

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

716/4
(Број захтева)Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)09.07.2020.
(Датум)

З А Х Т Е В
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

АНАЛИЗА БЕКА ПОД ЗАМОРОМ ОШТЕЋЕНОГ ОКОВА ВЕЗЕ КРИЛО-ТРУП ЛАКЕ ЛЕТЕЛИЦЕ
(FATIGUE LIFE ANALYSIS OF DAMAGED LIGHT AIRCRAFT WING-FUSELAGE FITTING)

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Ваздухопловство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: ABDUSSALAM YOUSSEF SOLOB2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд3. Година дипломирања: 2000.

4. Назив магистарске тезе кандидата: _____

5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: _____

6. Година одбране магистарске тезе _____

7. Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: _____ / _____

Година уписа докторских студија: 2015.Обавештавамо Вас да је _____ Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 09.07.2020

размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Радивоје Митровић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.

2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 716/4
Датум: 09.07.2020. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Abdussalam Youssef Solob**, маг. инж. маш., бр. 716/1 од 01.06.2020. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Александар Грбовић, ред. проф., др Александар Седмак, ред. проф. и др Гордана Кастратовић, ред. проф., Саобраћајни факултет Београд, број 716/3 од 06.07.2020. 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 (број 1450/4 од 14.06.2018. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 09.07.2020. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **ABDUSSALAM YOUSSEF SOLOB**, маг. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«АНАЛИЗА ВЕКА ПОД ЗАМОРОМ ОШТЕЋЕНОГ ОКОВА ВЕЗЕ КРИЛО-ТРУП ЛАКЕ ЛЕТЕЛИЦЕ (FATIGUE LIFE ANALYSIS OF DAMAGED LIGHT AIRCRAFT WING-FUSELAGE FITTING)»**.

За ментора студенту **Abdussalam Youssef Solob**, именује се 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 кандидата **Абдусалама Јусефа Солоба** (Abdussalam Youssef Solob), маг. инж. маш. за израду докторске дисертације

Одлуком Научно-наставног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 716/2 од 25.06.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Абдусалама Јусефа Солоба** (Abdussalam Youssef Solob), маг. инж. маш. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме: **Анализа века под замором оштећеног окова везе крило-труп лаке летелице (Fatigue life analysis of damaged light aircraft wing-fuselage fitting).**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Абдусалам Јусеф Солоб (Abdussalam Youssef Solob) је рођен 08.02.1965. у Триполију, Либија, где је завршио основну и средњу школу у периоду 1971-1982. Школске 1982/83 уписао је, а 1989. године завршио студије на Техничком факултету у Триполију, Либија (Faculty of Engineering, Tripoli, Libya), да би магистарске студије уписао 1997. и исте завршио 2000. на Машинском факултету Универзитета у Београду. Абдусалам Јусеф Солоб поседује вишегодишње радно искуство. У периоду од 1990. године до 2014. године био је запослен као машински инжењер у Истраживачком центру Министарства одбране са седиштем у Триполију (Ministry of defense, Research Centre, Tripoli), а од 2014. запослен је у Либијским ваздушним снагама при Министарству одбране (Libyan Air Force - Air Cargo, Tripoli). Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписује школске 2015. године.

Ожењен је и је отац четворо деце.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Абдусалам Јусеф Солоб (Abdussalam Youssef Solob) уписао је прву годину Докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2015/16

године, да би већ наредне школске године уписао другу годину студија. У складу са Планом усавршавања положио је следеће испите:

Р. бр.	Назив предмета	Предметни наставник	Оцена
1	Основни принципи механике лома	Проф. Др Александар Седмак	10 (десет)
2	Пројектовање помоћу рачунара	Проф. Др Александар Грбовић	10 (десет)
3	Основе механике композитних материјала	Проф. Др. Игор Балаћ	10 (десет)
4	Мерење напона и деформација	Проф. Др Милорад Милованчевић	10 (десет)
5	Моделирање микромеханике композитних материјала	Проф. Др Игор Балаћ	10 (десет)
6	Планирање, спровођење и контрола пројеката	Проф. Др Бојан Бабић	10 (десет)
7	Напредна механика лома	Проф. Др Александар Седмак	9 (девет)
8	Примена механике лома на интегритет структура	Проф. Др Александар Седмак	9 (девет)
9	Метода коначних елемената у примени	Проф. Др Александар Грбовић	10 (десет)
10	Истраживање и публикување 1	Проф. Др Александар Грбовић	10 (десет)
11	Истраживање и публикување 2	Проф. Др Александар Грбовић	10 (десет)
12	Истраживање и публикување 3	Проф. Др Игор Балаћ	10 (десет)
13	Истраживање и публикување 4	Проф. Др Игор Балаћ	10 (десет)
14	Пројекат идеје докторске дисертације	комисија	10 (десет)

Током Докторских студија кандидат Абдусалам Јусеф Солоб је положио 9 изборних предмета од којих сваки вреди по 5 ЕСПБ, чиме је стекао **45 ЕСПБ**. Пројекат идеје докторске дисертације одбранио је пред Комисијом у саставу: проф. др Александар Грбовић – потенцијални ментор, професор др Александар Седмак, и професор др Гордана Кастратовић, Саобраћајни факултет, Универзитета у Београду, чиме је стекао још **22 ЕСПБ**. Поред тога, истраживачким радом евалуираним кроз предмете Истраживање и публикување 1-4 кандидат је стекао још **53 ЕСПБ**, тако да је, у складу са правилником о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду, Кандидат Абдусалам Јусеф Солоб остварио укупно **120 ЕСПБ** уз просечну оцену 9,85.

Као резултат истраживања у оквиру предмета Истраживање и публикување, кандидат Абдусалам Јусеф Солоб објавио је 1 (један) рад у часопису са SCI листе:

1. Рад у врхунском међународном часопису (M21)

Solob A., Grbović A., Božić Ž, Sedmak S.A.: *XFEM based analysis of fatigue crack growth in damaged wing fuselage attachment lug*, - Engineering Failure Analysis, Vol 112, 2020. ISSN 1350-6307, IF 2.249.

Линк ка раду:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135063071931725X>

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

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Током својих досадашњих истраживачких активности Абдусалам Јусеф Солоб маг. инж. маш. је испољио нарочиту склоност и велико интересовање за научно истраживачки рад. Научни рад публикован у врхунском међународном часопису указује на смисао кандидата за бављење теоријским и експерименталним истраживањима.

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

Досадашњи рад и истраживања, као и исказани смисао за научно истраживачки рад квалификују кандидата Абдусалама Јусефа Солоба за успешан и ефикасан самосталан рад на предложеној докторској дисертацији.

2. Предмет и циљ истраживања

Трендови на тржишту цивилних ваздухоплова последњих година указују на појачану потражњу за летелицама високе ефикасности, минималне тежине и дугог експлоатационог века. Последњи од ових захтева је посебно изазован за инжењере јер дужи експлоатациони век значи и дуже излагање летелице динамичким оптерећењима, па се пројектовање структуре са аспекта замора намеће као доминантно у случајевима развоја нових ваздухоплова, али и када је задатак продужење експлоатационог века путем редизајна елемената ваздухоплова који су већ у употреби. Приликом пројектовања века под замором металних елемената структуре летелица користе се, генерално, два приступа: приступ толерисања појаве и раста оштећења услед замора на елементима структуре (тзв. fail-safe approach) и приступ у којем се не дозвољава појава било каквог оштећења на носећој структури (тзв. safe life approach). Први приступ се користи код тзв. диференцијалних структура, тј. оних које се добијају спајањем помоћу закивака (елементи крила, тупа, хоризонталних и вертикалних репних површина, итд.). Проблеми везани за настанак прелина услед замора и њихов раст у оваквим структурама су у многоструке веће истражени. С друге стране, сви носећи елементи ваздухопловних структура који нису редувантни, односно они чији губитак носивости не може да се надомести другим елементима структуре, морају бити пројектовани тако да се на њима не појави оштећење услед замора током предвиђеног експлоатационог века. Овакве структуре се углавном пројектују без коришћења елемената везе, израђују се из једног дела и класификују као интегралне структуре. Интегралне структуре, када је о пројектовању реч, пружају више могућности за оптимизацију и унапређење летелица у погледу века под замором, али су „нетолерантне“ на појаву оштећења. У поређењу са диференцијалним структурама предност им је мања тежина, лакше су за одржавање, погодне су за нумеричке анализе и имају знатно мање дисконтинуитета који у експлоатацији доводе до иницирања прелина. Типичан пример такве структуре јесте метални оков за повезивање рамењаче крила са трупом летелице.

Током лета, најоптерећенији склоп конструкције летелице јесте веза крило-труп чији је саставни део поменути оков. Кретање ваздухоплова генерише силу узгона која савија

крило навише, тако да су горњи елементи изложени притисним оптерећењима, а доњи затезним. Главни носећи елемент крила је рамењача (постављена по дужини крила у правцу управном на труп) која је изложена и савијању и смицању, што је последица дејства аеродинамичких и инерцијалних оптерећења. Рамењача је преко специјално пројектованих елемената – ваздухопловних окова – везана за носеће елементе трупа летелице, а најчешће за главни оквир трупа. Сва оптерећења са крила се преносе на главни оквир, а преко окова везе крило-труп. Нема потребе посебно наглашавати изузетну важност прецизног пројектовања овог окова: његов лом услед замора доводи до тренутног одвајања крила од трупа и консеквентног губитка узгона летелице. Током експлоатације ваздухоплова долази до појаве заморних прслина на деловима крила изложеним затезним оптерећењима и ове се прслине прате и предузимају се одређене мере када оне досегну критичну дужину, али се код окова везе крило-труп њихова појава не толерише. То је и разлог зашто се до сада није проучавао раст прслина на њему и зашто се од произвођача нису захтевала експериментална испитивања преосталог века под замором оштећеног окова. То, наравно, не подразумева да се оне нису појављивале и да се не могу појавити у пракси: неколико скорашњих случајева, који само пуком срећом нису прерасли у трагедије, то потврђује. Наиме, индонежанска ваздухопловна компанија Lion Air је у новембру 2019. пријавила појаву прслина на оковима за везу крило-труп код две летелице типа Boeing 737NG које су случајно откривене пре редовне инспекције тих окова. Након тога је преко 50 летелица овог типа приземљено широм света да би се утврдило стање њихових окова (Ryanair је у својој флоти открио 3 напсала окова!). Институције међународних ваздухопловних власти надлежне за безбедност летелица сада увелико разматрају увођење обавезних тестова на замор оштећених окова да би се проценио њихов преостали век. Редизајном окова могуће је продужити век чак и код појаве оштећења, али то неће променити давно усвојени приступ (safe-life) у њиховом пројектовању. Намера је да се безбедност летелице повећа и да се она гарантује чак и у случају појаве непредвиђеног оштећења. Наравно, поставља се питање колика је величина „безбедног“ оштећења окова, тј. колика је дужина прслине која неће довести до његовог лома. Одговор на ово питање најпрецизније могу дати експерименти који су често дуготрајни и скупии, а као погодна алтернатива експерименталној верификацији новопроектваног (или модификованог) окова намеће се нумеричко моделирање.

Када се развија нумерички модел окова у сврху одређивања преосталог века (тј. испитивања заморног понашања) у случају појаве оштећења, неопходно је добро проценити величину оптерећења која ће оков носити током експлоатације, а пре свега аеродинамичке силе на крилу које се преко рамењаче преносе на њега. То захтева спровођење симулација опструјавања ваздуха у програму за CFD анализу са комплетним геометријским моделом крила и припадајућег окова, одређивање расподеле ваздушног притиска за критични случај лета и превођење притисака у еквивалентна оптерећења окова (момент и сила). Процене оптерећења се могу добити и конвенционалним аналитичким методама, међутим питање које се поставља јесте: како можемо бити сигурни да су улазни подаци за нумеричко одређивање заморног понашања оштећеног окова валидни, тј. да ли су вредности добијене нумеричким (или аналитичким) путем поуздане и довољно тачне? Очигледно је да се иницијални нумерички модел крила мора верификовати помоћу експеримента са реалном геометријом и оптерећењима, па се након тога век под замором оштећеног окова добијен нумерички за експериментално верификовано оптерећење може сматрати довољно добрим.

Брзина раста прслина зависи од фактора интензитета напона. У питању је један од основних параметара механике лома који дефинише поље напона у близини врха прслине. На основу познатих вредности фактора интензитета K за различите вредности дужина прслине a , коришћењем односа између da/dN (брзине раста прслине) и K дефинисаног познатом Парисовом функцијом $da/dN = C(\Delta K)^n$ где су C и n константе материјала, могуће је доћи до процене брзине раста прслине у структури, па самим тим и до заморног века.

Током година, развијене су многе нумеричке технике као што су метода коначних елемената (МКЕ), метода граничних елемената (МГЕ), методе без мреже и проширена

метода коначних елемената (ПМКЕ) за симулирање проблема механике лома, као што је раст заморних прслина. У ПМКЕ, конформна мрежа није потребна, због чега је моделирање променљивих дисконтинуитета или раста прслина значајно олакшано. Раст прслина и променљивих дисконтинуитета моделира се додавањем дисконтинуираних функција у стандардну апроксимацију коначних елемената. Суштина ПМКЕ лежи у дељењу модела на два различита дела: генерисање мреже дате геометрије (прслине нису укључене) и обогаћивање апроксимације коначних елемената помоћу додатних функција које моделирају прслине и друге геометријске ентитете.

Са друге стране, применом неструктуралног мрежног метода (*Unstructured Mesh Method* - *UMM*), МКЕ је унапређена тако што је омогућено мењање мреже коначних елемената само у непосредној околини прслине, чиме је моделирање раста прслине и овом методом значајно олакшано.

На основу реченог **основни циљ истраживања** које ће се спровести у оквиру рада на тези биће утврђивање заморног понашања реалног оштећеног окова везе крило-труп лаке летелице коришћењем нумеричких метода, пре свих методе коначних елемената (МКЕ) и проширене методе коначних елемената (ПМКЕ). Очекује се да ће дисертација **допринети** даљем унапређењу пројектовања интегралних ваздухопловних елемената, у смислу да ће на бази њених резултата, верификованих нумеричких модела и усвојене методологије бити могуће ефикасно и са великом тачношћу утврдити колико је нека новопроектвана (или модификована) структура резистентна на ширење оштећења, те колики је њен век под дејствима различитих заморних оптерећења.

Сходно поменутом циљу истраживања у овој тези ће се пажња прво посветити одређивању оптерећења која се са рамењаче крила преносе на оков везе крило-труп коришћењем аналитичких метода и CFD анализа, затим експерименталној верификацији нумеричког модела крила и, коначно, нумеричкој анализи заморног понашања оштећеног окова коришћењем МКЕ и ПМКЕ. **На основу изведених закључака о веку под замором оштећеног окова биће дефинисане смернице за побољшање његових заморних карактеристика**, како преко предлога промене геометрије (уз очување или чак смањење масе окова), тако и преко предлога материјала који би својим карактеристикама омогућили дужи заморни век од оног добијеног коришћењем нумеричких метода. Ове методе биће коришћене и за процену века побољшаног окова.

2.1. Преглед литературе релевантне за предложену тему дисертације

У наставку су наведене референце које описују основе предложене дисертације и које опредељују даљи рад кандидата на предложеној теми:

[1] Barter S., Sharp P.K., Clark G.: *The failure of an F/A-18 trailing edge flap hinge*, - Engineering Failure Analysis Vol 1, No 4, 1994, pp. 255–266.

[2] Azevedo C.R.F., Hippert E. Jr., Spera G., Gerardi P.: *Aircraft landing gear failure: fracture of the outer cylinder lug*, - Engineering Failure Analysis, Vol 9, No 1, 2002, pp. 1–15.

[3] Allegrucci L., Amura M., Bagnoli F., Bernabei M.: *Fatigue fracture of a aircraft canopy lever reverse*, - Engineering Failure Analysis, Vol 16, No 1, 2009, pp. 391–401.

[4] Witek L.: *Failure analysis of the wing-fuselage connector of an agricultural aircraft*, - Engineering Failure Analysis, Vol 13, No 4, 2006, pp. 572–581.

[5] Rigby R., Aliabadi M.H.: *Stress intensity factors for cracks at attachment lugs*, - Engineering Failure Analysis, Vol 4, No 2, 1997, pp. 133–146.

- [6] Sobotka J.C., Lee Y.-D., McClung R.C., Cardinal J.W.: *Stress-Intensity Factor solutions for Tapered Lugs with Oblique Pin Loads*, - Structural Integrity in the Age of Additive Manufacturing - ICAF 2019, Lecture Notes in Mechanical Engineering, Springer, Cham, 2019, pp. 503-517.
- [7] Maksimović K., Nikolić V., Maksimović S.: *Efficient computation method in fatigue life estimation of damaged structural components*, - Mechanics, Automatic Control and Robotics, Vol 4, No 16, 2004, pp. 101-144.
- [8] Kim J.-H., Lee S.-B., Hong S.-G.: *Fatigue crack growth behavior of Al7050-T7451 attachment lugs under flight spectrum variation*, - Theoretical and Applied Fracture Mechanics, Vol 40, No 2, 2003, pp. 135-144.
- [9] Boljanović S., Maksimović S., Carpinteri A.: *Fatigue life evaluation of damaged aircraft lugs*, Scientific Technical Review, Vol 63, No 4, 2013, pp. 3-9.
- [10] Sumanth M.H., Ayyappa T.: *Comparative analysis of aircraft wing fuselage lug attachment bracket*, - International Journal For Technological Research In Engineering, Vol 5, No 11, 2018, pp. 4422-4429.
- [11] Mookaiya K., Balaji S., S.R. Balakrishnan S.R.: *Crack growth analysis in aircraft wing lug section and fatigue life estimation*, - International Journal For Technological Research In Engineering, Vol 2, No 6, 2013, pp. 2018-2023.
- [12] Grbović A.: *Investigation of fatigue life in superalloys structural components*, - PhD thesis Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Serbia, 2012.

У радовима [1, 2, 3, и 4] анализирани су и утврђивани узроци отказа услед ширења заморних прслина у ушката окова као елементима везе, у стварним условима експлоатације. Као узроци отказа наводе се вишеструко убрзан реалан раст прслине у односу на пројектовани, затим нестабилан раст прслине, оријентација микро-структуре материјала у односу на правце оптерећења, грешке у дизајну, као и појава корозије. У [5, 6 и 7] представљене су различите методе за одређивање фактора интензитета напона прслина у ушката окова, од аналитичких до 3Д методе граничних елемената као и методе базиране на одређивању J-интеграла. У [8, 9, 10, 11 и 12] анализирани су различити утицаји на дужину заморног века ушке окова, као што је насумични спектар оптерећења, оптерећења константних и променљивих амплитуда, утицај различитих материјала, а представљени су и различити модели симулације раста прслине.

У доступној литератури може се приметити недостатак анализе стварних оптерећења које се са околних елемената преносе на ушку, као критичан елемент окова везе крило-труп, што доводи до погрешне процене заморног века, као и недостатак примене најновијих нумеричких метода, као што су унапређена МКЕ (тзв. S.M.A.R.T метод) и ПМКЕ, којима је могуће симулирати раст прслина у структуралним елементима са комплексном геометријом. Исто тако, недостају и предлози оптимизације окова као једне од неизоставних фаза пројектовања, са циљем смањења масе и повећања заморног века овог елемента.

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе, до којих се дошло на основу прегледа литературе и сопственог искуства, су:

1. Заморне прслине се јављају на свим елементима изложеним цикличним оптерећењима, па се тако могу појавити и на оковима везе крило-труп лаке летелице. Претпоставка је да постојећи окови лаких летелица имају кратак заморни век када су оштећени.

2. Приступ при пројектовању окова везе крило-труп јесте тзв. безбедни век („safe-life approach“) у којем се не дозвољава појава било каквог оштећења на носећој структури, те се до недавно није проучавао раст прслина на оковима, нити су ваздухопловни прописи од произвођача захтевали експериментална испитивања преосталог века под замором оштећеног окова. Због све учесталијих случајева уочавања прслина на оковима, процена заморног века оштећеног окова намеће се као неминовна процедура која ће у будућности представљати важан део процеса сертификације нових и продужавања ресурса постојећих летелица. У том смислу се оптимизацијом геометрије и правилним избором материјала окова може постићи значајно продужење заморног века окова за случај када се на њему оштећење појави.

3. Раст и ширење прслина на окову везе крило-труп могу се анализирати применом методе коначних елемената и проширене методе коначних елемената са задовољавајућом тачношћу уколико се претходно направи добра процена величине оптерећења коју ће оков носити током експлоатације (пре свега аеродинамичких и инерцијалних сила које се преко рамењаче крила преносе на њега), а нумерички модел верификује у експерименту са реалном геометријом крила и оптерећењима.

4. Примена нумеричких метода значајно смањује трошкове и значајно убрзава процес пројектовања, али једино комбинована експериментална и нумеричка истраживања могу да пруже комплетну слику понашања заморних прслина на критичним носећим структурама као што је оков везе крило-труп.

4. Научне методе истраживања

За потребе овог истраживања предлажу се следећи приступ и методологија:

1. Преглед литературе и анализа постојећих приступа као и остварених резултата из предметне области дисертације.

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

3. Формирање меродавних нумеричких прорачунских модела, заснованих на методи коначних елемената (МКЕ), чија се примена изводи у оквиру програмског пакета *Ansys Workbench*, и проширеној методи коначних елемената (ПМКЕ), чија се примена изводи у оквиру програмских пакета *Abaqus* и *Morfeo for Abaqus* (нумеричке методе).

4. Верификација нумеричког модела крила помоћу експеримента (експериментална метода) са реалном геометријом и оптерећењима (метод компарације).

5. Анализа података и давање смерница за побољшање заморних карактеристика окова везе крило-труп, како преко предлога промене геометрије (уз очување или чак смањење масе окова), тако и преко предлога материјала који би својим карактеристикама омогућили дужи заморни век од оног процењеног коришћењем нумеричких метода.

Претпоставља се да су предложене методе потребне и довољне да се јасно и темељно представи проблем поуздане процене заморног века и анализира век под замором оштећеног окова везе крило-труп лаке летелице.

5. Очекивани научни допринос

Током рада на тези очекује се да ће кандидат дати следећи научни допринос:

1. Унапређење процеса пројектовања и прорачуна машинских конструкција кроз потврду успешности примене методе коначних елемената и проширене методе коначних елемената у анализи заморног понашања оштећеног окова везе крило-труп лаке летелице,

које би се убудуће могле користити при оптимизовању и других критичних елемената главних носећих структура ваздухоплова.

2. Предлог методологије којом ће бити могуће ефикасно и са великом тачношћу утврдити колико је нека новопроектвана (или модификована) структура резистентна на ширење оштећења, те колики је њен преостали век под дејствима различитих заморних оптерећења.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање ће се спровести по следећем плану:

1. Прво ће бити урађен детаљан преглед литературе везане за претходна и актуелна истраживања у предметној области.

2. Потом ће се бити изабран један од реалних окова везе крило-труп лаке летелице УТВА 75 који ће послужити за дефинисање геометријског CAD модела неопходног за нумеричке прорачуне коришћењем МКЕ и ПМКЕ.

3. Следећи корак биће спровођење аналитичких и нумеричких прорачуна (CFD анализа) у сврху што прецизнијег одређивања оптерећења која нападају крило лаке летелице у различитим режимима лета.

4. Затим ће бити дефинисани нумерички модели геометрије крила и припадајућег окова који ће бити анализирани применом методе коначних елемената за претходно прорачунате услове оптерећења.

5. Потом ће се на основу напонске анализе, коришћењем ПМКЕ, спровести нумеричка анализа ширења оштећења иницираног на месту појаве највишег напона на окову (очекивано је да то буде једна од ушки окова). Парисови коефицијенти за материјал окова, пронађени у литератури, биће искоришћени да се процени заморни век оштећеног окова.

6. Експериментална анализа реалног крила УТВЕ 5 ће се спровести да би се верификовали напони и деформације добијени коришћењем МКЕ. У случају значајног одступања вредности добијених нумерички од оних експериментално измерених, вршиће се „поправка“ нумеричког модела док се не добије задовољавајуће мала разлика вредности.

7. Коначно, приступиће се оптимизацији геометрије и материјала окова која би требало да изнедри задовољавајуће дужи заморни век окова при појави оштећења.

Сходно напред изложеном плану, предлог је да ова теза буде организована на следећи начин:

Прво поглавље биће уводно – са прегледом литературе, посебно истакнутим трендовима у предметној области тезе, образложењем значаја теме, као и циљевима и садржајем дисертације. У **другом поглављу** би били представљени концепти линеарно-еластичне механике лома, ширења заморних прслина и одређивања заморног века оштећених структура на бази којих ће у каснијим поглављима бити вршене процене заморног века оштећеног окова. У **трећем поглављу** би се пажња посветила аналитичком и нумеричком одређивању оптерећења која оков везе крило-труп носи током разних фаза лета лаке летелице, са посебним акцентом на прецизном одређивању аеродинамичких и инерцијалних оптерећења на крилу у критичним случајевима лета. У **четвртном поглављу** би се коришћењем МКЕ и ПМКЕ (имплементираних у програмске пакете *Ansys Workbench* и *Morfeo for Abaqus*) извршила напонско-деформациона анализа крила лаке летелице за случајеве раније дефинисаних оптерећења, као и нумеричка симулација ширења заморне прслине у ушки оштећеног окова, са евалуацијом заморног века истог. У **петом поглављу** би акценат био на експерименталној верификацији вредности напона и деформација добијених на нумеричком моделу крила представљеном у четвртном поглављу. **Шесто поглавље** било би посвећено оптимизацији ушке окова (као најкритичнијег дела окова) и нумеричкој анализи заморног понашања оптимизованог окова коришћењем МКЕ и ПМКЕ, са поређењем заморних векова оригиналног

и новодобијеног окова. Последње, **седмо поглавље** донеће закључке и смернице за даља истраживања, као и остварени допринос кандидата решавању предметне проблематике.

7. Закључак и предлог

На основу изложене анализе пријаве теме докторске дисертације кандидата Абдусалама Јусефа Солоба (Abdussalam Youssef Solob) маг. инж. маш., Комисија за оцену подобности и научне заснованости теме закључује да је предложена тема актуелна и научно заснована. Кандидат Абдусалам Јусеф Солоб 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 кандидату

маг. инж. маш. Абдусаламу Јусефу Солобу (Abdussalam Youssef Solob)
одобри израда докторске дисертације са темом:

„Fatigue life analysis of damaged light aircraft wing-fuselage fitting“
(„Анализа века под замором оштећеног окова везе крило-труп лаке летелице“)

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, 03.07.2020.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

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

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

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: Александар Грбовић

Звање: редовни професор

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI) листе 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**)¹⁾
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⁾

(навести најмање један рад у случају менторства дисертације која се пријављује до 31.12.2008. године, односно најмање три рада у случају менторства дисертације која се пријављује у периоду од 1.01.2009. до 31.12.2009. године, односно најмање пет радова у случају менторства дисертације која се пријављује почев од 1.01.2010. године)

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

¹ **НАПОМЕНА:** импакт фактори - IF и категоризација часописа – M, извор: KoBSON