

Образац 3.

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

1375/6
(Број захтева)

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

21.10.2021.
(Датум)

ЗАХТЕВ

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

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

**„УТИЦАЈ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТАРА НА ЕКСПЛОАТАЦИОНЕ
КАРАКТЕРИСТИКЕ ВИШЕРОТОРНИХ БЕСПИЛОТНИХ ВАЗДУХОПЛОВА СА
ВЕРТИКАЛНИМ ПОЛЕТАЊЕМ И СЛЕТАЊЕМ
INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS ON OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF MULTI-
ROTOR VERTICAL TAKE-OFF AND LANDING (VTOL) UNMANNED AERIAL VEHICLES
(UAVS.)“**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Ваздухопловство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

- Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:
АЛЕКСАНДАР (МИЛОВАН) КОВАЧЕВИЋ
- Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):
Машински факултет Београд
- Година завршетка претходног нивоа студија: 2018.
- Година уписа на докторске студије: 2018.

5. Назив студијског програма Машинско инжењерство
докторских студија: _____

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: _____ Јелена Сворцан _____

Звање: _____ Ванредни професор _____

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Kovačević, A., Svorcan, J., Hasan, M.S., Ivanov, T., Jovanović, M. Optimal propeller blade design, computation, manufacturing and experimental testing. (2021) Aircraft Engineering and Aerospace Technology (ISSN 1748-8842, IF2020 = 0.975), 93 (8), pp. 1323-1332. doi: 10.1108/AEAT-03-2021-0091
2. 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. (2021) Advances in Mechanical Engineering (ISSN 1687-8132, IF2020 = 1.316), 13 (3). doi: 10.1177/16878140211009009
3. Baltić, M., Svorcan, J., Perić, B., Vorkapić, M., Ivanov, T., Peković, O. Comparative numerical and experimental investigation of static and dynamic characteristics of composite plates. (2019) Journal of Mechanical Science and Technology (ISSN 1738-494X, IF2019 = 1.345), 33 (6), pp. 2597-2603. doi: 10.1007/s12206-019-0507-7
4. Svorcan, J., Fotev, V., Petrović, N., Stupar, S. Two-dimensional numerical analysis of active flow control by steady blowing along foil suction side by different URANS turbulence models. (2017) Thermal Science (ISSN 0354- 9836, IF2017 = 1.433), 21, pp. S649-S662. doi: 10.2298/TSCI160126188S
5. Posteljnik, Z., Stupar, S., Svorcan, J., Peković, O., Ivanov, T. Multi-objective design optimization strategies for small-scale vertical-axis wind turbines. (2016) Structural and Multidisciplinary Optimization (ISSN 1615-147X, IF2016 = 2.377), 53(2), pp. 277-290. doi: 10.1007/s00158-015-1329-6

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора _____ Тони Иванов _____

Звање: _____ Доцент _____

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Kovačević, A., Svorcan, J., Hasan, M.S., Ivanov, T., Jovanović, M. Optimal propeller blade design, computation, manufacturing and experimental testing.(2021) Aircraft Engineering and Aerospace Technology (ISSN 1748-8842, IF2020 = 0.975), 93 (8), pp. 1323-1332. doi: 10.1108/AEAT-03-2021-0091
2. 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. (2020) Materiale Plastice (ISSN 2668-8220, IF2020 = 0.593), 57 (3), pp. 147-159. doi: 10.37358/MP.20.3.5389
3. Baltić, M., Svorcan, J., Perić, B., Vorkapić, M., Ivanov, T., Peković, O. Comparative numerical and experimental investigation of static and dynamic characteristics of composite plates. (2019) Journal of Mechanical Science and Technology (ISSN 1738-494X, IF2019 = 1.345), 33 (6), pp. 2597-2603. doi: 10.1007/s12206-019-0507-7
4. Pajčin, M., Simonović, A., Ivanov, T., Komarov, D., Stupar, S. Numerical analysis of a hypersonic turbulent and laminar flow using a commercial CFD solver. (2017) Thermal Science (ISSN 0354-9836, IF2017 = 1.433), 21, pp. S795-S807. doi: 10.2298/TSCI160518198P
5. Ivanov, T., Simonović, A., Petrović, N., Fotev, V., Kostić, I. Influence of selected turbulence model on the optimization of a class-shape transformation parameterized airfoil. (2017) Thermal Science (ISSN 0354-9836, IF2017 = 1.433), 21, pp. S737-S744. doi: 10.2298/TSCI160209194I

Обавештавамо вас да је

Наставно – научно веће

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној 21.10.2021. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Прилог

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

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

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 1375/6
Датум: 21.10.2021. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Александра Ковачевића**, магист. инж. маш., бр. 1375/1 од 23.08.2021. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Александар Симоновић, ред. проф., др Горан Воротовић, ванр. проф., др Огњен Пековић, ванр. проф., др Марија Балтић, научни сарадник, МФ Београд и др Мирослав Јовановић, виши научни сарадник, Технички опитни центар у Београду број 1375/5 од 19.10.2021. године, а на основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 64. Статута Машинског факултета – пречишћени текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 21.10.2021. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **АЛЕКСАНДАР КОВАЧЕВИЋ**, магист. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«УТИЦАЈ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТАРА НА ЕКСПЛОАТАЦИОНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ВИШЕРОТОРНИХ БЕСПИЛОТНИХ ВАЗДУХОПЛОВА СА ВЕРТИКАЛНИМ ПОЛЕТАЊЕМ И СЛЕТАЊЕМ INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS ON OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF MULTI-ROTOR VERTICAL TAKE-OFF AND LANDING (VTOL) UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS)»**.

Одлуком ННВ број 1375/3, од 16.09.2021. године за менторе докторске дисертације Александра Ковачевића, магист. инж. маш. именовани су др Јелена Сворцан, ванр. проф. и др Тони Иванов, доц.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата **Александра Ковачевића, маг.инж.маш.** за израду докторске дисертације

Одлуком бр. **1375/4** од **16.09.2021.** године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Александра Ковачевића, маг.инж.маш.** за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Утицај конструктивних параметара на експлоатационе карактеристике вишероторних беспилотних ваздухоплова са вертикалним полетањем и слетањем”** („Influence of design parameters on operational characteristics of multi-rotor vertical take-off and landing (VTOL) unmanned aerial vehicles (UAVs)”).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Александар Ковачевић рођен је 25. августа 1994. године у Подгорици, Црна Гора. По завршетку средњошколског образовања 2013. године уписује Машински факултет Универзитета у Београду. Основне академске студије завршава 2016. године. Након тога на истом факултету уписује мастер академске студије на катедри за ваздухопловство које завршава 2018. године одбраном мастер рада са темом „Концептуални дизајн беспилотне летелице за гашење пожара“. Због показане склоности ка научно-истраживачком раду године 2018. уписује докторске академске студије на свом матичном факултету. Исте године изабран је у звање истраживач-приправник. Истовремено са добијањем истраживачког звања почиње стицање практичних инжењерских знања у привреди. У периоду од новембра 2018. до фебруара 2020. године обављао је послове инжењера у производњи ваздухопловних композитних структура у компанији „WING d.o.o.“. Такође је током студија обављао стручну праксу у компанији „Prince Aviation“ у сектору за одржавање ваздухоплова.

Течно говори енглески језик и успешно се служи следећим инжењерским софтверима: FORTRAN, MATLAB, XFOIL, FEMAP, CATIA V5, SolidWorks, Auto CAD.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Александар Ковачевић је на докторским студијама Машинског факултета у Београду положио следеће испите: Виши курс математике (оцена 8), Нумеричке методе (оцена 10), ОМНИР и комуникација (оцена 9), Аеропрофили и узгонске површине ваздухоплова (оцена 10), Истраживање и публиковање I (оцена 10), Одабрана поглавља из механике (оцена 10), Одабрана поглавља из наоружања ваздухоплова (оцена 10), Оптимизација ваздухопловних конструкција (оцена 10), Истраживање и публиковање II (оцена 10), Оптимизација аеродинамичких облика (оцена 10), Посебна поглавља из прорачунске аеродинамике (оцена 10), Истраживање и публиковање III (оцена 10), Истраживање и публиковање IV (оцена 10), са просечном оценом 9.79, и успешно је одбранио Пројекат идеје докторске дисертације.

Све време докторских студија успешно се бави научно-истраживачким (нумеричким и експерименталним) радом, и показује велики афинитет ка најсавременијим темама из области ваздухопловства (као што су пројектовање вишероторних беспилотних летелица са могућношћу вертикалног полетања и слетања, симулације опструјавања, оптимизација ваздухопловних структура, адитивне производне технологије, анализа примене електро погона и сл), што се може закључити и по списку публикованих радова приказаном у наставку.

1.2.1. Списак објављених радова

Научни рад публикован у међународном часопису – **M23**

1. **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, 2021, pp. 1323-1332. ISSN 1748-8842. IF2020 0.975. DOI: 10.1108/AEAT-03-2021-0091
2. 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, 2020, pp. 147-159. ISSN 2668-8220. IF2020 0.593. DOI: 10.37358/MP.20.3.5389

Саопштење са међународног скупа штампано у целини – **M33**

3. Svorcan J., **Kovačević A.**, Ivanov T., Jovanović M.: *Numerical investigation of Reynolds number effects on rotor aerodynamic performances in hover*, – Proceedings of the 8th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Kragujevac, Serbia 2021, pp. 527-534.
4. 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 2020, pp. 52-55.
5. Baltić M., Hasan M.S., Daou D., Milovanović A., **Kovačević A.**, Milošević M.: *Investigation of mechanical characteristics of composite plates under tensile loading*, – Proceedings of the XXXV International Conference ENERGETIKA 2020, Zlatibor 2020, pp. 250-255.
6. Perić B., Simonović A., **Kovačević A.**, Tanović D., Vorkapić M.: *Numerical analysis of aerodynamic performance of offshore wind turbine*, – Proceedings of the 7th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Sremski Karlovci, Serbia 2019, M3i.

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу – **M34**

7. 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 2021), Zlatibor 2021, pp. 63.
8. **Kovačević A.**, Svorcan J., Ivanov T.: *Production process of composite propeller for multirotor UAV*, – Book of Abstracts of the International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies (CNN Tech 2021), Zlatibor 2021, pp. 65.
9. Ivanović M., Tanović D., **Kovačević A.**: *Comparative analysis of the three systems with carbon-dioxide as a working fluid for industrial refrigeration*, – Book of Abstracts of the International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies (CNN Tech 2021), Zlatibor 2021, pp. 67.
10. Ivanov T., **Kovačević A.**, Simonović A.: *Design and analysis of optimal BLDC motor propeller*, – Book of Abstracts of the International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies (CNN Tech 2021), Zlatibor 2021, pp. 69.
11. **Kovačević A.**, Ivanov T., Simonović A.: *Application of 3D printing in the production of molds for the manufacture of composite structures*, – Book of Abstracts of the International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies (CNN Tech 2020), Zlatibor 2020, pp. 56.

Научни рад публикован у водећем часопису националног значаја – **M51**

12. Vorkapić M., Ivanov T., Baltić M., Kreculj D., Tanović D., **Kovacević A.**: *The usage of 3D printing in the analysis of the product design: case - electronic enclosure of compact pressure transmitter*, – Tehnika, Vol 75, No 2, 2020, pp. 179-186.

Научни рад публикован у часопису националног значаја – **M52**

13. Vorkapić M., Bogetić S., Tanović D., Hasan M.S., **Kovačević A.**: *5S elements as steps to bridge the gap in transmitter manufacturing process*, – Journal of Engineering Management and Competitiveness (JEMC), Vol 9, No 2, 2019, pp. 148-158.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини – **M63**

14. Hasan M.S., Vorkapić M., Ivanov T., **Kovačević A.**: *Speed prediction on 3D printers with artificial neural networks implementation*, – Proceedings of the 42nd JUPITER conference with foreign participants, Belgrade 2020, pp. 2.7-2.12.
15. **Kovačević A.**, Ivanov T., Simonović A., Vorkapić M.: *Increasing geometry accuracy of 3D printed parts using iterative method*, – Proceedings of the 42nd JUPITER conference with foreign participants, Belgrade 2020, pp. 2.13-2.19.
16. Baltić M., Peković O., Svorcan J., **Kovačević A.**: *Manufacturing methods of horizontal axis wind turbine composite blades*, – Proceedings of the 42nd JUPITER conference with foreign participants, Belgrade 2020, pp. 3.73-3.80.
17. **Kovačević A.**, Tanović D., Hasan M.S., Ivanov T.: *Use of additive methods in the production of unmanned aircraft*, – Proceedings of ICQ - JUSK 2020, Belgrade 2021, pp. 87-94.
18. Tanović D., **Kovačević A.**, Vorkapić M., Vujović A.: *Algorithm for using 3D printing in designing or product modification*, – Proceedings of ICQ - JUSK 2020, Belgrade 2021, pp. 94-101.

1.2.2. Учесће у научноистраживачким пројектима

Кандидат је такође учесник на пројекту ТР 35035 под називом *ИНТЕГРИСАНА ИСТРАЖИВАЊА У ОБЛАСТИ МАКРО, МИКРО И НАНО МАШИНСКОГ ИНЖЕЊЕРСТВА – Дизајн, оптимизација и интеграција енергетски ефикасних, адаптивних и аутономних аерокосмотехничких система и ротора*, чији је тренутни руководилац проф. др Александар Симоновић, а који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

1.2.3. Учесће у извођењу наставе

Од када је започео докторске студије као и радни однос на Универзитету у Београду - Машинском факултету, кандидат активно учествује у извођењу аудиторних и лабораторијских вежби из групе предмета Катедре за ваздухопловство на Основним академским студијама (Ветројурбине), као и на Мастер академским студијама (Наоружање ваздухоплова).

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Комисија сматра да је Александар Ковачевић испунио све потребне услове за пријаву теме докторске дисертације и да је способан за самостални рад на предложеној теми. Поред одслушаних предавања, положених испита и одбрањеног Пројекта идеје докторске дисертације, у протеклом периоду вршио је различита нумеричка и експериментална истраживања, учествовао у реализацији како научноистраживачких тако и стручних пројеката и публиковао значајан број научних радова из области којој припада предложена тема што га квалификује за пријаву докторске дисертације под наведеним насловом.

2. Предмет и циљ истраживања

Примена беспилотних летелица у различитим друштвеним активностима, нарочито током последње деценије, је евидентна. Велики број могућности које се појављују применом ове врсте ваздухоплова подстакла је академску заједницу, бројне светски познате корпорације и војну индустрију на интензиван истраживачко-развојни посао. Када је у питању војна намена најзначајнији задаци су извиђање и бомбардовање, док у цивилном домену постоји широк спектар апликација од којих су неке фотографисање и снимање, мапирање терена, запрашивање усева, инспекција тешко приступачних енергетских постројења и гашење пожара. Резултат напора за што већом комерцијализацијом су и летелице *CityAirbus*, *Volocopter*, *Ehang* које су у фази испитивања, са наменом за обављање авио-таксирања у градовима са вишемилионском популацијом. Вертикално полетање и слетање обавља се са релативно малих површина захваљујући вишеслојном погонском систему. Ипак, без обзира на велике напоре за реализацијом различитих пројеката беспилотних летелица, појављују се реални проблеми који тај процес значајно успоравају. Пре свега, непотпуност правне регулативе која се највише рефлектује на пројекте цивилне намене у урбаним срединама. Са друге стране, код вишеслојних беспилотних летелица пројектовање погонског система за релативно веће аутономије лета и комуникација на великим удаљеностима неки су од значајнијих проблема посматрајући са инжењерског аспекта.

Да би се остварила што већа ефикасност летелице неопходно је пажљиво приступити свим фазама њеног пројектовања, што због оскудне базе искуствених података овај процес чини споријим и компликованијим. Уз полазну детаљну анализу масе летелице, код вишеслојних

система неопходно је дефинисати број, геометрију и међусобни положај ротора спроводећи оптимизационе студије. Одабир оптималне врсте погонске групе, која може бити електро, хибридна (комбинација мотора СУС и електромотора) или мотор СУС, врши се на основу пројектних захтева који се односе на аутономију лета. Анализом елемената структуре, уз претходно прецизно дефинисани удео у укупној маси летелице и разматрањем више врста материјала, неопходно је постићи задовољавајући однос масе и чврстоће. Перформансе летелице, систем управљања и остали подсистеми захтевају такође детаљне студије. Оваквом анализом конструктивних параметара чији процес је итеративан жели се обезбедити што прецизнија процена њиховог утицаја на експлоатационе карактеристике летелице.

Предмет истраживања тезе је мултидисциплинарни поступак пројектовања вишероторне беспилотне летелице који се састоји од анализа, оптимизационих студија и креирања математичких модела. Разматрајући неколико различитих пројектних захтева жели се кроз детаљан поступак пројектовања доћи до алгоритма којим би се дефинисали основни конструктивни параметри летелице.

Циљеви истраживања у оквиру ове докторске дисертације су:

- Систематизација и оцена постојећих истраживања која се баве проблематиком вишероторних беспилотних летелица;
- Овладавање различитим прорачунским техникама, софтверским алатима и њихово унапређење и прилагођење специфичном разматраном проблему вишероторне беспилотне летелице;
- Аналитичка и нумеричка анализа геометрије и међусобног положаја ротора за различите комбинације полазних захтева у погледу масе летелице;
- Анализа погонске групе у зависности од захтеване аутономије лета и дефинисање њеног типа и процентуалног удела у маси летелице;
- Нумеричка анализа механичких карактеристика различитих материјала и дефинисање односа масе и чврстоће;
- Аеродинамички и структурални дизајн ротора уз претходно дефинисане захтеве, одабир погонске групе и њихово експериментално тестирање;
- Анализа добијених експерименталних резултата, провера употребне вредности целокупног поступка пројектовања вишероторне беспилотне летелице кроз поређење са нумеричким подацима и извођење одговарајућих закључака.

2.2. Преглед и анализа литературе

Списак релевантних библиографских извора који приказују тренутно стање науке и технике у области вишероторних беспилотних летелица са вертикалним полетањем и слетањем као и њихових подсистема дат је у наставку:

1. Norouzi Ghazbi S., Aghli Y., et al.: *Quadrotors unmanned aerial vehicles: A review*, – International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, Vol 9 (1), 2016, pp. 309-333.
2. Bashi O.I.D., Wan Hasan W.Z., et al.: *Unmanned aerial vehicle quadcopter: A review*, – Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, Vol 14 (12), 2017, pp. 5663-5675.
3. Chen S., Laefer D.F., et al.: *State of technology review of civilian UAVS*, – Recent Patents on Engineering, Vol 10 (3), 2016, pp. 160-174.
4. Greenwood W.W., Lynch J.P., et al.: *Applications of UAVs in civil infrastructure*, – Journal of Infrastructure Systems, Vol 25 (2), 2019, no. 04019002.

5. Wannberg M.: *The Quadrotor Platform: from a military point of view*, MSc thesis, – KTH, School of Engineering Sciences, 2012.
6. Abdallah R.: *Reliability approaches in networked systems: Application on Unmanned Aerial Vehicles*, PhD thesis, – Université Bourgogne Franche-Comté, 2019.
7. Tsouros D.C., Bibi S. et al.: *A review on UAV-based applications for precision agriculture*, – Information (Switzerland), Vol 10 (11), 2019, no. 349.
8. Park S., Choi Y.: *Applications of unmanned aerial vehicles in mining from exploration to reclamation: A review*, – Minerals, Vol 10 (8), 2020, no. 663.
9. Kotarski D., Piljek P., et al.: *A modular multirotor unmanned aerial vehicle design approach for development of an engineering education platform*, – Sensors, Vol 21 (8), 2021, no. 2737.
10. Papageorgiou A.: *Design Optimization of Unmanned Aerial Vehicles: A System of Systems Approach*, PhD thesis, – Linköping University, Faculty of Science & Engineering, 2019.
11. Abdilla A., Richards A., et al.: *Power and endurance modelling of battery-powered rotorcraft*, – Proceedings of the 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Hamburg 2015, pp. 675-680.
12. Xie Y., Savvaris A., et al.: *Modelling and control of a hybrid electric propulsion system for unmanned aerial vehicles*, – Proceedings of the 2018 IEEE Aerospace Conference, Big Sky 2018, pp. 1-13.
13. Krznar M.: *Modelling and control of hybrid propulsion systems for multirotor unmanned aerial vehicles*, PhD thesis, – University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, 2020.
14. Arat H.T., Sürer M.G.: *Experimental investigation of fuel cell usage on an air Vehicle's hybrid propulsion system*, – International Journal of Hydrogen Energy, Vol 45 (49), 2020, pp. 26370-26378.
15. Ahmad F., Kmar P., et al.: *Structural Analysis of a Quadcopter Propeller using Finite Element Method*, – Proceedings of the 2020 International Conference on Advances in Computing, Communication & Materials (ICACCM), Dehradun 2020, pp. 59-64.
16. Zhu H., Jiang Z., et al.: *Aerodynamic Performance of Propellers for Multirotor Unmanned Aerial Vehicles: Measurement, Analysis, and Experiment*, – Shock and Vibration, Vol 2021, 2021, no. 9538647.
17. Bristeau P.-J., Martin P., et al.: *The role of propeller aerodynamics in the model of a quadrotor UAV*, – Proceedings of the 2009 European Control Conference (ECC), Budapest 2009, pp. 683-688.
18. Theys B., Dimitriadis G., et al.: *Influence of propeller configuration on propulsion system efficiency of multi-rotor Unmanned Aerial Vehicles*, – Proceedings of the 2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Arlington 2016, pp. 195-201.
19. Fan J.: *Optimal Path Planning and Control of Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle for Area Coverage*, PhD thesis, – University of Toledo, 2014.

Примена беспилотних летелица у разним сферама друштвеног живота временом је све интензивнија, нарочито у протеклој деценији. Такав развој имао је утицаја како на индустрију тако и на научну заједницу. У домену истраживачке делатности објављен је велики број научних радова који омогућавају јасан преглед у области беспилотних летелица. Доста прецизан преглед различитих типова вишероторних беспилотних летелица, као и технологија за њихову израду дат је у [1-3]. Њихова примена веома је широка како у војном

[4] тако и у цивилном сектору [5]. Захваљујући могућностима које нуде ове врсте летелица, многе компаније су искористиле прилику да помоћу њих унапреде своје пословање, и то у областима инфраструктуре, транспорта, медија и забаве, телекомуникација [6], пољопривреде [7] и рударства [8].

Иако се вишероторне беспилотне летелице могу наизглед разликовати само према броју ротора, ипак постоји доста разлике пре свега у њиховим системима у зависности од намене саме летелице. Такође, постоји разних приступа у самом пројектовању, а један од њих приказан је у [9]. Када су у питању поменути системи, срж ових летелица чине погонски, управљачки и систем комуникације. Поред ових система, аеродинамика ротора представља значајан сегмент приликом пројектовања ове врсте летелица. У циљу остваривања што веће ефикасности летелице, неопходно је на основу полазних захтева системе што више прилагодити један другоме, што је предмет бројних оптимизационих процеса [10].

Погонски систем беспилотних летелица предмет је многих анализа данас, од којих се неке баве истрајношћу лета која управо зависи од погонске групе [11]. Употреба електричног погона је најједноставнија и због тога најзаступљенија данас. Ипак, због релативно мале специфичне густине енергије батерија које се данас могу наћи на тржишту није могуће остварити велику истрајност лета. Из тог разлога постоји велики број анализа примене хибридног погона [12-14] уз помоћ којег је могуће остварити већу аутономију лета.

Аеродинамичка и структурална анализа [15] ротора беспилотне летелице, као главне узгонске површине такође представља важан сегмент у постизању што веће ефикасности ових летелица. Њихово пројектовање креће од дефинисања облика аеропрофила који се често добија као резултат вишекритеријумских оптимизационих процеса. Даље се најчешће аналитичким, полуемпиријским и методама прорачунске аеродинамике добијају аеродинамичке карактеристике ротора које се неретко и експериментално проверавају. Радови [16] и [17] управо се баве аеродинамичким карактеристикама пропелера вишероторних беспилотних летелица, док је у [18] приказана њихова ефикасност у зависности од међусобног положаја.

Управљачки систем веома је важан за правилно извођење лета и одржавање летелице у жељеној позицији. Применом одређеног алгорита аутоматског управљања и правилним подешавањем његових параметара за конкретну летелицу врши се пројектовање управљачког система. Постизање што прецизнијег вођења летелице предмет је бројних истраживања, а једно од њих приказано је у [19].

Сви претходно поменути системи, као и аеродинамичка и структурална анализа ротора, састоје се од низа параметара чији одабир утиче на експлоатационе карактеристике летелице. У претходно поменутих радовима управо је за сваки од њих приказана литература која треба да пружи смернице за израду ове докторске дисертације.

3. Полазне хипотезе

Процес анализе и моделирања вишероторне беспилотне летелице подразумева бројне и различите прорачунске моделе и методе оптимизације, па у начелу подразумева и њихове математичке хипотезе. Додатна полазна становишта на којима је истраживање такође засновано су:

- Полазни захтеви (намена и полетна маса) вишероторне беспилотне летелице директно утичу на димензије и геометрију ротора (односно његових лопатица);
- Разматрање раванског струјања може представљати добру полазну основу за оптимизацију аеропрофила лопатице елисе вишероторне беспилотне летелице са циљем повећања њене аеродинамичке ефикасности;

- Хеуристични и еволутивни методи оптимизације могу се користити и код сложених и нелинеарних проблема опструјавања ротора беспилотних летелица;
- Прорачунска механика флуида (а нарочито метод коначних запремина) и постојећи турбулентни модели могу са довољном тачношћу осликати сложено и нестационарно опструјавање ротора беспилотних летелица;
- Методом коначних елемената може се са довољном тачношћу осликати понашање лопатице елисе беспилотне летелице под дејством аеродинамичких и масених оптерећења;
- Нумерички експерименти могу пружити корисне информације и представити добру основу за даље фазе пројектовања (детаљни дизајн), као и за будућа експериментална истраживања;
- Употребом савремених материјала (нпр. композитних) и производних технологија (нпр. адитивних) могуће је остварити значајна унапређења и уштеде у производњи лопатица намењених роторима вишероторних беспилотних летелица.

4. Научне методе истраживања

Научне методе које ће се применити у оквиру дисертације су следеће:

- Пре свега, прегледом постојеће научне литературе и остварених резултата, а у циљу систематизације постојећих истраживања, индуктивним и статистичким методама потребно је извести неке опште закључке који се односе на тренутно стање технике вишероторних беспилотних летелица;
- Потом је потребно те закључке дедуктивним методама даље применити на друге појединачне случајеве, односно на проблем дефинисања полазних захтева вишероторне беспилотне летелице одређене носивости и намене;
- Дефинисање оптималне геометрије ротора потребно је реализовати, методама анализе и синтезе као и генерализације и конкретизације али и процене, формирањем одговарајућег математичког модела (који уз минималне потребне прорачунске ресурсе омогућава процене аеродинамичких оптерећења задовољавајуће тачности) и спрезањем са одговарајућом оптимизационом петљом (изабраном из скупа еволутивних или метахеуристичких алгоритама);
- Прелиминарне резултате потребно је валидирати и помоћу сложенијег математичког модела (методом коначних запремина) који пружа тачнију и детаљнију процену струјног поља око ротора беспилотне летелице и погодан је за касније дефинисање структуре и одабир материјала лопатице;
- Понашање структуре лопатице потребно је моделирати методом коначних елемената;
- Нумеричке поставке биће проверене компаративним методама са доступним експерименталним и нумеричким подацима;
- Изузетно сложен проблем управљања вишероторном беспилотном летелицом потребно је једноставно описати (методама дескрипције) и реализовати кроз спрезање емпиријских и аналитичких метода.

5. Очекивани научни допринос

С обзиром да је у питању изузетно савремена научноистраживачка тема, могуће је формулисати следећи очекивани научни допринос ове дисертације:

1. Оцена утицајности различитих конструктивних параметара на дефинисање одговарајућег прелиминарног дизајна ротора вишероторске беспилотне летелице која има могућност вертикалног полетања и слетања,

који у оквиру себе подразумева:

- Тачну процену маса компоненти беспилотне летелице засновану на статистичкој анализи и предиктивним методама;
- Спровођење детаљних и валидираних нумеричких прорачуна опструјавања појединачних компоненти (аеропрофила, елисе/ротора, целе летелице);
- Спровођење различитих оптимизационих анализа;
- Унапређење аеродинамичке ефикасности узгонских површина вишероторних летелица;
- Спровођење детаљних и валидираних нумеричких прорачуна понашања елемената структуре вишероторне беспилотне летелице;
- Одабир одговарајућих материјала након спроведених нумеричких и експерименталних студија;
- Дефинисање савременог, сложеног и иновативног погонског система.

Током израде дисертације остварени научни допринос биће верификован у квалитативном и квантитативном смислу у релевантним домаћим и међународним публикацијама.

6. План истраживања и структура рада

Након детаљне анализе расположивих библиографских јединица које су референтне за предметну област истраживања вишероторских беспилотних летелица, биће извршена систематизација теоријских, нумеричких и експерименталних приступа и резултата који су до сада остварени уз класификацију предочених смерница за будућа истраживања.

Даљи план истраживања током израде докторске дисертације може се разврстати у следеће главне активности:

- Преглед и систематизација постојеће научне литературе на тему вишероторних беспилотних летелица;
- Рашчлањење концептуалног дизајна вишероторне беспилотне летелице на фазе;
- Одабир и развој одговарајућих прорачунских модела;
- Спровођење нумеричких анализа и оптимизационих поступака;
- Спровођење експерименталних истраживања;
- Упоредна анализа различитих нумеричких и експерименталних резултата;
- Дискусија са извођењем закључака и препорукама за будућа истраживања.

Предвиђено је да докторска дисертација има следећу структуру:

1. Увод

2. Преглед доступне литературе и досадашњих релевантних истраживања
3. Преглед постојећих вишероторних беспилотних летелица и почетна процена маса појединачних компоненти
4. Преглед и анализа нумеричких метода
5. Преглед и анализа експерименталних метода
6. Упоредивање нумеричких и експерименталних резултата
7. Закључак и дискусија
8. Литература

7. Закључак и предлог

На основу свега наведеног, пријаве за израду докторске дисертације архивирани под бројем 1375/1 од 23.08.2021. године и уз сагласност Катедре за ваздухопловство архивирани под бројем 1375/2 од 08.09.2021. године, Комисија за писање реферата о научној заснованости теме докторске дисертације сматра да је кандидат испунио потребне услове за пријаву теме докторске дисертације као и да је способан да реализује наведене предвиђене циљеве истраживања. Предложена тема докторске дисертације је изузетно актуелна, интересантна, мултидисциплинарана, амбициозна и погодна за израду докторске дисертације и њеним изучавањем може се остварити значајан научни и стручни допринос. Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да се

Александру Ковачевићу, маг.инж.маш.

одобри израду докторске дисертације под називом

„Утицај конструктивних параметара на експлоатационе карактеристике вишеслојних беспилотних ваздухоплова са вертикалним полетањем и слетањем”

(„Influence of design parameters on operational characteristics of multi-rotor vertical take-off and landing (VTOL) unmanned aerial vehicles (UAVs)”)

која припада научној области: машинство, и ужој научној области: ваздухопловство, а за коју је матичан Универзитет у Београду – Машински факултет.

За менторе рада предлажемо **др Јелену Сворцан**, ванредног професора Универзитета у Београду – Машинског факултета и **др Тонија Иванова**, доцента Универзитета у Београду – Машинског факултета.

Београд, 15.10.2021. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

.....
Ван. проф. др Горан Воротовић,
Универзитет у Београду – Машински факултет

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

.....
Др Марија Балтић, научни сарадник,
Универзитет у Београду – Машински факултет

.....
Др Мирослав Јовановић, виши научни сарадник
Технички опитни центар у Београду

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1375/3
Датум: 16.09.2021. године
Београд, Краљице Марије бр.16

На основу члана 64. Статута Машинског факултета Универзитета у Београду – пречишћен текст, арх. бр. 1136/4 од 28.06.2021. године и члана 20. а сагласно члану 29. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду од 24.05.2016.г., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној дана 16.09.2021. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Именују се **др Јелена Сворцан, ванр. проф. и др Тони Иванов, доц.** за менторе докторске дисертације **„Утицај конструктивних параметара на експлоатационе карактеристике вишероторних беспилотних ваздухоплова са вертикалним полетањем и слетањем (Influence of design parameters on operational characteristics of multi-rotor vertical take-off and landing (VTOL) unmanned aerial vehicles (UAVS))“** кандидата **Александра Ковачевића, магист. инж. маш., студента докторских студија.**

Одлуку доставити: ментору, докторанту и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић