

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

579/4
(Број захтева)
10.07.2025.
(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 МР ЧЕДОМИР (ЉУБИША) КОСТИЋ
(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму МАШИНСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

пријавио је докторску дисертацију под називом:

Унапређење нумеричке методе за одређивање аеродинамичких коефицијената и дериватива стабилности летелица

из научне области: Машинство

Универзитет је дана 23.07. 2024. својим актом под бр. 61206-2779/2-24 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

Унапређење нумеричке методе за одређивање аеродинамичких коефицијената и дериватива стабилности летелица

Име и презиме ментора др Александар Бенгин, ред. проф. и др Мирко Динуловић, ред. проф.

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној од 24.04.2025. одлуком факултета под бр. 579/2. у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	др Огњен Пековић	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
2.	др Јелена Сворцан	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
3.	др Оливера Костић	ванр. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
4.	др Тони Иванов	ванр. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
5.	др Марија Самарџић	доцент, виши научни сарадник	Ваздухопловство	Универзитет одбране у Београду – Војна академија, Војнотехнички институт

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

Датум стављања извештаја Комисије и докторске дисертације на увид јавности **06.06.2025.**

Наставно-научно веће факултета усвојило је извештај Комисије за оцену докторске дисертације на седници одржаној дана **10.07.2025.**

Комисија за одбрану докторске дисертације именована је на седници одржаној 24.04.2025.

одлуком факултета под бр. 579/2, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	др Огњен Пековић	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
2.	др Јелена Сворцан	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
3.	др Оливера Костић	ванр. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
4.	др Тони Иванов	ванр. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
5.	др Марија Самарцић	доцент, виши научни сарадник	Ваздухопловство	Универзитет одбране у Београду – Војна академија, Војнотехнички институт

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: 579/4
Датум: 10.07.2025. 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 10.07.2025. године, донело је:

ОДЛУКУ

Усваја се Извештај о урађеној докторској дисертацији Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације „**Унапређење нумеричке методе за одређивање аеродинамичких коефицијената и дериватива стабилности летелица**“ студента **мр Чедомира Костића**, дипл. 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 61206-2779/2-24 од 23.07.2024. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

1. **Čedomir Kostić**; Aleksandar Bengin, Boško Rašuo; Dijana Damljanović, *Calibration of the CFD code based on testing of a standard AGARD-B model for determination of aerodynamic characteristics*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering (2021-08) DOI: 10.1177/0954410020966859 Part of ISSN: 0954-4100 Part of ISSN: 2041-3025

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Чедомира Костића, дипл. инж. маш.

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Машинског факултета бр. 579/2 од 24.04.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Чедомира Костића под називом:

**„УНАПРЕЂЕЊЕ НУМЕРИЧКЕ МЕТОДЕ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ
АЕРОДИНАМИЧКИХ КОЕФИЦИЈЕНАТА И ДЕРИВАТИВА СТАБИЛНОСТИ
ЛЕТЕЛИЦА“**

Након прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и након разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат мр Чедомир Костић, дипл. инж. је студент треће године Докторских студија на Универзитету у Београду – Машинском факултету. Прву годину студија уписао је школске 2017/18. године и од тада се непрекидно налази у статусу студента који студира уз рад. Трећу годину студија кандидат је уписао школске 2022/23. године, други пут школске 2023/24. године и тећи пут школске 2024/2025. године те је статус студента Докторских студија у складу са Законом о високом образовању, члан 100.

Кандидат је положио све испите предвиђене планом и програмом Докторских студија са просечном оценом 9,93 (девет и 93/100). Почев од уписа, па до коначног именовања ментора, улогу потенцијалних ментора докторанда обављали су проф. др Александар Бенгин, дипл. инж и проф. др Мирко Динуловић, дипл. инж.

Кандидат се обратио Већу за докторске студије дописом бр. 681/1 од 18.04.2024. године, са захтевом да му се одобри израда докторске дисертације на Универзитету у Београду – Машинском факултету и предлогом теме „Унапређење нумеричке методе за одређивање аеродинамичких коефицијената и дериватива стабилности летелица“. За

менторе су предложени др Александар Бенгин, редовни професор Универзитета у Београду – Машинског факултета и др Мирко Динуловић, редовни професор Универзитета у Београду – Машинског факултета. На основу сагласности Катедре за ваздухопловство бр. 681/2 од 07.06.2024. године, Наставно-научно веће Универзитета у Београду – Машинског факултета је донело Одлуку бр. 681/3 од 13.06.2024. године о именовању проф. др Александра Бенгина и проф. др Мирка Динуловића за менторе докторске дисертације, као и Одлуку бр. 681/3 од 13.06.2024. године о прихватању теме докторске дисертације и именовању Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у саставу: др Огњен Пековић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет, др Јелена Сворцан, ванредни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет, др Оливера Костић ванредни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет, др Никола Давидовић, доцент, Универзитет у Београду – Машински факултет и др Марија Самарџић, доцент, Универзитет одбране у Београду, Војна академија, виши научни сарадник, Војнотехнички институт Београд.

На основу Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације бр. 681/4 од 09.07.2024. године, Наставно-научно веће Универзитета у Београду – Машинског факултета доноси Одлуку бр. 681/5 од 11.07.2024. године којом прихвата научну заснованост теме докторске дисертације и констатује да кандидат испуњава услове за израду докторске дисертације. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је Одлуком бр. 61206-2779/2-24 од 23.07.2024. године дало сагласност о прихватању теме докторске дисертације под називом: „Унапређење нумеричке методе за одређивање аеродинамичких коефицијената и дериватива стабилности летелица”.

Ментори проф. др Александар Бенгин и проф. др Мирко Динуловић су 16.04.2025. године известили Колегијум наставника Катедре за ваздухопловство о завршеној докторској дисертацији кандидата мр Чедомира Костића, на основу чега је Катедра за ваздухопловство упутила обавештење бр. 579/1 од 17.04.2025. године Наставно-научном већу о завршетку израде докторске дисертације мр Чедомира Костића, као и предлог Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације. На основу наведеног дописа Катедре за Ваздухопловство, Наставно-научно веће Универзитета у Београду – Машинског факултета је донело Одлуку бр. 579/2 од 24.04.2025. године о формирању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у следећем саставу:

1. др Огњен Пековић, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет
2. др Јелена Сворцан, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет
3. др Оливера Костић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет
4. др Тони Иванов, ванредни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет
5. др Марија Самарџић, доцент
Универзитет одбране у Београду – Војна академија,
виши научни сарадник, Војнотехнички институт

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Чедомира Костића, под насловом „Унапређење нумеричке методе за одређивање аеродинамичких коефицијената и дериватива стабилности летелица“, припада научној области Машинско инжењерство, ужа научна област Ваздухопловство, за коју је матичан Универзитет у Београду - Машински факултет. У својству ментора, израдом докторске дисертације руководили су др Александар Бенгин, редовни професор Универзитета у Београду – Машинског факултета на Катедри за ваздухопловство, и др Мирко Динуловић, редовни професор Универзитета у Београду – Машинског факултета на Катедри за ваздухопловство.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат мр Чедомир Костић, дипл. инж. маш, је рођен 28.05.1977. године у Новом Саду. Основну школу је завршио у Севојну 1992. године а Ужичку гимназију 1996.године. Универзитет у Београду - Машински факултет и Војно техничку академију ВС уписао је 1996.године. Студије Машинског факултета у Београду, смер Ваздухопловство завршио је 21.09.2001. године, са просечном оценом 8,51 (осам и 51/100). Дипломски рад под називом „Надзвучно струјање око осносиметричног тела“ одбранио је оценом 10 (десет). Студије Војнотехничке академије Војске Србије завршио је 29.09.2001.године, када је унапређен у чин ваздухопловно-техничког потпоручника. Постдипломске - магистарске студије је уписао 2001.године на Универзитету у Београду - Машинском факултету, смер Ваздухопловство, група Аеродинамика. Одбранио је магистарску тезу под називом „Испитивање карактеристика ковитавиона у лету“ јула 2010. године, чиме је стекао звање магистра техничких наука.

Запослен је у Војсци Србије од 29.09.2001. године до данас. У току каријере је провео 19 година на позицијама руководиоца и главног технолога одржавања ваздухоплова типа МиГ-29, МиГ-21, Г-4 Супергалеб, Ан-26, Утва75, Ласта, Газела, Ми-8 и Ми-117, као и многобројних пратећих ваздухопловно-техничких средстава за опслуживање и испитивање ваздухоплова. Од 2020.године се налази на позицији техничког директора Ваздухопловног завода „Мома Станојловић“ који се налази у оквиру организације Министарства одбране Републике Србије.

Од почетка професионалне каријере укључен је у наставни процес у оквиру војних организација у којима је радио, тако да је био носилац курсева додатног обучавања ваздухопловно-техничког састава и пилотског састава кроз техничке учионице за надзвучне авионе типа МиГ-29.

Од оснивања, односно од 2016. године, Средње стручне војне школе „1300 каплара“ у оквиру Војне академије Војске Србије носилац је предмета: Аеродинамика и механика лета, Конструкције ваздухоплова, Ваздухопловни мотори, Ваздухопловно ракетно наоружање и Технологија производње и одржавања летелица.

Кандидат се дужи низ година бави научноистраживачким радом у области ваздухопловства. Аутор је и коаутор више научних радова, бројних Програма продужетка ресурса ваздухоплова и ваздухопловног наоружања, Техничких промена на ваздухопловима домаће производње, а такође и коаутор Програма модернизације авиона МиГ-29СД/СМ.

Области интересовања: аеродинамика, нумеричка анализа механике флуида, експериментална аеродинамика, испитивање карактеристика ваздухоплова у лету, перформансе лета авиона и хеликоптера, погонске групе ваздухоплова, аероеластичност, технологија производње, и технологија и организација одржавања ваздухоплова.

Говори енглески и служи се руским језиком. Кандидат мр Чедомир Костић је ожењен и отац је двоје деце.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под називом „Унапређење нумеричке методе за одређивање аеродинамичких коефицијената и дериватива стабилности летелица“ докторанда мр Чедомира Костића је документ формата А4, штампан двострано и у боји. Дисертација је писана на српском језику, ћириличним писмом. Првих 5 страна су: насловна страна на српском језику, насловна страна на енглеском језику, страна са подацима о менторима и члановима Комисије за одбрану докторске дисертације, сажетак на српском језику, сажетак на енглеском језику и оне нису нумерисане. Садржај, листа слика, листа табела, преглед ознака и скраћеница и предговор су нумерисани римским бројевима. Главни део дисертације је нумерисан арапским бројевима и садржи 201 страну које обухватају 8 нумерисаних поглавља, литературу и биографију докторанда. Последње 4 стране дисертације нису нумерисане и на њима се налазе: Изјава о ауторству, Изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу. Дисертација садржи 122 слике, 36 табела и 150 математичких израза којима је приказан научни проблем која се разматра.

Кратак садржај докторске дисертације:

1. Увод
2. Преглед досадашњих истраживања
3. Истраживачки ресурси
4. Математички модел струјања
5. Нумерички прорачун струјања
6. Верификација и валидација CFD симулација
7. Резултати истраживања
8. Закључак истраживања

Литература

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Докторска дисертација структурно је организована у осам тематски повезаних поглавља.

У *првом поглављу* представљена су уводна разматрања у којима су јасно дефинисани предмет и циљеви истраживања, полазне хипотезе, примењене научне методе, као и очекивани научни доприноси.

Друго поглавље посвећено је прегледу досадашњих резултата у области експерименталне аеродинамике и нумеричког моделирања аеродинамичких феномена. Детаљно је анализиран актуелни статус аеротунелских испитивања у свету и у Републици Србији, с акцентом на домете испитивања у оквиру одговарајућих интервала Маховог и Рејнолдсовог броја, те описом предности и ограничења овог типа истраживања. Разматран је и развојни пут нумеричког приступа, са освртом на еволуцију CFD метода и њихову интеграцију у савремене инжењерске праксе. У оквиру овог поглавља представљени су и резултати ауторових претходних истраживања, публиковани у релевантним научним часописима и зборницима радова.

Треће поглавље обухвата опис расположивих експерименталних и рачунарских ресурса. Посебна пажња посвећена је истраживачким капацитетима Ваздухопловно-техничког института (у даљем тексту ВТИ), са посебним освртом на могућности и карактеристике аеротунела Т-35 и Т-38. Описане су испитно-мерне инсталације, системи за дигитализацију података, као и потенцијали расположиве рачунарске инфраструктуре, што је омогућило одређивање применљивих CFD метода у оквиру истраживања.

У *четвртом поглављу* изведена је формализација математичког модела струјања, полазећи од система Навије–Стоксових једначина. Разматрани су модели идеалног и вискозног флуида, укључујући Сатерлендов модел вискозности. Опширније су представљени најзначајнији елементи математичког модела разматраног проблема: Рејнолдсове усредњене Навије–Стоксове једначине (енгл.-Reynolds-Averaged Navier-Stokes, у даљем тексту RANS); гранични и почетни услови; модели тензора напона, посебно Рејнолдсов тензор као и различити приступи моделовању турбуленције. Детаљно су анализирани најчешће примењивани модели турбуленције, уз препоруке за њихову примену у зависности од геометрије и режима струјања.

Пето поглавље обухвата нумеричку дискретизацију математичког модела. У делу временске дискретизације анализирани су експлицитне, имплицитне и хибридне шеме, уз упоредну анализу и препоруке. Просторна дискретизација је обрађена кроз анализу метода коначних разлика, коначних елемената, спектралних метода и метода коначних запремина. Представљене су технике креирања структурисаних и неструктурисаних мрежа, укључујући хибридне и адаптивне мреже, као и специфичности динамичких и еластичних мрежа у моделовању нестационарних струјања. Посебан акценат стављен је на примену клизних мрежа и поступке поновног генерисања мреже.

Дато је упутство за избор и конфигурисање прорачунске мреже као и критеријуми за оцену квалитета мреже, укључујући алгоритаМСки дијаграм тока процеса креирања прорачунског домена.

Шесто поглавље бави се концептима верификације и валидације CFD методе. Представљене су релевантне методе засноване на искуствима водећих светских институција и препорукама ваздухопловне индустрије, као и анализа примене ових

метода у аеродинамичким испитивањима. Верификација обухвата процену осетљивости решења на мрежу, проверу конвергенције и очувања физичких величина, као и тестове стабилности. Валидација је извршена на основу поређења са релевантним експерименталним подацима, при чему су примењене статистичке и корелационе методе за процену сагласности резултата.

У седмом поглављу приказана је примена развијене CFD методологије на модел AGARD-B у подзвучном, трансоничном и надзвучном струјању. Сprovedена је верификација избором одговарајућих параметара мреже и моделских претпоставки, а затим је спроведена валидација резултата CFD симулација на основу упоређивања са подацима добијеним у аеротунелским испитивањима. Представљена је и стратегија иницијализације прорачуна у циљу постизања стабилне конвергенције, као и анализа расподеле физичких величина у домену тока.

Осмо поглавље садржи коначне закључке истраживања. Извршена је анализа степена остварености постављених циљева, потврда ваљаности радних хипотеза и евалуација применљивости развијене методологије. На основу добијених резултата, дефинисани су смернице и предлози за будућа истраживања у области нумеричког моделирања аеродинамичких феномена.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација кандидата Чедомира Костића обрађује актуелну и сложену тему нумеричког моделовања стационарне и нестационарне аеродинамике опструјаваног тела у подзвучном, трансоничном и надзвучном струјању, користећи CFD методологију високог нивоа прецизности. Савременост теме огледа се у интеграцији напредних концепата хибридних прорачунских мрежа, укључујући могућност примене динамичких мрежа уз адекватну употребу RANS модела у стабилним и нестабилним режимима. Осим праћења савремених тенденција у области прорачунске аеродинамике, у раду се у појединим сегментима дају и оригинални доприноси – нарочито у домену верификације и валидације CFD модела у условима експерименталне подршке, као и у формулисању формалног критеријума за процену дисипативних ефеката проистеклих из нумеричке дифузије.

Оригиналност рада препознаје се у пажљиво формулисаном математичком моделу који комбинује Рејнолдсове усредњене Навије–Стоксове једначине са прецизно дефинисаним почетним и граничним условима симетрије, као и у детаљној анализи просторне и временске дискретизације. Посебан значај представља оригиналан приступ иницијације самог прорачуна који као резултат има стабилност конвергенције решења и значајно смањење броја прорачунских итерација. Значајан допринос даје и у области расподеле грешке и њеног утицаја на понашање решења при већим нападним угловима струјања, што је од посебне важности за пројектовање савремених летелица.

Допринос оригиналности огледа се и у демонстрацији неопходности критичког приступа примени комерцијалних CFD алата (ANSYS Fluent) при употреби клизајућих интерфејса и параметарских равни у сложеним симулацијама. Наведени допринос је приказан на примеру CFD анализе AGARD-B калибрационог модела. Рад такође

показује висок ниво зрелости у разумевању ограничења нумеричких метода, као и у способности формалне процене утицаја мрежне структуре на поузданост резултата.

Докторска дисертација представља самостални научноистраживачки допринос у области прорачунске аеродинамике, са наглашеном применљивошћу у ваздухопловној индустрији и потенцијалом за даљи развој у правцу укључивања алгоритама машинског учења у оптимизацији CFD модела. Оваква интердисциплинарна и методолошки поткрепљена истраживања сврставају дисертацију у ред иновативних и релевантних научних радова у области.

Оригиналност резултата истраживања који су презентовани у оквиру дисертације потврђена је њиховим публикавањем у часопису категорије M23.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

На основу увида у литературне изворе цитиране у раду може се констатовати да је кандидат Чедомир Костић приликом израде докторске дисертације користио актуелну, научно релевантну и тематски примерену литературу. У поглављу *Преглед досадашњих истраживања* детаљно су анализирана значајна достигнућа из области теоријске, експерименталне и прорачунске аеродинамике, при чему је истакнут њихов развојни континуитет и повезаност са напретком ваздухопловне индустрије и рачунарских метода.

У осталим поглављима дисертације кандидат је доследно примењивао савремене научне изворе ради аргументованог представљања математичког модела струјања, укључујући одговарајуће почетне и граничне услове, као и у оквиру описа развоја нумеричке шеме. Методе верификације и валидације прорачуна засноване су на релевантним савременим стандардима и препорукама водећих научних институција у области прорачунске аеродинамике, што доприноси научној утемељености и поузданости добијених резултата.

На основу Правилника о поступку провере докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду извршена је провера оригиналности докторске дисертације мр Чедомира Костића под насловом „Унапређење нумеричке методе за одређивање аеродинамичких коефицијената и дериватива стабилности летелица” коришћењем програма *iThenticate*. Утврђен је индекс подударања текста од 11%. 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 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

Коришћене методе у научно-истраживачком раду су диктиране циљем и карактером подручја истраживања и могу се груписати у научне методе, нумеричке методе и експерименталне методе:

Научне методе које су примењене у истраживању могу се груписати у следеће:

- Метода моделовања је коришћена приликом стварања физичког модела (модел опструјаване летелице у аеротунелу), односно математичког модела описане појаве (опструјавања летелице) способног да замени предмет и појаву која се истражује;
- Методе апстракције и конкретизације је примењена у фази математичког моделовања кретања летелице у процесу анализе кретања, у којој се од низа чинилаца, остављајући по страни њихове специфичне елементе, издвајају заједнички елементи у циљу извођења закључка;
- У оквиру дисертације примењена је кубна интерполација у циљу усаглашавања експерименталних и нумеричких података, чиме је омогућена доследна и прецизна упоредна анализа резултата, посебно у контексту верификације и валидације CFD модела;
- Компаративни метод и метод вишекритеријумске анализе је коришћен у сврху упоређивања података добијених на основу различитих поступака и приступа са циљем оцене и поређење података добијених математичким моделовањем и експериментом;
- Анализа и синтеза у проучавању опструјавања модела летелице, као и у математичком описивању кретања модела летелице је примењена при анализи опструјавања и динамичког понашања модела;
- Метода суперпозиције је примењена за дефинисање свеукупне слике аеродинамичких сила и момената које делују на посматрани модел, а у циљу синтезе експерименталних и симулационих резултата испитивања.

У процесу прорачуна, а на основу теорија аеродинамичког струјања (класа основних дводимензионалних струјања, класа дводимензионалних теорија примењених на тродимензионалне облике, класа основних тродимензионалних струјања и класа непотенцијалних, вискозних тродимензионалних струјања) употребљене су:

- Полуемпиријске методе, развијене на основу линеаризованих теорија дводимензионалних струјања, засноване на теоријским изразима и вредностима добијеним применом метода карактеристика коригованих у складу са вредностима резултата претходних испитивања.

Нумеричке методе, које су коришћене у докторској дисертацији, развијене су на основу теорија дводимензионалних струјања примењених на тродимензионалне облике и тродимензионална струјања, прилагођене могућностима расположиве рачунарске технологије, а представљају методе прорачуна применом рачунара. Засноване су на математичким теоријама на основу којих је могуће решавати основне парцијалне диференцијалне једначине нумеричким изразима, које описују посматрано струјно поље. Користиће се следеће нумеричке методе:

- Метода нумеричког интегрисања диференцијалних једначина, базирана на Кошијевој теореме, теореме Рунге-Кута и Ојлера коришћена је приликом синтезе и суперпозиције;
- Метода коначних запремина, као нумеричка метода решавања система парцијалних диференцијалних једначина где су прорачунске мреже генерисане

у тродимензионалном простору је примењена уз програмски пакет рачунарске динамике флуида. Ови програмски алати користе методу за решавање проблема динамике флуида на бази закона одржања. Коришћени су комерцијални програмски алати нумеричке динамике флуида ANSYS Fluent са адекватним нумеричким алатима за генерисање прорачунских мрежа струјног поља.

У оквиру дисертације адекватно су искоришћени експериментални подаци добијени у претходно спроведеним аеротунелским испитивањима Војнотехничког института, који не представљају оригинални експериментални сегмент овог рада. Наведена испитивања обухватала су мерење физичких величина неопходних за одређивање аеродинамичких коефицијената и дериватива стабилности. Применом различитих експерименталних техника у тим испитивањима извршена су:

- мерења примарних параметара струјања у радном делу аеротунела;
- мерења аеродинамичких сила и момената помоћу шестокомпонентне аероваге;
- мерења тензометријским давачима лоцираним на моделу;
- испитивања уз примену уређаја који омогућавају хармонијско осцилаторно кретање модела у радном делу аеротунела.

Ови подаци представљају поуздану експерименталну основу за верификацију и валидацију нумеричких модела развијених у оквиру дисертације.

Ово научно истраживање истовремено користи савремена достигнућа нумеричких метода прорачуна примењених на физички модел летелице употребом савремених нумеричких софтвера и резултате експерименталних испитивања аеродинамичких калибрационих модела.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати истраживања представљени у докторској дисертацији имају широку примену у савременим научно-истраживачким и инжењерским активностима, са посебним значајем у области ваздухопловства, развоја савремених летелица и унапређења аеродинамичких конфигурација. Развијена CFD методологија омогућава поуздану и прецизну процену поља струјања у свим режимима лета, што представља основу за пројектовање ваздухоплова са високом маневарском способношћу.

У дисертацији су дате конкретне препоруке за избор и примену метода просторне и временске дискретизације, избор турбулентних модела у зависности од задатих физичких услова и расположивог рачунаског ресурса, такође и за пројектовање облика хибридних и динамичких мрежа које омогућавају ефикасно и стабилно решавање комплексних аеродинамичких конфигурација. Посебна пажња посвећена је критичком осврту на процесе пројектовања и научног истраживања у којима се CFD користи као главни алат, уз систематизован приступ у дефинисању корака моделовања, симулације и анализе резултата.

Добијени подаци о расподели притисака, брзина и турбулентних параметара могу се директно користити у структурним и термодинамичким анализама, као и у процесима верификације и подешавања система управљања летом. Осим тога, резултати имају вредност у истраживачком и академском контексту — као референтни модел за

валидацију других CFD метода, али и као наставни материјал у области нумеричке механике флуида и аеродинамике.

С обзиром на то да су неке методе и поступци у дисертацији прилагођени условима са расположивим експерименталним подацима, значајан допринос рада огледа се и у могућности његове примене у ситуацијама када је спровођење физичких испитивања финансијски, безбедносно или технолошки ограничено. Истовремено, дисертација поставља основу за даљи развој напредних алата који интегришу CFD технике са методама машинског учења, у циљу убрзања процене и оптимизације аеродинамичког одговора у фазама пројектовања и развоја.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Чланови комисије сматрају да кандидат Чедомир Костић поседује искуство, знање и вештине које су неопходне за самостално решавање комплексних инжењерских и научних проблема у области ваздухопловства. Кандидат правилно користи савремене научне методе, вешто анализира добијене резултате и изводи релевантне закључке. Резултати урађене докторске дисертације представљају доказ оспособљености кандидата за обављање самосталног научноистраживачког рада.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У дисертацији „Унапређење нумеричке методе за одређивање аеродинамичких коефицијената и дериватива стабилности летелица“, кандидат мр Чедомир Костић је у складу са постављеним циљевима и полазним хипотезама остварио два оригинална научна доприноса и више стручних доприноса.

Сви доприноси кандидата, научни и стручни, који су проистекли из докторске дисертације, представљени су у научном раду публикованом у часопису категорије M23, под насловом: „*Calibration of the CFD code based on testing of a standard AGARD-B model for determination of aerodynamic characteristics*“, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering, vol. 235, no. 10, pp. 1129–1145, Aug. 2021, doi: 10.1177/0954410020966859, који је доступан на интернет адреси: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0954410020966859>.

4.1.1. Оригинални научни допринос

Научни доприноси дисертације остварени су кроз више конкретних резултата, који су у складу са претходно дефинисаним очекивањима.

У циљу унапређења флексибилности и применљивости CFD симулација остварен је следећи оригинални научни допринос:

- Успостављена је побољшана и нова методологија нумеричког прорачуна аеродинамичких коефицијената и дериватива стабилности апсолутно круте летелице са фиксним командама, која се огледа у побољшању методологије дизајнирања облика и димензија прорачунских домена, која омогућава примену

на различите положаје модела и услове опструјавања без потребе за редизајнирањем, као и унапређењем методологије израде ефикасније прорачунске мреже која даје могућност примене за прорачуне нестационарних опструјавања без потребе поновне израде мреже, уз препоруке за правилну и ефикасну употребу већ развијених модела турбуленције, развојем стратегије иницијалног прорачуна који ће допринети стабилном тренду конвергенције нумеричких резултата.

Наведени научни допринос је дат кроз поглавља 4 и 5 дисертације на странама 53-126 и објављен у оквиру наведеног научног рада на странама 1133-1137.

Са циљем да се осигура да развијена CFD метода има прецизно нумеричко решење и да није под утицајем грешака које произилазе из мреже, нумеричке дискретизације или конвергенције, као и тежње да се осигура квалитативна анализа веродостојности нумерички добијених решења остварен је оригинални научни допринос:

- Унапређење методологије верификације нумеричких алата конкретизацијом на услове испитивања у аеродинамици на основу доступних експерименталних резултата, чиме се поставља основ за унификацију на овом пољу, као и побољшање методологије валидације добијених нумеричких резултата прецизирањем критеријума валидности који су прихватљиви у аеродинамици класичних летелица, кроз имплементацију развијене методологије прорачуна на репрезентативном примеру.

Наведени научни допринос је дат кроз поглавље 6 дисертације на странама 127-137 и што је објављен у оквиру наведеног научног рада на странама 1134-1137.

Нумеричким и експерименталним испитивањима приказаним и анализираним у поглављу 7 дисертације на странама 138-195) и објављеним у оквиру наведеног научног рада на странама 1137-1142 је верификована методологија приказана у дисертацији.

4.1.2. Стручни доприноси

Докторска дисертација кандидата, заједно са из ње проистеклим публикацијама, садржи значајне стручне доприносе који, иако немају карактер формалног научног доприноса, представљају важан помак у примени CFD метода.

Кључни доприноси обухватају развој генерализованог прорачунског домена са универзалним граничним условима, увођење ефикасне хибридне мреже прилагођене нестационарним симулацијама, формулисање препорука за избор RANS турбулентних модела у зависности од услова симулације, као и критеријумски заснованих смерница за просторну и временску дискретизацију. Развијена је и стратегија иницијализације прорачуна ради убрзања конвергенције, а методологија је успешно верификована и валидирана на примеру AGARD-B модела. Целокупни приступ је усмерен ка практичној примени у инжењерској пракси, омогућавајући брже и поузданије симулације у различитим режимима лета, чиме се значајно унапређује прецизност и ефикасност CFD анализа у области аеродинамике, посебно у условима нестационарног и високо компресибилног струјања.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне научне литературе и постојећих решења из области докторске дисертације, Комисија констатује да су приказани резултати истраживања значајни, актуелни и научно утемељени. Упоредном анализом постављених циљева истраживања и остварених резултата докторске дисертације, констатујемо да је кандидат мр Чедомир Костић, дипл. инж. успешно остварио оригинални научни допринос, пружио одговоре на сва релевантна питања и решио све проблеме са којима се сусрео током истраживања.

Кандидат је у оквиру истраживања развио унапређену методологију нумеричког прорачуна аеродинамичких коефицијената и дериватива стабилности апсолутно круте летелице са фиксним командама, која обухвата:

- Побољшани концепт прорачунског домена који омогућава примену на различите положаје летелице и услове струјања без потребе за редифинисањем граничних услова и геометрије домена;
- Разрађену методологију генерисања структурисаних, неструктурисаних и хибридних мрежа, уз примену критеријума који омогућавају поуздану и стабилну симулацију и у нестационарним условима, без потребе за поновним редизајнирањем;
- Препоруке за примену RANS модела турбуленције на основу компаративне анализе више модела турбуленције, при чему је дефинисан скуп критеријума за њихову примену у различитим режимима струјања;
- Развој стратегије иницијализације прорачуна, чиме је омогућено побољшање стабилности и убрзање конвергенције нумеричког решења, што представља значајан корак у правцу повећања ефикасности CFD симулација.

Развијена је унапређена методологија верификације нумеричких алата и валидације резултата, која укључује:

- Примарну верификацију путем анализе сагласности решења при различитим просторним дискретизацијама и оцене конзистентности граничних услова;
- Примена методолошки доследне и поновљиве процедуре за проверу стабилности и тачности алгоритма у различитим режимима струјања (подзвучно, трансонично и надзвучно);
- Прецизирање критеријума валидности нумеричких резултата у односу на експерименталне податке, при чему су дефинисане дозвољене границе одступања аеродинамичких коефицијената у складу са стандардима аеротунелских испитивања;
- Имплементација развијене методологије на калибрационом моделу AGARD-B, што омогућава поређење резултата са добро документованим експерименталним подацима и тиме потврђује применљивост предложеног приступа у пракси;
- Отварање могућности за унапређење унификације процедура верификације и валидације у CFD анализи у области аеродинамике класичних летелица.

Овим научним доприносима, истраживање доприноси даљем развоју поузданих, ефикасних и валидираних CFD метода које се могу применити у пројектовању и анализи летелица различитих геометријских и аеродинамичких карактеристика.

Кандидат је пажљивим планирањем, организацијом и реализацијом комплексних серија нумеричких експеримената и обрадом и анализом великог броја генерисаних података у потпуности верификовао полазне хипотезе и постављене научне циљеве дисертације.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат мр Чедомир Костић је верификовао научни допринос наведен у тачки 4.1 публикавањем резултата проистеклих из дисертације у оквиру рада у научном часопису категорије M23. Поред наведеног, кандидат је објавио још један рад у часопису категорије M52, који је проистекао из истраживања у оквиру саме дисертације.

Међународни часопис (M23)

1. **Čedomir Kostić**; Aleksandar Bengin, Boško Rašuo; Dijana Damljanović, *Calibration of the CFD code based on testing of a standard AGARD-B model for determination of aerodynamic characteristics*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering (2021-08) DOI: 10.1177/0954410020966859 Part of ISSN: 0954-4100 Part of ISSN: 2041-3025

Истакнути часопис националног значаја (M52)

2. **Čedomir Kostić**, *Review of the Spalart-Allmaras turbulence model and its modifications to three-dimensional supersonic configurations*, Vojno tehnički glasnik / Sci Tech Rev (2015), Vol.65,No.1,pp.43-49. DOI: 10.5937/str1501043k

Остала библиографија кандидата:

Међународни часопис (M23)

1. Knežević A., Vasov L., Vlačić S., **Kostić Čedomir**, *Imperfect Maintenance Model for Estimating Aircraft Fleet Availability*, Aircraft Engineering and Aerospace Technology (2017), Vol. 89 No. 2, pp. 338-346. 2017 DOI: 10.1108/AEAT- 10-2015-0221.R1

Врхунски часопис националног значаја (M51)

2. **Čedomir Kostić**; Boško Rašuo; Aleksandar Janković, *Flying spin qualities testing of airplane*, Tehnika – mašinstvo (2015) 64 5:789-803 DOI: 10.5937/tehnika1505789k
3. Aleksandar Janković; Boško Rašuo; **Čedomir Kostić**, *Aerodynamic characteristics and load of aerostats during flight* Tehnika 70 (2015). 967-974.DOI: 10.5937/tehnika1506967j

Истакнути часопис националног значаја (M52)

4. **Čedomir Kostić**; Boško Rašuo, *Aerodynamic airfoil at critical angles of attack*, Војно технички гласник-Military technical courier (2016) Vol 64, No3 DOI: 10.5937/vojtehg64-8048.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и детаљне анализе докторске дисертације кандидата мр Чедомира Костића, дипл. инж. маш., под насловом „Унапређење нумеричке методе за одређивање аеродинамичких коефицијената и дериватива стабилности летелица“, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је дисертација написана према свим стандардима научноистраживачког рада, као и 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. Комисија 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.

Имајући у виду наведено, Комисија предлаже Наставно – научном већу Универзитета у Београду – Машинског факултета да се докторска дисертација под насловом „Унапређење нумеричке методе за одређивање аеродинамичких коефицијената и дериватива стабилности летелица“ кандидата мр Чедомира Костића, дипл. инж. маш., заједно са овим Извештајем, прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 27.05.2025.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

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

др Оливера Костић, ванредни професор,
Универзитет у Београду – Машински факултет

др Тони Иванов, ванредни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет

др Марија Самарџић, доцент,
Универзитет одбране у Београду – Војна академија,
виши научни сарадник, Војнотехнички институт.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ
Бр. 579/2
Датум: 24.04.2025. године
БЕОГРАД, Ул. краљице Марије бр. 16

На основу обавештења др Александра Бенгина, ред. проф. и др Мирка Динуловића, ред. проф., ментора да је студент Чедомир Костић, дипл. инж. маш., завршио докторску дисертацију „Унапређење нумеричке методе за одређивање аеродинамичких коефицијената и дериватива стабилности летелица“, 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 24.04.2025. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

- др Огњен Пековић, ред. проф.
- др Јелена Сворцан, ред. проф.
- др Оливера Костић, ванр. проф.
- др Тони Иванов, ванр. проф.
- др Марија Самарцић, доц., Универзитет одбране у Београду, Војна академија, виши научни сарадник, Војнотехнички институт.

именују се за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **„УНАПРЕЂЕЊЕ НУМЕРИЧКЕ МЕТОДЕ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ АЕРОДИНАМИЧКИХ КОЕФИЦИЈЕНАТА И ДЕРИВАТИВА СТАБИЛНОСТИ ЛЕТЕЛИЦА“** студента **ЧЕДОМИРА КОСТИЋА**, дипл. инж. маш.

Одлуку доставити: члановима Комисије, студенту и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић