

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

40/2

(Број захтева)

13.01.2022.

(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 МОHAMMAD SAKIB HASAN

:

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму МАШИНСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

пријавио је докторску дисертацију под називом:

ANALYSIS, MODELING AND OPTIMIZATION OF SOLAR-POWERED HIGH-ALTITUDE PLATFORM-STATION (HAPS)

АНАЛИЗА, МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА БЕСПИЛОТНЕ ЛЕТЕЛИЦЕ ЗА ВЕЛИКЕ ВИСИНЕ НА СОЛАРНИ ПОГОН

из научне области: Отпорност конструкција

Универзитет је 30.06. својим актом под 61206-2640/2-  
дана 2021. бр. 21

дао сагласност на предлог теме докторске  
дисертације

која је гласила:

ANALYSIS, MODELING AND OPTIMIZATION OF SOLAR-POWERED HIGH-ALTITUDE PLATFORM-STATION (HAPS)

АНАЛИЗА, МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА БЕСПИЛОТНЕ ЛЕТЕЛИЦЕ ЗА ВЕЛИКЕ ВИСИНЕ НА СОЛАРНИ ПОГОН

Име и презиме ментора др ЈЕЛЕНА СВОРЦАН,  
ванр.проф.

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној  
21.10.2021.

одлуком факултета под бр. 1849/2, у саставу:

|    | Име и презиме члана комисије | звање           | научна област   | Установа у којој је запослен |
|----|------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|
| 1. | Др Александар Бенгин         | Ред. проф.      | Ваздухопловство | Машински факултет            |
| 2. | Др Александар Симоновић      | Ред. проф.      | Ваздухопловство | Машински факултет            |
| 3. | Др Огњен Пековић             | Ванр. проф.     | Ваздухопловство | Машински факултет            |
| 4. | Др Тони Иванов               | Доц.            | Ваздухопловство | Машински факултет            |
| 5. | Др Никола Мирков             | Научни сарадник | Ваздухопловство | ИНН Винча                    |

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

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности \_\_24.01.2022.

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана \_\_13.01.2022. \_\_\_\_\_

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној \_\_21.10.2021. \_\_\_\_\_

одлуком факултета под бр. 1849/2

, у саставу:

|    | Име и презиме члана комисије | звање           | научна област   | Установа у којој је запослен |
|----|------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|
| 1. | Др Александар Бенгин         | Ред. проф.      | Ваздухопловство | Машински факултет            |
| 2. | Др Александар Симоновић      | Ред. проф.      | Ваздухопловство | Машински факултет            |
| 3. | Др Огњен Пековић             | Ванр. проф.     | Ваздухопловство | Машински факултет            |
| 4. | Др Тони Иванов               | Доц,            | Ваздухопловство | Машински факултет            |
| 5. | Др Никола Мирков             | Научни сарадник | Ваздухопловство | ИНН Винча                    |

**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: 40/2  
Датум: 13.01.2022. 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 Александар Бенгин, ред. проф., др Александар Симоновић, ред. проф., др Огњен Пековић, ванр. проф., др Тони Иванов, доц. и др Никола Мирков, научни сарадник, ИНН Винча Београд о оцени докторске дисертације **„Analysis, modeling and optimization of solar-powered high-altitude platform-station (HAPS) (Анализа, моделирање и оптимизација беспилотне летелице за велике висине на соларни погон)“** студента докторских студија **Mohammad Sakib Hasan, маг. инж. маш.**, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 13.01.2022. године, донело је следећу

### ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ANALYSIS, MODELING AND OPTIMIZATION OF SOLAR-POWERED HIGH-ALTITUDE PLATFORM-STATION (HAPS) (АНАЛИЗА, МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА БЕСПИЛОТНЕ ЛЕТЕЛИЦЕ ЗА ВЕЛИКЕ ВИСИНЕ НА СОЛАРНИ ПОГОН)“** студента **МОHAMMAD SAKIB HASAN, 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 Јелени Сворцан и архиви Факултета.

ДЕКАН  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

## ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Mohammad Sakib Hasan-a**,  
маст.инж.маш.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета бр. 1849/2 од 21.10.2021. године,  
именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације  
кандидата **Mohammad Sakib Hasan-a**, маст.инж.маш, под насловом

**„Analysis, modeling and optimization of solar-powered high-altitude platform-station  
(HAPS)”**

**(„Анализа, моделирање и оптимизација беспилотне летелице за велике висине на  
соларни погон”)**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са  
Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

### РЕФЕРАТ

#### 1. УВОД

##### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

**Mohammad Sakib Hasan** уписао је школске 2017/2018. докторске академске студије на  
Универзитету у Београду – Машинском факултету. Све испите предвиђене планом  
докторских студија положио је са просечном оценом 9,79.

Кандидат је 26.03.2021. године поднео захтев за одобрење теме докторске дисертације на  
Универзитету у Београду – Машинском факултету број 559/1. За ментора је предложена др  
Јелена Сворцан, ванредни професор Универзитета у Београду – Машинског факултета.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Београду број 559/3 од 20.05.2021.  
године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата  
**Mohammad Sakib Hasan-a**, студента Докторских студија на Машинском факултету у  
Београду, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме: **„Analysis, modeling  
and optimization of solar-powered high-altitude platform-station (HAPS)”** („Анализа,  
моделирање и оптимизација беспилотне летелице за велике висине на соларни погон”)  
у саставу:

- др Александар Бенгин, ред. проф,
- др Александар Симоновић, ред. проф,
- др Огњен Пековић, ванр. проф,
- др Тони Иванов, доцент,

- др Никола Мирков, научни сарадник, Институт за нуклеарне науке Винча, Универзитет у Београду.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета бр. 559/4 од 20.05.2021. године за ментора докторске дисертације именована је др Јелена Сворцан, ванр. проф.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Београду бр. 559/6 од 17.06.2021. године прихваћена је научна заснованост теме докторске дисертације и констатовано је да кандидат испуњава услове за израду дисертације. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело је Одлуку бр. 61206-2640/2-21 на седници одржаној 30.06.2021. године којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата **Mohammad Sakib Hasan-a**, под насловом: **„Analysis, modeling and optimization of solar-powered high-altitude platform-station (HAPS)”** („Анализа, моделирање и оптимизација беспилотне летелице за велике висине на соларни погон”).

На основу обавештења ментора ванр. проф. др Јелене Сворцан да је кандидат **Mohammad Sakib Hasan** завршио докторску дисертацију под насловом: **„Analysis, modeling and optimization of solar-powered high-altitude platform-station (HAPS)”** („Анализа, моделирање и оптимизација беспилотне летелице за велике висине на соларни погон”), и предлога Катедре за ваздухопловство, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је на седници одржаној 21.10.2021. године донело Одлуку бр. 1849/2 којом се именују чланови Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Александар Бенгин, ред. проф,
- др Александар Симоновић, ред. проф,
- др Огњен Пековић, ванр. проф,
- др Тони Иванов, доцент,
- др Никола Мирков, научни сарадник, Институт за нуклеарне науке Винча, Универзитет у Београду.

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација кандидата **Mohammad Sakib Hasan-a** под насловом **„Analysis, modeling and optimization of solar-powered high-altitude platform-station (HAPS)”** („Анализа, моделирање и оптимизација беспилотне летелице за велике висине на соларни погон”), припада области техничких наука: машинству, и ужој научној области: ваздухопловство, за коју је Универзитет у Београду – Машински факултет матичан. За ментора докторске дисертације одређена је др Јелена Сворцан, ванредни професор Универзитета у Београду – Машинског факултета, која се бави истраживањима у ужој научној области ваздухопловство, а нарочито у областима прорачунске аеродинамике, пројектовања и оптимизације летелица, којима се бави и предметна докторска дисертација.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Mohammad Sakib Hasan рођен је 01. марта 1991. године у Тангаилу, Бангладеш. По завршетку средњег образовања у Бангладешу са одличним успехом добио је стипендију Владе Србије у оквиру пројекта „Свет у Србији”. Након завршеног курса српског језика на Филолошком факултету, 2011. године уписао је Машински факултет у Београду где је завршио основне (2014. године) и мастер студије на смеру ваздухопловство. Мастер рад насловљен *Концептуални дизајн ултра-лаке летелице „СБ”*, под менторством проф. др Златка Петровића, одбранио је септембра 2017. године са оценом 10, док нешто касније исте године уписује докторске студије.

Током 2016. и 2017. године, обавио је вишемесечне праксе у фирмама Prince Aviation и Air Serbia где је радио на организацији и управљању документима везаним за одржавање ваздухоплова. Све време студија показује склоност ка научно-истраживачком раду као и велику самосталност у истраживању. Такође је члан Ротари клуба и бави се хуманитарним радом. Активни је члан и играчког кадра крикет клуба „Стари Град” (најтрофејнијег клуба у Србији) са којим редовно учествује на такмичењима.

Течно говори бенгалски, енглески и српски језик, а споразумева се и на немачком. Успешно се служи следећим инжењерским софтвером и алатима: ANSYS, MATLAB, XFLR5, XFOIL, PHOTRON, ARAMIS, 3D Printing, CNC Machining, Catia V5, PTC Creo, Auto CAD.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата **Mohammad Sakib Hasan-a** под називом **„Analysis, modeling and optimization of solar-powered high-altitude platform-station (HAPS)”** („Анализа, моделирање и оптимизација беспилотне летелице за велике висине на соларни погон”) написана је на енглеском језику и садржи: 164 стране формата А4, 106 слика, 34 табеле, 39 једначина и 145 библиографских референци.

Докторска дисертација садржи следеће главе:

1. Увод
2. Преглед релевантне литературе
3. Преглед постојећих сличних летелица и процена маса
4. Усвојени концепт летелице
5. Одабир аеропрофила
6. Крило и његова аеродинамичка анализа
7. Материјали и структура крила
8. Структурална анализа крила
9. Пројектовање елисе за летелицу за велике висине
10. Закључак
11. Литература

Докторска дисертација садржи насловну страну на енглеском и српском језику, страну са подацима о ментору и члановима комисије, захвалницу, кратак резиме докторске дисертације на енглеском и српском језику, садржај, списак табела, списак слика, десет тематских глава, списак коришћене литературе, биографију аутора, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

### 2.2. Кратак приказ појединачних глава

Уводна глава ове дисертације уводи читаоца у проблематику, актуелност и потенцијал беспилотних летелица које је могуће категорисати на основу намене и величине. Посебно је обрађен историјат беспилотних летелица за велике висине на соларни погон, и наглашене су њихове основне предности, али и значајни проблеми који се јављају при њиховом пројектовању. На основу изнесеног, формулисане су полазне хипотезе коришћене при изучавању, моделовању и анализи сопственог решења летелице за велике висине. Такође су побројане коришћене научне методе и остварени научни доприноси. Глава се завршава описом структуре текста дисертације.

Релевантна литература и претходна истраживања значајна за тренутни рад побројани су у глави 2. Споменути су и прегледни радови који пружају увид у веома реазнородне постојеће летеће платформе за велике висине, али и радови и докторати сконцентрисани на оптимизацију одређеног аспекта летелице (аеропрофила, структуре крила, геометрије елисе, итд) чији је примарни циљ побољшање њених перформанси и/или повећање енергетске ефикасности.

Глава 3 пружа веома јасан и сликовит увид у тренутна достигнућа у области беспилотних летелица за средње и велике висине, праћен упоредном анализом њихових карактеристика. Детаљно су појашњене могуће аеродинамичке конфигурације таквих платформи, и наглашене су предности и мане различитих решења. Коначно, дато је и образложење усвајања класичне аеродинамичке шеме и код тренутне летелице.

Основне особине одабраног концептуалног решења беспилотне летелице за велике висине наведене су у глави 4. На почетку, побројани су полазни захтеви, намена и опис планиране мисије летелице. Да би таква летелица несметано остала у ваздуху дужи временски период неопходно је да буде и енергетски независна, односно да буде у стању да сакупља и користи енергију потребну за лет, што је могуће обезбедити комбинованом употребом фотонапонских ћелија, батерија и електричног мотора. Из тог разлога, поглавља главе 4 посвећена су и појашњењима рада и основних карактеристика соларних панела и пуњивих батерија које се данас најчешће користе у ваздухопловству. Потом су приказане методологије почетне процене масе летелице као и оптерећења крила (претходно презентоване у раду [8]). Ове величине представљају темељ на основу кога се врши даље димензионисање летелице (и свих њених основних делова) и изузетно је важно проценити их са што већом тачношћу.

Глава 5 посвећена је одабиру и дефинисању одговарајућег аеропрофила крила који треба да задовољи следеће: задовољавајући рад при малим вредностима Рејнолдсовог броја, високу вредност максималног коефицијента узгона, високу вредност максималне финесе, што нижу вредност коефицијента отпора. Прва, прелиминарна анализа различитих постојећих аеропрофила при великом броју различитих Рејнолдсових бројева изведена је помоћу модела потенцијалног струјања (доправљеног корекцијама који донекле узимају у обзир вискозност флуида). На основу прорачунатих карактеристика, изведено је димензионисање крила (дефинисање његових основних геометријских параметара) што је претходно представљено у раду [8]. Потом је дефинисан сопствени, нови аеропрофил кроз вишекритеријумски оптимизациони поступак заснован на генетском алгоритму. Контура аеропрофила параметризована је помоћу класа-облик трансформације. Претходно споменути прорачунски модел верификован је кроз поређење са доступним експерименталним подацима. Како је производ вишекритеријумске оптимизације скуп више једнако добрих оптимума, из тог скупа одабрана су три аеропрофила чије су карактеристике и перформансе приказане и упоређене, и начињен је коначни одабир финалног решења. Цео оптимизациони поступак претходно је описан у раду [1] публикованом у научном часопису *Thermal Science* категорије M23.

Аеродинамичка анализа крила спроведена методама прорачунске механике флуида, конкретно решавањем Навије-Стоксових једначина осредњених Рејнолдсовом статистиком и затворених 4-једначинским турбулентним моделом приказана је у глави 6. Дат је детаљан опис формираног прорачунског домена, генерисане прорачунске мреже, задатих нумеричких поставки (граничних услова, шема дискретизације, услова конвергенције, итд), као и приказ бројних квалитативних и квантитативних резултата (такође доступних у радовима [1,8]) који укључују приказ прорачунатих аеродинамичких коефицијената крила, али и различите визуелизације струјног поља око крила.

Глава 7 посвећена је унутрашњој структури крила, а нарочито савременим материјалима које је могуће употребити на овако витким, високоперформантним крилима (нпр. композитима и различитим полимерима који су данас веома заступљени, а добијају се адитивним технологијама производње). Такође је дат детаљан опис спроведеног експерименталног испитивања бројних (3Д штампаних, у случају полимера, или израђених методом мокрог ређања, у случају композита) епрувета на затезање као и упоредни приказ измерених карактеристика испитиваних материјала. Разматран је и утицај старења материјала на његове перформансе. Експериментално испитивање затезних карактеристика полимера претходно је описано у раду [4] публикованом у научном часопису *Materiale Plastice* категорије M23, док је опис експерименталног испитивања затезних карактеристика композитних епрувета доступан у раду [11].

Опис спроведене структуралне анализе крила приказан је у глави 8. На почетку, приказана су два различита могућа решења структуре крила летелице за велике висине (различите геометрије и материјала, али приближно исте масе) чије су перформансе потом и упоређене. Спроведене су и статичке анализе понашања обе структуре под спрегнутим дејством прорачунатих аеродинамичких и гравитационих оптерећења, али и динамичке, модалне анализе (значајне за познавање одзива структуре у нестационарним радним условима) коришћењем методе коначних елемената. Део приказаних резултата претходно је објављен у раду [8].

Глава 9 се у целости бави методологијом пројектовања оптималне елисе намењене беспилотној летелици за велике висине (што је претходно и публиковано у раду [6]). У овом случају, спроведена је спрегнута аеро-структурална оптимизација помоћу генетског алгорита где су улазни и излазни параметри и ограничења дефинисани из скупа геометријских, аеродинамичких и структуралних карактеристика елисе. Оптимизовани су аеропрофил елисе, подужне расподеле витоперења и тетиве елисе као и могућа ређања композитних материјала (ламината). Аеродинамички прорачун вршен је комбинованим моделом (добијеним комбинацијом теорија идеалног диска и елемента лопатице), док је структурни прорачун вршен методом коначних елемената.

У последњој тематској, десетој глави изложени су основни закључци и препоруке ове докторске дисертације.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Развој беспилотних летелица за велике висине једна је од данас најактуелнијих истраживачких тема, што потврђује чињеница да најуспешније светске компаније и универзитети активно раде на овој проблематици. Могуће намене оваквих летећих платформи су бројне, од комуникационих чворишта, осматрања терена, вршења различитих мерења у горњим слојевима атмосфере, до различитих војних употреба. Међутим, у питању су комплексни системи који подразумевају бројне нерешене научно-истраживачке изазове као што су: аутономни лет током дужег временског периода, рад у вишим слојевима атмосфере, унапређени аеродинамички облици, изразито лагане и еластичне структуре, иновативни пропулзивни системи који садрже и фотонапонске ћелије и батерије, итд. Из тог разлога, при изучавању и пројектовању оваквих летелица неопходно је усвојити оригинални и глобални приступ решавању проблема, уочити узрочно-последичне везе између различитих подсистема летелице, комбиновати разнородне нумеричке и експерименталне методе, спровести бројне различите оптимизационе студије и извући одговарајуће закључке

и искуства, што је све урађено у овој докторској дисертацији. Коначно, оригиналност резултата добијених током њене израде потврђена је и кроз значајан број публикација у научним часописима као и саопштења са међународних научних скупова.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током рада на својој докторској дисертацији, кандидат се детаљно упознао са релевантним и тренутним истраживањима из области летелица за велике висине што је резултовало списком од укупно 145 библиографских референци. У највећем броју случајева, наведени научни радови, докторати и саопштења са научних скупова публиковани су током последње деценије што такође указује на савременост и интересантност истраживане теме. Такође, како је област истраживања мултидисциплинарна, и реферисана литература веома је разнородна и односи се и на актуелна аеродинамичка и структурална испитивања, али и достигнућа у оптимизационим методама, савременим материјалима, компонентама енергетског система, могућностима повећања енергетске ефикасности летелица, и сл. Приложени списак коришћене литературе такође укључује и публикације из међународних часописа и зборника научних скупова које су директно проистекле из израде ове докторске дисертације, а на којима је кандидат главни аутор или коаутор.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Током рада на својој докторској дисертацији која је подразумевала изучавање и развитак сопственог решења летелице за велике висине, кандидат је применио велики број различитих, али потпуно адекватних и савремених научно-истраживачких метода. Између осталог, на основу прегледа и систематизације постојеће литературе дефинисани су даљи правци истраживања беспилотних летелица, процена масе летелице изведена је комбинацијом аналитичких и статистичких метода, избор аеродинамичке шеме летелице начињен је након прегледа и упоредне анализе могућих конфигурација, контура аеропрофила и геометрија елисе дефинисане су помоћу (еволутивних) оптимизационих метода, прорачун аеродинамичких карактеристика аеропрофила изведен је (коригованим, унапређеним) моделом потенцијалног струјања, прорачун аеродинамичких оптерећења крила изведен је методом коначних запремина, а процена понашања структуре крила реализована је методом коначних елемената. Сви коришћени нумерички модели верификовани су кроз поређења са доступним експерименталним резултатима (сопственим или од других аутора), док су једноставнији прорачунски алгоритми и софтверски имплементирани.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати остварени током реализације ове докторске дисертације, поред научне имају и велику практичну, инжењерску примену, јер омогућавају олакшано, убрзано, побољшано и специјализовано пројектовање високоперформантних беспилотних летелица за велике висине на соларни погон, како у целости тако и њихових појединачних подсистема. Предложена методологија процене масе беспилотне летелице може се применити и на друге летеће платформе различите намене и величине. Приказане и верификоване аеродинамичке моделе могуће је користити при процени аеродинамичких карактеристика било којих узгонских површина као и за повећање њихове аеродинамичке ефикасности. Предложена методологија дефинисања нових аеропрофила кроз вишекритеријумску оптимизацију применљива је на широком опсегу радних услова (од малих до великих Рејнолдсових бројева). Приказани спрегнути аеро-структурални прорачун валидан је за све витке структуре које су изложене значајним аеродинамичким оптерећењима. Описани поступак експерименталног утврђивања затезних карактеристика материјала применљив је и на сва нова ређања/испуне материјала. Коначно, бројна искуства стечена на развоју (енергетски

независне) беспилотне летелице на соларни погон директно су применљива и на остала возила на хибридни/електрични погон, било да су друмска, шинска или водена.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кроз реализацију ове докторске дисертације, кандидат Mohammad Sakib Hasan је апсолутно демонстрирао способност за самостално спровођење научно-истраживачког, али и стручног рада. Поред систематичног прегледа и критичке оцене савремених истраживања, дефинисања сопствених математичких и нумеричких модела као и методологија оптимизације, спровођења нумеричких испитивања, кандидат је реализовао и бројна експериментална истраживања и спровео упоредне анализе између два типа резултата чиме је верификовао своје нумеричке моделе. Све ове појединачне активности довеле су до успешног дефинисања основних компоненти летелице за велике висине, што је потврђено публикацијама у часописима од међународног и националног значаја, као и саопштењима на научним скуповима.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Оригинални научни допринос кандидата Mohammad Sakib Hasan-а и његове докторске дисертације под називом „Анализа, моделирање и оптимизација беспилотне летелице за велике висине на соларни погон” превасходно се огледа у комплетној дефиницији одговарајућег модела крила беспилотне летелице за велике висине и велике истрајности које је оптимизовано са аспеката аеродинамике и структуре. У оквиру овог остварења било је потребно:

- тачно проценити масу летелице и крила (као њеног главног елемента) што је приказано у глави 4, и објављено у раду [8],
- дефинисати нови аеропрофил крила кроз вишекритеријумски оптимизациони поступак (описано у глави 5, стр. 59-67) и спровести детаљне симулације опструјавања крила летелице за велике висине (описано у глави 6, стр. 76-80), што је приказано у научно-стручном раду [1], који је доступан на е-адреси <https://doi.org/10.2298/TSCI210419241S>, а публикован у научном часопису *Thermal Science* категорије M23, чиме је остварено унапређење аеродинамичке ефикасности главних узгонских површина летелице,
- дефинисати све елементе унутрашње структуре крила, начинити одабир одговарајућих материјала и спровести експериментално испитивање карактеристика материјала, што је описано у глави 7, стр. 84-102, а такође и приказано у научно-стручном раду [4], који је доступан на е-адреси <https://doi.org/10.37358/MP.20.3.5389>, а публикован у научном часопису *Materiale Plastice* категорије M23,
- спровести структуралне анализе крила изложеног здруженом дејству гравитационих и аеродинамичких оптерећења што је приказано у глави 8, и објављено у раду [8],
- дефинисати савремени сложени погонски систем које то крило носи кроз оптимизацију елисе летелице за велике висине (приказано у глави 9, и објављено у раду [6]) и димензионисање соларних панела и пуњивих батерија (приказано у глави 4, и објављено у раду [1]).

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Детаљним прегледом доступне научне литературе као и постојећих решења беспилотних летелица за велике висине, Комисија констатује да су приказани резултати истраживања

кандидата Mohammad Sakib Hasan-а изузетно значајни, нови и научно утемељени. Сагледавањем постављених циљева истраживања, полазних претпоставки и остварених резултата приказаних у докторској дисертацији, констатујемо да је кандидат успешно понудио своје оригинално решење дизајна беспилотне летелице за велике висине на соларни погон. Развијени нумерички модели, оптимизациони поступци и експерименталне процедуре имају велику примену у области пројектовања беспилотних платформи за велике висине, како у целости тако и њихових појединачних подсистема.

Комисија констатује да су научни доприноси остварени током израде докторске дисертације објављени у међународним научним часописима категорије M23, као и у зборницима међународних и националних научних скупова.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Списак радова и излагања на научним скуповима који су резултат истраживања у оквиру докторске дисертације дат је у наставку.

##### Категорија M23:

1. **Hasan M.S.**, Svorcan J., Simonović A., Mirkov N., Kostić O.: Optimal airfoil design and wing analysis for solar-powered high-altitude platform station, – *Thermal Science*, OnLine-First, 2021 (**IF2020=1.625**) (ISSN 0354-9836) (<https://doi.org/10.2298/TSCI210419241S>).
2. Kovačević, A., Svorcan, J., **Hasan, M.S.**, Ivanov, T., Jovanović, M.: Optimal propeller blade design, computation, manufacturing and experimental testing. – *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, vol. 93, no. 8, pp. 1323-1332, 2021 (**IF2020=0.975**) (ISSN 1748-8842) (<https://doi.org/10.1108/AEAT-03-2021-0091>).
3. Svorcan, J., Peković, O., Simonović, A., Tanović, D., **Hasan, M.S.**: Design of optimal flow concentrator for vertical-axis wind turbines using computational fluid dynamics, artificial neural networks and genetic algorithm, – *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 13, no. 3, 2021 (**IF2020=1.316**) (ISSN 1687-8132, 1687-8140) (<https://doi.org/10.1177/16878140211009009>).
4. **Hasan, M.S.**, Ivanov, T., Vorkapic, M., Simonovic, A., Daou, D., Kovacevic, A., Milovanovic, A.: Impact of Aging Effect and Heat Treatment on the Tensile Properties of PLA (Poly Lactic Acid) Printed Parts, – *Materiale Plastice*, vol. 57, no. 3, pp. 147-159, 2020 (**IF2020=0.593**) (ISSN 0025-5289, 2668-8220) (<https://doi.org/10.37358/MP.20.3.5389>).

##### Категорија M24:

5. Svorcan, J., Kovačević, A., Tanović, D., **Hasan, M.S.**: Towards viable flow simulations of small-scale rotors and blade segments, – *Theoretical and Applied Mechanics*, vol. 48, no. 2, pp. 143-157, 2021 (ISSN 1450-5584) (<https://doi.org/10.2298/TAM211011008S>).

##### Категорија M33:

6. Svorcan, J., **Hasan, M.S.**, Kovačević, A., Ivanov, T.: “Design of HALE Propeller through Multi-objective Optimization,” – *Proceedings of the AIAA Propulsion and Energy 2021 Forum*, virtual event, USA, 2021 (<https://doi.org/10.2514/6.2021-3730>).
7. Svorcan, J., **Hasan, M.S.**, Tanović, D., Popović, L.: “Simulating transitional and turbulent flow around airfoils at medium angles-of-attack,” – *Proceedings of the 8th International Congress of Serbian Society of Mechanics*, Kragujevac, Serbia, 2021, pp. 519-526.
8. **Hasan, M.S.**, Svorcan, J., Tanovic, D., Baş, G., Durakbasa, N.M.: “Conceptual Design and Fluid Structure Interaction Analysis of a Solar Powered High-Altitude Pseudo-Satellite (HAPS) UAV Wing Model,” – *Proceedings of the International Symposium for Production Research (ISPR 2020)*, Antalya, Turkey, 2020, pp. 93-105.

9. Svorcan, J., **Hasan, M.S.**, Kovacevic, A., Ivanov, T.: "Design of the Optimal Airfoil Blade of a Small-Scale Multi-Rotor VTOL UAV," – *Proceedings of the International Symposium on Electric Aviation & Autonomous Systems (ISEAS-2020)*, Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 52-55.
10. **Hasan, M.S.**, Ivanov, T., Tanovic, D., Simonovic, A., Vorkapic, M.: "Dimensional accuracy and experimental investigation on tensile behavior of various 3D printed materials," – *Proceedings of the 9th International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH 2020*, Belgrade, Serbia, 2020, pp. 400-406.
11. Baltic, M., **Hasan, M.S.**, Daou, D., Milovanovic, A., Kovacevic, A., Milosevic, M.: "Investigation of mechanical characteristics of composite plates under tensile loading," – *Proceedings of the XXXV International Conference ENERGETIKA 2020*, Zlatibor, Serbia, 2020, pp. 1-6.
12. **Hasan, M.S.**, Svorcan, J., Simonovic, A., Daou, D., Peric, B.: "CFD Analysis of a High-Altitude Long Endurance UAV Wing," – *Proceedings of the 7th International Congress of Serbian Society of Mechanics*, Sremski Karlovci, Serbia, 2019, pp. 1-9.
13. **Hasan, M.S.**, Svorcan, J., Kostic, I., Simonovic, A., Kostic, S., Ivanov, T.: "Preliminary Aerodynamic Performance Estimation of HALE UAV Wings," – *Proceedings of the 8th International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH 2018*, Belgrade, Serbia, 2018, pp. 39-43.

#### Категорија M34:

14. Svorcan, J., Kovačević, A., **Hasan, M.S.**: "Structural analysis of small-scale composite propeller blade," – *Book of Abstracts of the International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies CNN TECH*, Zlatibor, Serbia, 2021, pp. 63.
15. **Hasan, M.S.**, Tanović, D., Vorkapić, M.: "Tensile Behavior of Different Commercial Filaments Used in 3D Printed Parts," – *Book of Abstracts of the International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies (CNN Tech 2020)*, Zlatibor, Serbia, 2020, pp. 52.
16. Baltic, M., **Hasan, M.S.**, Milovanovic, A.: "Experimental Investigation of Mechanical Characteristics of Composite Plates Under Tensile Loading," – *Book of Abstracts of the International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies (CNN Tech 2020)*, Zlatibor, Serbia, 2020, pp. 53.

#### Категорија M51:

17. Svorcan, J., **Hasan, M.S.**, Baltic, M., Simonovic, A.: Optimal propeller design for future HALE UAV, – *Scientific Technical Review*, vol. 69, no. 2, 2019, pp. 25-31.

#### Категорија M63:

18. **Hasan, M.S.**, Ivanov, T., Simonovic, A., Baltic, M., Svorcan, J.: "Experimental Investigation of 3D Printed Parts by Using Digital Image Correlation," – *Proceedings of the 41st JUPITER conference with foreign participants*, Belgrade, Serbia, 2018, pp. 3.8-3.13.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације и горе изнетог, имајући у виду квалитет и научни допринос дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану ове докторске дисертације закључује да је кандидат **Mohammad Sakib Hasan, маг. инж. маш.** успешно завршио докторску дисертацију под називом: „**Analysis, modeling and optimization of solar-powered high-altitude platform-station (HAPS)**” („Анализа, моделирање и оптимизација беспилотне летелице за велике висине на соларни погон”). Комисија закључује да дисертација представља значајан и оригиналан научни рад са научним доприносом у научној области: машинство, и ужој научној области: ваздухопловство.

Комисија закључује да је докторска дисертација урађена сходно стандардима научно-истраживачког рада, да испуњава све услове и да је у складу је са Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Универзитета у Београду – Машинског факултета.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да овај реферат прихвати, да дисертацију стави на увид јавности, да реферат упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да се након завршених процедура, кандидат **Mohammad Sakib Hasan, маг. инж. маш.** позове на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом овом саставу.

Београд, 28.12.2021. године

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....  
Проф. др Александар Бенгин,  
Универзитет у Београду – Машински факултет

.....  
Проф. др Александар Симоновић,  
Универзитет у Београду – Машински факултет

.....  
Ван. проф. др Огњен Пековић,  
Универзитет у Београду – Машински факултет

.....  
Доц. др Тони Иванов,  
Универзитет у Београду – Машински факултет

.....  
Др Никола Мирков,  
Научни сарадник, Институт за нуклеарне науке Винча

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –  
Број: 40/2  
Датум: 13.01.2022. 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 13.01.2022. године, донело је

## ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ANALYSIS, MODELING AND OPTIMIZATION OF SOLAR-POWERED HIGH-ALTITUDE PLATFORM-STATION (HAPS) (АНАЛИЗА, МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА БЕСПИЛОТНЕ ЛЕТЕЛИЦЕ ЗА ВЕЛИКЕ ВИСИНЕ НА СОЛАРНИ ПОГОН)“** студента **МОHAMMAD SAKIB HASAN**, маг. инж. маш.

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

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-2640/2-21, од 30.06.2021. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

Категорија M23:

1. **Hasan M.S.**, Svorcan J., Simonović A., Mirkov N., Kostić O.: Optimal airfoil design and wing analysis for solar-powered high-altitude platform station, – *Thermal Science*, OnLine-First, 2021 (IF2020=1.625) (ISSN 0354-9836) (<https://doi.org/10.2298/TSCI210419241S>).
2. Kovačević, A., Svorcan, J., Hasan, M.S., Ivanov, T., Jovanović, M.: Optimal propeller blade design, computation, manufacturing and experimental testing. – *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, vol. 93, no. 8, pp. 1323-1332, 2021 (IF2020=0.975) (ISSN 1748-8842) (<https://doi.org/10.1108/AEAT-03-2021-0091>).
3. Svorcan, J., Peković, O., Simonović, A., Tanović, D., Hasan, M.S.: Design of optimal flow concentrator for vertical-axis wind turbines using computational fluid dynamics, artificial neural networks and genetic algorithm, – *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 13, no. 3, 2021 (IF2020=1.316) (ISSN 1687-8132, 1687-8140) (<https://doi.org/10.1177/16878140211009009>).
4. Hasan, M.S., Ivanov, T., Vorkapic, M., Simonovic, A., Daou, D., Kovacevic, A., Milovanovic, A.: Impact of Aging Effect and Heat Treatment on the Tensile Properties of PLA (Poly Lactic Acid) Printed Parts, – *Materiale Plastice*, vol. 57, no. 3, pp. 147-159, 2020 (IF2020=0.593) (ISSN 0025-5289, 2668-8220) (<https://doi.org/10.37358/MP.20.3.5389>).

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

ДЕКАН  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић