

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

646/5

(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 ДРАГОЉУБ (ЉУБОДРАГ) ТАНОВИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

студент докторских студија на студијском програму МАШИНСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

пријавио је докторску дисертацију под називом:

ОПТИМИЗАЦИЈА ВЕТРОТУРБИНА ПОСЕБНИХ НАМЕНА

из научне области: Машинство

Универзитет је дана 04.11. 2021. својим актом под бр. 61206-4324/2-21

дао сагласност на предлог теме докторске дисертације

која је гласила:

ОПТИМИЗАЦИЈА ВЕТРОТУРБИНА ПОСЕБНИХ НАМЕНАИме и презиме ментора др Јелена Сворцан, ред. проф. и др Оливера Костић, ванр. проф.

Комисија за оцену докторске дисертације именована је на седници одржаној од 15.05.2025.
одлуком факултета под бр. 646/3, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	др Александар Симоновић	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
2.	др Александар Бенгин	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
3.	др Огњен Пековић	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
4.	др Тони Иванов	ванр. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
5.	др Горан Оцокољић	научни сарадник	Ваздухопловство	Војнотехнички институт Београд

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 15.05.2025.

одлуком факултета под бр. 646/3

, у саставу:

	Име и презиме члана комисије	звање	научна област	Установа у којој је запослен
1.	др Александар Симоновић	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
2.	др Александар Бенгин	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
3.	др Огњен Пековић	ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
4.	др Тони Иванов	ванр. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет БУ
5.	др Горан Оцокољић	научни сарадник	Ваздухопловство	Војнотехнички институт 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: 646/5
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 „**ОПТИМИЗАЦИЈА ВЕТРОТУРБИНА ПОСЕБНИХ НАМЕНА**“ студента **ДРАГОЉУБА ТАНОВИЋА**, 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 61206-4324/2-21 од 04.11.2021. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

1. **Tanović, D.**, Simonović, A., Kostić, O., Svorcan, J., “*A mathematical model of the effect of pitch angle on power performance of a small HAWT*“, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2025, <https://doi.org/10.1177/09544062251314354>
2. **Tanović, D.**, Simonović, A., Kostić, O., Svorcan, J., “*The effect of blade turning angle on rotation improvement of a small horizontal axis wind turbine*“, Measurement and Control, 2025, <https://doi.org/10.1177/00202940241312659>

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Машински факултет
Краљице Марије 16
11120 Београд 35

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата
Драгољуба Тановића, магист.инж.маш.

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Машинског факултета (бр. **646/3**) од дана 15.05.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Драгољуба Тановића, магист.инж.маш. под насловом

„Оптимизација ветротурбина посебних намена”.

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 Драгољуб Тановић, магист.инж.маш, уписао је Докторске академске студије Машинског факултета Универзитета у Београду школске **2018/2019.** године. Положио је испите из свих предмета предвиђених наставним планом и програмом за ниво Докторских академских студија са просечном оценом 9,71 (словима: девет и 71/100).

Кандидат је поднео захтев за пријаву теме докторске дисертације под насловом „Оптимизација ветротурбина посебних намена” дана **23.08.2021.** године, под евиденционим бројем **1376/1**, а за менторе су предложени проф. др Александар Симоновић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду и проф. др Оливера Костић, ванредни професор Машинског факултета Универзитета у Београду.

На основу сагласности Катедре за ваздухопловство (бр. **1376/2**) од **08.09.2021.** године, Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду донело је **16.09.2021.** године Одлуку (бр. **1376/4**) о именовању комисије за подношење извештаја о прихватању теме докторске дисертације и њене научне заснованости у саставу:

1. др Александар Бенгин, ред. проф, Машински факултет, Универзитет у Београду
2. др Огњен Пековић, ванр. проф, Машински факултет, Универзитет у Београду
3. др Јелена Сворцан, ванр. проф, Машински факултет, Универзитет у Београду
4. др Тони Иванов, доц, Машински факултет, Универзитет у Београду

5. др Драган Комаров, научни сарадник, Академија техничких струковних студија Београд (садашњи назив: Академија струковних студија Политехника - Београд)

На основу Извештаја Комисије (бр. **1376/5**) од **19.10.2021.** године, Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду је **21.10.2021.** године донело Одлуку (бр. **1376/6**) којом прихвата предлог о испуњености услова о научној заснованости теме докторске дисертације. Машински факултет подноси захтев Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, које је на седници одржаној **04.11.2021.** године донело Одлуку (бр. **61206-4324/2-21**) да се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације Драгољуба Тановића, маг.инж.маш.

Због привремене недоступности (неплаћеног одсуства) проф. др Александра Симоновића, Катедра за ваздухопловство је поднела захтев (бр. **180/1**) дана **31.01.2025.** године Наставно-научном већу Машинског факултета за промену ментора докторске дисертације кандидата Драгољуба Тановића, маг.инж.маш, и предложила да уместо проф. др Александра Симоновића ментор буде проф. др Јелена Сворцан. Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду је **06.02.2025.** године донело Одлуку о промени ментора, а Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело Одлуку (бр. **61206/2-25**) од **25.03.2025.** године којом се, уз ментора ван. проф. Оливеру Костић, именује и проф. др Јелена Сворцан за ментора докторске дисертације кандидата Драгољуба Тановића, маг.инж.маш.

На основу обавештења ментора, др Јелене Сворцан, редовног професора Машинског факултета Универзитета у Београду и др Оливере Костић, ванредног професора Машинског факултета Универзитета у Београду, да је кандидат Драгољуб Тановић, маг.инж.маш, завршио докторску дисертацију, као и предлога колегијума наставника Катедре за ваздухопловство, Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду, дана **15.05.2025.** године доноси Одлуку (бр. **646/3**) о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

1. др Александар Симоновић, ред. проф, Машински факултет, Универзитет у Београду
2. др Александар Бенгин, ред. проф, Машински факултет, Универзитет у Београду
3. др Огњен Пековић, ред. проф, Машински факултет, Универзитет у Београду
4. др Тони Иванов, ванр. проф, Машински факултет, Универзитет у Београду
5. др Горан Оцокољић, научни сарадник, Војнотехнички институт Београд

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „**Оптимизација ветротурбина посебних намена**” припада области техничких наука - Машинство, ужој научној области - Ваздухопловство, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан. Ментор др Јелена Сворцан је редовни професор на Катедри за ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор до сада је публиковала 22 рада на SCI листи. Ментор др Оливера Костић је ванредни професор на Катедри за ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор до сада је публиковала 10 радова на SCI листи.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Драгољуб Тановић, маг.инж.маш, рођен је 24. априла 1994. године у Београду, Република Србија. Основну школу „Краљ Александар I” у Београду завршио је 2009. године, да би исте године уписао „Земунску гимназију”, математички смер и завршио је 2013. године.

На Универзитет у Београду – Машински факултет уписао се школске 2013/2014. године. Основне академске студије – машинско инжењерство завршио је 21.09.2016. године, са укупном просечном оценом током студија 8,13 (словима: осам и 13/100). Школске 2016/2017. године уписао је Мастер академске студије – машинско инжењерство, модул Ваздухопловство, а завршио их је 25.09.2018. године, одбранивши мастер рад на тему „Симулација ветротурбине са вертикалном осом обртања“ под менторством проф. др Александра Симоновића са оценом 10 (словима: десет). Укупна просечна оцена током Мастер академских студија износи 9,15 (словима: девет и 15/100). Добитник је захвалнице за изванредан успех на другој години Мастер академских студија Машинског факултета Универзитета у Београду.

Током 2018. године обавља праксу у ЈАТ Техници где се бавио организацијом и управљањем документацијом везаном за одржавање ваздухоплова и асистирањем при припремању радних задатака на пословима одржавања.

У школској 2018/2019. години уписао је Докторске академске студије – машинско инжењерство на Машинском факултету Универзитета у Београду (број индекса Д05/2018). Све време студија показује склоност ка научноистраживачком раду као и велику самосталност у истраживању где је до сада, као аутор или коаутор, публиковао 40 научно стручних радова, од којих је 6 на SCI листи. Учествовао је на више научних скупова, скуповима студената и предавањима из области везаних за машинство.

Кандидат је од 01.11.2018. године запослен као истраживач-приправник на Катедри за ваздухопловство, уз ангажовање у реализацији наставног процеса одржавања вежби на предметима: МКЕ Анализе (ОАС), Лаке и композитне конструкције (ОАС), Хеликоптери (МАС), Наоружање ваздухоплова (МАС), Ветротурбине 2 (МАС), Прорачунске методе у ваздухопловству (ОАС), Ветротурбине (ОАС).

Почевши од 2019. ангажован је на реализацији пројекта под покровитељством тадашњег Министарства просвете, науке и технолошког развоја под називом „Истраживање и развој савремених приступа пројектовању композитних лопатица ротора високих перформанси“, ТР 35035, чији је руководилац био проф. др Слободан Ступар. У међувремену, овај пројекат је трансформисан у „Интегрисана истраживања у области макро, микро и нано машинског инжењерства – Дизајн, оптимизација и интеграција енергетски ефикасних, адаптивних и аутономних аерокосмотехничких система и ротора“, а тренутно се реализује под уговором бр. 451-03-65/2024-03/200105 од 5.2.2024. год. Додатну сарадњу са привредом реализовао је са Утва Авио Индустријом из Панчева на пословима пројектовања и изради документације за авион Сова С1.

Течно говори енглески и немачки језик. У свакодневном раду користи следеће програмске језике и пакете: *Catia V5, AutoCAD, SolidWorks, Ansys, Creo Parametric, Agisoft Metashape, Ultimaker Cura, Matlab/Simulink, Microsoft Office, Adobe Photoshop CC*. Поседује и дозволу за управљање беспилотним ваздухопловом.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Драгољуба Тановића, маг.инж.маш, под називом „**Оптимизација ветротурбина посебних намена**“ је документ формата А4, штампан двострано, написан на српском језику, ћириличним писмом. Написана је на укупно 105

нумерисаних страна, укључујући и Литературу која садржи 123 референце. Илустрована је са 74 слике и дијаграма, садржи 66 нумерисаних израза и 23 табеле.

Докторска дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод
 2. Извори енергије
 3. Ветротурбине
 4. Класификација ветротурбина
 5. Теорија идеалног ротора
 6. Оптимизација ветротурбина
 7. Нумеричка анализа
 8. Експериментална аеротунелска испитивања
 9. Експериментална анализа на развијеном испитном столу
 10. Закључак
- Литература

Осим наведеног, докторска дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, биографију аутора, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу дисертације дат је увод у предметну научну област и садржан је циљ истраживања, мотивација за бављење оптимизацијом ветротурбина, полазне хипотезе и наведени су начини на који је приступљено истраживању као и све његове фазе.

Друго поглавље обухвата тематику обновљивих извора и стање производње електричне енергије у свету и у Републици Србији. Приказани су статистички подаци тренутних и могућих потенцијалих обновљивих извора. У Србији око 57% електричне енергије из обновљивих извора потиче из енергије ветра са локација ветропаркова Јужни Банат и Источна Србија.

Треће поглавље се бави ветротурбинама, њеним карактеристикама, и основним моделом система ветротурбина. Систем ветротурбине се може представити помоћу три основне функције: процес, управљање и контрола стања. Приказан је основни модел система ветротурбине са његовим основним компонентама, међусобним везама и утицајима.

У четвртном поглављу су дате класификације ветротурбина по одређеним критеријумима и специфичностима везаним за њих. Дат је детаљан опис ветротурбина малих димензија и летећих ветротурбина, са потенцијалом велике примене у будућности. Посебно су анализирани: аерофил и материјал лопатица, самопокретање турбине, турбуленција у граничном слоју, погонски склоп и локација ветротурбине.

Пето поглавље се бави теоријским основама и утицајем ветра на лопатице ветротурбина. Детаљно су разматране законитости промене понашања сила, момената и снаге на лопатицама и ротору ветротурбине. Анализиран је и утицај геометријских карактеристика лопатица на излазне карактеристике ветротурбине коришћењем теорије елемената лопатице као и комбиноване теорије идеалног ротора и елемената лопатице.

Шесто поглавље обухвата теоријске основе оптимизације са освртом на методологију техноекономске оптимизације ветротурбина. Дат је критички осврт на рад ветротурбина и усвојен критеријум оптимизације: угао заокретања лопатица.

Седмо поглавље садржи процену аеродинамичких перформанси ротора методом коначних запремина, а применом софтверских пакета *Ansys CFX* и *Ansys Fluent*. До 3D модела лопатица се дошло обрнутим инжењерингом уз коришћење софтверског пакета CATIA. Ово поглавље садржи нумеричку анализу модела лопатица и утврђивање зависности промене коефицијента снаге (C_p) у функцији коефицијента рада (λ) и броја обртаја (n) при одговарајућим угловима заокретања лопатица (β). Поред наведеног, спроведена је анализа промене момента и механичке снаге на ротору у функцији броја обртаја (n) при одговарајућим угловима (β). Урађена је нумеричка анализа и оптимизација ветротурбина посебне намене на висинама где дувају ветрови већих брзина.

У осмом поглављу је приказана веома комплексна методологија испитивања и мерења на моделу ветротурбине у аеротунелу и обрада експериментално добијених резултата. Мерење је вршено при оптерећењу генератора, односно помоћу три термогена отпорника карактеристика 48V/100W везана у троугао. Брзина струјања у аеротунелу је достигала вредност до 11,5 m/s, а запис резултата мерења је вршен при брзинама 5,8 , 8,3 и 11,5 m/s. Подаци су обрађивани након сваког експеримента помоћу софтвера *NI DIAdem* и за сваки узорак података на каналу за међуфазни напон генератора одређиване су карактеристике: доминантна учестаност сигнала и максимална амплитуда сигнала. На основу наведених вредности одређивана је електрична снага на генератору. Спроведена су и мерења за случај када генератор није оптерећен. Применом метода *Box-Wilson* добијени су математички модели промене електричне снаге и броја обртаја генератора у функцији брзине ветра и угла заокретања за оба типа разматраних лопатица (V , M).

У деветом поглављу приказана је методологија испитивања истог модела ветротурбине у лабораторијским условима на Машинском факултету. Пројектован је мултифункционалан уређај (експериментални сто) који се састоји од електричног генератора, две спојнице, сензора обртног момента, трофазног асинхроног мотора, фреквентног регулатора, ласерског мерача броја обртаја и уређаја за мерење електричног напона (дигиталног мултиметра). Испитивање је вршено при неооптерећеном и оптерећеном генератору, а фреквентним регулатором је регулисана угаона брзина вратила мотора, односно генератора. На основу измерених вредности обртног момента, применом регресионе анализе, односно софтверског пакета *DataFit* добијени су математички модели промене механичке снаге у функцији броја обртаја (n) и угла заокретања (β) за оба типа разматраних лопатица (V , M).

Десето поглавље је закључно. У њему се сумирају резултати истраживања, изводе кључни закључци и дају препоруке за могућа будућа истраживања која се превасходно могу реализовати на пројектованом испитном столу.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација Драгољуба Тановића, магист.инж.маш, под насловом „**Оптимизација ветротурбина посебних намена**” представља савремен, значајан и оригинални допринос у области примене нумеричке и експерименталне аеродинамичке анализе лопатица ветротурбина. Кроз примену напредних нумеричких техника, савремених експерименталних истраживања у аеротунелу и истраживања на пројектованом мултифункционалном испитном столу (уређају) дефинисана је и успостављена јединствена методологија која може бити

коришћена и за детаљну анализу и оптимизацију, не само угла заокретања лопатица, већ различитих геометријских облика лопатица, броја лопатица, одговарајућих генератора, улежиштења на генератору, итд.

У оквиру истраживања и током израде дисертације примењене су савремене истраживачке методе планирања и извођења експеримената, односно вишефакторни ортогонални планови (*Box-Wilson* планови). То је подразумевало да се експерименталне тачке распореде у простору тако да задовоље услове симетричности, ортогоналности и нормативности.

Управо савремени вишефакторни планови омогућују да се идентификују појаве и механизми процеса, постави математички модел процеса у зависности од улаза (брзина ветра, угао заокретања лопатица) и излаза (електричне снаге и броја обртаја генератора са лопатицом) процеса и оптимизује ток процеса на основу функција циља.

У циљу одређивања карактера промене момента и механичке снаге урађена је регресиона анализа користећи софтверски пакет *DataFit* и полиномијални регресиони модел. Добијени математички модели испуњавају услов сигнификантности и адекватности и могу се користити у пракси у опсегу брзине ваздушног струјања ($V_w = 5,8 - 11,5 \text{ m/s}$) и угла заокретања ($\beta = 5^\circ - 10^\circ$).

Оригиналност у приступу приликом решавања предложеног проблема огледа се кроз два рада публикована у два међународна научна часописа са SCI листе категорије M23 као и другим публикацијама.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Прегледом цитиране литературе, издвојене у поглављу Литература, закључује се да је кандидат Драгољуб Тановић, магистар инжењерских наука, при изради дисертације користио референтну и актуелну литературу из области прорачуна, експерименталног испитивања, оптимизације и предикције одзива ветротурбина посебних намена, што је резултовало одабраним списком од 123 библиографске референце. Наведени литературни извори углавном су публиковани у току последње деценије што указује на актуелност, сложеност и мултидисциплинарност истраживане теме. Библиографске јединице укључују одбрањене докторске дисертације, књиге, радове из рецензираних међународних часописа и зборника научних радова, чији преглед указује на значај и актуелност теме ове докторске дисертације.

На основу Правилника о поступку провере докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду извршена је провера оригиналности докторске дисертације **Драгољуба Тановића**, магистар инжењерских наука, под насловом **„Оптимизација ветротурбина посебних намена”** коришћењем програма *iThenticate*. Утврђен је индекс сличности од 7% уз свако појединачно преклапање мање од 1%. Приказана преклапања односе се на опште фразе које се употребљавају у публикацијама овог типа (назив институције, наслови уводних поглавља, нумерација страна...), 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

За реализацију постављених циљева истраживања коришћене су адекватне научноистраживачке методе:

- преглед стања истраживања у области оптимизације ветротурбина посебне намене кроз анализу доступних постојећих литературних извора;

- теорију идеалног ротора која омогућује аналитичко одређивање погонске силе ротора и повезивање потиска ротора, индуковане брзине, радијуса ротора и обртног момента, не узимајући у обзир облик, конфигурацију и остале параметре лопатице ротора;
- методе нумеричке анализе (конкретно методе коначних запремина) при процени аеродинамичких перформанси лопатица ротора коришћењем софтверских пакета *Ansys CFX* и *Ansys Fluent*;
- аналитичке методе за формирање математичког модела понашања ветротурбине применом вишефакторних ортогоналних планова (*Box-Wilson* планови) и регресионе анализе (полиномијални регресиони модел).

Интеграцијом коришћених метода, у дисертацији је остварена синергија између различитих приступа (аналитичког, нумеричког, експерименталног) чиме је стечен комплексан увид у области оптимизације ветротурбина посебне намене. Истраживачки рад у оквиру ове докторске дисертације задовољава највише научне стандарде и доприноси у развоју ових области, успостављајући иновативну методологију и интеграцију више различитих приступа.

3.4. Применљивост остварених резултата

Остварени резултати ове докторске дисертације имају значајну примену у области пројектовања ветротурбина које користе разматране лопатице профила *SD 7003* и различите углове њиховог заокретања, што се првенствено односи на развијене математичке моделе промене електричне снаге, броја обртаја и механичког момента на ротору. Модели могу бити, а очекују се и да буду коришћени у процесу пројектовања нових модела ветротурбина, као и у предвиђању њихових перформанси у одговарајућим условима оптерећења. Дати резултати такође креирају темељ за будућа истраживања у овој области, што је кандидат и истакао у Закључку дисертације.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде своје докторске дисертације, кандидат Драгољуб Тановић, магистар инжењерских наука, је показао несумњиву способност да самостално препозна и решава научне и инжењерске проблеме коришћењем савремених научноистраживачких метода. Поседује темељно и широко знање у домену пројектовања ветротурбина, као и знање у оквиру примене нумеричких метода користећи савремене софтверске пакете за решавање постављених задатака. Поред систематичног прегледа и критичке оцене савремених истраживања, дефинисања сопствених математичких и нумеричких модела као и методологије оптимизације и предикције, спровођења нумеричких испитивања, кандидат је реализовао више од 500 експеримената и спровео упоредне анализе добијених резултата између два разматрана приступа (нумеричке анализе и експерименталног истраживања). Кандидат поседује знање писања научних радова саопштених на научним скуповима и публикованим у часописима међународног значаја. Тиме је кандидат стекао потребне квалификације за бављење самосталним научноистраживачким радом у будућности.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру докторске дисертације Драгољуба Тановића, магистар инжењерских наука, под насловом „Оптимизација ветротурбина посебних намена“ остварен је следећи оригинални научни допринос:

- Оптимизација радних параметара разматраних лопатица ротора (као што су угао заокретања или угаона брзина) са циљем максимизације излазног коефицијента снаге или снаге, а коришћењем нумеричке анализе. На основу ових нумеричких модела, дефинисана је нова методологија анализе и оптимизације лопатица ветротурбина и припремљена су детаљна експериментална аеротунелска испитивања целог ветротурбинског система, која су резултирала математичким моделом промене излазне електричне снаге и броја обртаја на генератору ветротурбине у функцији надлазеће брзине струјања и угла заокретања лопатица. Детаљни опис овог дела научног доприноса дат је у главама 7 и 8 дисертације, а такође је и објављен у раду публикованом у међународном часопису категорије M23 (<https://doi.org/10.1177/09544062251314354>); Такође су потом, на новој испитној инсталацији на Машинском факултету у Београду, реализована експериментална испитивања погоњеног ротора ветротурбине везаног за генератор која су резултирала математичким моделом промене механичке снаге на лопатицама у функцији броја обртаја на генератору и углу заокретања лопатица. Детаљни опис овог дела научног доприноса дат је у глави 9 дисертације, а такође је и објављен у раду публикованом у међународном часопису категорије M23 (<https://doi.org/10.1177/00202940241312659>).

Додатни стручни допринос остварен током трајања овог истраживања је пројектовање и реализација новог уређаја за испитивање понашања лопатица ветротурбина (за њихове различите облике, димензије, материјале, и сл) у лабораторијским условима на Машинском факултету у Београду.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу детаљног прегледа референтне научне литературе у области оптимизације ветротурбина, Комисија констатује да су приказани резултати истраживања значајни, нови и научно утемељени. Сагледавањем постављених циљева истраживања, полазних претпоставки и остварених нумеричких и експерименталних резултата приказаних у докторској дисертацији, констатујемо да је кандидат Драгољуб Тановић, магистар машиничког инжењерства, успешно понудио своја оригинална решења у домену оптимизације ветротурбина. Предложена решења представљају следећа унапређења у поређењу са постојећим приступима:

- Модел лопатица је добијен техником реверзибилног инжењерства и коришћењем софтверског пакета *CATIA*. За нумеричку анализу коришћени су *Ansys CFX* и *Ansys Fluent* у циљу проналажења коефицијента снаге и момента на ротору;
- Први део експерименталних истраживања понашања модела ветротурбине спроведен је у лабораторији за експерименталну аеродинамику и прототипове у ВТИ Жарково (аеротунел Т-35) при брзини струјања ваздуха до 11,5 m/s, и разматране углове заокретања лопатица. За формирање математичког модела понашања ветротурбине коришћен је метод вишефакторних ортогоналних планова (*Box-Wilson* планови) и при томе су добијени математички модели промене електричне снаге и броја обртаја на генератору модела ветротурбине;
- Други део експерименталних истраживања понашања модела ветротурбине спроведен је на посебно пројектованом радном столу (уређају) на којем је вршено мерење обртног момента на ротору. Као улазни параметар коришћен је број обртаја на генератору, добијен испитивањем у аеротунелу и за те бројеве обртаја вршено је мерење обртног момента. Применом регресионе анализе добијени су математички модели промене момента на ротору модела ветротурбине;

- Пројектован је јединствен уређај који се састоји од електричног генератора, спојница, сензора обртног момента, трофазног асинхроног мотора, фреквентног регулатора, ласерског мерача броја обртаја и уређаја за мерење напона. На њему се могу обавити одговарајућа истраживања наведена у Закључку дисертације у оквиру могућих праваца будућих истраживања.

На основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, Комисија констатује да су пружени одговори на сва релевантна питања и да су решени сви проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања.

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 доприноси наведени у Тачки 4.1. верификовани су са два рада категорије М23 где је Драгољуб Тановић, маг.инж.маш, први аутор или једини аутор без доктората:

Категорија М23:

- [1] **Tanović, D.**, Simonović, A., Kostić, O., Svorcan, J., “*A mathematical model of the effect of pitch angle on power performance of a small HAWT*“, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2025, <https://doi.org/10.1177/09544062251314354>
- [2] **Tanović, D.**, Simonović, A., Kostić, O., Svorcan, J., “*The effect of blade turning angle on rotation improvement of a small horizontal axis wind turbine*“, Measurement and Control, 2025, <https://doi.org/10.1177/00202940241312659>
- [3] Svorcan, J., Peković, O., Simonović, A., **Tanović, D.**, Hasan, M.S. “*Design of optimal flow concentrator for vertical-axis wind turbine using computational fluid dynamic, artificial neural networks and genetic algorithm*“, Advanced in Mechanical Engineering, 2021, 13(3), <https://doi.org/10.1177/16878140211009009>

Категорија М33:

- [4] Svorcan, J., **Tanović, D.**, Kovačević, A., “*Computational aerodynamic analysis of a small wind turbine*“, 6th International Scientific Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications COMETA, Jahorina, BiH, 2022, ISBN: 978-99976-947-6-8
- [5] Svorcan, J., Hasan, M.S., **Tanović, D.**, Popović, L., “*Simulating transitional and turbulent flow around airfoils at medium angles-of-attack*“, 8th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Kragujevac, Serbia, 2021, ISBN: 978-86-909973-8-1
- [6] Perić, B., Simonović, A., Kovačević, A., **Tanović, D.**, Vorkapić, M., “*Numerical analysis of aerodynamic performance of offshore wind turbine*“, 7th International Congress of Serbian Society and Mechanics, Sremski Karlovci, Serbia, 2019, ISBN: 978-86-909973-7-4
- [7] Peković, O., Svorcan, J., Simonović, A., Ivanov, T., **Tanovic D.**, “*Optimization of vertical axis wind turbine air concentrator*“, XXXV International Conference ENERGETIKA 2020, Zlatibor, Serbia, 2020, ISBN: 978-86-86199-02-7

Категорија М34:

- [8] **Tanović, D.**, Vorkapić, M., Telebak, K., Stojanović, J., “*Effect of pitch angle on wind turbine performances*“, International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, Belgrade, 2023, ISBN: 978-86-6060-155-3
- [9] **Tanović, D.**, Svorcan, J., Ivanović, M., Baltić, M., Vorkapić, M., Telebak, K., Stojanović, J., “*The influence of the Reynolds number on the airfoils*“, International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, Zlatibor, Serbia, 2022, ISBN: 978-86-6060-120-1
- [10] Stojanović, J., Telebak, K., **Tanović, D.**, Jokić, N., “*Analysis of methods for mathematical description of form surfaces as well as generation of 3d models*“, International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, Zlatibor, Serbia, 2022, ISBN: 978-86-6060-120-1
- [11] **Tanović, D.**, Simonović A., Peković O., “*Numerical simulation of airfoils for airborne wind turbine*“, International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, CNN Tech 2021, Zlatibor, Serbia, 2021, ISBN: 978-86-6060-077-8
- [12] **Tanović, D.**, Svorcan J., Peković O., “*Performance analysis of wind turbines with different characteristics*“, International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, CNN Tech 2020, Zlatibor, Serbia, 2020, ISBN: 978-86-6060-042-6
- [13] Svorcan J., **Tanović, D.**, Peković O., “*Effects of ground and velocity profiles on aerodynamic performances of small-scale vertical-axis wind turbine*“, International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, CNN Tech 2020, Zlatibor, Serbia, 2020, ISBN: 978-86-6060-042-6

Категорија М63:

- [14] **Tanović, D.**, Svorcan, J., Pekovic, O., Hasan, M.S., “*Performance analysis of wind turbine with different airfoils*“, 42nd JUPITER CONFERENCE with foreign participants, Belgrade, Serbia, 2020, ISBN 978-86-6060-055-6
- [15] **Tanović, D.**, Baltić, M., Perić, B., Kapor N., “*Simulation of vertical axis wind turbine*“, 41st JUPITER CONFERENCE, Belgrade, Serbia, 2018, ISBN 978-86-7083-978-6

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа и анализе докторске дисертације **„Оптимизација ветротурбина посебних намена“** кандидата Драгољуба Тановића, магистарског инжењера, 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 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 Машинског факултета Универзитета у Београду.

Имајући у виду наведено, сходно члану 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду, Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да усвоји овај Извештај и да се докторска дисертација под називом **„Оптимизација ветротурбина посебних намена“** кандидата Драгољуба Тановића, магистарског инжењера, прихвати и заједно са овим Извештајем стави на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 28.05.2025. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

.....
Др Александар Бенгин, редовни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....
Др Огњен Пековић, редовни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....
Др Тони Иванов, ванредни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....
Др Горан Оцокољић, научни сарадник
Војнотехнички институт Београд

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ
Бр. 646/3
Датум: 15.05.2025. године
БЕОГРАД, Ул. краљице Марије бр. 16

На основу обавештења др Јелене Сворцан, ред. проф. и др Оливере Костић, ванр. проф., ментора да је студент Драгољуб Тановић, маст. инж. маш., завршио докторску дисертацију **„Оптимизација ветротурбина посебних намена“**, 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 15.05.2025. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

- др Александар Симоновић, ред. проф.
- др Александар Бенгин, ред. проф.
- др Огњен Пековић, ред. проф.
- др Тони Иванов, ванр. проф.
- др Горан Оцокољић, научни сарадник, Војнотехнички институт Београд.

именују се за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **„ОПТИМИЗАЦИЈА ВЕТРОТУРБИНА ПОСЕБНИХ НАМЕНА“** студента **ДРАГОЉУБА ТАНОВИЋА**, маст. инж. маш.

Одлуку доставити: члановима Комисије, студенту и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић