

Образац 3.

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

1212/5
(Број захтева)

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

19.09.2019.
(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:

„ОПТИМИЗАЦИЈА КОМПОЗИТНЕ ЛОПАТИЦЕ ВЕТРОТУРБИНЕ СА
ХОРИЗОНТАЛНОМ ОСОВИНОМ НА ОСНОВУ АНАЛИЗЕ ИНТЕРАКЦИЈЕ ФЛУИДА И
СТРУКТУРЕ (OPTIMIZATION OF COMPOSITE HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE BLADE ON
THE BASIS OF FLUID-STRUCTURE INTERACTION ANALYSIS)“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Ваздухопловство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

- Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:
Mohamed Abduljawad Higaeg
- Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):
Магистарске студије на Tabbin Institute for
Metallurgical Studies, Cairo - Egipt
- Година завршетка
претходног нивоа студија: 2005.
- Година уписа на докторске студије: 2016.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Машинско инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: _____ Александар Грбовић _____

Звање: _____ Ванредни професор _____

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. 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 . ISSN: 1350-6307 СЦИ индекс 2,203
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, ISSN: 1580-2949 СЦИ индекс: 0,714
3. Todorovic Aleksandar J, Radovic Katarina, Grbovic Aleksandar M, Rudolf Rebeka, Maksimovic Ivana V, Stamenkovic Dragoslav, Stress Analysis Of A Unilateral Complex Partial Denture Using The Finite-element Method, MATERIALI IN TEHNOLOGIJE, (2010), vol. 44 br. 1, str. 41-47 ISSN: 1580-2949 СЦИ индекс: 0,714
4. Radovic Katarina, Cairovic Aleksandra, Todorovic Aleksandar J, Stancic Ivica, Grbovic Aleksandar M, Comparative Analysis of Unilateral Removable Partial Denture and Classical Removable Partial Denture by Using Finite Element Method, SRPSKI ARHIV ZA CELOKUPNO LEKARSTVO, (2010), vol. 138 br. 11-12, str. 706-713 ISSN: 0370-8179 СЦИ индекс: 0,299
5. 1. Patrnogić V., Todorović A., Šćepanović M., Radović K., Vesnić J., Grbović A., THE FREE-END SADDLE LENGTH INFLUENCE ON STRESS LEVEL IN UNILATERAL COMPLEX PARTIAL DENTURE ABUTMENT TEETH AND RETENTION ELEMENTS, Vojnosanitetski pregled, vol. 70, br. 11, str. 1015-1022, (2013). ISSN: 0042-8450 СЦИ индекс 0,272
6. Popovic Vladimir M, Vasic Branko M, Lazovic Tatjana M, Grbovic Aleksandar M, Application of New Decision Making Model Based on Modified Cost-Benefit Analysis - a Case Study: Belgrade Tramway Transit, ASIA-PACIFIC JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, (2012), vol. 29 br. 6, ISSN:0217-5959 СЦИ индекс: 0,561

Наставно – научно веће

Обавештавамо вас да је _____

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 19.09.2019. 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: 1212/4
Датум: 19.09.2019. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Mohamed Abduljawad Higaeg**, магист. инж. маш., бр. 1212/1 од 28.06.2019. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Александар Симоновић, ред. проф., др Игор Балаћ, ред. проф. и др Нина Обрадовић, научни саветник, Институт техничких наука САНУ, број 1212/3 од 19.09.2019. 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 19.09.2019. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **Mohamed Abduljawad Higaeg**, магист. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«ОПТИМИЗАЦИЈА КОМПОЗИТНЕ ЛОПАТИЦЕ ВЕТРОТУРБИНЕ СА ХОРИЗОНТАЛНОМ ОСОВИНОМ НА ОСНОВУ АНАЛИЗЕ ИНТЕРАКЦИЈЕ ФЛУИДА И СТРУКТУРЕ (OPTIMIZATION OF COMPOSITE HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE BLADE ON THE BASIS OF FLUID-STRUCTURE INTERACTION ANALYSIS)»**.

Одлуком ННВ број 1212/2, од 28.09.2019. године за ментора докторске дисертације **Mohamed Abduljawad Higaeg**, магист. инж. маш. именован је др Александар Грбовић, ванр. 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 **Мохамеда Абдулјавада Хигаега** (Mohamed Abduljawad Higaeg), магст. инж. маш. за израду докторске дисертације

Одлуком Научно-наставног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 1212/2 од 28.08.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Мохамеда Абдулјавада Хигаега** (Mohamed Abduljawad Higaeg), магст. инж. маш. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме: **ОПТИМИЗАЦИЈА КОМПОЗИТНЕ ЛОПАТИЦЕ ВЕТРОТУРБИНЕ СА ХОРИЗОНТАЛНОМ ОСОВИНОМ НА ОСНОВУ АНАЛИЗЕ ИНТЕРАКЦИЈЕ ФЛУИДА И СТРУКТУРЕ (OPTIMIZATION OF COMPOSITE HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE BLADE ON THE BASIS OF FLUID-STRUCTURE INTERACTION ANALYSIS).**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Мохамед Абдулјавад Хигаег (Mohamed Abduljawad Higaeg) је рођен 10.01.1966. у Мисурати (Misurata) у Либији, где је завршио основну и средњу школу у периоду 1972-1985. Школске 1985/86 уписао је, а 1990. године завршио мастер студије на Машинском факултету у Бенгазију, Либија (Benghazi University, Faculty of Engineering, Mechanical Dept. Libya), да би магистарске студије уписао 2002. и исте завршио 2005. на Tabbin Institute for Metallurgical Studies, Cairo – Egypt. Мохамед Абдулјавад Хигаег поседује вишегодишње радно искуство. У периоду од 1990. године до 1993. године био је запослен као машински инжењер у Министарству индустрије са седиштем у Мисурати, потом је од 1993. до 2006. радио у Organization of Development Administrative Center (ODAC) у Сирту (Либија), да би потом прешао на Колеџ техничких наука у Мисурати (Technical Sciences College, Misurata-Libya) где и данас ради као предавач. Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписује школске 2016. године.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Мохамед Абдулјавад Хигаег уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2016/17. године, да би наредне

школске године уписао другу годину студија. У складу са Планом усавршавања положио је следеће испите:

Р. бр.	Назив предмета	Предметни наставник	Оцена
1	Напредне нумеричке методе	Проф. Др Златко Петровић	10 (десет)
2	Методологија истраживања и развоја	Проф. Др Златко Петровић	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	Пројектовање помоћу рачунара	Проф. Др Александар Грбовић	10 (десет)
8	Примена механике лома на интегритет структура	Проф. Др Александар Седмак	10 (десет)
9	Метода коначних елемената у примени	Проф. Др Александар Грбовић	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 Игор Балаћ	10 (десет)
13	Истраживање и публиковање 4	Проф. Др Игор Балаћ	10 (десет)
14	Пројекат идеје докторске дисертације	Проф. Др Игор Балаћ	10 (десет)

Током похађања докторских студија Мохамед Абдулјавад Хигаег 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: професор др Игор Балаћ, професор др Александар Симоновић и научни саветник др Нина Обрадовић, Институт техничких наука САНУ, чиме је стекао још **22 ЕСПБ**. Поред тога, истраживачким радом евалуираним кроз предмете Истраживање и публиковање 1-4 кандидат је стекао још **53 ЕСПБ**, тако да је – у складу са правилником о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду – Мохамед Абдулјавад Хигаег остварио укупно **120 ЕСПБ** уз просечну оцену од 10,00.

Као резултат истраживања кандидат је написао 2 рада који су тренутно на рецензијама у релевантним међународним часописима.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Током својих досадашњих активности Мохамед Абдулјавад Хигаег, маст. инж. маш. је испољио нарочиту склоност и велико интересовање за научно истраживачки рад.

Целокупним својим ангажовањем и радовима који су пред публиковањем у међународним часописима доказао је своју способност за успешно бављење теоријским и експерименталним истраживањима.

Истраживања кандидата и радови које је написао припадају ужој научној области ваздухопловство, и то проблематици спрегнутих аеродинамичко-структуралних анализа које су у потпуности повезане са научном облашћу којој припада предложена тема докторске дисертације.

Досадашње активности и истраживања, као и исказани смисао за научно истраживачки рад, квалификују кандидата Мохамеда Абдулјавада Хигаега за успешан и ефикасан самосталан рад на предложеној докторској дисертацији.

2. Предмет и циљ истраживања

Последњих година дошло је до значајног глобалног пораста потреба за коришћењем чистих, обновљивих извора енергије, међу којима је ветар, можда, и „најобећавајући“ извор. Енергија ветра се претвара у снагу коришћењем лопатица ротора турбине, па се овим елементима посвећује највећа пажња при пројектовању модерних ветротурбина. Ефикасност лопатица ротора ветротурбине зависи од три фактора: облика лопатице, материјала од ког је израђена и нападног угла под којим је постављена у односу на струјнице флуида (ветра). Међу најважнијим факторима који доводе до потпуног отказа лопатице ветротурбине јесте концентрација напона на структури као резултат њене интеракције са флуидом и начина везивања са осталим елементима ветротурбине. Стога је дизајнирање засновано на оптимизацији структуре, праћено нумеричким предвиђањем понашања лопатице ветроагрегата у раду и њеном верификацијом много пре него што је она и израђена, данас можда и најважнија фаза у пројектовању ових енергетских система, са одлучујућим утицајем на ефикасност и дуговечност ветротурбина.

Захтеви који се пред пројектанте лопатица ветротурбина постављају, могу се сумирати на следећи начин:

1. Висока чврстоћа (лопатице морају издржати гравитационо оптерећење комбиновано са ударима ветрова до максимално 20 м/с);
2. Висока поузданост и отпорност на замор (тражи се стабилно функционисање и рад дуже од 20 година);
3. Што је могуће мања маса (да би се смањило оптерећење носећих стубова);
4. Висока крутост (која ће обезбедити одржавање оптималног аеродинамичког облика и пројектованог размака између лопатице и носећег стуба током радног века).

Сви претходно побројани захтеви доводе до тога да је – када је у питању израда композитних лопатица – потребно: 1) осмислити најефикаснији дизајн са аеродинамичког аспекта, 2) дефинисати оптималан материјал лопатица, 3) дефинисати нумерички модел лопатице и спровести прорачуне чврстоће за претпостављене радне услове, 4) спровести тестирања да би се верификовали прорачуни и утврдило како ће лопатица носити аеродинамично оптерећење и инерциона оптерећења током радног века и, коначно, 5) осмислити ефикасну производњу алата за израду лопатица. Без дилеме, резултати процеса пројектовања и оптимизације лопатице су међу одлучујућим утицајима на укупне перформансе ветротурбина током експлоатације.

Као што је познато, композити ојачани дугачким влакнима – тзв. ламинати – су значајно лакши од стандардних хомогених изотропних материјала (метала). Међутим, структура им је далеко сложенија и њихова анизотропија захтева другачији приступ пројектовању делова и склопова. Дизајн композитне конструкције значи дизајнирање структуре истовремено са материјалом што је основна разлика у односу на пројектовање металних структура. Стога је потребно имати детаљан увид у везе између процеса

пројектовања облика структуре, дефинисања особина композитних материјала и испитивања пројектованог материјала, да би се изабрала најефикаснија методологија пројектовања композитне лопатице, узимањем у обзир инхерентне варијабилности материјала. Грешке и недостаци у дизајну композитних лопатица ветрогенератора су далеко чешћи у почетним него каснијим фазама пројектовања. Оне се најчешће идентификују нумеричком анализом применом методе коначних елемената.

Метода коначних елемената (МКЕ) се интензивно последње две деценије користи за процену чврстоће и издржљивости ламината. Временом, предложене су бројне методологије (засноване на микромеханици композита) за предвиђање крутости, чврстоће и замора композита које су дефинисале рачунарски оквир за прорачун базиран на механичким својствима појединачних елемената композитног материјала. Након утврђивања прелиминарне структуре лопатице ветрогенератора, заједно са материјалом од којег ће бити израђена, нумеричким методама се процењује чврстоћа, стабилност и осетљивост на вибрације.

Оптимизација масе следећи је корак, при том и један од најважнијих задатака приликом дефинисања коначног облика лопатице. Лакше лопатице не само да мање оптерећују остале компоненте ветрогенератора, већ и повећавају ефикасност целог система. Анализом литературе уочено је да тренутно коришћене методологије пројектовања и анализе лопатица резултирају распоредом материјала на начин који доводи до релативно високе дебљине компоненти и тиме високе масе лопатице, што води повећању оптерећења структуре током експлоатације. Постоји велики потенцијал за смањење количине материјала потребног за израду лопатица, али да би се то реализовало потребно је: 1) познавати расподелу притисака по лопатици услед опструјавања флуида током времена за различите вредности брзина флуида и 2) правилно дефинисати оријентацију носећих влакана у слојевима композита и број потребних слојева у ламинатама да би лопатица носила оптерећење у смислу највеће ефикасности, без ризика од појаве оштећења током предвиђеног периода експлоатације. Стога, дефинисање методологије структурне оптимизације са циљем смањења масе лопатице представља важно питање вредно даљег истраживања.

На основу претходно изложеног, а заснованог на увиду у доступну литературу, може се закључити да потреба за оптимизованим композитним лопатицама у свету расте па не чуди велики број публикованих радова на ову и сродне теме. Међутим, мало је пажње посвећено дизајнирању и оптимизацији композитних лопатица са аспекта анализе интеракције флуида и структуре лопатице током реалног времена. Разлог за то је вероватно комплексност мултидисциплинарних нумеричких симулација које се морају спровести, а које траже познавање: аеродинамике, структуралне анализе, микромеханике композита и знања из пројектовања сложених тродимензионалних облика. У сврху добијања лопатице минималне масе која ће омогућити ефикасан рад ветрогенератора под дефинисаним радним условима током предвиђеног радног века, за предмет проучавања ове дисертације изабрана оптимизација композитне лопатице ветротурбине са хоризонталном осовином на основу анализе интеракције флуида и структуре. У циљу остварења овако постављеног задатка, прво ће у докторској тези бити дат детаљан преглед веза између процеса пројектовања структуре, дефинисања композитних материјала и њиховог експерименталног испитивања, а у сврху одређивања најефикасније методологије оптимизовања композитне лопатице. Метода коначних елемената биће, потом, искоришћена за одређивање механичких карактеристика ламината који ће бити коришћени као основни материјал у иницијалним прорачунима, а након дефинисања прелиминарног облика лопатице униформне дебљине нумерички ће бити процењена њена чврстоћа и еластичност за случај опструјавања ваздуха пројектоване радне брзине (квази-транзиентна анализа). Карактеристике ламината добијене помоћу МКЕ биће упоређене са подацима из литературе и/или вредностима добијеним експериментално у сврху верификације самог нумеричког прорачуна механичких карактеристика. Поред тога, применом МКЕ процениће се и утицај порозности (као последице несавршености

технологије добијања композита) на механичке карактеристике ламината, као и на понашање лопатице током експлоатације.

Следећа фаза у раду на тези биће спровођење нумеричке анализе на бази интеракције флуида и структуре на одређеном, унапред дефинисаном временском домену. Оваква анализа подразумева коришћење тзв. спрегнутих прорачуна где се аеродинамичке вредности (притисци, силе узгона и отпора, итд.) добијене коришћењем прорачунске динамике флуида (ПДФ) спрежу са резултатима структурних анализа применом МКЕ на целом усвојеном временском домену. Тако се расподела притиска по лопатици добијена за почетне услове (дефинисана брзина ветра) користи за одређивање деформационо-напонског стања лопатице, да би се затим еластично деформисана лопатица „вратила“ у ПДФ анализу са циљем одређивања нове расподеле притисака по њој (која је резултат промене облика и положаја струјница), и тако изнова на целом временском домену. На овај начин је могуће добити информацију о понашању лопатице под оптерећењем током времена и анализирати прорачунско напонско и деформационо стање које далеко више одговара стању стварне лопатице него оно које је резултат класичне статичке структурне анализе. Једино оваквом нумеричком симулацијом се може посматрати интеракција флуида и структуре током времена и открити напони и деформације невидљиви у случају статичке анализе када се, де факто, посматра један „замрзнут“ временски тренутак.

Имајући у виду да спрегнуте анализе нису једноставне за примену јер за пренос аеродинамичких оптерећења из софтверског кода за ПДФ (FLUENT) у софтвер за структурну анализу (ANSYS Workbench) неопходно је „мапирати“ површине у контакту флуида и структуре, тј. пренос оптерећења се мора извршити из чворова мреже флуида на чворове мреже структуре у контакту са флуидом, што захтева високу прецизност у дефинисању елемената обеју мрежа. Тако се сваки корак прорачуна одвија се са новонасталим мрежама (и флуида и структуре), па су симулације захтевне не само у погледу прецизног дефинисања свих улазних параметара (један погрешан је довољан да „сруши“ цео прорачун), већ и у погледу хардвера неопходног да изнесе целу симулацију. Комплексности целе процедуре доприноси и чињеница да материјал лопатице није изотропан већ анизотропан, па је у целу анализу неопходно увести и област механике композитних материјала. Новодефинисана методологија прорачуна и оптимизације композитних лопатица, за коју се очекује да буде један од главних резултата тезе, мора да буде релативно једноставна да би била применљива и на другим композитним моделима, а истовремено и задовољавајуће тачна у давању вредности напона и деформација у сваком слоју ламината.

Да би се остварио главни циљ тезе: добијања оптималне композитне лопатице минималне масе, спрегнуте анализе ће бити поново коришћене да се испитају разне комбинације оријентације влакана у композиту који ће чинити ламинате и, коначно, нађе она оптимална која ће задовољити све пројектоване радне услове (пре свега максимално дозвољену вредност еластичне деформације у случају екстремно брзог ветра). У сврху верификације предложене методологије засноване на анализи интеракције флуида и структуре током времена, на тродимензионалном штампачу ће бити израђен модел лопатице у погодној размери који ће потом бити испитан у аеро-тунелу. С обзиром на високу цену израде композитних лопатица, овај модел ће бити израђен од ABS пластике и експерименталне вредности добијене за њега биће поређене са одговарајућим вредностима нумеричког модела од истог материјала.

Очекује се и да ће дисертација допринети даљем унапређењу пројектовања тродимензионалних композитних структура сличних облика и намена, у смислу да ће и друге структуре бити могуће оптимизовати коришћењем спрегнутих нумеричких анализа из ове тезе, са проучавањем (или без проучавања) интеракције флуида и структуре на дефинисаном временском домену.

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе, до којих се дошло на основу прегледа литературе и досадашњег искуства, јесу:

1. Интеракција флуида и структуре коју флуид опструјава у великој мери утиче на њено понашање током експлоатације, што је у великој мери предмет проучавања Теорије аероеластичности. Захтевано аероеластично понашање композитне лопатице полако постаје главни циљ при пројектовању ветрогенератора, јер аеродинамично оптерећење (заједно са механичким карактеристикама лопатице) одређује њен деформисан облик, тј. положај лопатице према струји флуида. На тај начин се мења нападни угао у односу на флуид што доводи до стварања новог струјног поља. Нумеричке анализе коришћене до сада, у којима се посматра издвојени тренутак времена са „замрзнутом“ сликом струјног поља око композитне лопатице, не могу да дају слику аероеластичног понашања, нити могу да дају одговор на питање како се мења ефикасност лопатице са променом струјног поља у реалном времену. Ове аероеластичне појаве код лопатица ветрогенератора нису биле предмет свеобухватних нумеричких анализа у прошлости, па је њихово понашање, нарочито при већим брзинама ветра, углавном непознаница.

2. Експериментална истраживања у аеротунелима могу прилично верно да симулирају реалне услове експлоатације лопатица и идентификују аероеластичне проблеме, али захтевају огромне ресурсе у смислу времена и новца. Са друге стране, показало се да нумеричке методе могу доста успешно да симулирају како експерименталне, тако и реалне услове експлоатације. У конкретном случају, претпоставка је да се интеракција флуида и структуре композитне лопатице може анализирати са задовољавајућом тачношћу применом методе коначних елемената и спрезањем CFD (прорачунска динамика флуида) и структурне анализе у оквиру програма ANSYS Workbench.

4. Научне методе истраживања

За потребе овог истраживања предлажу се следећи приступ и методологија:

1. Детаљни преглед литературе и анализа постојећих приступа одређивању оптималног облика лопатице ветрогенератора.

2. Верификација и потврда резултата добијених коришћењем спрегнутих прорачуна поређењем са резултатима доступним у литератури, као и са резултатима добијеним експерименталним методама.

3. Експерименталне анализе и верификација предложене методологије путем израде умањеног модела лопатице од ABS пластике коришћењем 3Д штампе.

4. Анализа добијених вредности и оптимизација модела лопатице ради остваривања минималне масе.

Ове методе имаће за циљ развијање релативно брзе и ефикасне методологије опонашања реалних носећих структура у радним условима које карактерише постојање значајних аероеластичних ефеката.

5. Очекивани научни допринос

Током рада на тези очекује се следећи научни допринос:

1. Оптимизовање облика и масе композитне лопатице ветротурбине на основу анализе интеракције флуида и структуре на дефинисаном временском домену, коришћењем резултата повратно спрегнутих нумеричких анализа са циљем побољшања ефикасности самог ветрогенератора.

2. Одређивање утицаја порозности, као последице несавршености технологије производње композита, на крутост и чврстоћу ламината од кога је направљена лопатица ветротурбине.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање ће се спровести по следећем плану:

1. Прво ће бити дат детаљан преглед литературе везане за претходна истраживања у предметној области/областима.

2. Потом ће се приступити проучавању аеродинамичких фактора (утицаја) од којих зависи избор аеропрофила лопатице. Сама лопатица ће бити пројектована коришћењем ВЕМ (енг. *blade element momentum*) теорије, где ће се дужина тетиве одређеног пресека рачунати помоћу тзв. Бецове (Betz) границе. Основна идеја је да се дуж распона користе три типа аеропрофила (S821, S819 и S820) који ће се употребом софтвера CATIA v5 „инкорпорирати“ у геометрију лопатице.

3. У наставку истраживања приступиће се изради нумеричких модела неопходних за спровођење спрегнутих прорачуна. Биће потребно направити два нумеричка модела, један за ПДФ анализе у модулу *Fluent* и други за структуралне анализе у модулу *Structural Analysis* програма ANSYS Workbench, да би се израчунате аеродинамичке вредности (притисци, силе и отпори) добијене коришћењем ПДФ могле спрегнути са резултатима структурних анализа применом МКЕ на дефинисаном временском интервалу, уз истовремено коришћење модула за дефинисање композитног материјала ACP.

4. Након спроведених нумеричких прорачуна за различите претпостављене брзине струјања флуида (у распону од 5 m/s до 20 m/s), у којима ће у првој итерацији лопатица бити константне дебљине, анализираће се њено понашање током дефинисаног временског интервала и посматрати аероеластични ефекти. Анализираће се и вредности напона који се током времена јављају у сврху идентификовања максималне вредности која ће касније послужити као критеријум за оптимизацију геометрије. Верификација саме методологије извршиће се поређењем са експериментално добијеним вредностима.

5. У следећој фази ће се приступити дефинисању композитног материјала (тј. избору матрице, одређивању оријентације влакана, оптималног броја слојева, итд.) да би – за прорачунате максималне напоне – еластична деформација током времена била мања или једнака прописаној (до 1% дужине лопатице), али и да би се добио добар „одзив“ структуре на утицај флуида, односно обезбедила висока ефикасност лопатице током експлоатације.

6. Анализираће се и утицај порозности на механичке особине дефинисаног материјала лопатице коришћењем посебног нумеричког модела развијеног само за ту сврху.

Предлог је да теза буде организована на следећи начин: **Прво поглавље** би – уз обавезан преглед литературе – садржало и основе теорије пројектовања лопатица, преглед постојећих метода оптимизације елемената структуре ветрогенератора и, коначно, циљеве и структуру саме тезе. **Поглавље два** би донело детаљни приказ математичких алата и теорија на којима су засновани нумерички прорачуни чији ће резултати чинити основу за оцену чврстоће и аероеластичног понашања пројектоване композитне лопатице. У **трећем поглављу** било би представљено пројектовање саме лопатице, уз приказ метода пројектовања композитног материјала, тј. одређивања његових механичких карактеристика за случај када нема порозитета и у случају када је порозитет присутан. **Четврто поглавље** би детаљно представило развијене нумеричке моделе, заједно са резултатима спрегнутих ПДФ и структуралних анализа у програму ANSYS Workbench, док би **пето поглавље** донело приказ оптимизованог модела лопатице, анализу добрих и лоших страна предложене методологије, као и поређење са експерименталним резултатима. **Шесто поглавље** би донело закључке, коначну дискусију и предлоге за даља истраживања.

Литература

- [1] R.S. Amano; Ryanj. Malloy; Ammar Al Khalidi. "Improvement of Wind Turbine Blade Aerodynamics." Nuclear Renewable Energy Conference. No: 11292854, DOI: 10. 1109/INREC. 5462581, 2010.
- [2] Pabut, O., et al. "Model validation and structural analysis of a small wind turbine blade." *8th International DAAAM Baltic Conference, Tallinn, Estonia*, 2012.
- [3] Meenakshi, C. M., and A. Krishnamoorthy. "Design and Material Optimization of 1.5 MW Horizontal Axis Wind Turbine Blades with Natural Fiber Reinforced composites using Finite Element Method.", 2017.
- [4] Cai, Xin, et al. "Structural optimization design of horizontal-axis wind turbine blades using a particle swarm optimization algorithm and finite element method." *Energies* 5.11, pp. 4683-4696, 2012.
- [5] Bouvet, Christophe. *Mechanics of Aeronautical Composite Materials*. John Wiley & Sons, 2017.
- [6] Ghulam Mustafa, High Fidelity Micromechanics-Based Statistical Analysis of Composite Material Properties, PhD dissertation.
- [7] Kroll, Norbert, et al. "Fluid-structure coupling for aerodynamic analysis and design: a DLR perspective.", 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 2008.
- [8] Hamdoon, Farouk O., Mohammed I. Abu-Tabikh, and Mauwafak A. Tawfik. "Aeroelastic Behavior of a Wind Turbine Blade by a Fluid-Structure Interaction Analysis." *Al-Khwarizmi Engineering Journal* 9.3, pp. 15-25, 2013.
- [9] Ageze, Mesfin Belayneh, Yefa Hu, and Huachun Wu. "Wind Turbine Aeroelastic Modeling: Basics and Cutting Edge Trends." *International Journal of Aerospace Engineering* 2017 (2017).
- [10] Peter J. Schubel, Richard J. Crossley, "Wind Turbine Blade Design", *Energies*, Vol. 5, pp. 3425-3449, 2012.

Наведени радови (само део коришћене литературе) били су од користи у свим фазама дефинисања области рада и циљева дисертације. Ови радови су карактеристични за проблематику која се анализира и надаље ће бити кратко коментарисани са основним резултатима.

Највећи број наведених радова бави се унапређењем облика (геометрије) лопатица ветротурбина. У [1] је пажња поклоњена оптимизацији лопатица и њиховом прилагођавању ветру малих брзина са закључком да витоперење краја лопатице има могућност повећања обртног момента за извесне брзине ветра. Коришћење поједностављене методе коначних елеманата са валидацијом за лопатицу турбине од композита (фиберглас) разматрано је у [2]. Могућност примене природних влакана у композиту и њихов утицај на тежину, статичке и динамичке перформансе лопатице су разматране у [3].

Могућност оптимизације постојеће комерцијалне ветротурбине са хоризонталном осом снаге 1,5MW је приказана у [4]. Релевантна уџбеничка литература која се бави проблематиком композитних материјала је наведена под [5]. У истраживању [6] је пажња положена развоју методологије засноване на микромеханици композита у сврху предвиђања крутости, чврстоће и заморног понашања композита. Унапређење аеродинамичких карактеристика конструкција коришћењем спрегнутих нумеричких анализа је у [7] и [8] истражено симулацијом различитих аероеластичних ефеката за стационарне и нестационарне проблеме.

У [9] је симулиран утицај једносмерне и двосмерне интеракције флуида и структуре лопатице турбине на расподелу притиска по њој и отклон њеног краја. Детаљан преглед проблематике дизајнирања лопатица ветрогенератора са препорукама избора аеропрофила, оптималних нападних углова, материјала, итд. је приказан у [10].

7. Закључак и предлог

На основу изложене анализе пријаве теме докторске дисертације кандидата **Мохамеда Абдулјавада Хигаега** (Mohamed Abduljawad Higaeg) маг. инж. маш., Комисија за оцену подобности и научне заснованости теме закључује да је предложена тема актуелна и научно заснована. Кандидат Мохамед Абдулјавад Хигаег (Mohamed Abduljawad Higaeg) 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. Мохамеду Абдулјаваду Хигаегу
(Mohamed Abduljawad Higaeg)**

одобри израда докторске дисертације са темом:

ОПТИМИЗАЦИЈА КОМПОЗИТНЕ ЛОПАТИЦЕ ВЕТРОТУРБИНЕ СА ХОРИЗОНТАЛНОМ ОСОВИНОМ НА ОСНОВУ АНАЛИЗЕ ИНТЕРАКЦИЈЕ ФЛУИДА И СТРУКТУРЕ

**(OPTIMIZATION OF COMPOSITE HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE BLADE ON
THE BASIS OF FLUID-STRUCTURE INTERACTION ANALYSIS).**

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, ванредни професор на Катедри за Ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду.

Београд, 16.09.2019.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

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

.....
др Нина Обрадовић, научни саветник
Институт техничких наука САНУ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1212/2
Датум: 28.09.2019.
Београд, Краљице Марије бр.16

На основу члана 64. Статута Машинског факултета Универзитета у Београду број 1450/4 од 14.06.2018. 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 28.09.2019. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Именује се **др Александар Грбовић**, ванредни професор за ментора докторске дисертације **„ОПТИМИЗАЦИЈА КОМПОЗИТНЕ ЛОПАТИЦЕ ВЕТРОТУРБИНЕ СА ХОРИЗОНТАЛНОМ ОСОВИНОМ НА ОСНОВУ АНАЛИЗЕ ИНТЕРАКЦИЈЕ ФЛУИДА И СТРУКТУРЕ (OPTIMIZATION OF COMPOSITE HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE BLADE ON THE BASIS OF FLUID-STRUCTURE INTERACTION ANALYSIS)“** кандидата **MOHAMED HIGAEG**, **маст.инж.маш.**, студента докторских студија.

Одлуку доставити: ментору, докторанту и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић