

Образац 3.

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

1046/5
(Број захтева)

Веће научних области техничких наука
(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

26.08.2021.
(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације и о одређивању ментора

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

„ИСТРАЖИВАЊЕ МОДАЛИТЕТА ДЕГРАДАЦИОНИХ ПРОЦЕСА ЛЈУСКЕ ТРУПА
ПУТНИЧКЕ ЛЕТЕЛИЦЕ И МОГУЋНОСТИ ПРОДУЖЕЊА ЗАМОРНОГ БЕКА (RESEARCH OF
MODALITIES OF DEGRADATION PROCESSES OF A FUSELAGE SHELL OF PASSENGER AIRCRAFT
AND POSSIBILITIES OF FATIGUE LIFE EXTENSIONS)“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Ваздухопловство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

- Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:
ДАНИЕЛА (ЛАЗАР) ЂУКИЋ
- Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):
Машински факултет Београд – магистарске студије
- Година завршетка претходног нивоа студија: 2006.
- Година уписа на докторске студије: 2017.
- Назив студијског програма докторских студија: Машинско инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: _____Александар Грбовић_____

Звање: _____Редовни професор_____

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Todorovic A., Radovic K., Grbovic A., Rudolf R., Maksimovic I., Stamenkovic D., STRESS ANALYSIS OF A UNILATERAL COMPLEX PARTIAL DENTURE USING THE FINITE ELEMENT METHOD, Materials and Technology, ISSN 1580-2949, MTAEC9, 44(1)41(2010), page 41-47 (IF=0,312 за 2010.) (M23))
2. Benisa Muamar, Babic Bojan R, Grbovic Aleksandar M, Stefanovic Zoran, Computer-Aided Modeling of the Rubber-Pad Forming Process, MATERIALI IN TEHNOLOGIJE, (2012), vol. 46 br. 5, str. 503-510. (IF=0,571 за 2012.) (M23)1)
3. Grbovic Aleksandar M, Rasuo Bosko P, FEM based fatigue crack growth predictions for spar of light aircraft under variable amplitude loading, ENGINEERING FAILURE ANALYSIS, (2012), vol. 26 br. , str. 50-64. (IF=0,855 за 2012.) (M22)1)
4. Rasuo Bosko P, Dinulovic Mirko, Veg Aleksandar, Grbovic Aleksandar M, Bengin Aleksandar, Harmonization of new wind turbine rotor blades development process: A review, RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS, (2014), vol. 39 br., str. 874-882. (IF=5,901 за 2014.) (M21a)1)
5. Gordana Kastratović, Aleksandar Grbović, Nenad Vidanović, Approximate method for stress intensity factors determination in case of multiple site damage, Applied Mathematical Modelling, (2015), vol. 39 br. 19, str. 6050-6059 (IF=2,291 за 2015.) (M21)1).

Обавештавамо вас да је

Наставно – научно веће

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 26.08.2021. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

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

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 1046/5
Датум: 26.08.2021. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **мр Даниеле Ђукић**, дипл. инж. маш., бр. 1046/1 од 09.06.2021. године да јој се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Мирко Динуловић, ред. проф., др Часлав Митровић, ред. проф. и др Гордана Кастратовић, ред. проф., Саобраћајни факултет Београд број 1046/4 од 27.08.2021. године, а на основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 64. Статута Машинског факултета – пречишћени текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 26.08.2021. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **мр ДАНИЕЛА ЂУКИЋ**, дипл. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«ИСТРАЖИВАЊЕ МОДАЛИТЕТА ДЕГРАДАЦИОНИХ ПРОЦЕСА ЉУСКЕ ТРУПА ПУТНИЧКЕ ЛЕТЕЛИЦЕ И МОГУЋНОСТИ ПРОДУЖЕЊА ЗАМОРНОГ БЕКА (RESEARCH OF MODALITIES OF DEGRADATION PROCESSES OF A FUSELAGE SHELL OF PASSENGER AIRCRAFT AND POSSIBILITIES OF FATIGUE LIFE EXTENSIONS)»**.

Одлуком ННВ број 1046/3, од 08.07.2021. године за ментора докторске дисертације мр Даниеле Ђукић, дипл. инж. маш. именован је др Александар Грбовић, ред. проф.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидаткиње **Ђукић Даниеле**, магистра машинства, за израду докторске дисертације

Одлуком Научно-наставног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 1046/3 од 08.07.2021. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидаткиње **Ђукић Даниеле**, магистра машинства, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме: **Истраживање модалитета деградационих процеса љуске трупа путничке летелице и могућности продужења заморног века (Research of modalities of degradation processes of a fuselage shell of passenger aircraft and possibilities of fatigue life extensions).**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидаткиње, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидаткињи

1.1. Биографски подаци

Даниела Ђукић је рођена 22.03.1974. у Новом Саду, где је завршила основну школу и Природно-математичку гимназију 'Јован Јовановић Змај' (смер: математичко-програмерски сарадник).

Школске 1993/1994. је уписала, а почетком 2000. године завршила студије на Машинском факултету (ваздухопловни смер), Универзитета у Београду. Магистарске студије уписује 2000. такође на Машинском факултету (ваздухопловни смер), Универзитета у Београду, које успешно завршава 2006. године. Докторске студије на истом факултету и смеру уписује школске 2017/2018 године, након вишегодишње паузе у формалном студирању направљене ради самосталног усавршавања и достизања нивоа теоријског знања и практичне примене софтверских алата неопходних за креативан рад који докторске студије захтевају.

Даниела Ђукић поседује двадесетогодишње радно искуство које је градила у оквиру ИТ позиција (најдуже са звањима главног пројектанта и сениор девелопера), док тренутно ради, такође у ИТ Сектору, на позицији помоћника начелника унутар Одељења мрежа и комуникација. У периоду од 2019. године, до данас, запослена је и у приватној новосадској компанији SDO-Corp.doo, на позицији предавача теоријске обуке за добијање дозволе за пилота беспилотних ваздухоплова.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидаткиња Ђукић Даниела је као магистар машинства уписала директно трећу годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2017/18 године. Одређени број испита јој је признат на основу еквивалентних положених испита на магистарским студијама и одбрањене магистарске тезе, тако да је укупно положила следеће испите:

Р. бр.	Назив предмета	Предметни наставник	Оцена
1	Виши курс математике	Проф. др Слободан Радојевић	10 (десет)
2	Нумеричке методе	Проф. др Миодраг Спалевић	10 (десет)
3	ОМНИР и комуникација	Проф. др Милош Недељковић	10 (десет)
4	Аеропрофили и узгонске површине ваздухоплова	Проф. др Иван Костић	10 (десет)
5	Одабрана поглавља из механике	Проф. др Зоран Митровић	9 (девет)
6	Одабрана поглавља из структуралне анализе ваздухоплова	Проф. др Мирко Динуловић	10 (десет)
7	Оптимизација ваздухопловних конструкција	Проф. др Александар Симоновић	10 (десет)
8	Замор и процена века ваздухопловних конструкција	Проф. др Александар Грбовић	10 (десет)
9	Нумеричке анализе структура	Проф. др Александар Симоновић	10 (десет)
10	Истраживање и публиковање 1	Проф. др Александар Грбовић	10 (десет)
11	Истраживање и публиковање 2	Проф. др Александар Грбовић	10 (десет)
12	Истраживање и публиковање 3	Проф. др Мирко Динуловић	10 (десет)
13	Истраживање и публиковање 4	Проф. др Мирко Динуловић	10 (десет)
14	Пројекат идеје докторске дисертације	Комисија, Проф. др Мирко Динуловић	10 (десет)

Током докторских студија кандидаткиња **Ђукић Даниела** је положила пет изборних предмета и четири обавезна од којих сваки вреди по 5 ЕСПБ, чиме је стекла **45 ЕСПБ**. Пројекат идеје докторске дисертације одбранила је пред Комисијом у саставу: проф. др Мирко Динуловић, професор др Часлав Митровић и професор др Гордана Кастратовић, Саобраћајни факултет, Универзитета у Београду, чиме је стекла још **22 ЕСПБ**. Поред тога, истраживачким радом евалуираним кроз предмете Истраживање и публиковање 1 - 4 кандидаткиња је стекла још **53 ЕСПБ**, тако да је, у складу са правилником о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду, кандидаткиња Ђукић Даниела остварила укупно **120 ЕСПБ** уз просечну оцену 9,93.

Као резултат истраживања у оквиру предмета Истраживање и публикавање, кандидаткиња Ђукић Даниела објавила је 1 (један) рад у часопису са SCI листе:

1. Рад у врхунском међународном часопису (M21)

D.Đukić, A.Grbović, G.Kastratović, N.Vidanović, A.Sedmak, *Stress intensity factors numerical calculations for two penny shaped cracks in the elastic solid*, Engineering Failure Analysis, Vol.112, 2020.

Линк ка раду:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630719317273>

Објављени рад, који је у директној вези са предложеном темом, показује афинитет, способност и подобност кандидаткиње за израду дисертације са предложеним насловом и датим предлогом активности на изради тезе.

1.3. Оцена подобности кандидаткиње за рад на предложеној теми

У оквиру својих истраживачких активности током докторских студија Ђукић Даниела, магистар машинства, испољила је нарочиту склоност и велико интересовање за научно истраживачки рад. Научни рад публикован у врхунском међународном часопису указује на смисао кандидаткиње за бављење теоријским и експерименталним истраживањима.

Досадашња истраживања и објављени рад кандидаткиње припадају ужој научној области ваздухопловство, и то проблематици замора ваздухопловних конструкција, и у потпуности су повезани са научном облашћу којој припада предложена тема докторске дисертације.

На основу биографских података кандидаткиње, положених испита на докторским студијама, њених научних и стручних активности, афинитета, исказаног интересовања, као и објављеног рада у врхунском међународном часопису, Комисија закључује да кандидаткиња Ђукић Даниела испуњава све потребне услове и да је способна за успешан самостални теоријски и експериментални рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

У условима кризе која тренутно влада унутар ваздухопловне индустрије, а која је изазвана не само тренутним глобалним дешавањима, него и погрешним поретком вредности унутар кућа највећих произвођача путничких летелица, могућности екстра-експлоатације постојећих летелица, постају атрактивније него икад. Дакле, приступи у освајању тржишта који су у прошлости подразумевали ризике великих пробоја и авангардних (структуралних) решења, тренутно делују прилично превазиђено, обзиром да данас тржиште освајају они који су баш у овом тренутку способни да понуде што лакшу летелицу која при том захтева што минималније трошкове у сваком смислу. Неизбежност поменутог приступа постаје још очигледнија када се помене информација коју је недавно објавила *ИАТА*, а која каже да је 2020. означена као година са највећим губицима икад, унутар читавог ваздухопловног еснафа. Стога питања продужетка заморног века путничких летелица представљају тему која, може се рећи, никада није била актуелнија.

Наравно, поменуто питање је немогуће решавати без претходног детаљног истраживања оних модалитета деградационих процеса који битно утичу на поменути век, а који сами по себи представљају врло сложену појаву. Поменута сложеност се првенствено базира на великом броју утицајних фактора које је немогуће обухватити аналитичким формулацијама које би нам са сигурношћу могле предвидети место, обим и тренутак њихове појаве. Такође,

овде постоји и посебна проблематика међусобног удруженог дејства различитих девастационих процеса, или пак процеса истог типа, који имају тенденцију да из локализоване форме прелазе у форму широкообухватних оштећења, што не само да битно повећава опасност по губитак интегритета тако захваћене структуре, него и додатно усложњава већ присутну немогућност да се поменута оштећења квантификују и јасно дефинише вредност преостале носивости тако девастиране структуре. Стога овде и примењујемо свеобухватни термин „модалитети“, обзиром да је реч о прилично широком спектру типова и стадијума девастација која могу захватити поједине сегменте летелице у условима регуларне односно акцидентне/инцидентне експлоатације и која могу на разне начине скратити њен радни век.

Ипак, разлог зашто се ова дисертација посебно фокусира баш на сегмент трупа је у томе што је исти, услед своје конфигурације и функције, најсклонији и појави и развоју врло широког спектра деградационих процеса. Одређена истраживања која су цитирана унутар ове дисертације наводе као закључке, током две одвојене анализе репарираних површина, да се у тренутку спровођења истих, чак 90% затечених закрпа налазило на трупу, док се 87% оштећења приликом опслуживања модела *A320* јавило такође на истом сегменту летелице. Ослањајући се даље на цитате унутар ове дисертације, може се закључити и да замор представља најзаступљенију деградациону форму трупа, стога ће унутар исте процена могућности продужења радног века бити разматрана искључиво кроз аспект замора. Наравно, овде је важно и посебно нагласити да је труп, за разлику од остатка структуре, изложен и условима пресуризације, што представља не само најважнији заморни циклус једне летелице који, у својој најекстремнијој форми, може бити узрок тзв. експлозивне декомпресије, што је без сумње најтежи облик структуралног отказа једног ваздухоплова.

Што се тиче даљих запажања унутар поменуте проблематике, овде је неопходно и уочити да постоји извесна повратна спрега на релацији девастациони процеси-продужење радног века. Тачније речено, са увођењем филозофије накнадног продужетка (почетно дефинисаног) века, проблематика деградација, односно, замора, учињена је још сложенијом, обзиром да су се са применом поменуте филозофије почеле појављивати и неке нове а уз то и врло опасне форме истог. У том смислу, то је довело до тога да се данас као најдоминантнија форма корозије јавља тзв. напонска корозија, која представља врсту заморно-корозивног садејства, и која је позната као њена најопаснија форма. Такође, са поменутим продужењем радног века незаобилазно долази и до све веће могућности појаве вишеструких заморних оштећења која фактички представљају најопаснију форму замора, не само због врло рапидног ширења које доводи до наглог пада носивости структуре, већ и због отежане могућности њиховог благовременог уочавања. Стога се ова врста деградације и узима као критеријум за дефинисање границе заморног века у случају његовог накнадног продужења.

Такође, са друге стране, овде је потребно запазити и да је доскора предвиђана озбиљна маргинализација проблематике замора металних материјала, обзиром на донедавни екстремни раст удела композитних материјала у изради структуре летелица (који је можда био више економски него технички оправдан). Ипак, након практичног искуства са применом композитних материјала у изради трупа летелица, тј. уочавања извесних проблема у њиховој експлоатацији, (удружено са проблематиком поменуте глобалне рецесије), прича о металима и њиховим деградационим процесима постаје још актуелнија.

Што се тиче прилично обимне теоријске анализе случајева из праксе који су, паралелно са претходно поменутом теоријском анализом, разрађени унутар ове дисертације, (а који су се односили на домен трупа путничких летелица), исти би требало да представљају увод у други део дисертације, која има за задатак да кроз примену нумеричких метода изврши поређење тренутно два најзаступљенија модела трупа (*a320* и *b737*).

Наиме, поменути закључци јасно указују на то да су ова два модела показивала битно различито понашање по питању уочених проблема током експлоатације, тачније, да је модел *b737* показивао далеко већу структуралну осетљивост, као и склоност ка већем броју и типу заморних оштећења. Такође, битан разлог зашто су се управо поменута два модела нашла у фокусу овог истраживања, лежи и у томе што оба имају конструктивно решење које је дуго времена било (или још увек јесте), врло карактеристично за њихове произвођаче и што исти представљају два супротстављена концепта пројектовања (*floating* и *shear tie*). А, свакако, као посебно битну овде треба навести и вишедеценијску временску разлику увођења ове две летелице у експлоатацију, обзиром да у време када је пројектована структура трупа летелице *b737*, нумеричке симулације (метода коначних елемената *MKE*), у облику који данас познајемо, још увек нису биле примењиване, обзиром да се у време када је ова летелица имала свој први лет (1967), тек појавио *НАСА*-ин (интерно коришћен) солвер који је имао само текстуални излаз. Што се тиче летелице *a320*, она припада времену када је примена *MKE* пакета тек била у самом зачетку и са немерљиво ограниченијим могућностима у односу на оне које познајемо данас. Стога се овде, као **главни циљ овог истраживања**, намеће синтеза теоријских закључака (који су делимично наведени у претходним пасусима), и експлицитне нумеричке анализе горњих сегмената трупа ове две летелице. Поменута нумеричка анализа би у првом кораку **требала да пружи увид у структурално-заморне карактеристике поменутих решења кроз процену правилности расподеле напонско-деформационог стања** (у условима деловања статичког оптерећења), затим да одреди заморни век неоштећене структуре и њене заморно критичне тачке, као и да изврши симулацију ширења вишеструких *3D* заморних прслина. Даље, након примене поменутих почетних анализа, над моделима ће бити извршен и поступак параметризације и оптимизације који ће допринети разумевању осетљивости појединих геометријских одлика ових структура на напонско стање и заморне процесе унутар истих. Овај поступак би требао да пружи могућност адекватног тумачења квалитета оваквих решења, а све у циљу последњег корака који подразумева процену могућности продужења заморног века (првенствено) кроз давање предлога најоптималнијег ојачања на месту заморно најоптерећенијих тачака. Овде би још требало и напоменути да ће моделу трупа *b737* бити посвећена већа пажња, обзиром да је он показао већи број мањкавости, док труп *a320* у већој мери користимо у циљу компарације.

2.1. Преглед литературе релевантне за предложену тему дисертације

[1] Airworthiness Assurance Working Group, Recommendations For Regulatory Action To Prevent Widespread Fatigue Damage In The Commercial Airplane Fleet, Final Report, June 1999.

[2] National Research Council U.S., Committee on Aging of U.S. Air Force Aircraft: Aging of U.S. Air Force Aircraft: final report, National Academies, 1997.

[3] Aviation Safety Council: Aviation Occurrence Report Volume I, ASC-AOR-05-02-001, 2003.

[4] National Research Council U.S., Committee on Aging of U.S. Air Force Aircraft: Aging of U.S. Air Force Aircraft: final report, National Academies, 1997.

[5] FAA Advisory Circular: Establishing and Implementing Limit of Validity to Prevent Widespread Fatigue Damage, PDF. Iss: 01/10/11.

- [6] FAA&BOEING: Evaluation and Verification of Advanced Methods to Assess Multiple-Site Damage of Aircraft Structure, DOT/FAA/AR-04/42, I. Oct 2004,
<http://airportaircraftsafetyrd.tc.faa.gov/Programs/agingaircraft/Structural/reports/04-42-Vol-I.pdf>
- [7] FAA & National Institute for Aviation Research: Aging Effects Evaluation of a Decommissioned Boeing CFRP 737-200 Horizontal Stabilizer (Phase II).
<https://pdfs.semanticscholar.org/f5e6/8791f95fdbcf0ee1b75ecece59858bcfb78a.pdf>
- [8] NASA: Integral Airframe Structures (IAS)-Validated Feasibility Study of Integrally Stiffened Metallic Fuselage Panels for Reducing Manufacturing Costs, May 2000.
- [9] M. Miller, M.L. Gruber, K.E. Wilkins, R.E. Worden, Full Scale Testing and Analysis of Fuselage Structure, FAA/NASA International Symposium on Advanced Structural Integrity Methods for Airframe Durability and Damage Tolerance, 1994.
- [10] John Brewer, Inspecting for Widespread Fatigue Damage: Is partial Debonding the Key?, FAA/NASA International Symposium on Advanced Structural Integrity Methods for Airframe Durability and Damage Tolerance, 1994.
- [11] Bao Rasebolai Mosinyi: Fatigue Damage Assessment of High-Usage In-Service Aircraft Fuselage Structure, PhD Thesis, Drexel University, 2007.
- [12] R.Sepe, E. Armentani, F. Caputo: Static and fatigue experimental tests on a full scale fuselage panel and Fem analyses, *Frattura ed Integrita Strutturale*, 2015.
- [13] Ana Maria Carrasquinho de Macedo: Investigation of the influence of fuselage door surrounding structure's geometric parameters on the weight and mechanical response of the fuselage, Master's Thesis, Lisboa, 2018.
- [14] D.Đukić, A.Grbović, G.Kastratović, N.Vidanović, A.Sedmak, Stress intensity factors numerical calculations for two penny shaped cracks in the elastic solid, *Elsevier*, Vol.112, 2020.
- [15] FAA: Aviation Maintenance Technician Handbook, Airframe, Vol. 1.

На самом почетку ове тачке потребно је навести да је унутар предложене дисертације цитирано више десетина финалних извештаја ваздухопловних несрећа спроведених од стране званичних тела, као и не много мањи број изузетно обимних и прегледних истраживања која су спроведена од стране *НАСА*-е, *ФАА*, одн. од стране неке агенције основане од стране САД (у циљу решавања неког конкретног и горућег проблема унутар ваздухопловства), често удружено са стручњацима из *Боинга* [1-8]. Поменута документа се у највећем обиму односе на домен продужетка века структура, затим, процену појаве вишеструких заморних оштећења, као и на давање структуралног решења трупа које пружа најдужи заморни век, затим на дефинисање критеријума радног века структуре, односно увођења централних прописа који регулишу област продужетка заморног века... Међу поменутом документацијом, сигурно је да један од најважнијих представља извор [1], који је резултат удруженог деловања великог броја страна и који је као један од најважнијих закључака донео списак делова структура које су показале највећу осетљивост на појаву вишеструких заморних прелина, с тим да су унутар предложене дисертације цитиране само оне које се односе на труп. Такође, још један изузетно битан рад за писање предложене дисертације, обзиром да доноси закључке до којих се такође дошло у фази процеса нумеричке симулације унутар ове дисертације, а везан је директно за моделе *a320* и *6737*, односно за анализу пројектних филозофија којима исти припадају [9]. Наиме, исти недвосмислено закључује да решење код ког је присутна лебдећа (*floating*) веза генерално

показује слабије заморне карактеристике него решење код ког је веза између оквира и оплате остварена применом *shear-tie* елемента, као и да се типична мера продужетка заморног века своди на повећање дебљине подужног споја.

Такође, што се тиче радова који су се експлицитно бавили анализом поменутих два трупца, овде свакако као прву треба навести дисертацију [11], која пружа више него обимну студију експлицитне заморне анализе управо горњег сегмента трупова 6727/737 (које карактерише готово идентична љуска), спроведене над расходованим летелицама које су испуниле свој почетно теоријски дефинисан заморни век и као такве биле модел за даљу анализу унутар заморних тестова (са или без присуства заморних прслина). Поменути дисертација је представљала немерљиву помоћ у смислу изузетног валидационог модела у фази нумеричке анализе предложене дисертације, што је био и случај, између осталог, и са изворима [12,13,14].

Овде, свакако, док смо у домену питања вредности броја заморних циклуса, није згорет цитирати још један врло значајан рад [10], обзиром да исти апострофира и друге факторе који битно одређују заморни век споја, упућујући тиме јасно на закључак да се прича о квалитетном заморном веку не завршава након обављене фазе пројектовања, што је сигурно нешто што овде треба посебно нагласити. Нарочито што је овај закључак идентичан оном до ког се дошло посматрањем проблема које је дуго времена имала у пракси летелица 6737, а што у овом случају подразумева питање квалитета адхезивног споја унутар заковане везе. Тачније речено, поменути извор наводи врло велики број експлицитних нумеричких вредности добијених експериментално, и тиме јасно доводи до закључка да је проблем дебондовања заковане везе можда и врло јасна индиција за појаву вишеструких заморних прслина, обзиром да износи заиста фрапантне податке о паду броја заморних циклуса до којих је дошло услед деградације адхезивне везе, што је унутар ове дисертације, кроз цитирање поменутих бројних вредности, експлицитно и наведено.

Што се тиче овде последњег цитираног извора, било би неправедно да се не наведе и документација која је била велики ослонац у деловима дисертације који су се бавили тренутно важећим процесима у оквиру сегмента одржавања, а која представља припремни материјал за сертификавање техничког особља унутар ремонтних станица који је издат од стране *FAA*. У том смислу, овај документ је цитиран највећи број пута.

Такође, при анализирању доступне научне литературе данас постоји прилично уочљив тренд инсистирања на најактуелнијим решењима, што у овом случају подразумева моделовање композитних, одн. композитних барел-тип трупова, иако проблеми које овакво решење генерише управо сада постају видљиви, обзиром да је достигнута половина броја година од почетка њихове оперативне употребе која се оквирно сматра за неопходну у циљу изношења закључака о валидности оваквог решења. Уз то, уочљива је и одсутност осврта на старија решења (која још увек припадају најзаступљенијим моделима!), сем када је у питању група докумената која је наведена у претходним поглављима, а која је по правилу ипак нешто старијег датума.

У складу са горе поменутих чињеницама, а гледано кроз моделе који су у фокусу ове дисертације, изгледа да не постоји довољно интересовање за накнадном анализом трупова поменутих структура, нарочито ако то гледамо кроз чињенице да су методе којима вршимо нумеричку анализу истих у међувремену доживеле драстична унапређења, као и да ове структуре, у готово непромењеном облику, настављају да се примењују и у наредним генерацијама ових модела.

3. Полазне хипотезе

Предложена дисертација је базирана на следећим полазним хипотезама:

1. Свака конструкција неизбежно развија одређене типове деградационих процеса који доводе до губитка њених почетних структуралних одлика, било услед удруженог дуготрајног деловања радног окружења и оптерећења (првенствено) механичко-термичког типа или услед тренутног дејства неког вида ексцесивног оптерећења.

2. Трупови данашњих летелица су, у поређењу са свим осталим сегментима летелице, означени као најсклонији развоју готово свих типова деградационих процеса, међу којима свакако предњачи појава замора чијим се главним извором сматра изложеност условима цикличног оптерећења услед пресуризације.

3. Не постоји јединствен калкулациони поступак на основу ког можемо извршити процену степена деградације структуре неке летелице, стога се обезбеђење њеног структуралног интегритета врши кроз комбиновање *output*-а већег броја активности, међу којима сигурно једну од најпроминентнијих представља примена нумеричких метода, обзиром да оне скраћују поступак пројектовања, смањују његове трошкове и пружају већу могућност давања најоптималнијег решења.

4. Нумеричке методе су по својој природи апроксимативне методе, обзиром да нуде само приближна решења математичких модела (структура и процеса), који се фактички могу сматрати нерешивим. Стога исте морају не само бити подржане применом додатних верификационих метода, него и примена истих захтева искуство и знање и у постављању самог модела и у адекватном тумачењу добијених резултата.

5. Услови озбиљне рецесије који су тренутно на снази унутар ваздухопловне индустрије стављају озбиљан акценат на штедњу свих ресурса, међу којима сигурно да један од најважнијих представљају питања продужења радног века летелица.

4. Научне методе истраживања

Процес израде ове дисертације је подразумевао примену следећих научних метода, под претпоставком да су исте, на начин на које су примењене, довољне да дају стручну и објективну слику разматране теме :

1. Метода предвиђања и процене: Избор тематике ове дисертације је извршен на основу претпоставке да ће питања продужетка заморног века ваздухопловних структура са временом све више добијати на актуелности, што је закључено на основу процене трендова који су тренутно на снази не само унутар авио индустрије, него и по питању глобалних друштвено-економских кретања. Такође, ова метода је експлицитно примењена и унутар последње тачке дисертације, где је дата процена даљих праваца развоја када је у питању проблематика која је у ужем или ширем смислу везана за тему дисертације.

2. Метода коначних елемената, моделирања и симулације: Спровођење централног сегмента ове дисертације је спроведен применом ове три методе кроз њихову и симултану и наизменичну примену.

3. Метода компарације: Примена ове методе је вршена првенствено унутар дела дисертације који се тиче примене методе коначних елемената. Наиме, поред тога што је коришћење верификационих/компаративних поступака саставни део примене исте, она је овде примењена и у циљу давања експертског мишљења поређењем резултата добијених након анализе модела два трупа.

4. Метода анализе и синтезе: Главна примена поступка анализе је спроведена кроз рашчлањење проблема деградационих (заморних) процеса на теоријски део и нумеричку

симулацију, који су тек након примене метода синтезе могли дати комплетну слику читаве проблематике.

5. Метода експертског мишљења: Примена овог метода прожима свако поглавље ове дисертације, и иста је примењивана на више начина и са различитим нивоом експертности, обзиром да је проблематика која је проучавана унутар исте по својој природи врло сложена и вишедимензионална.

5. Очекивани научни допринос

Вишеслојно истраживање проблематике деградационих процеса трупа, посматрано кроз аспекте великог броја дисциплина које се у свету примењују у циљу адекватног пројектовања/израде/одржавања трупа путничких летелица, синтетизовано са упоредним проучавањем случајева отказа из праксе и конкретном нумеричком анализом, спровешће се над моделима трупова две најзаступљеније ускотрупне путничке летелице (*a320, b737*) у сврху развијања методологије предвиђања места појава деградационих процеса и анализе животног века оштећене структуре коју ће бити могуће применити и на другим класама путничких авиона. Процена ефикасности предложене методологије биће спроведена применом методе коначних елемената над поменута два модела, кроз анализу правилности расподеле напона под оптерећењем, заморног века (са и без присуства прслине) и процене осетљивости геометрије модела на поменуте показатеље кроз примену поступка оптимизације/параметризације.

Стога се током рада на предложеној дисертацији очекује се да ће кандидаткиња дати **научни допринос** у виду развијене **нове методологије истраживања проблематике деградационих процеса** која ће за резултат имати дефинисане конкретне моделе ојачања структуре трупа у зависности од спољашњег оптерећења, а у циљу продужетка заморног века. Развијена методологија ће бити тестирана на трупу *b737*, а развијено решење ће бити упоређено са тренутно постојећим на овом типу путничког авиона да би се проверила (и доказала) њена успешност.

У циљу тумачења важности поменутих корака овде треба истаћи и да поменуте летелице данас представљају основу флоте највећег броја ваздухопловних компанија. Стога је овде сасвим очигледан и практичан интерес што бољег разумевања комплексне заморне проблематике како би исте што дужи временски период биле одржаване у оперативној употреби. Такође, обзиром на мањак оваквих типова анализа, када су у питању научни радови који су објављени у последњих неколико година (што је поменуто у некој од претходних тачака), ова дисертација ће на дискретан начин понудити и одговор разлога одржања (већ више од пола века) структуралног решења модела *b737* (а које је у готово идентичној форми било присутно и на његовом претходнику *b727*), а које се за то време мењало само у смислу повећања дебљине појединих делова његове луске, обзиром да засад постоји индиција да исто не даје нарочито оптималну расподелу напона, односно да је поменуто решење још увек у оптицају из првенствено економских разлога.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање унутар ове дисертације ће бити извршено по следећем редоследу:

1. Утврђивање морфологије трупа савремених путничких летелица са елементарном структуралном анализом његових саставних елемената.

2. Теоријска анализа типова деградационих процеса који се могу јавити на трупу. Дефинисање тачака које су посебно осетљиве на исте. Посебно разматрање узнапредовалих форми оштећења. Истраживање примера из праксе.

3. Процена фактора који утичу на врсту и степен деградације уз анализу припадајућих случајева из праксе.

4. Разматрање развоја пројектних концепата и прописа. Процена њиховог утицаја на централне ваздухопловне несреће.

5. Студија о напредним материјалима и иновативним поступцима (пројектовању, производњи, спајању и одржавању). Анализа проблема најсавременијих летелица пројектованих применом поменутих приступа. Процене тренутног стања филозофије управљања старим летелицама и могућности продужења њиховог заморног века.

6. Процена *Ф&ДТ* параметара (*параметара замора и толеранције оштећења*): аналитички и нумерички приступи. Разматрање примене појединих софтверских пакета, појашњење прорачунског поступка уз анализу његових фаза.

7. Моделовање горњег сегмента љуски трупа летелица *a320* и *b737* унутар алата за цртање *Catia V5*, *SpaceClaim* и *Design Modeler*. Објашњење поступка избора њихових пројектних вредности и верификационих модела.

8. Структурална анализа модела применом платформе *Ansys Workbench*: Процена напонско-деформационог стања, процена заморног века оштећене и неоштећене структуре.

9. Структурална анализа модела применом платформе *Ansys Workbench*: Примена процеса параметризације и оптимизације.

10. Структурална анализа модела применом платформе *Ansys Workbench*: Процена могућности продужења радног века критично заморно оптерећених сегмената модела кроз примену стратешког ојачања.

11. Синтеза теоријског и пројектног поступка која ће, у складу са добијеним резултатима, извести адекватне закључке.

У складу са горе изложеним планом истраживања, дисертација ће имати следећу организацију поглавља:

Прво поглавље ове дисертације ће се бавити основним карактеристикама структуре трупа савремених путничких летелица, тј. концептом љуске полумонокок трупа, њеним саставним елементима и међусобним везама, као и елементарном структуралном анализом оваквог решења.

У оквиру **другог поглавља** исте, детаљно су разрађени типови деградационих процеса чијем је развоју склона структура трупа, уз значајније акцентовање групе постепених и одложених форми девастација металних структура, али уз неизбежан осврт и на изненадне форме истих. Поменути типови су овде разматрани како теоријски, тако и кроз анализу значајног броја случајева из праксе. Такође, у циљу адекватне анализе деградационих процеса трупа, изузетно важан корак представља и дефинисање најкритичнијих тачака, и то по питању дејствовања корозивних, заморних (и вишеструких заморних) оштећења, уз свакако незаобилазно одређивање зона трупа које су најугроженије по питању појаве изненадних типова деградације (у смислу њихове позиције и типа оштећења).

Наравно, јасно је да ће на степен и вид потенцијалне деградације значајног утицаја имати и карактеристике саме летелице, које подразумевају врсту примењених материјала, конструктивно решење, изабране технолошке поступке, квалитет израде и одржавања.... стога **треће поглавље** истражује како се у случајевима оваквих околности понашају различити материјали, односно пројектна решења, као и са којим од ових деградационих процеса тренутно имамо потешкоће у тумачењу обима истих и зашто је појединим структурама тешко адекватно вратити њихову почетну носивост. Ово поглавље такође укључује и анализу значајног броја случајева из праксе.

Наредно, **четврто поглавље**, се бави развојем пројектних концепата, прописа и случајева који су означени као њихови директни покретачи, као и концептом *Ф&ДТ* (*Замор и толеранција оштећења*), *ЛОВ-а* (*Лимит валидности*) и *full scale testa*. Конкретно, проучавање поменутих појмова се у оквиру ове тачке своди углавном на питања обезбеђења

пловидбености летелица које су означене као старе (што првенствено значи да је њихов почетни програм одржавања модификован), затим, на развој филозофије Толеранције оштећења (на којој су базирани данашњи концепти и пројектовања и одржавања), као и при анализи централних ваздухопловних несрећа, где су упоредо уз анализе истих дати и прописи који су важили у датом тренутку, као и на који начин су њихове мањкавости допринеле поменутих несрећама или биле директан узрок насталог акцидента.

Пето поглавље разматра предности и мане приступа који су у директној функцији обезбеђења циљева (горе поменутог) *Ф&ДТ* концепта, што подразумева анализу примене напредних легура и нових форми материјала, затим, иновативних концепата пројектовања (одн. технологија производње и техника репарације), као и истраживање сврсисходности потпуно нових концепата праћења стања структуре (*СХМ*), као и концепта старих (*aging*) летелица. Наравно, ни ово поглавље није прошло без студије конкретних случајева из праксе, који се односе управо на проблеме које су у оперативном раду показале поменуте иновативне технологије. Наравно, овде се мора нагласити да предмет процене нису биле само постојеће ваздухопловне структуре, већ и потенцијал оних које тек улазе у употребу, затим, оне које су делимично заступљене, као и оне које тренутно постоје само у експерименталној форми или као идеја.

Наставак ове анализе, који се на неки начин може сматрати и централним, започиње унутар **шестог поглавља** кроз теорију аналитичког приступа у процени *Ф&ДТ* параметара. У том смислу, прво су анализирани приступи који су карактеристични за фазу формирања прслине и фазу ширења прслине (Механика лома), након чега је унутар поменуте фазе ширења направљена даља дистинкција између поступака који се примењују унутар механике линеарно-еластичног и еластично-пластичног лома, затим, разлике које постоје у случају анализе металних и композитних структура, као и прорачуна који се односи на процену параметара лома одн. степена ширења прслине. Свакако, овде не треба ни занемарити да у процени *Ф&ДТ* параметара, поред аналитичких, данас имамо и (далеко заступљеније) нумеричке методе, као и да процену истих можемо вршити на детерминистички и пробабилистички начин.

Наредно, **седмо поглавље**, се бави такође проценом *Ф&ДТ* параметара, али кроз нумерички приступ. Поглавље започиње са почетним разјашњавањем шта представљају исте, затим, на који начин су оне имплементиране унутар софтверских пакета (тзв. *МКЕ*), као и какву поделу вршимо унутар њих када је у питању анализа *Ф&ДТ* параметара. Такође, мања пажња је поклоњена и прегледу оних које се унутар поменуте проблематике тренутно сматрају водећим, с тим да је ипак значајно више простора резервисано за пакет који је коришћен у прорачунском делу ове дисертације (*ANSYS Workbench*).

Поглавље које се директно наслања на поменуту теоријску анализу је **осмо поглавље**, и оно је посвећено практичној примени нумеричке анализе две модела реалне структуре горњег сегмента два трупа који су изложени оптерећењу пресуризационог типа. Поменута анализа разматра процену напонско-деформационог стања и заморног века ова два модела, пореди их са закључцима донетим унутар поглавља која су се бавила анализом деградација трупа из праксе, примењује поступак параметризације и оптимизације уз предлог идеје о стратешким ојачањима заморно осетљивих тачака.

Последње, **девето поглавље**, ће извршити синтезу закључака донетих у оквиру теоријског разматрања, затим, анализе случајева из праксе, као и резултата добијених применом нумеричке анализе, што ће бити представљено унутар тачака које ће тумачити експлицитно добијене резултате у оквиру нумеричке анализе, дефинисати непознанице и слабе тачке у оквиру проблематике предупређења деградационих процеса љуске трупа и извршити процену даљих праваца развоја.

7. Закључак и предлог

На основу изложене анализе пријаве теме докторске дисертације кандидаткиње Ђукић Даниеле, маистра машинства, Комисија за оцену подобности и научне заснованости теме закључује да је предложена тема актуелна и научно заснована. Кандидаткиња Ђукић Даниела испуњава све Законом и Статутом Машинског факултета предвиђене услове и има способности за рад на докторској дисертацији.

На основу свега горе наведеног Комисија предлаже Научно-наставном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да се кандидаткињи

Магистру машинства Ђукић Даниели
одобри израда докторске дисертације са темом:

**„Истраживање модалитета деградационих процеса љуске трупа
путничке летелице и могућности продужења заморног века“
(„Research of modalities of degradation processes of a fuselage shell of passenger
aircraft and possibilities of fatigue life extensions“)**

у научној области Машинство – ужа научна област Ваздухопловство, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

За ментора током израде предметне дисертације предлаже се др Александар Грбовић, редовни професор на Катедри за Ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду.

Београд, 20.08.2021.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Мирко Динуловић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Др Часлав Митровић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

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

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1046/3
Датум: 08.07.2021.
Београд, Краљице Марије бр.16

На основу члана 64. Статута Машинског факултета Универзитета у Београду – пречишћени текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године) и члана 20. а сагласно члану 29. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду од 24.05.2016.г., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној дана 08.07.2021. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Именује се **др Александар Грбовић, ред. проф.** за ментора докторске дисертације **„ИСТРАЖИВАЊЕ МОДАЛИТЕТА ДЕГРАДАЦИОНИХ ПРОЦЕСА ЉУСКЕ ТРУПА ПУТНИЧКЕ ЛЕТЕЛИЦЕ И МОГУЋНОСТИ ПРОДУЖЕТКА ЗАМОРНОГ БЕКА (RESEARCH OF MODALITIES OF DEGRADATION PROCESSES OF A FUSELAGE SHELL OF PASANGER AIRCRAFT AND POSIBILITIES OF FATIGUE LIFE EXTENSIONS)“** кандидата **мр ДАНИЕЛЕ ЂУКИЋ, дипл. инж. маш.,** студента докторских студија.

Одлуку доставити: ментору, докторанту и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић