

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

333/4

(Број захтева)

15.05.2025.

(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 МИЛОШ (ДАНИЛО) ПЕТРАШИНОВИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму МАШИНСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

пријавио је докторску дисертацију под називом:

СИСТЕМ ЗА ДАЉИНСКО ПИЛОТИРАЊЕ ЛЕТЕЛИЦОМ СА ПАРАМЕТРИМА КРЕТАЊА ЛЕТЕЛИЦЕ У ПОВРАТНОЈ СПРЕЗИ

из научне области: Машинство

Универзитет је дана 12.12. 2022. својим актом под бр. 61206-4713/2-22

дао сагласност на предлог теме докторске дисертације

која је гласила:

СИСТЕМ ЗА ДАЉИНСКО ПИЛОТИРАЊЕ ЛЕТЕЛИЦОМ СА ПАРАМЕТРИМА КРЕТАЊА ЛЕТЕЛИЦЕ У ПОВРАТНОЈ СПРЕЗИИме и презиме ментора др Александар Грбовић, ред. проф.Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној од 06.03.2025.одлуком факултета под бр. 333/2, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	др Александар Бенгин	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
2.	др Небојша Петровић	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
3.	др Огњен Пековић	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
4.	др Јелена Сворцан	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
5.	др Гордана Кастратовић	ред. проф.	Механика	Саобраћајни факултет Београд

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

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности **04.04.2025.**

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана **15.05.2025.**

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној 06.03.2025.

одлуком факултета под бр. 333/2, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	др Александар Бенгин	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
2.	др Небојша Петровић	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
3.	др Огњен Пековић	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
4.	др Јелена Сворцан	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
5.	др Гордана Кастратовић	ред. проф.	Механика	Саобраћајни факултет Београд

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

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Владимир Поповић

- 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: 333/4
Датум: 15.05.2025. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017, 73/2018, 27/2018 – др. закон 67/2019, 6/2020 – др. закони, 11/2021 – аутентично тумачење, 67/2021, 67/2021 – др. закон и 76/2023), члана 64. Статута Машинског факултета - пречишћен текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године), Одлуке о изменама и допунама Статута број 239/6 од 17.02.2023. године, чланова 46. и 47. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду - Машинском факултету, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 15.05.2025. године, донело је:

ОДЛУКУ

Усваја се Извештај о урађеној докторској дисертацији Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **„СИСТЕМ ЗА ДАЉИНСКО ПИЛОТИРАЊЕ ЛЕТЕЛИЦОМ СА ПАРАМЕТРИМА КРЕТАЊА ЛЕТЕЛИЦЕ У ПОВРАТНОЈ СПРЕЗИ“** студента **МИЛОША ПЕТРАШИНОВИЋА**, магист. инж. маш.

У року од 30 дана од дана стављања докторске дисертације на увид јавности није било примедби на Извештај и докторску дисертацију.

Докторску дисертацију и Извештај о урађеној докторској дисертацији доставити на давање сагласности Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

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

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-4713/2-22 од 12.12.2022. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

Истакнути међународни часопис (M22)

1. **Petrasinovic M.**, Grbovic A., Petrasinovic D., Petrovic M., Raicevic N.: *Real Coded Mixed Integer Genetic Algorithm for Geometry Optimization of Flight Simulator Mechanism Based on Rotary Stewart Platform*, - APPLIED SCIENCES-BASE, Vol 12, No 14, 2022, 7085, (ISSN 2076-3417, impact factor **2.921 za 2021. godinu**).

<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/14/7085>

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата Милоша Петрашиновића, магист.инж.маш.

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Машинског факултета бр 333/2 од 06.03.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милоша Петрашиновића, магист. инж. маш. под насловом

**„СИСТЕМ ЗА ДАЉИНСКО ПИЛОТИРАЊЕ ЛЕТЕЛИЦОМ СА
ПАРАМЕТРИМА КРЕТАЊА ЛЕТЕЛИЦЕ У ПОВРАТНОЈ СПРЕЗИ”**

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

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Милош Петрашиновић уписао је школске 2018/2019. године Докторске академске студије на Универзитету у Београду – Машинском факултету. Све испите предвиђене планом Докторских студија положио је са просечном оценом 10,00 (десет и 0/100) и успешно је одбранио Пројекат идеје докторске дисертације.

Кандидат је 26.09.2022. године поднео пријаву теме докторске дисертације на Универзитету у Београду – Машинском факултету бр. 1390/1, са предлогом теме под називом „Систем за даљинско пилотирање летелицом са параметрима кретања летелице у повратној спрези”. За ментора је предложен др Александар Грбовић, редовни професор Универзитета у Београду – Машинског факултета, на шта је сагласност дала Катедра за ваздухопловство (1390/2 од 18.10.2022. године).

Наставно-научног веће Универзитета у Београду – Машинског факултета донело је Одлуку бр. 1390/3 од 20.10.2022. године о именовању проф. др Александра Грбовића за ментора докторске дисертације, као и Одлуку бр. 1390/3 од 20.10.2022. године о прихватању теме докторске дисертације и именовању Комисије за подношење реферата о теми докторске дисертације у саставу:

1. др Александар Бенгин, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет
2. др Александар Симоновић, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет
3. др Огњен Пековић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет
4. др Јелена Сворцан, ванредни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет
5. др Гордана Кастратовић, редовни професор
Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет,

На основу Извештаја Комисије бр. 1390/4 од 15.11.2022. године, Наставно-научно веће Универзитета у Београду – Машинског факултета доноси одлуку бр. 1390/5 од 17.11.2022. године којом је прихваћена научна заснованост теме докторске дисертације и констатовано да студент испуњава услове за израду дисертације. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело је Одлуку бр. 61206-4713/2-22 на седници одржаној 12.12.2022 године којом се даје сагласност на Одлуку Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Машинског факултета о прихватању теме докторске дисертације Милоша Петрашиновића, под називом „Систем за даљинско пилотирање летелицом са параметрима кретања летелице у повратној спрези” и одређивању редовног професора др Александра Грбовића за ментора.

На основу обавештења ментора да је кандидат Милош Петрашиновић завршио докторску дисертацију, као и предлога Колегијума наставника Катедре за ваздухопловство, Наставно-научно веће Универзитета у Београду – Машинског факултета је на седници одржаној 06.03.2025. године донело Одлуку бр. 333/2 којом се именује Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

1. др Александар Бенгин, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет
2. др Небојша Петровић, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет
3. др Огњен Пековић, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет
4. др Јелена Сворцан, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет
5. др Гордана Кастратовић, редовни професор
Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет,

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација кандидата Милоша Петрашиновића под насловом „Систем за даљинско пилотирање летелицом са параметрима кретања летелице у повратној спрези” припада научној области Машинско инжењерство, ужа научна област Ваздухопловство, за коју је Универзитет у Београду – Машински факултет матичан. Дисертација је рађена под менторством редовног професора др Александра Грбовића који у протеклих 10 година има 45 објављених радова категорије M21-M23 из уже научне области Ваздухопловство.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Милош Д. Петрашиновић, мастер инжењер машинства, рођен је 8. октобра 1994. године у Београду. Основну школу „Борислав Пекић” у Београду завршио је 2009. године. Носилац је дипломе „Вук Караџић”. Средњу школу „Пета београдска гимназија”, природно-математичког смера, завршио је 2013. године у Београду уз одбрањен матурски рад из предмета „Математика” на тему „Елипса”.

Основне академске студије на Универзитету у Београду - Машинском факултету уписао је 2013. године. Основне академске студије завршио је 2016. године, са просечном оценом 10 (десет), одбранивши (B.Sc.) рад из завршног предмета „Конструкција и технологија производње летелица” на тему „Пројектовање, прорачун и параметарско моделирање стајног трапа авиона”, са оценом 10 (десет). Мастер академске студије, модул Ваздухопловство Катедре за ваздухопловство, на Универзитету у Београду - Машинском факултету уписао је 2016. године. Мастер академске студије завршио је 19. фебруара 2018. године са укупном просечном оценом 10 (десет), одбранивши Дипломски (M.Sc.) рад на тему „Пројектовање симулираног управљања летелицом” из предмета „Пројектовање летелица”. Докторске академске студије на Универзитету у Београду - Машинском факултету уписао је 2018. године и као потенцијалног ментора предложио је проф. др Александра Грбовића. Од јуна 2020. године је запослен на Универзитету у Београду - Машинском факултету као сарадник у звању асистента са пуним радним временом за ужу научну област Ваздухопловство.

Добитник је Повеље за изузетан успех током студирања као најбољи студент генерације Машинског факултета који је дипломирао у школској 2015/2016. години поводом Дана Универзитета у Београду. Добитник је Похвала за одличан успех поводом Дана факултета сваке школске године током Основних и Мастер академских студија. Такође, поводом Дана факултета добитник је Похвале за најбољег студента на основним академским студијама из генерације уписане на студије школске 2013/2014. године, Похвале за најбољег студента на мастер академским студијама из генерације уписане на студије школске 2016/2017 и награде „Студент генерације” као најбољи студент из генерације уписане на факултет школске 2013/2014 године. Током студирања је био стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије као и добитник стипендије „Доситеја” за најбоље студенте у Републици Србији Фонда за младе таленте Министарства омладине и спорта Републике Србије, током завршних година Основних и Мастер академских студија.

У свакодневном раду користи следеће програмске језике и пакете: FORTRAN, C/C++, GNU Octave, Python, PHP (uz HTML i CSS), JavaScript, LaTeX, Arduino, Arm CMSIS, Arduino_Core_STM32, FreeCAD, OpenModelica, CGAL, Meshlab, Nastran, Code_Aster, KiCad, Blender, MakeHuman, Inkscape, Gimp и LibreOffice.

Учествовао је на многим научним скуповима, скуповима студената, предавањима и конференцијама како из области везаних за машинство, тако и за друге сфере културног и друштвеног живота.

Поред матерњег српског језика, говори, чита и пише на енглеском језику. Има возачку дозволу Б категорије. Ожењен је и има једно дете.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Милоша Петрашиновића под насловом „Систем за даљинско пилотирање летелицом са параметрима кретања летелице у повратној спрези” написана је на српском језику и садржи: 371 страну А4 формата, 356 слика, 52 табеле, 191 библиографску референцу и подељена је на следеће главе:

1. Увод
2. Научна замисао дисертације
3. Преглед стања релевантне технике и приказ досадашњих релевантних истраживања
4. Одређивање геометријских параметара и перформанси механизма симулатора лета за систем
5. Прорачун оптималне геометрије механизма симулатора лета за систем
6. Припрема експерименталног испитивања система
7. Нумеричка и експериментална испитивања елемената и целог система
8. Дискусија и предлог за наставак истраживања
9. Закључак

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

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу 1 је дат увод, истакнут је научни допринос дисертације као и њен очекивани резултат. У наставку је у поглављу 2 дата научна замисао дисертације са поводом и током истраживања. У овом поглављу је приказано и идејно решење система који је предмет истраживања.

У поглављу 3 је дат преглед стања релевантне технике и приказ досадашњих релевантних истраживања у вези са научном замисли дисертације. Преглед постојеће научне литературе и остварених резултата, практичних, научних, техничких и других достигнућа. Овај преглед је прилично обиман због мултидисциплинарности дисертације, појединачне анализе свих елемената система и свега онога што је било потребно током дугогодишњег истраживања, а у циљу тога да заинтересованом читаоцу пружи потребну транспарентност истраживања и омогући репродуктивност. Анализирани су симулатори лета, дат је преглед и извршен је одабир методе за прорачун оптималне геометрије. За беспилотне летелице је дат историјски осврт, затим њихове примене, класификација као и приказ постојећих домаћих беспилотних летелица. Дат је преглед значајних стандарда и важећих закона. Затим су анализирани алати за тродимензионално моделирање и компјутерску графику који су неопходни за реализацију дисертације. Приказани су композитни материјали, 3Д штампање и скенирање као и други производни процеси и обраде материјала који се користе за израду елемената система. Анализиране су штампане плоче, микроконтролери и комуникације, бежични пренос података и програмирање дигиталних процесора. Затим је урађен преглед доступних библиотека за манипулацију и обраду видео сигнала као и анализа могућности употребе система за виртуелну и проширену реалност. На крају овог поглавља је приказан програм JSLAB, као окружење за нумеричке прорачуне, који се претежно користи у реализацији дисертације.

У поглављу 4 је приказано одређивање геометријских параметара и перформанси механизма симулатора лета за систем. Симулатор лета је други основни елемент система за даљинско пилотирање летелицом са параметрима кретања летелице у повратној спрези који управо омогућава ову повратну спрегу кретања. Приказане су различите могуће варијанте механизма и различити типови актуатора који се могу користити. За усвојени тип механизма су приказане аналитичке и нумеричке методе за решавање инверзног и директног кинематичког проблема као и одређивање брзине и убрзања свих значајних тачака механизма. Приказана је имплементација методе коначних елемената са лагранжовим множиоцима за прорачун еластичности конструкције и последично грешке положаја и оријентације платформе, као и за димензионисање сегмената механизма и актуатора. Комплетна метода је детаљно приказана и на крају су дати резултати њене имплементације. Да би се урадио прорачун оптималних вредности геометријских параметара прво су приказана решења за инверзни статички и динамички проблем у циљу одређивања потребних обртних момената актуатора и затим су приказани и други индикатори перформанси механизма као што су максимални оствариви параметри и запремина радног простора. Приказан је нови алгоритам под називом SpaceSearch који представља нумерички метод за ефикасно одређивање радног простора механизма.

У поглављу 5 је дат прорачун оптималне геометрије механизма симулатора лета за систем који се истражује како би систем имао задовољавајуће перформансе на крају. Уређена је анализа и приказана је имплементација алгоритма за прорачун оптималног решења. Дефинисане су функције ограничења и прилагођености којима се врши проналажење решења. Затим су дати параметри којима се подешава алгоритам прорачуна, поступак прорачуна и на крају резултати прорачуна.

Коначно систем за даљинско пилотирање летелицом са параметрима кретања летелице у повратној спрези чине симулатор лета, пилотска кабина и беспилотна летелица, као основни елементи система, и у поглављу 6 је приказана њихова интеграција за потребе експерименталног испитивања. Приказани су пројектовање и производња умањеног модела као и модела симулатора лета у стварној величини. У овом поглављу је

приказано и више различитих летелица које су коришћене током истраживања овог система. Приказан је неопходан развој електричног система и програма за интеграцију беспилотне летелице, система за бежичну комуникацију и симулатора лета.

У поглављу 7 су приказана сва урађена нумеричка и експериментална испитивања елемената система и на крају и целог система. Прво су приказана експериментална испитивања на умањеном прототипу симулатора лета. Параметарско тродимензионално моделирање и симулације су коришћене за нумеричку верификацију рада механизма. Експериментално су утврђене перформансе бежичне комуникације као и кашњена услед аквизиције, обраде и слања података. На крају је извршена експериментална валидација целог система у стварној величини.

У поглављу 8 је дата дискусија као и предлог праваца за наставак приказаног истраживања. Последње поглавље, под бројем 9 представља закључак у коме је урађен преглед свега онога што је урађено у оквиру ове дисертације. У овом поглављу је закључено да су остварени циљеви дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација Милоша Петрашиновића под насловом „Систем за даљинско пилотирање летелицом са параметрима кретања летелице у повратној спрези” представља значајан и оригиналан допринос у области механизма за симулацију лета, даљински управљаних летелица и у области система и управљања летелицама. У оквиру дисертације примењене су савремене нумеричке методе као што су метод коначних елемената и реално кодирани мешовито целобројни генетски алгоритам са ограничењима за прорачун оптималне геометрије.

Убрзани развој читавог спектра нових беспилотних летелица у протеклим годинама, поготову у војне сврхе, допринео је томе да су беспилотне летелице изузетно активна истраживачка област. У дисертацији је приказан нови метод даљинског пилотирања беспилотним летелицама који омогућава прецизније управљање тако што пилоту пружа реалистичан чулни доживљај. За војне беспилотне летелице је нарочито битно да оператер правовремено издаје исправне команде како би коначно и мисија била успешна.

У поређењу са тренутним научним истраживањима у овој области, ова докторска дисертација се истиче својим мултидисциплинарним приступом приликом развоја приступачног механизма симулатора лета и јединственом методологијом којом је геометрија механизма симулатора лета оптимизована за симулирање лета и омогућено ефикасно интегрисање са остатком система. Током истраживања су израђена два прототипа механизма симулатора лета, и то један умањени прототип и један прототип у стварној величини. Поред прототипова симулатора лета су израђене и различите беспилотне летелице и пилотска кабина које су омогућиле експерименталну валидацију комплетног система. Посебно се истиче развијени и експериментално потврђен метод којим се у реалном времену бежичном комуникацијом из пилотске кабине шаљу команде за пилотирање летелицом, на летелици врше читавања мерења са различитих сензора електричним путем, одговарајућим алгоритмима у софтверу врши процена

параметара кретања на основу мерења са сензора, бежичном комуникацијом параметри кретања шаљу до пилотске кабине и симулатора лета где се телеметријски подаци приказују пилоту и где се формира управљање за механизам симулатора лета који се затим одговарајуће креће заједно са пилотом на њему. Експериментално испитивање система је пружило увид у изворе кашњења и њихов ниво у систему аквизиције и преноса података што значајно утиче на квалитет и употребљивост овог система.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током рада на својој докторској дисертацији, кандидат се детаљно упознао са релевантним и актуелним истраживањима, првенствено из области механизма за симулирање лета и беспилотних летелица, на основу чега је одабрано 191 референца које се налазе у списку литературе. Кандидат је у оквиру дисертације у засебном поглављу дао преглед постојеће научне литературе, остварених резултата, практичних, научних, техничких и других достигнућа у вези са научном замисли дисертације. Наведеном литературом обухваћени су различити научни радови, књиге, дисертације и саопштења са научних скупова.

На основу Правилника о поступку провере докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду извршена је провера оригиналности докторске дисертације Милоша Петрашиновића под насловом „Систем за даљинско пилотирање летелицом са параметрима кретања летелице у повратној спрези” коришћењем програма *iThenticate*. Утврђен је индекс подударања текста од 12%. Приказана подударања односе се на опште фразе које се употребљавају у публикацијама овог типа (назив институције, наслови уводних поглавља, нумерација страна ...), претходно публиковани резултати кандидатових истраживања, синтагме од неколико речи које су у широкој употреби, јавно доступни подаци о дисертацији (као што је наслов дисертације) и слично. Све наведено је у складу са чланом 9. Правилника о поступку провере докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У овој докторској дисертацији су за потребе реализације циљева истраживања примењене адекватне аналитичке, нумеричке и експерименталне научне методе. Модел геометрије механизма симулатора лета је дефинисан аналитичком методом са 12 изабраних параметара. Приказано је аналитичко решавање инверзног кинематичког проблема као и нумеричко решавање директног кинематичког проблема помоћу методе Њутн-Канторовича за итеративно решавање система нелинеарних једначина. Решења инверзног и директног кинематичког проблема су експериментално верификована на умањеном прототипу и на прототипу у стварној величини. Изведени су изрази за аналитичко одређивање брзина и убрзања свих значајних тачака механизма. За димензионисање актуатора у случају статике је коришћен аналитички метод на основу Јакобијеве матрице за овај механизам, али и метод коначних елемената са лагранжевим множиоцима који се користи и за одређивање еластичних деформација и димензионисање сегмената механизма. На основу Јакобијеве матрице је аналитичким путем могуће доћи и до упрошћеног решења инверзног динамичког проблема што је верификовано методом компарације резултата са оним добијеним за исти случај програмом OpenModelica. Приказана је нова нумеричка метода за одређивање радног

простора и максималних остваривих параметара механизма. Имплементиран је и примењен реално кодирани мешовито целобројни генетски алгоритам са ограничењима за потребе прорачуна оптималних геометријских параметара механизма. Експерименталним испитивањима су утврђене добијене перформансе целог система али и појединачних елемената система, као што је кашњење телеметријских података и слика са камере са и без бежичне комуникације.

Коришћене методе су адекватне и довољне да се потпуно јасно и темељно представи и анализира систем за даљинско пилотирање летелицом са параметрима кретања летелице у повратној спрези као предметом истраживања.

3.4. Применљивост остварених резултата

Остварени резултати ове докторске дисертације имају значајну практичну примену у области симулатора лета и беспилотних летелица. Приказане нумеричке методе за моделирање геометрије механизма и прорачун оптималних параметара се могу искористити и за друге типове механизма. Променом индикатора перформанси и њиховом имплементацијом у функцијама ограничења и прилагођености се може модификовати метод и применити за добијање механизма оптималног за друге намене.

Како је исход овог истраживања готов производ и то систем за даљинско пилотирање летелицом са параметрима кретања летелице у повратној спрези (који чине симулатор лета, пилотска кабина и беспилотна летелица), може се претпоставити да ће се резултати ове дисертације наћи у употреби што може подстаћи и даља истраживања у овој области. Са све већом употребом беспилотних летелица се појављује и све више мисија у оквиру којих је у неким фазама лета потребно веома прецизно пилотирање, што овакав систем омогућава. У односу на постојећи начин пилотирања даљински управљаним летелицама, овим системом се не намећу додатна ограничења, захваљујући филтерима кретања који осигуравају да пилот и механизам не доживљавају претерана оптерећења током управљања.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Чланови Комисије сматрају да је кандидат Милош Петрашиновић током израде своје докторске дисертације показао несумњиву способност да самостално препозна и решава научне и инжењерске проблеме коришћењем савремених научноистраживачких метода. Поред систематичног прегледа и критичке оцене савремених истраживања, дефинисања сопствених математичких и нумеричких модела као и методологије оптимизације, спровођења нумеричких испитивања, кандидат је реализовао и бројна експериментална испитивања. Своје нумеричке моделе је кандидат верификовао прво упоредном анализом резултата добијених на основу најмање две различите методе а затим и експерименталним путем. Све наведено потврђено је публикацијама у часописима од међународног значаја, као и саопштењима на научним скуповима и представља добру основу за успешан самосталан научноистраживачки рад у будућности.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру докторске дисертације Милоша Петрашиновића под насловом „Систем за даљинско пилотирање летелицом са параметрима кретања летелице у повратној спрези” остварен је следећи оригинални научни допринос:

- Развијен је механизам платформе симулатора лета који је оптимизован за симулирање лета применом реално кодираног мешовито целобројног генетског алгорита са ограничењима. Уведена је нова метода за дефинисање геометрије механизма платформе и дефинисане су нове функције прилагођености и ограничења генетског алгорита за овај конкретан случај. Вредност ове функције прилагођености се израчунава помоћу вредности више индикатора перформанси у референтним тачкама радног простора. За индикаторе перформанси су изабрани максимални оствариви углови пропињања и ваљања и индикатор спретности. Формиране су методе за одређивање и других индикатора перформанси као што су облик и запремина радног простора и чврстоћа механизма. Нова функција ограничења узима у обзир могућност сударања између сегмената механизма, максимални момент и максималне радијалне и аксијалне силе актуатора (изабраног електромотора са редуктором) и максималне могуће углове у зглобовима. Израчунавање вредности параметара коришћених у функцијама прилагођености и ограничења се заснива на изведеним решењима директних и инверзних кинематичких и динамичких проблема за овај механизам. На бази овог механизма платформе је реализован приступачан симулатор лета, што је и потврђено тиме што је направљен прототип на коме су потом урађена експериментална испитивања система.

Оригинални научни допринос је дат кроз поглавља 4. и 5. дисертације и исто је објављено у поглављу 6. рада „*Real Coded Mixed Integer Genetic Algorithm for Geometry Optimization of Flight Simulator Mechanism Based on Rotary Stewart Platform*“ у часопису *Applied Sciences* из категорије M22 (<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/14/7085>). Нумеричким и експерименталним испитивањима приказаним у поглављу 7. дисертације су верификоване методе приказане у дисертацији.

Развијени приступачан симулатор лета може заједно са осталим подсистемима да се примени при пилотирању даљински управљаном летелицом у оквиру повратне спреге. Овако формирана повратна спрега са симулатором лета омогућава да пилот при пилотирању даљински управљаном летелицом има приближно исти осећај као да се налази у самој летелици.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу детаљног прегледа референтне научне литературе у области ваздухопловства, а нарочито симулатора лета, беспилотних летелица и система и управљања летелицама, Комисија констатује да су приказани резултати истраживања значајни, нови и научно утемељени. Сагледавањем постављених циљева истраживања, полазних хипотеза и остварених нумеричких и експерименталних резултата приказаних у докторској дисертацији, констатујемо да је кандидат Милош Петрашиновић успешно остварио

оригинални научни допринос, пружио одговоре на сва релевантна питања и решио све проблеме са којима се сусрео током истраживања.

Постојећи симулатори лета са шест степени слободе кретања су најчешће јако комплексни, велики и скупи системи намењени искључиво за обуку а не за даљинско управљање у реалном времену. Предложена решења представљају следећа унапређења у поређењу са постојећим приступима:

- Развијени метод за нумеричко моделирање геометрије механизма симулатора лета заснованог на Стјуартовој платформи са обртним актуаторима, који узима у обзир физичка ограничења механизма, пружа могућност одређивања реалних перформанси механизма. Изабрано је 12 улазних параметара (геометријски параметри механизма) на основу којих се заједно са угловима отклоне доњих полуга (6 углова) израчунавају све координате положаја сегмената механизма. Предност ове методе у односу на произвољно дефинисање координата положаја сегмената механизма огледа се у мањем броју параметара чије се вредности одређују касније поступком оптимизације. Са друге стране, у односу на друге методе којима се параметарски дефинишу координате положаја сегмената механизма, овом методом се узимају у обзир и физичка ограничења у зглобовима.
- Дата су решења и развијене су нумеричке методе за решавање проблема инверзне и директне кинематике као и инверзне статике и динамике. Ове нумеричке методе су веома ефикасне и имплементирани су тако да омогућавају брзо извршавање прорачуна што је значајно у погледу процеса одређивања оптималних геометријских параметара механизма.
- Приказан је нови ефикасан метод за одређивање радног простора и максималних могућих параметара механизма који се заснива на алгоритму SpaceSearch.
- Развијен је једноставан модел механизма за метод коначних елемената са лагранжовим множиоцима за прорачун еластичности конструкције као и за димензионисање сегмената механизма и актуатора.
- Дефинисани су прво индикатори перформанси механизма а затим и функције ограничења и прилагођености на основу којих се врши прорачун оптималних геометријских параметара механизма за потребе симулирања лета помоћу реално кодираног мешовито целобројног генетског алгоритма са ограничењима.
- Развијени симулатор лета је мехатронички једноставан, релативно малих димензија и масе, тих током рада, базиран на обртним електричним актуаторима, састављен искључиво из стандардних индустријских и електричних компонената које су широко доступне на тржишту и једноставан за производњу, што га уједно чини и приступачним.
- Развијени робусан метод за повезивање и проток информација између летелице, пилотске кабине и механизма симулатора лета.
- Неминовна кашњења података услед аквизиције и преноса су сведена на минимум помоћу мултидисциплинарног приступа и решења заснованих и на хардверским и софтверским методама. Посебна пажња је посвећена интегритету

комуникација у експлоатационим условима због чега се користе напредни протоколи који осигуравају минимално кашњење и минимално губљење пакета података.

- Приказан је нови метод за пилотирање даљински управљаном летелицом се делимично заснива и на осећају кретања саме летелице што омогућава боље формирање управљања од стране пилота када је то потребно.

Посебно је значајно да се истакне да су на израђеним прототиповима комплетног система урађена сва неопходна експериментална испитивања. У закључку дисертације су дати и многи други стручни доприноси.

Комисија констатује да је научн допринос остварени током израде докторске дисертације објављени у међународном научном часопису категорије M22, као и у зборницима међународних 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. Научни допринос наведен у Тачки 4.1. верификован је радом категорије M22 чији је Милош Петрашиновић први аутор без доктората:

Истакнути међународни часопис (M22)

1. **Petrasinovi M.**, Grbovic A., Petrasinovic D., Petrovic M., Raicevic N.: *Real Coded Mixed Integer Genetic Algorithm for Geometry Optimization of Flight Simulator Mechanism Based on Rotary Stewart Platform*, - APPLIED SCIENCES-BASE, Vol 12, No 14, 2022, 7085, (ISSN 2076-3417, impact factor **2.921 za 2021. godinu**).
<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/14/7085>

Рад у тематском зборнику међународног значаја (M14)

1. **Petrasinovic M.**, Grbovic A., Petrasinovic D.: *Geometry Optimization of Flight Simulator Mechanism Using Genetic Algorithm*, - Computational And Experimental Approaches In Materials Science And Engineering – CNN TECH 2019, Vol 90, 2019, pp. 340-358, ISBN 978-3-030-30853-7.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-30853-7_20

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33):

1. **Petrasinovic M.**, Petrović M., Petrović V.: *Quadcopter Control Based on Telemetry Data Using a 6DOF Flight Simulator*, The First International Scientific Conference "MULTIDISCIPLINARY APPROACH TO CONTEMPORARY RESEARCH", Central Institute for Conservation, ISBN: 978-86-6179-056-0, pp 159-180, Belgrade, Serbia, 25-26 November 2017.

http://macr.cik.org.rs/wp-content/uploads/2017/12/Proceeding_of_selected_papers_of_the_The_First_International_Students_Scientific_Conference.pdf

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

1. **Petrasinovic M.**, Grbovic A., Petrasinovic D., Petrovic M., Raicevic N.: *Numerical Method For Workspace Determination Of Flight Simulator With Stewart Platform Mechanism*, - International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies CNN TECH 2022, Zlatibor, Serbia, 5-8 July 2022, pp. 43, ISBN 978-86-6060-120-1.
<http://cnntechno.com/docs/Book%20of%20Abstracts%202022.pdf>
2. **Petrasinovic M.**, Grbovic A., Petrasinovic D., Rasuo B.: *Calculation of Errors in the Position and Orientation of the Parallel Mechanism Due to the Elasticity of the Structure Using the Finite Element Method*, - 92nd Annual Scientific Conference GAMM 2022, Aachen, Germany, 15-19 August 2022.
https://jahrestagung.gamm-ev.de/wp-content/uploads/2022/08/Daily_Program_Web.pdf

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа и анализе докторске дисертације „Систем за даљинско пилотирање летелицом са параметрима кретања летелице у повратној спрези” кандидата Милоша Петрашиновића, маг. инж. маш., Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је дисертација успешно завршена у складу са предметом и постављеним циљевима истраживања и да представља оригинални научни рад са научним доприносом у научној области Машинско инжењерство и ужој научној области Ваздухопловство. Кандидат је кроз спроведена истраживања дошао до оригиналних научних резултата који су успешно експериментално валидирани и који се могу применити у инжењерској пракси.

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

Имајући у виду наведено, Комисија предлаже Научно-наставном већу Универзитета у Београду – Машинског факултета да усвоји овај Извештај и да се докторска дисертација под називом „Систем за даљинско пилотирање летелицом са параметрима кретања летелице у повратној спрези” кандидата Милоша Петрашиновића, маг. инж. маш. прихвати, заједно са овим Извештајем стави на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 28.03.2025. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Александар Бенгин, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет

др Небојша Петровић, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет

др Огњен Пековић, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет

др Јелена Сворцан, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет

др Гордана Кастратовић, редовни професор
Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ
Бр. 333/2
Датум: 06.03.2025. године
БЕОГРАД, Ул. краљице Марије бр. 16

На основу обавештења др Александра Грбовића, ред. проф., ментора да је студент Милош Петрашиновић, маг. инж. маш., завршио докторску дисертацију „Систем за даљинско пилотирање летелицом са параметрима кретања летелице у повратној спрези“, предлога Колегијума наставника Катедре за ваздухопловство, а сагласно члану 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012, 89/2013 и 76/2023) и члану 42 Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно – научно веће Машинског факултета на седници одржаној дана 06.03.2025. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

- др Александар Бенгин, ред. проф.
- др Небојша Петровић, ред. проф.
- др Огњен Пековић, ред. проф.
- др Јелена Сворцан, ред. проф.
- др Гордана Кастратовић, ред. проф., Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет

именују се за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **„СИСТЕМ ЗА ДАЉИНСКО ПИЛОТИРАЊЕ ЛЕТЕЛИЦОМ СА ПАРАМЕТРИМА КРЕТАЊА ЛЕТЕЛИЦЕ У ПОВРАТНОЈ СПРЕЗИ“** студента **МИЛОША ПЕТРАШИНОВИЋА**, маг. инж. маш.

Одлуку доставити: члановима Комисије, студенту и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић