE LAYUP OF DEFINED COMPOSITE STRUCTURE GEOMETRY UNDER GIVEN LOADING CONDITIONS) кандидата Абдулразага Абдалаха Елмиладија (Abdulrazag Abdallah Elmiladi) и за ментора је именован др Игор Балаћ, редовни професор Машинског факултета у Београду.

На основу обавештења проф. др Игорa Балаћа да је кандидат Абдулразаг Абдалах Елмилади (Abdulrazag Abdallah Elmiladi) завршио докторску дисертацију под насловом „Напонска анализа и оптимизација слагања ламина композитне конструкције дефинисане геометрије за задате услове оптерећења (STRESS ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF LAMINATE LAYUP OF DEFINED COMPOSITE STRUCTURE GEOMETRY UNDER GIVEN LOADING CONDITIONS), Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је 19.11.2020. године Одлуку број 1738/2 о именовању Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Александар Грбовић, редовни професор Машинског факултета у Београду,
- др Милорад Милованчевић, редовни професор Машинског факултета у Београду,
- др Нина Обрадовић, научни саветник, Институт техничких наука САНУ, Београд.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „Напонска анализа и оптимизација слагања ламина композитне конструкције дефинисане геометрије за задате услове оптерећења (STRESS ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF LAMINATE LAYUP OF DEFINED COMPOSITE STRUCTURE GEOMETRY UNDER GIVEN LOADING CONDITIONS) припада области техничких наука – машинство, тј. ужој научној области отпорност конструкција, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан. Ментор др Игор Балаћ је редовни професор на Машинском факултету Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор до сада је публиковао 26 радова на SCI листи.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Абдулразаг Абдалах Елмилади (Abdulrazag Abdallah Elmiladi) је рођен 09.11.1964. у Триполију (Либија) где је завршио основну и средњу школу у периоду 1970-1983. Школске 1983/84 уписао је, а 1988. године завршио основне студије на машинском одсеку Техничког факултета у Триполију, Либија (Faculty of Engineering, Mechanical and Industrial Engineering department, University of Tripoli), да би магистарске студије уписао 2003. и исте завршио 2005. на Tupolev Kazan State Technical University у Казању, Русија.

Абдулразаг Абдалах Елмилади поседује вишегодишње радно искуство. У периоду од 1988. године до 2008. године био је запослен као машински инжењер у Техничком истраживачком центру (Technical Research center) са седиштем у Триполију, да би од 2008. до данас био ангажован као предавач на машинском одсеку Високог техничког института (High Technical Institute) у граду Сукалкамису, Либија.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Абдулразага Абдалаха Елмиладија (Abdulrazag Abdallah Elmiladi) маг. инж. маш., под насловом „Напонска анализа и оптимизација слагања ламина композитне конструкције дефинисане геометрије за задате услове оптерећења (STRESS ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF LAMINATE LAYUP OF DEFINED COMPOSITE STRUCTURE GEOMETRY UNDER GIVEN LOADING CONDITIONS) је формата А4, има укупно 102 стране штампане двострано и написана је на енглеском језику. Илустрована је са 130 слика, садржи 270 нумерисаних израза и 44 табеле и литературу са 78 референци.

Докторска дисертација се састоји од следећих поглавља:

1. Увод и преглед литературе;
2. Чврстоћа и крутост ламината;
3. Нумерички модел структуре конструкције репа;
4. Оптимизација структуре конструкције репа;
5. Термички напони генерисани унутар композитне конструкције;
6. Производни процес конструкције репа;
7. Закључци и будућа истраживања;

Литература

Осим наведеног, докторска дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, страну са подацима о ментору и члановима комисије, садржај, биографију аутора, Изјаву о ауторству, Изјаву о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У складу са предметом рада, а ради стицања општег увида проблематику структуралних анализа ламинатних композитних конструкција, у **првом поглављу** представљен је циљ и предмет истраживања докторске дисертације. Ово поглавље садржи основне појмове о композитним материјалима ојачаним дугим непрекидним влакнима, при чему је дефинисан појам ламине и ламината, као и преглед релевантне литературе у којој је разматран проблем одређивања чврстоће ових материјала који укључује како утицај несавршености израде композита у виду заосталог порозитета, тако и утицај термичког оптерећења (утицај екстремно ниске и високе температуре) на појаву тзв. „термичких напона“ унутар композитног ламината. Такође, дат је кратак приказ методе нумеричке

анализе интеракције флуида и структуре на одређеном, унапред дефинисаном временском домену, тзв. *спрегнутих прорачуна* (енг. *coupled analysis*) где се аеродинамичко оптерећење добијено коришћењем прорачунске динамике флуида (ПДФ) спреже са резултатима структурних анализа применом методе коначних елемената (МКЕ). Тако добијена расподела притиска сматра се тачнијом у односу на класичне (аналитичке) прорачунске методе и користи се за одређивање деформационо-напонског стања композитне конструкције. У овом поглављу је дефинисан материјал у смислу избора влакана као ојачавача (угљеничног влакна комерцијалне ознаке 3K E13) и матрице као везивног материјала влакана (епокси матрица комерцијалне ознаке MGS LR 285). На самом крају првог поглавља представљена је структура тезе у виду кратког описа садржаја сваког поглавља понаособ.

Поглавље два описује аналитичке и нумеричке методе које су коришћене како за израчунавање чврстоће и крутости изабраног композитног материјала, тако и за поступак оптимизације начина слагања ламина у ламинат. На почетку поглавља, приказан је уопштени Хуков закон за генерално и специјално ортотропну ламину као и анализа ламината применом Класичне теорије ламинације. У наставку овог поглавља, од критеријума чврстоће који се примењују код анализа ламинатних композитних конструкција, приказана су два најчешће коришћена критеријума: *Tsai-Hill* и *Tsai-Wu*. Код критеријума *Tsai-Hill* дефинисан је параметар назван „резерва чврстоће“ – RS , док је код критеријума *Tsai-Wu* дефинисан је „фактор сигурности“ – SF_{TW}^k . Усвојено је да вредности ова два параметра, сваки на свој начин, дефинишу тзв. „преосталу чврстоћу“ композитне ламине. Имајући у виду да критеријум *Tsai-Wu* даје боље поклапање са доступним експерименталним вредностима чврстоће композитне ламине, вредност параметра SF_{TW}^k изабрана је да представља релевантни фактор при оптимизацији композитног ламината, при чему је детаљно приказан поступак анализе композитног ламината при задатом оптерећењу. Пошто приликом процеса загревања и/или хлађења ламината, услед различитих коефицијената температурског ширења ламина, може доћи до генерисања тзв. „термичких напона“ (*thermal stresses*), у оквиру овог поглавља, дат је аналитички поступак прорачуна ових напона. На крају овог поглавља аналитичким методама израчунате су очекиване вредности чврстоће и крутости за главне материјалне правце композитне ламине која се састоји од изабраног ојачавача и матрице као везивног материјала влакана. Применом методе коначних елемената (МКЕ) израчунате су очекиване вредности крутости за попречни материјални правац композитне ламине (E_2), модуо смицања у равни ламине (G_{12}) и главни Поасонов однос (ν_{12}).

У **трећем поглављу**, применом програмског пакета ANSYS, дефинисан је нумерички модел геометрије композитне конструкције репног дела лаке летелице која ће у наставку бити анализирана. Усвојено је да су сви структурални делови композитне конструкције репног дела лаке летелице израђени од ламината за унапред усвојени начин слагања, који ће у смислу напонско-деформационе анализе бити анализиран применом методе коначних елемената за задате услове оптерећења. На почетку овог поглавља, дефинисана су аеродинамичка оптерећења тј. силе које делују на репни део, применом стандардног аналитичког приступа. У наставку, применом методе нумеричке анализе „интеракције флуида и структуре“ (*Fluid-Structure Interaction - FSI*), односно тзв. *једносмерних* (енг. *one-way FSI*) и *двосмерних спрегнутих прорачуна* (енг. *two-way FSI*), аеродинамичко оптерећење је добијено коришћењем прорачунске динамике флуида (ПДФ) у спрези са резултатима структурних анализа применом методе коначних елемената (МКЕ). Усвојено

је да се овако добијена расподела сила сматра тачнијом у односу на вредности добијене применом стандардног аналитичког приступа, при чему добијена разлика иде и до 50%. Управо овако добијене вредности аеродинамичког оптерећења репног дела лаке летелице се у наставку користе се за одређивање деформационо-напонског стања његове композитне конструкције. У оквиру овог поглавља анализиран се и утицај несавршености производње у смислу утицаја заосталог порозитета матрице на смањење крутости композитне ламине. На основу добијених резултата, констатовано је да запремински удео порозитета ниског нивоа (до 15%) има знатан утицај на карактеристике еластичности матрице (E , G and ν) композитне ламине, док сам облик порозитета не утиче значајније на поменуте карактеристике еластичности.

У **четвртном поглављу** приказана оптимизацији начина слагања са циљем добијања оптимизоване композитне конструкције репног дела лаке летелице веома високе вредности крутости, високе вредности чврстоће а минималне масе, за задате услове оптерећења. Применом претходно дефинисаног критеријума „фактора сигурности“ – SF_{TW}^k (према критеријуму *Tsai-Wu*), извршена је оптимизација начина слагања ламина у ламинатима који представљају изабрану структуру материјала од кога су израђени сви делови композитне конструкције репног дела лаке летелице, а коју чине: главни оквири и под (*main frames and floor*), уздужници (*stringers*), ребра (*ribs*) и оплата (*skin*). Оптимално смањење дебљине ламината је спроведено праћењем два параметра: вредности максималне укупне деформације репног дела лаке летелице (*total deformation*) и минималне вредности „преостале чврстоће“ композитне ламине (преко „фактора сигурности“ – SF_{TW}^k), за вредности аеродинамичког оптерећења дефинисаног у трећем поглављу. При оптимизацији начина слагања ламина у ламинатима употребљаване су ламине различитих оријентација са циљем да се, за исте услове оптерећења и непромењену геометрију репног дела, мењањем начина слагања ламина, код којих се углови оријентисаних влакана простиру под различитим правцима, при чему је као резултат пронађен оптималан редослед који обезбеђује високу крутост и чврстоћу композитне конструкције репног дела лаке летелице. На крају овог поглавља усвојена је оптимална конфигурација ламината $[0/+45/90/-45/0]_s$ од ког су израђени сви делови композитне конструкције репног дела лаке летелице.

По усвојеном начину слагања ламина под различитим угловима оријентисаних влакана који сачињавају ламинат коначне геометрије у **поглављу пет** анализиран је утицај загревања и/или хлађења ламината на чврстоћу композитне конструкције, услед појаве тзв. „термичких напона“ (*thermal stresses*). На примеру композитне плоче оптерећене утицајем температуре, показано је да ови напони могу имати високе вредности. При напонској анализи шестослојне симетричне композитне плоче, конфигурације слагања $[0/90_2]_s$, при температурској промени од $\Delta T = -60^\circ\text{C}$, добијена је максимална вредност термичког напона реда величине 30MPa. При анализи осмослојног композитног цилиндра, конфигурације слагања $[0/+45/-45/90]_s$, а која је урађена у наставку, при комбинованом дејству момента увијања од 2500 Nm и утицају температурске промене од $\Delta T = -60^\circ\text{C}$, добијено је да се „резерва чврстоће“ (RS) композитног цилиндра драматично смањује са вредности 0.5857 (када делује само момент увијања) на вредност од само 0.0731 (када је цилиндар изложен промени температуре и истовремено делује момент увијања). Добијени резултати недвосмислено сугеришу да је утицај загревања и/или хлађења ламината на чврстоћу композитне конструкције знатан и да се код оваквих конструкција не сме занемарити.

Експлицитно је наведено да „резерва чврстоће“ (RS) не зависи линеарно од оптерећења те да линеарна промена оптерећења (механичког и/или термичког) доводи до изразито нелинеарне промене „резерва чврстоће“. У наставку овог поглавља приказана је анализа могућег утицаја околине на смањење чврстоће приликом саме експлоатације лаке летелице. У том смислу симулирана је употреба на температури од -50°C па до $+50^{\circ}\text{C}$ при чему су истовремено деловала аеродинамична оптерећења (силе) претходно дефинисана у трећем поглављу. Добијени резултати показују да је утицај екстремних температура на чврстоћу композитне конструкције репног дела лаке летелице, знатан. Тако, при изложености композитне конструкције репног дела лаке летелице температури од -50°C приметан је пад „фактора сигурности“ – SF_{TW}^k са вредности од 4.2 на 2,85 што се може протумачити као смањење „преостале чврстоће“ од 32,1%.

У поглављу шест приказан је производни процес конструкције композитне конструкције репног дела лаке летелице. Дат је приказ прављења калупа за оплату, ручног слагања слојева (препрега) дефинисане оријентације, позиционирање главних оквира и пода, уздужника и ребара, као начини њиховог спајања.

Закључци до који се дошло у тези представљени су у поглављу седам. У оквиру овог поглавља приказани су, такође, и могући правци даљих истраживања.

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

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „Напонска анализа и оптимизација слагања ламина композитне конструкције дефинисане геометрије за задате услове оптерећења (STRESS ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF LAMINATE LAYUP OF DEFINED COMPOSITE STRUCTURE GEOMETRY UNDER GIVEN LOADING CONDITIONS), кандидата Абдулразага Абдалаха Елмиладија (Abdulrazag Abdallah Elmiladi), маг. инж. маш. даје савремен и оригиналан допринос добијања методологије прорачуна и оптимизације композитне конструкције која је оптерећена са комбинованим механичко-термичким оптерећењем, а са циљем добијања минималне масе а високе чврстоће и крутости.

Оригиналност се огледа првенствено у предложеној методологији процене „преостале чврстоће“ композитне конструкције, заснованој уведеном параметру названом „фактор сигурности“ – SF_{TW}^k . Предложена методологија комбинује аналитички са нумеричким приступом тј. методом коначних елемената. Имајући у виду захтеве савременог инжењерства, који је окренут ка смањењу материјалних трошкова и повећењу ефикасности у свим сегментима где постоји примена композитних конструкција, предложена методологија може значајно убрзати процесе пројектовања и производње оваквих материјала. Оригиналност добијених резултата у оквиру дисертације потврђују и два научна рада која су објављена у часописима са SCI листе, а који су категорије M22 и M23.

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 46 референци које се баве проблемима одређивања „преостале чврстоће“ композитне конструкције која је под дејством неког механичког оптерећења, утицајем несавршености израде композита у виду заосталог порозитета, као и утицајем термичког оптерећења (утицај екстремно ниске и високе температуре) на појаву тзв. „термичких напона“ унутар композитног ламината.

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 предметној области.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У докторској дисертацији су примењене савремене научноистраживачке методе у теоријском истраживању у доменама процене чврстоће композитне конструкције услед дејства реалних оптерећења, како механичких тако и услед дејства значајнијег загревања или хлађења. Током реализације циљева истраживања коришћене су следеће методе и технике истраживања:

1. Преглед литературе и анализа постојећих метода прорачуна чврстоће композитних конструкција, као и остварених резултата из предметне области дисертације.
2. Опис и поставка разматраног проблема (метод дескрипције).
3. Формирање меродавних нумеричких модела заснованих на методи коначних елемената чија се примена изводи у оквиру програмских пакета ANSYS.
4. Верификација нумерички добијених резултата са познатим и општеприхваћеним аналитичким решењима, применом метода потврђивање и поређење (метод компарације).
5. Анализа података и давање смерница за побољшање примене аналитичких израза који се користе за процену чврстоће композитних конструкција у случају изложености екстремно ниским и/или високим температурама.

Изабране методе су адекватне за проблематику истраживања и правилно су коришћене за темељно представљање и анализирање проблема процене чврстоће композитне конструкције.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати докторске дисертације применљиви су у научном смислу, али имају и широко практичну примену.

Резултати и спроведене анализе развијених оригиналних нумеричких модела омогућавају, на основу дефинисаног оптерећења, добијање реалистичне процене „преостале чврстоће“ на реалним композитним конструкцијама које се користе како у ваздухопловним и аутомобилским конструкцијама тако и у композитним конструкцијама које користе енергију ветра (лопатица ветротурбине). Кандидат је на конкретном примеру,

какав је репни део лаке летелице, у склопу дисертације демонстрирао методологију процене процене „преостале чврстоће“ при комбинованом механичком и температурском оптерећењу. С обзиром да је на приказаном случају недвосмислено показана неопходност анализе утицаја температурског оптерећењаа имајући у виду да оно значајно утиче на смањење „преостале чврстоће“ у односу на иницијалну конфигурацију (код које је посматран утицај искључиво механичког оптерећења), развијена методологија би се могла применити и на друге носиве композитне конструкције и у другим научно-истраживачким областима, чиме се истиче њена практична примена и могућност имплементације у процесе развоја и производње.

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 истраживачке методе (нумеричке и аналитичке). Кандидат је такође показао да умешно користи расположиву литературу и поседује неопходан теоријски приступ, а све ефикасно комбинујући у сврху испуњења задатог научног циља. 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:

- анализа утицаја попржитета структуралних елемената композитне конструкције на њихове карактеристике еластичности а приказан је у поглављу три на странама 50-56 и објављен је у раду категорије M22, наведеном под [1] у делу 4.3 овог реферата и доступан је на следећој е-адреси: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0350-820X/2019/0350-820X1902153A.pdf>.
- анализа утицаја температурског оптерећења, како на појаву термичких напона у композитној конструкцији тако и на смањење њене чврстоће, а приказан је у поглављу пет на странама 84-94 и објављен је у раду категорије M22, наведеном под [2] у делу 4.3 овог реферата, и доступан је на следећој е-адреси: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2021/0354-98362000338E.pdf>.

Поред претходно наведених научних доприноса, у дисертацији су остварени и следећи инжењерски доприноси:

- Унапређења методологија одређивања реалних вредности оптерећења композитне конструкције која је заснована на анализи интеракције флуида и структуре која повратним спрегнутим анализама омогућава значајно прецизније дефинисање вредности аеродинамичког оптерећења;
- Методологија пројектовања и оптимизације композитних конструкција комплексних геометрија и различитих начина слагања ламина за задате услове оптерећења која подразумева спрегнут прорачун чврстоће композитних

конструкција који укључује како напоне који су последица примењеног механичког оптерећења тако и термичке напоне који су последица температурског оптерећења.

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 тези значајни и да су примењиви у пракси. Истовремено, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, може се закључити да су пружени одговори на сва релевантна питања и решени проблеми са којима се кандидат сусрео током истраживања.

Сprovedеним истраживањем омогућава се боље сагледавање утицаја порозитета структуралних елемената композитне конструкције на карактеристике еластичности. Приказани резултати приказују „тежински“ утицај како облика тако и запреминског удела порозитета. Недвосмислено је показано да је утицај запреминског удела порозитета на карактеристике еластичности значајно већи него што је то случај код различитих облика.

У овој тези посебна пажња је била посвећена оптимизацији слагања композитног ламината преко новоуведеног параметра који је назван „фактор сигурности“. Примена овог параметра је довела до брзе и тачне процене „преостале чврстоће“ композитне ламине за задате услове оптерећења, при чему су они били дефинисани на основу одређивања реалних вредности оптерећења композитне конструкције која је заснована на спрегнутим анализама интеракције флуида и композитне структуре.

Такође, посебна пажња је посвећена анализи утицаја термичког оптерећења на појаву термичких напона као и њиховог утицаја на смањење чврстоће код композитних конструкција. Приказани резултати квантитативно показују да температурско оптерећење у комбинацији са механичким оптерећењем синергетски знатно више утиче на смањење „преостале чврстоће“ у односу на смањење када би се посматрао само утицај температурског оптерећења.

4.3. Верификација научних доприноса

Верификација добијених оригиналних резултата остварена је кроз радове објављене у међународном часопису категорије M22 и M23, а који су везани за истраживања спроведена у оквиру ове докторске дисертације:

- [1] **A. Elmiladi**, I. Balać, K. Čolić, A. Grbović, M. Milovancević, M. Jelić. ‘*Numerical Modeling of the Matrix Porosity Influence on the Elastic Properties of Sintered Materials*’ Science of Sintering, Volume 51, Issue 2, pages 153-161, 2019. ISSN 0350-820X, IF 1.412, M22.
- [2] **A. Elmiladi**, I. Balac, A. Grbovic, A. Sedmak, V. Petrovic. ‘*Numerical Evaluation of Thermal Stresses Generated in Laminated Composite Structure Operating at low Temperatures*’ Thermal Science, Volume 25, Issue 5 (Part B), pages 3847 – 3856, 2021., ISSN 0354-9836, IF 1.625, M23.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и детаљне анализе докторске дисертације под називом „Напонска анализа и оптимизација слагања ламина композитне конструкције дефинисане геометрије за задате услове оптерећења (STRESS ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF LAMINATE LAYUP OF DEFINED COMPOSITE STRUCTURE GEOMETRY UNDER GIVEN LOADING CONDITIONS) Абдулразага Абдалаха Елмиладија (Abdulrazag Abdallah Elmiladi) магист. 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 веома успешан научно-истраживачки рад, са којим је научна и стручна јавност упозната кроз два научна рада објављена у међународним часописима категорије M22 и M23.

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 отпорност конструкција, па сагласно томе предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да прихвати Реферат Комисије, да дисертацију под називом „Напонска анализа и оптимизација слагања ламина композитне конструкције дефинисане геометрије за задате услове оптерећења (STRESS ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF LAMINATE LAYUP OF DEFINED COMPOSITE STRUCTURE GEOMETRY UNDER GIVEN LOADING CONDITIONS) Абдулразага Абдалаха Елмиладија (Abdulrazag Abdallah Elmiladi) магист. инж. маш. стави на увид јавности и да Реферат упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 06.12.2021. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Милорад Милованчевић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

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

.....
Др Нина Обрадовић, научни саветник,
Институт техничких наука САНУ, Београд

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 2292/3
Датум: 09.12.2021. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017 и 27/2018-др. закон), члана 41. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду, члана 64. Статута Машинског факултета – пречишћени текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 09.12.2021. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„НАПОНСКА АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИЈА СЛАГАЊА ЛАМИНА КОМПОЗИТНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ ДЕФИНИСАНЕ ГЕОМЕТРИЈЕ ЗА ЗАДАТЕ УСЛОВЕ ОПТЕРЕЋЕЊА (STRESS ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF LAMINATE LAYUP OF DEFINED COMPOSITE STRUCTURE GEOMETRY UNDER GIVEN LOADING CONDITIONS)“** студента **ABDULRAZAG ABDALLAH ELMILADI**, маг. инж. маш.

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

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-477/2-20, од 24.02.2020. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

[1] **A. Elmiladi**, I. Balać, K. Čolić, A. Grbović, M. Milovancević, M. Jelić. ‘*Numerical Modeling of the Matrix Porosity Influence on the Elastic Properties of Sintered Materials*’ Science of Sintering, Volume 51, Issue 2, pages 153-161, 2019. ISSN 0350-820X, IF 1.412, M22.

[2] **A. Elmiladi**, I. Balac, A. Grbovic, A. Sedmak, V. Petrovic. ‘*Numerical Evaluation of Thermal Stresses Generated in Laminated Composite Structure Operating at low Temperatures*’ Thermal Science, Volume 25, Issue 5 (Part B), pages 3847 – 3856, 2021., ISSN 0354-9836, IF 1.625, M23.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић