

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
КОСОВСКА МИТРОВИЦА

ПРИМЉЕНО		24.08.2026	
ОРГ ЈЕДИН		СРЕДНОСТ	
	610/1		

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
КОСОВСКОЈ МИТРОВИЦИ**

Предмет: Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације и подобности кандидата маст. инж. маш. Јоване Марковић

На основу члана 55. став 1. тачка 16. Статута Факултета техничких наука у Косовској Митровици, а у складу са чланом 42 Правилника о докторским студијама, Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Косовској Митровици, на 13. седници одржаној дана 24.06.2026. године, донело је Одлуку бр. 483/3-7 о именовању Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под насловом: **„Развој и триболошко-реолошка карактеризација биомазива у условима праволинијског реципрочног клизања”** и подобности кандидата Јоване Марковић, мастер инжењера машинства, у саставу:

- др Јасмина Скерлић, ванредни професор Факултета техничких наука — Универзитет у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, ужа научна област - Термоенергетика и термотехника – председница,
- др Милан Банић, редовни професор Машинског факултета – Универзитет у Нишу, ужа научна област Машинске конструкције - члан,
- др Марија Матејић, ванредни професор Факултета техничких наука — Универзитет у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, ужа научна област Производно машинство и индустријски инжењеринг – члан – ментор.

На основу увида у приложену документацију о научно-истраживачком раду, биографских и библиографских података кандидата маст. инж. маш. Јоване Марковић, Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације, у горе наведеном саставу, подноси Наставно-научном већу следећи:

ИЗВЕШТАЈ О НАУЧНОЈ ЗАСНОВАНОСТИ ТЕМЕ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Предложена тема докторске дисертације под насловом „Развој и триболошко-реолошка карактеризација биомазива у условима праволинијског реципрочног клизања” припада научној области Машинско инжењерство у оквиру образовно научног поља Техничко-технолошких наука. Факултет техничких наука у Косовској Митровици има акредитовани студијски програм докторске академске студије (ДАС) - Машинско инжењерство у оквиру образовно-научног поља Техничко-технолошке науке и научне области Машинско инжењерство.

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Кратка биографија кандидата

Јована (Дејан) Марковић рођена је 14.10.1998. године у Приштини, Република Србија. Завршила је Приштинску гимназију, друштвено-језички смер, у Лапљем Селу 2017. године са одличним успехом. Исте године уписала је Факултет техничких наука Универзитета у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, студијски програм Индустријско инжењерство. Основне академске студије завршила је 2021. године, чиме је стекла стручни назив дипломирани инжењер индустријског инжењерства. Исте године уписала је мастер академске студије на Факултету техничких наука, студијски програм Машинско инжењерство, модул Производно машинство. Мастер академске студије завршила је 2022. године и стекла академски назив мастер инжењер машинства. Школске 2022/23. године уписала је докторске академске студије на Факултету техничких наука, студијски програм Машинско инжењерство, и положила све испите предвиђене наставним планом и програмом те је тако остварила 120 ЕСПБ и стекла услов за пријаву теме докторске дисертације.

У периоду од фебруара до априла 2020. године боравила је у Лублину (Пољска) на Технолошком универзитету, где је учествовала у пројекту под називом „Концепт саобраћајне службе градске агломерације у области превоза путника“ на Одсеку за машинско инжењерство. Током 2022. године учествовала је у пројекту TRAFSAF, који је реализован на Технолошком универзитету у Лублину.

У априлу 2024. године боравила је у Подгорици у оквиру CEEPUS програма академске мобилности.

Од марта 2022. године запослена је на Факултету техничких наука као сарадник у настави, а од 2023. године изабрана је у звање асистента за ужу научну област Производно машинство и индустријски инжењеринг.

Говори, чита и пише енглески језик (напредни ниво).

Аутор је и коаутор више научних и стручних радова објављених у домаћим и међународним часописима и зборницима са научних скупова.

Списак научних радова

Радови објављени у истакнутим међународним часописима(M21, M22):

- Marković, J., Matejić, M., Rangelov, D., Banić, M., Skerlić, J., Jeremić, N., & Matejić, M. (2026). Tribological and Rheological Characterization of 3D Printed Polycarbonate: Effect of Layer Orientation, Surface Topography, and Lubrication Conditions. *Lubricants*, 14(1), Article 28. <https://doi.org/10.3390/lubricants14010028>. (M21)
- Marković, J., Matejić, M., Matejić, M., Bogdanović, B., Skerlić, J., & Miletić, I. (2026). The Design, Construction, and Experimental Validation of a Custom Linear Reciprocating Tribometer. *Machines*, 14(4), Article 392. <https://doi.org/10.3390/machines14040392>. (M22)

Радови објављени на међународним научним скуповима штампани у целости:

- J. Marković, M. Matejić, M. Matejić, J. Skerlić, and B. Bogdanović, —A Review of Linear Reciprocating Tribometers: Design and Applications, I in *Proceedings of the 19th International Conference on Tribology – SERBIATRIB '25*, Kragujevac, Serbia, 2025, pp. 486–494, ISBN 978-86-6335-128-8. (M33)
- M. Matejić, M. Matejić, J. Živić, J. Skerlić, D. Lazarević, and M. Pantić, —The Experimental Investigation of Friction Occurrence in Grinding Process with Abrasive Belts, I in *Proceedings of the 18th International Conference on Tribology – SERBIATRIB '23*, Kragujevac, Serbia, May 17–19, 2023, pp. 566–572, ISBN 978-86-6335-041-0. (M33)
- S. Joksić, J. Živić, M. Matejić, M. Matejić, N. Ćarkoćević, and I. Čamagić, —Analytical and FEM Assessment of a Double-Sided Butt-Welded S1000QL Specimen for Tensile Testing Preparation, I in *Proceedings of the 41st International Conference on Danubia-Adria Symposium Advances in Experimental Mechanics (DAS 2025)*, Kragujevac, Serbia, 2025, pp. 103–106, doi: 10.46793/41DAS2025.103J, ISBN 978-86-6335-157-8. (M33)
- S. Joksić, J. Živić, N. Ćarkoćević, and M. Matejić, —Corrosion of Oil and Gas Pipelines with Special Reference to High-Frequency Welded Pipes, I in *Proceedings of the XXV YuCorr Conference*, Divčibare, Serbia, May 28–31, 2024, pp. 93–102, ISBN 978-86-82343-31-8, COBISS.SR-ID 146962185. (M33)
- M. Matejić, L. Ivanović, M. Matejić, J. Živić, and S. Joksić, —Investigation of Pellet Machine with Fixed Roller Axle and Flat Rotating Die, I in *Proceedings of the International Conference on Decision Support System and Technology Innovation (KOD 2024)*, 2024. Available: <https://scidar.kg.ac.rs/handle/123456789/21601> (M33)

- M. Matejić, M. Matejić, J. Živić, and L. Ivanović, —Design and Testing of Abrasive Belt Grinder, in *Proceedings of the 6th International Scientific Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications – COMETA 2022*, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, Nov. 17–19, 2022, pp. 527–534, ISBN 978-99976-947-6-8. (M33)

Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходно изложеног, Комисија закључује да кандидат маг. инж. маш. Јована Марковић има научно-стручну усмереност ка области којој припада предложена тема (машинско инжењерство) те се оцењује подобним за рад на тој теми.

Комисија закључује да кандидат Јована Марковић, поседује два научна рада објављена у целини из научне области из које се пријављује тема докторске дисертације у међународним часописима категорије (M21) и (M22) чиме су испуњени сви формални услови да кандидат настави израду докторске дисертације.

НАУЧНА ЗАСНОВАНOST ПРЕДЛОЖЕНЕ ТЕМЕ

Предмет и циљ докторске дисертације

Потреба за сталним праћењем и развојем нових технологија у области трибологије условљена је све већим захтевима савремене индустрије за смањењем губитака енергије, повећањем поузданости компоненти и развојем еколошки прихватљивих система подмазивања. Трибологија као научна област има изузетан значај у савременом машинству, јер процеси трења, хабања и подмазивања директно утичу на енергетску ефикасност, поузданост и радни век машина. У том контексту, посебну пажњу последњих година привлаче одрживи триболошки системи и развој биомазива као алтернативе конвенционалним мазивима на бази минералних уља и масти.

Имајући на уму претходно наведено, предмет докторске дисертације заснован је на експерименталном и аналитичком испитивању триболошког понашања биомазива на бази свињске масти у условима праволинијског реципрочног клизања. Истраживање ће обухватити развој и реолошку карактеризацију биомазива формулисаних на бази прехранбене свињске масти и отпадне свињске масти, уз примену различитих биоадитива и биозгушњивача, са циљем анализе њиховог утицаја на триболошке и реолошке карактеристике система. Поред тога, у оквиру истраживања биће коришћене и конвенционалне масти, чије су реолошке и триболошке карактеристике претходно анализирани, а које ће служити као референтни систем за поређење са развијеним биомазивима. Упоредном анализом добијених резултата извршиће се процена могућности развоја биомазива чије би реолошке и триболошке карактеристике биле упоредиве или боље у односу на карактеристике конвенционалних мазива коришћених током експерименталних истраживања.

Експериментална испитивања биће реализована на сопствено развијеном, произведеном и верификованом линеарном реципрочном трибометру, коришћењем адитивно произведених узорака од поликарбоната (енг. polycarbonate, PC), при чему ће се испитивати контактни пар поликарбонат–поликарбонат (PC–PC), при различитим оријентацијама штампе насталим током FFF (Fused Filament Fabrication) процеса. Развијени систем омогућава подешавање брзине клизања, дужине хода и нормалног оптерећења, као и континуално мерење силе трења и праћење температуре током испитивања. Конструкција линеарног реципрочног трибометра заснива се на модуларном концепту са одвојеним системима за управљање кретањем и аквизицију података, чиме је обезбеђена стабилност рада, смањење шума мерења и висока поновљивост експерименталних резултата.

Савремени трендови у развоју адитивно произведених полимерних компоненти довели су до све шире примене поликарбоната у машинским системима који раде у условима малих и средњих оптерећења где се захтева смањење масе система, тих рад и добра отпорност на хабање. Такви контактни парови могу се наћи код клизних лежишта и вођица у лаким транспортним системима, механизмима за линеарно кретање, 3D штампачима, роботским системима, покретним заштитним механизмима, као и код различитих полимерних клизних елемената у медицинским и лабораторијским уређајима. Захваљујући повољној комбинацији механичких својстава, малој маси, доброј ударној жилавости и могућности примене у FFF технологијама, поликарбонат представља један од значајних материјала савремене адитивне производње. Истовремено, све већа примена адитивно произведених полимерних компоненти доводи до потребе за детаљнијим истраживањем њиховог триболошког понашања, посебно у условима реципрочног клизања и граничног режима подмазивања, где анизотропија настала током FFF процеса, површинска топографија и интеракција са мазивом имају значајан утицај на стабилност и поузданост рада система. С тим у вези, поликарбонат је изабран као материјал за испитивање због повољне комбинације механичких и триболошких карактеристика.

На основу претходно наведеног, предмет докторске дисертације обухвата испитивање утицаја биомазива на бази животињских масти на триболошко понашање адитивно произведеног PC–PC контактнoг пара у условима праволинијског реципрочног клизања. Истраживање је усмерено на анализу утицаја састава и реолошких карактеристика биомазива, параметара клизања и оријентације штампе на коефицијент трења, интензитет хабања и промену површинске топографије, уз примену реолошких, триболошких, SEM/EDS и статистичких анализа. На основу добијених резултата биће извршена процена могућности примене биомазива као одрживе и функционалне алтернативе конвенционалним мазивима у полимерним триболошким системима.

Научни циљ докторске дисертације је развој и анализа биомазива на бази свињске масти, као и утврђивање утицаја њихових реолошких, триболошких и потенцијалних трибохемијских карактеристика на понашање адитивно произведеног поликарбоната у PC–PC контактном пару у условима праволинијског реципрочног клизања. Истраживање је усмерено на успостављање везе између састава биомазива, реолошких својстава, оријентације штампе, параметара контакта, стабилности мазивог филма, коефицијента трења и интензитета хабања.

Развој биомазива на бази кухињске свињске масти и отпадне свињске масти добијене термичком обрадом, уз примену различитих биоадитива и биозгушњивача, има за научни циљ добијање мазива са побољшаним реолошким и триболошким карактеристикама, која би могла представљати одрживу алтернативу конвенционалним мазивима у условима праволинијског реципрочног клизања. Научни значај овог дела истраживања огледа се у анализи утицаја базне компоненте, биоадитива и биозгушњивача на вискозност, стабилност мазивог филма, могуће интеракције са полимерном површином и триболошки одзив РС-РС контактнoг пара у различитим условима рада. Испитивање реолошких карактеристика развијених биомазива и анализа утицаја вискозности, смицајно разређивање (енг. shear-thinning ефекат) и стабилности мазивог филма имају за циљ утврђивање механизма којима реолошко понашање мазива утиче на формирање и одржавање контактнoг филма, стабилност коефицијента трења и интензитет хабања у РС-РС контактном пару. Посебан значај реолошких карактеристика огледа се у томе што оне директно одређују начин формирања и понашања мазивог филма у контактнoј зони. Вискозност мазива утиче на дебљину мазивог филма и способност раздвајања контактних површина, при чему превелика вискозност може довести до повећаног отпора кретању и већих енергетских губитака, док недовољна вискозност може условити директан контакт површина, повећање коефицијента трења и интензивније хабање. Посебан значај има смицајно разређивање, јер се у условима праволинијског реципрочног клизања, услед сталне промене брзине и смера кретања, мењају услови смицања у контактнoј зони. У таквим условима, мазива са израженим смањењем вискозности при повећању брзине смицања могу локално смањити вискозност, омогућити лакше клизање, стабилизovati триболошки одзив система и смањити локално загревање и енергетске губитке током рада. На тај начин, реолошка испитивања представљају основу, за разумевање механизма подмазивања и оптимизацију триболошког понашања биомазива у РС-РС контактним паровима.

Експериментална анализа триболошког понашања адитивно произведеног поликарбоната у РС-РС контактном пару при различитим оријентацијама штампе, условима подмазивања, брзинама клизања и нормалним оптерећењима има за научни циљ утврђивање утицаја анизотропије на коефицијент трења, интензитет хабања, површинску топографију и стабилност триболошког одзива система. Анализа анизотропије има посебан научни значај јер адитивно произведени полимери не представљају хомоген материјал, већ поседују изражену слојевиту структуру и различита механичка и триболошка својства у зависности од оријентације штампе. Оријентација слојева директно утиче на расподелу контактних асперитета, површинску топографију, механизме формирања и стабилност преносног слоја, као и на интеракцију мазива са контактним површинама. У условима праволинијског реципрочног клизања ови ефекти постају израженији услед сталне промене смера кретања и поновљеног контакта истих површинских неправилности, што може довести до промена коефицијента трења, интензитета хабања и стабилности триболошког одзива. Због тога је један од циљева истраживања дефинисање услова којима је могуће стабилизovati триболошки одзив система, смањити интензитет хабања и успоставити основе за оптимизацију примене адитивно произведених полимерних контактних парова у реалним радним условима.

Испитивање могућих трибохемијских интеракција између биомазива и полимерних контактних површина у условима граничног режима подмазивања има за

циљ анализу утицаја поларних компоненти биомазива на формирање и стабилност мазивог и преносног слоја, као и на стабилност коефицијента трења и интензитет хабања у PC-PC контактном пару. SEM/EDS анализа биће коришћена за карактеризацију морфологије хабања, преносног слоја, локалних промена у контактної зони и елементне расподеле на површини, на основу чега ће бити разматране могуће интеракције између биомазива и полимерних контактних површина. Овај део истраживања има посебан значај за разумевање улоге мазива у стабилизацији контактнoг филма, смањењу директног контакта површинских асперитета, контроли локалног загревања и еволуцији механизма хабања у условима праволинијског реципрочног клизања.

Поред експерименталних триболошких и реолошких испитивања, у оквиру докторске дисертације биће примењене статистичке и корелационе методе анализе добијених резултата, са циљем утврђивања значаја појединачних параметара и њихових међусобних утицаја на триболошко понашање PC-PC контактнoг пара. Анализа ће обухватити дескриптивну статистику, процену поновљивости резултата, анализу варијансе, корелациону и регресиону анализу, ради успостављања везе између реолошких својстава биомазива, оријентације штампе, параметара контакта, коефицијента трења и интензитета хабања. На тај начин биће омогућено објективно сагледавање утицаја базне компоненте, биоадитива, биозгушњивача, услова подмазивања и анизотропије адитивно произведеног поликарбоната на стабилност триболошког одзива система. Примена статистичких метода имаће посебан значај у идентификацији доминантних фактора који утичу на трење и хабање, као и у процени могућности да развијена биомазива достигну или превазиђу карактеристике конвенционалних мазива у условима праволинијског реципрочног клизања.

На основу наведеног, предмет докторске дисертације састоји се од испитивања утицаја биомазива на бази животињских масти на триболошко понашање адитивно произведеног PC-PC контактнoг пара. Истраживање је усмерено на повезивање састава развијених биомазива, њихових реолошких карактеристика, услова подмазивања и параметара реципрочног клизања са променом коефицијента трења, интензитетом хабања и еволуцијом површинске топографије. Посебан аспект истраживања представља анализа утицаја оријентације штампе и анизотропије настале током FFF процеса на стабилност триболошког одзива, као и процена могућих интеракција између биомазива и полимерних контактних површина. Упоредном анализом развијених биомазива и конвенционалних мазива биће сагледана могућност примене биомазива као функционалне и одрживе алтернативе у полимерним триболошким системима који раде у условима малих брзина, ограниченог подмазивања и праволинијског реципрочног кретања.

Основне хипотезе

На основу дефинисаног предмета и циљева истраживања, постављају се следеће научне хипотезе:

1. Биомазива на бази прехранбене свињске масти и отпадне свињске масти, уз примену одговарајућих биоадитива и биозгушњивача, могу остварити реолошке

и триболошке карактеристике упоредиве или боље у односу на конвенционална мазива у условима праволинијског реципрочног клизања.

2. Реолошка својства биомазива, пре свега вискозност, смицајно разређивање и стабилност мазивог филма, имају значајан утицај на стабилност коефицијента трења, интензитет хабања и триболошки одзив РС–РС контактеног пара.
3. Анизотропија настала током FFF процеса значајно утиче на коефицијент трења, интензитет хабања, површинску топографију и стабилност преносног слоја у адитивно произведеном РС–РС контактеном пару.
4. Оријентација штампе адитивно произведеног поликарбоната утиче на способност задржавања и расподеле мазива у контактеној зони, чиме се мења стабилност мазивог филма и механизам хабања у условима граничног подмазивања.
5. Поларне компоненте и масне киселине присутне у биомазивима на бази животињских масти могу допринети повољнијој интеракцији са полимерном површином, стабилнијем формирању мазивог и преносног слоја и смањењу директног контакта површинских асперитета.
6. Статистичком, корелационом и регресионом анализом могуће је идентификовати доминантне факторе који утичу на коефицијент трења и интензитет хабања, као и успоставити везу између састава биомазива, реолошких својстава, оријентације штампе и триболошког понашања РС–РС контактеног пара.

Методе истраживања

Методе истраживања у оквиру докторске дисертације обухватиће експерименталне, реолошке, триболошке, морфолошке, елементне и статистичке методе анализе, са циљем свеобухватног испитивања утицаја развијених биомазива на триболошко понашање адитивно произведеног поликарбоната у РС–РС контактеном пару, као и разматрања могућих трибохемијских интеракција у контактеној зони. Истраживање ће најпре обухватити развој и припрему биомазива на бази прехранбене свињске масти и отпадне свињске масти добијене термичком обрадом, уз примену различитих врста биоадитива и биозгушњивача. Након тога биће извршена реолошка карактеризација развијених биомазива и конвенционалних масти, са посебним освртом на вискозност, смицајно разређивање, температуре до 80°C, амплитудни тест (енг. *amplitude sweep*), фреквенцијски тест (енг. *frequency sweep*) и стабилност мазивог филма. Сваки експериментални услов биће поновљен најмање три пута ради процене поновљивости и статистичке поузданости резултата.

Триболошка испитивања биће реализована на сопствено развијеном линеарном реципрочном трибометру, применом адитивно произведених узорача поликарбоната у РС–РС контактеном пару. Такође, биће методолошки усклађена са препорукама

стандарда ASTM G133 и ISO 7148-2, уз прилагођавања условима лабораторијског PC-PC контактнoг пара. Испитивања ће бити спроведена при различитим оријентацијама штампе, брзинама клизања, нормалним оптерећењима и условима подмазивања, који обухватају сув контакт, конвенционална мазива и развијена биомазива. Могуће трибохемијске интеракције у контактнoј зони биће разматране на основу морфолошке и елементне карактеризације трагова хабања, преносног слоја и локалних промена на контактним површинама. Током испитивања биће континуално мерена сила трења, на основу које ће се одређивати коефицијент трења, док ће се интензитет хабања и промене површинске топографије анализирати након испитивања. Промене површинских карактеристика узорака биће анализирани мерењем параметара храпавости пре и након триболошких испитивања, као и морфолошким анализом трагова хабања. SEM/EDS анализа биће коришћена за карактеризацију морфологије хабања, преносног слоја, локалних промена у контактнoј зони и елементне расподеле на површини, што ће омогућити разматрање могућих интеракција између биомазива и полимерних контактних површина. Добијени резултати биће обрађени применом дескриптивне статистике, анализе поновљивости, анализе варијансе, корелационе и регресионе анализе, са циљем утврђивања значајности утицаја појединачних параметара и њихових међусобних зависности. На основу добијених резултата биће извршена упоредна анализа развијених биомазива и конвенционалних мазива, ради процене њихове применљивости као одрживе алтернативе у PC-PC контактним системима у условима праволинијског реципрочног клизања. У зависности од расподеле података, биће примењени параметарски или непараметарски статистички тестови, уз ниво значајности $p < 0,05$.

Очекивани резултати и научни допринос

Очекује се да ће резултати истраживања омогућити идентификацију формулација биомазива са најповољнијим реолошким и триболошким карактеристикама, као и утврђивање услова под којима развијена биомазива могу достићи или превазићи перформансе конвенционалних мазива. Такође се очекује да ће различите оријентације штампе поликарбоната показати различит утицај на коефицијент трења, интензитет хабања и формирање преносног слоја, што ће омогућити боље разумевање механизма хабања код адитивно произведених полимерних контактних система.

Научни допринос докторске дисертације огледа се у свеобухватном истраживању триболошког понашања адитивно произведеног поликарбоната у PC-PC контактном пару, уз примену биомазива на бази животињских масти у условима праволинијског реципрочног клизања. Посебан допринос истраживања представља развој биомазива на бази прехранбене свињске масти и отпадне свињске масти добијене термичком обрадом, уз примену биоадитива и биозгушњивача, са циљем добијања мазива чије реолошке и триболошке карактеристике могу бити упоредиве или боље у односу на конвенционална мазива. Значајан научни допринос огледа се у успостављању везе између реолошких карактеристика развијених биомазива и триболошког одзива PC-PC контактнoг пара. Анализом вискозности, смицајног разређивања (shear-thinning) и стабилности мазивог филма биће омогућено боље разумевање механизма којима реолошко понашање мазива утиче на формирање контактнoг филма, стабилност коефицијента трења, интензитет хабања и енергетске губитке у условима реципрочног клизања. Посебан допринос дисертације односи се на анализу утицаја анизотропије

настале током FFF процеса на триболошко понашање адитивно произведеног поликарбоната. Испитивањем различитих оријентација штампе биће утврђен њихов утицај на коефицијент трења, интензитет хабања, површинску топографију, расподелу контактних асперитета и формирање преносног слоја. На тај начин биће допринето разумевању механизма хабања код адитивно произведених полимерних контактних система. Научни допринос истраживања огледа се и у анализи могућих интеракција између биомазива и полимерних контактних површина у условима граничног режима подмазивања. Применом SEM/EDS анализе биће омогућено разматрање могућих трибохемијских интеракција и њиховог утицаја на стабилност мазивог филма и еволуцију механизма хабања. Додатни научни допринос представља примена статистичких, корелационих и регресионих метода у анализи добијених експерименталних резултата. На овај начин биће омогућено објективно утврђивање значајности утицаја појединачних параметара, као што су састав биомазива, реолошке карактеристике, оријентација штампе, нормално оптерећење, брзина клизања и услови подмазивања, на коефицијент трења и интензитет хабања. Оваква анализа омогућиће идентификацију доминантних фактора који управљају триболошким понашањем РС–РС контактних пара.

Укупни научни допринос дисертације огледа се у формирању интегрисаног приступа за анализу одрживих полимерних триболошких система, који повезује развој биомазива, реолошку карактеризацију, триболошка испитивања, анализу анизотропије адитивно произведеног поликарбоната, морфолошку и елементну анализу контактних површина и статистичко вредновање резултата. На тај начин дисертација доприноси проширењу научних сазнања у области биомазива, адитивно произведених полимерних материјала и механизма трења и хабања у условима праволинијског реципрочног клизања.

Оквирни опис садржаја дисертације

1. Увод

У првом поглављу биће представљен значај трибологије у савременом машинству, са посебним освртом на процесе трења, хабања и подмазивања полимерних контактних парова. Биће образложен значај развоја еколошки прихватљивих биомазива, као и примена адитивно произведених полимерних материјала у савременим машинским системима. На крају поглавља биће дефинисани предмет истраживања, научни циљеви докторске дисертације, постављене хипотезе и приказана структура рада.

2. Преглед литературе

У другом поглављу биће дат преглед досадашњих научних истраживања из области трибологије, реологије и биомазива. Биће анализирана литература која се односи на триболошко понашање полимерних материјала, примену адитивно произведеног поликарбоната у клизним контактима, развој биомазива на бази животињских масти, као и утицај реолошких својстава мазива на процесе трења и хабања. Посебна пажња биће посвећена анализи конструкционих решења и могућности примене линеарних реципрчних трибометара, као и идентификацији недовољно истражених области које представљају полазну основу предложеног истраживања.

3. Теоријска разматрања

У трећем поглављу биће дата најважнија триболошка и реолошка теоријска разматрања. Такође, статистике методе коришћене за обраду и анализу добијених података биће представљене у овом поглављу.

4. Развој и валидација линеарног реципрочног трибометра

У четвртом поглављу биће приказан поступак развоја, конструкције и експерименталне валидације сопствено развијеног линеарног реципрочног трибометра. Биће описани функционални захтеви, конструкционо решење, принцип рада, систем за управљање и аквизицију података, као и поступци калибрације и експерименталне валидације развијеног уређаја. Такође ће бити приказани резултати FEM и експерименталне анализе, којима ће се потврдити поузданост, тачност и поновљивост мерења, као и погодност развијеног трибометра за испитивања у условима праволинијског реципрочног клизања.

5. Материјали и експериментална методологија

У петом поглављу биће описани материјали и експериментална методологија примењена током истраживања. Биће представљени адитивно произведени узорци од поликарбоната, конвенционална мазива и развијена биомазива, као и поступак њихове припреме. Биће описане методологије реолошких и триболошких испитивања, услови испитивања и поступци карактеризације површинске топографије применом профилометрије и SEM/EDS анализе.

6. Развој, реолошка и триболошка карактеризација биомазива

У шестом поглављу биће представљен развој биомазива на бази прехранбене и отпадне свињске масти применом различитих биоадитива и биоизгушњивача, као и резултати њихове реолошке и триболошке карактеризације. Биће анализирани реолошке карактеристике развијених формулација, укључујући вискозност, смицајно разређивање, вискоеластична својства и стабилност мазивог филма. Такође ће бити приказани резултати триболошких испитивања у условима праволинијског реципрочног клизања, при чему ће се анализирати утицај састава биомазива, оријентације штампе, брзине клизања и нормалног оптерећења на коефицијент трења, интензитет хабања и еволуцију површинске топографије PC-PC контактнoг пара. Биће извршена SEM/EDS анализа механизма хабања и формирања преносног слоја, као и поређење добијених резултата са резултатима оствареним применом конвенционалних мазива.

7. Триболошка и реолошка карактеризација PC-PC контактнoг пара применом конвенционалних мазива

У седмом поглављу биће приказани резултати триболошких испитивања адитивно произведеног PC-PC контактнoг пара у условима сувог трења и подмазивања конвенционалним мазивима. Биће анализиран утицај оријентације штампе, брзине клизања и нормалног оптерећења на коефицијент трења, интензитет хабања и промену површинске топографије. Резултати ће бити употпуњени анализом реолошких својстава конвенционалних мазива и њиховог утицаја на формирање мазивог филма и триболошки одзив система.

8. Резултати и дискусија

У осмом поглављу биће извршена свеобухватна анализа и дискусија добијених резултата. Биће успостављене корелације између реолошких својстава биомазива, триболошких параметара, оријентације штампе и карактеристика површинске топографије. Посебна пажња биће посвећена поређењу развијених биомазива са конвенционалним мазивима, анализи механизма подмазивања и процени могућности њихове примене као еколошки прихватљиве и одрживе алтернативе конвенционалним мазивима.

9. Закључци

У деветом поглављу биће систематизовани најзначајнији резултати истраживања и изведени закључци у односу на постављене научне циљеве и хипотезе. Биће истакнут научни допринос докторске дисертације, указано на могућности практичне примене добијених резултата и дате препоруке за будућа истраживања у области развоја и примене биомазива у полимерним триболошким системима.

Литература

Приликом реализације предложене теме докторске дисертације на располагању ће бити значајан број литературних навода, од којих набрајам следеће:

- [1] J. Marković, M. Matejić, M. Matejić, B. Bogdanović, J. Skerlić, I. Miletić, The Design, Construction, and Experimental Validation of a Custom Linear Reciprocating Tribometer, *Machines*, vol. 14(4), pp. 392, 2026. <https://doi.org/10.3390/machines14040392>
- [2] J. Marković, M. Matejić, D. Rangelov, M. Banić, J. Skerlić, N. Jeremić, M. Matejić, Tribological and Rheological Characterization of 3D Printed Polycarbonate: Effect of Layer Orientation, Surface Topography, and Lubrication Conditions, *Lubricants*, vol. 14(1), pp. 28, 2026. <https://doi.org/10.3390/lubricants14010028>
- [3] B. Li, P. Li, R. Zhou, X.-Q. Feng, K. Zhou, Contact Mechanics in Tribological and Contact Damage-Related Problems: A Review, *Tribology International*, vol. 171, pp. 107534, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107534>
- [4] P. J. Blau, *Friction Science and Technology*, 2nd ed. Taylor and Francis Group, 2009. ISBN 978-1-4200-5404-0.
- [5] M. G. De Castro, M. Antonio, S. Freitas, T. A. Prado, Construction of a Tribometer for Tests with Biolubricants, in 10th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications (INDUSCON), Fortaleza, Brazil, November 05–07, 2012. <https://doi.org/10.1109/INDUSCON.2012.6452601>
- [6] N. S. N. Tiruvenkadam, P. R. Thyla, M. Senthil Kumar, N. A. Kader, V. K. Pradeep, R. V. Kumar, Development of Multipurpose Reciprocating Wear Tester under Various Environmental Parameters, in 2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), Nagercoil, India, April 10–12, 2013, pp. 213–216. <https://doi.org/10.1109/ICEETS.2013.6533384>

- [7] C. B. Mohan, C. Divakar, K. Venkatesh, K. Gopalakrishna, K. S. M. Lohith, T. N. Naveen, Design and Development of an Advanced Linear Reciprocating Tribometer, *Wear*, vol. 267, pp. 1111–1116, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2009.01.047>
- [8] F. Di Puccio, A. Di Pietro, L. Mattei, Pin-on-Plate vs. Pin-on-Disk Wear Tests: Theoretical and Numerical Observations on the Initial Transient Phase, *Lubricants*, vol. 12(4), pp. 134, 2024. <https://doi.org/10.3390/lubricants12040134>
- [9] B. Choi, M. Choi, S. Koo, B. Choi, In Situ Wear Test of Acrylonitrile Butadiene Rubber in a Low-Pressure Hydrogen Environment, *Polymer Testing*, vol. 142, pp. 108683, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2024.108683>
- [10] T. Leveille, D. Fabre, M. Cici, J. Sijobert, M. Doubenskaia, C. Courbon, Development of a Novel High Temperature Open Tribometer with Laser-Based Heating System, *Wear*, pp. 203881, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203881>
- [11] K. Berglund, M. Rodiouchkina, J. Hardell, K. Kalliorinne, J. Johansson, A Novel Reciprocating Tribometer for Friction and Wear Measurements with High Contact Pressure and Large Area Contact Configurations, *Lubricants*, vol. 9(12), pp. 123, 2021. <https://doi.org/10.3390/lubricants9120123>
- [12] A. Abdelbary, M. N. Abouelwafa, I. M. El Fahham, A. I. Gomaa, A New Reciprocating Tribometer for Wear Testing under Different Fluctuating Loading Conditions, *Alexandria Engineering Journal*, vol. 43(5), pp. 615–619, 2004.
- [13] S. Johansson, P. H. Nilsson, R. Ohlsson, B. Rosén, Experimental Friction Evaluation of Cylinder Liner/Piston Ring Contact, *Wear*, vol. 271, pp. 625–633, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2010.08.028>
- [14] S. Zhu, M. Abedini, S. Hanke, P. Sieberg, Introducing Tribo-Data Map as a Novel Analysis for a Detailed Correlation between Friction Data and Wear Surface Features, *Wear*, pp. 205850, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2025.205850>
- [15] M. Rodiouchkina, J. Lind, L. Pelcastre, K. Berglund, Å. Kassman, J. Hardell, Tribological Behaviour and Transfer Layer Development of Self-Lubricating Polymer Composite Bearing Materials under Long Duration Dry Sliding against Stainless Steel, *Wear*, vol. 484–485, pp. 204027, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.204027>
- [16] H. Kaleli, New Universal Tribometer as Pin or Ball-on-Disc and Reciprocating Pin-on-Plate Types, *Tribology in Industry*, vol. 38(2), pp. 235–240, 2016.
- [17] L. Mattei, F. Di Puccio, Frictionless vs. Frictional Contact in Numerical Wear Predictions of Conformal and Non-Conformal Sliding Couplings, *Tribology Letters*, vol. 70(4), pp. 1–10, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11249-022-01657-5>
- [18] V. K. Singh, P. V. Likhar, K. R. Y. Simha, A. M. Kandan, K. S. Prasad, P. H. Krishna, S. V. Kailas, Lateral Force Controlled Impact Tribometer Characterizing Transient Friction: Effect of Contact Pressure, *Tribology International*, vol. 196, pp. 109740, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2024.109740>
- [19] M. Ranuša, P. Čípek, M. Vrbka, D. Paloušek, I. Křupka, M. Hartl, Tribological Behaviour of 3D Printed Materials for Small Joint Implants: A Pilot Study, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, vol. 132, pp. 105274, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2022.105274>
- [20] A. Zayatzev, Antifriction Characteristics of the Magnetron Sputtered MoS₂ Coating of ITER Blanket Module Bolted Joints in High Vacuum at Elevated Temperature T = 250

- °C, Vacuum, vol. 230, pp. 113615, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2024.113615>
- [21] A. Ramalho, L. Vilhena, Experimental Approach in Tribology: Effects of Test Equipment Dynamic Response on the Reliability and Reproducibility of the Results, *Wear*, vol. 571, pp. 205770, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2025.205770>
- [22] D. Infante-García, M. Marco, A. Zabala, F. Abbasi, E. Giner, I. Llavori, On the Role of Contact and System Stiffness in Wear Testing, *Sensors*, vol. 20(15), pp. 4152, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20154152>
- [23] C. Nayak, R. Kundu, R. Pandey, K. Balani, Tribological Properties of SS 304 and Ti6Al4V Using Four Reciprocating Geometries, *Nanomaterials and Energy*, vol. 10(1), pp. 79–90, 2021. <https://doi.org/10.1680/jnaen.20.00051>
- [24] Q. C. Zhang, X. Chen, Z. Han, Subsurface Morphological Pattern, Microstructure and Wear Response of Cu and Cu–Al Alloys Subjected to Unidirectional and Reciprocating Sliding, *Wear*, vol. 463, pp. 203521, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203521>
- [25] J. Zepchło, D. Kanaśka, M. Rucki, Concept and Assessment of the Novel Design of Tribological Tester, *Measurement*, vol. 170, pp. 108724, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108724>
- [26] K. Holmberg, A. Erdemir, Influence of Tribology on Global Energy Consumption, Costs and Emissions, *Friction*, vol. 5, pp. 263–284, 2017. <https://doi.org/10.1007/s40544-017-0183-5>
- [27] S. Sasaki, Environmentally Friendly Tribology (Eco-Tribology), *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 24(1), pp. 67–71, 2010. <https://doi.org/10.1007/s12206-009-1114-y>
- [28] W. Brostow, Tribology of Polymers, *Journal of Materials Education*, vol. 32, pp. 273–290, 2010.
- [29] A. Bahar, S. Belhabib, S. Guessasma, F. Benmahiddine, A. E. A. Hamami, R. Belarbi, Mechanical and Thermal Properties of 3D Printed Polycarbonate, *Energies*, vol. 15, pp. 3686, 2022. <https://doi.org/10.3390/en15103686>
- [30] N. Stoimenov, M. Kandeve, M. Zagorski, P. Panev, Static and Kinetic Friction of 3D Printed Polymers and Composites, *Tribology in Industry*, vol. 46, pp. 97–106, 2024. <https://doi.org/10.24874/ti.1704.01.24.01>
- [31] S. Singh, S. Ramakrishna, R. Singh, Material Issues in Additive Manufacturing: A Review, *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 25, pp. 185–200, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.11.006>
- [32] T. Kershah, S. F. S. P. Looijmans, P. D. Anderson, L. C. A. van Breemen, Temperature Dependent Two-Body Abrasive Wear of Polycarbonate Surfaces, *Wear*, vol. 440–441, pp. 203089, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203089>
- [33] F. J. Carrión, A. Arribas, M.-D. Bermúdez, A. Guillamón, Physical and Tribological Properties of a New Polycarbonate-Organoclay Nanocomposite, *European Polymer Journal*, vol. 44, pp. 968–977, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2008.01.032>
- [34] M. Norani, M. I. H. Chua, M. F. B. Abdollah, H. Amiruddin, F. Ramli, N. Tamaldin, Mechanical and Tribological Properties of FFF 3D-Printed Polymers: A Brief Review, *Journal of Tribology*, vol. 29, pp. 11–30, 2021.
- [35] F. Dangnan, C. Espejo, T. Liskiewicz, M. Gester, A. Neville, Friction and Wear of Additive-Manufactured Polymers in Dry Contact, *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 59, pp. 238–247, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.09.030>

- [36] P. Turek, A. Bazan, M. Bulicz, Effect of 3D Printing Orientation on the Accuracy and Surface Roughness of Polycarbonate Samples, *Machines*, vol. 13, pp. 9, 2025. <https://doi.org/10.3390/machines13010009>
- [37] M. M. Hanon, M. Kovács, L. Zsidai, Tribology Behaviour Investigation of 3D Printed Polymers, *International Review of Applied Sciences and Engineering*, vol. 10, pp. 173–181, 2019. <https://doi.org/10.1556/1848.2019.0019>
- [38] Y. J. Mergler, R. J. van Kampen, W. J. Nauta, R. P. Schaake, B. Raas, J. G. H. van Griensven, C. J. M. Meesters, Influence of Yield Strength and Toughness on Friction and Wear of Polycarbonate, *Wear*, vol. 258, pp. 915–923, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2004.09.062>
- [39] S. Mandal, P. K. Sain, A. Kabra, N. C. Reger, D. Solanki, R. K. Goyal, A. K. Bhargava, Tribological Behavior of Silicon Nitride Reinforced Polycarbonate Nanocomposites, *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 140, pp. e53807, 2023. <https://doi.org/10.1002/app.53807>
- [40] A. S. Grenadyorov, Y. N. Yuriev, A. A. Solovyeu, A. A. Runts, K. V. Oskomov, V. A. Semenov, V. S. Sypchenko, Mechanical and Tribological Properties of Diamondlike Carbon-Coated Polycarbonate, *Journal of Vacuum Science & Technology A*, vol. 42, pp. 010402, 2023. <https://doi.org/10.1116/6.0003182>
- [41] T. Jezný, G. Mitál, E. Spišák, I. Gajdoš, Research of the Resistance of Polycarbonate Samples Made by FDM Technology to Abrasive Action, *MM Science Journal*, vol. 2024, pp. 8026–8032, 2024. https://doi.org/10.17973/MMSJ.2024_06_2024019
- [42] B. Difallah, M. Kharrat, M. Dammak, G. Monteil, Improvement in the Tribological Performance of Polycarbonate via the Incorporation of Molybdenum Disulfide Particles, *Tribology Transactions*, vol. 57, pp. 806–813, 2014. <https://doi.org/10.1080/10402004.2014.914867>
- [43] Y. Wang, W. Guan, C. Fischer, S. Wehner, R. Dang, J. Li, W. Guo, Microstructures, Mechanical Properties and Tribological Behaviors of Amorphous Carbon Coatings In-Situ Grown on Polycarbonate Surfaces, *Applied Surface Science*, vol. 557, pp. 149791, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.149791>
- [44] T. Özdemir, M. Öge, Prediction of Tribological Properties of PC-PBT/GNP-MWCNT Nanocomposites Using Machine Learning Models, *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 142, pp. e56834, 2025. <https://doi.org/10.1002/app.56834>
- [45] J. R. Patel, K. V. Chauhan, S. Rawal, N. P. Patel, D. G. Subhedar, Advances and Challenges in Bio-Based Lubricants for Sustainable Tribological Applications: A Comprehensive Review of Trends, Additives, and Performance Evaluation, *Lubricants*, vol. 13, pp. 440, 2025. <https://doi.org/10.3390/lubricants13110440>
- [46] D. Berman, Plant-Based Oils for Sustainable Lubrication Solutions—Review, *Lubricants*, vol. 12, pp. 300, 2024. <https://doi.org/10.3390/lubricants12090300>
- [47] Z. Lin, F. Wang, D. Gao, D. Ba, C. Liu, Frictional and Optical Properties of Diamond-like Carbon Coatings on Polycarbonate, *Plasma Science and Technology*, vol. 15, pp. 690–695, 2013. <https://doi.org/10.1088/1009-0630/15/7/17>
- [48] P. Cann, Lubrication Mechanisms in Reciprocating Contacts, *Tribology International*, vol. 160, pp. 107033, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107033>
- [49] M. Kandeua, N. Stoimenov, M. Paneua, Abrasive Wear of 3D Printed Polymer Materials, *Journal of the Balkan Tribological Association*, vol. 28, pp. 362–379, 2022.

- [50] S. Pawar, D. Dolas, Effect of Process Parameters on Flexural Strength and Surface Roughness in Fused Deposition Modeling of PC-ABS Material, *Journal of Micromanufacturing*, vol. 5, pp. 164–170, 2021. <https://doi.org/10.1177/25165984211016505>
- [51] M. H. Zagorski, *Investigation of Abrasive Wear of Biodegradable Thermoplastic Polymer Samples Produced by 3D Printing*, *Journal of the Balkan Tribological Association*, vol. 28, no. 4, pp. 482–489, 2022.
- [52] M. Masjedi, M. M. Khonsari, Grease Rheology and Film Formation, *Tribology International*, vol. 154, pp. 106717, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106717>
- [53] A. Bazan, P. Turek, Ł. Przeszlowski, Comparison of the Contact and Focus Variation Measurement Methods in the Process of Surface Topography Evaluation of Additively Manufactured Models with Different Geometry Complexity, *Surface Topography: Metrology and Properties*, vol. 10, pp. 035021, 2022. <https://doi.org/10.1088/2051-672X/ac72fd>
- [54] X. Wang, J. Hu, J. Liu, Y. Liang, W. Wu, T. Geng, S. Liu, Y. Guo, Tribological Performance and Enhancing Mechanism of 3D Printed PEEK Coated with In Situ ZIF-8 Nanomaterial, *Polymers*, vol. 16, pp. 1150, 2024. <https://doi.org/10.3390/polym16081150>
- [55] S. Liu, Lubrication-Contact Boundary Conditions for Lubrication Problems, *Research Square*, pp. 1–30, 2021. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-729433/v1>
- [56] R. Presilla, J. Leckner, S. Glavatskih, Grease Lubricity in the Fretting Contact: Are Ionic Liquids the Solution?, *Tribology International*, vol. 185, pp. 108509, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2023.108509>
- [57] Bambu Lab, Bambu Lab X1 Carbon, Available Online: <https://bambulab.com/en/x1> (accessed on 06 March 2026).
- [58] ASTM G133-22, Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2022.
- [59] ISO 7148-2, Plain Bearings—Testing of the Tribological Behaviour of Bearing Materials—Part 2: Testing of Polymer-Based Bearing Materials, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2012.
- [60] ISO 17295:2023, Additive Manufacturing—General Principles—Part Positioning, Coordinates and Orientation, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2023.
- [61] M. M. Hanon, A. Ghaly, L. Zsidai, S. Klébert, Tribological Characteristics of Digital Light Processing (DLP) 3D Printed Graphene/Resin Composite: Influence of Graphene Presence and Process Settings, *Materials & Design*, vol. 218, pp. 110718, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110718>
- [62] M. M. Hanon, L. Zsidai, Comprehending the Role of Process Parameters and Filament Color on the Structure and Tribological Performance of 3D Printed PLA, *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 15, pp. 647–660, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.106>
- [63] C. R. Stoica, R. Maier, A. M. Istrate, S. G. Bucaciuc, A. Despa, Impact Behavior Analysis of 3-D Printed Honeycomb Structures, *Materiale Plastice*, vol. 59, pp. 78–90, 2022. <https://doi.org/10.37358/MP.22.1.5573>

- [64] D. Pieniak, R. Michalczewski, M. Firlej, Z. Krzysiak, K. Przystupa, M. Kalbarczyk, E. Osuch-Słomka, A. Snarski-Adamski, L. Gil, M. Seykorova, Surface Layer Performance of Low-Cost 3D-Printed Sliding Components in Metal-Polymer Friction, *Production Engineering Archives*, vol. 30, pp. 361–376, 2024. <https://doi.org/10.30657/pea.2024.30.41>
- [65] M. M. Hanon, Y. Alshammas, L. Zsidai, Effect of Print Orientation and Bronze Existence on Tribological and Mechanical Properties of 3D-Printed Bronze/PLA Composite, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 108, pp. 553–570, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05465-0>
- [66] C. Orgeldinger, T. Rosnitschek, S. Tremmel, Unveiling an Additively Manufactured Open Hardware Pin-on-Disc Tribometer Considering Its High Reproducibility, *Wear*, vol. 552–553, pp. 205437, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2024.205437>
- [67] A. Perović, S. Ćukić, S. Miladinović, M. Matejić, S. Gajević, B. Stojanović, Development and Experimental Validation of a Pin-on-Disc Tribometer for Friction Testing of Different Metal Materials, *Tribology in Industry*, vol. 48, pp. 188–198, 2026. <https://doi.org/10.24874/ti.2471.02.26.03>
- [68] S. Miladinović, S. Gajević, S. Savić, I. Miletić, B. Stojanović, A. Vencl, Tribological Behaviour of Hypereutectic Al-Si Composites: A Multi-Response Optimisation Approach with ANN and Taguchi Grey Method, *Lubricants*, vol. 12(2), pp. 61, 2024. <https://doi.org/10.3390/lubricants12020061>
- [69] Y. S. Mohamed, A. Abdelbary, *Design and Construction of a Novel Reciprocating Pin-on-Plate Wear Testing Machine*, *Mansoura Engineering Journal*, vol. 49, no. 4, Art. 19, 2024. <https://doi.org/10.58491/2735-4202.3221>
- [70] M. J. Valdes, J. G. Ardila Marín, M. A. Rodríguez-Cabal, J. D. Betancur, TRIBOMETRY: How Is Friction Research Quantified? A Review, *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 13, pp. 2596–2610, 2020. <https://doi.org/10.37624/IJERT/13.9.2020.2596-2610>
- [71] D. Maldonado Cortés, L. Peña Parás, L. Pérez Alvizo, Y. L. Rangel Acosta, J. R. Puente Martínez, Reciprocating Sliding Motion Tribometer Design, in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Monterrey, Mexico, November 3–5, 2021.
- [72] K. Poullos, N. Drago, P. Klit, L. De Chiffre, A Reciprocating Pin-on-Plate Test-Rig for Studying Friction Materials for Holding Brakes, *Wear*, vol. 311, pp. 40–46, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2013.12.020>
- [73] N. Marjanović, B. Tadić, B. Ivković, S. Mitrović, Design of Modern Concept Tribometer with Circular and Reciprocating Movement, *Tribology in Industry*, vol. 28, pp. 3–8, 2006.
- [74] H. T. Viswanathan, P. K. John, R. V. Rajalekshmi, Experimental Modal Analysis of a Linear Reciprocating Tribometer for Maximum Reciprocating Frequency, *Journal of Engineering Research*, vol. 10, pp. 173–186, 2022. <https://doi.org/10.36909/jer.17659>
- [75] C. M. Opreșan, B. Chiriac, A. Tufescu, D. N. Olaru, Static and Dynamic Friction Coefficient in Low Loads and Sliding Speed Conditions, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1262, pp. 012012, 2022. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1262/1/012012>

- [76] K. Küçüköztas, İ. Talay, F. Çalışkan, M. El Sakka, M. Nassar, B. Kaftanoğlu, Design and Manufacturing of a Pin on Disk Tribometer, *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, vol. 22, pp. 31–42, 2024. <https://doi.org/10.5505/mtdi.2024.70634>
- [77] T. A. Stolarski, *Tribology in Machine Design*, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 1990. ISBN 0-7506-3623-8.
- [78] S. Kano, A Short Review: Tribology in Machining to Understand Conventional and Latest Modeling Methods with Machine Learning, *Machines*, vol. 13, pp. 81, 2025. <https://doi.org/10.3390/machines13010081>
- [79] SAH Electronics, CZL301 Load Cell Specifications, Available Online: http://stari.sah.rs/Senzori/CZL301_eng.html (accessed on 15 February 2026).
- [80] R. Uppar, S. Patil, K. Rao, A Critical Review on Vegetable Oil-Based Bio-Lubricants, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 30, pp. 1–18, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22669-w>
- [81] A. Jafari, S. Rahimi, J. Smith, Tribological Properties of Synthetic and Biosourced Lubricants Enhanced by Graphene and Its Derivatives, *ACS Omega*, vol. 9, pp. 1856–1865, 2024. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06721>
- [82] T. F. Silva, M. C. Oliveira, R. Santos, Tribological Characteristics of Biolubricant Obtained by Transesterification of Grape Seed Oil, *Lubricants*, vol. 12, pp. 459, 2024. <https://doi.org/10.3390/lubricants12120459>
- [83] A. Nugroho, L. Tan, X. Wu, Recent Advances in Harnessing Biolubricants to Enhance Tribological Performance: A Quantitative Review, *Journal of Cleaner Production*, vol. 400, pp. 136232, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136232>
- [84] A. Rahmani, H. Liu, Y. Zhang, Green Tribology Assessment: A Comprehensive Review of Nano-Enhanced Bio-Lubricants, *Tribology Letters*, vol. 72, pp. 1–22, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11249-024-01689-4>
- [85] E. Tsagaraki, E. Karachaliou, I. Delioglani, E. Kouzi, *Bio-Based Products and Application Potentials*, Bioways, 2017.
- [86] A. Adhvaryu, C. Sung, S. Erhan, Fatty Acids and Antioxidant Effects on Grease Microstructures, *Industrial Crops and Products*, vol. 21(2), pp. 285–291, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.03.003>
- [87] W. J. Bartz, *Ecotribology: Environmentally Acceptable Tribological Practices*, *Tribology International*, vol. 39, pp. 728–733, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2005.07.002>
- [88] K. Avdeev, E. Domarova, P. Skakun, M. Kalinin, M. Keyzberg, Prospects for the Use of 3D-Printed Polycarbonates in Construction, in *AIP Conference Proceedings*, vol. 3247(1), pp. 020010, 2026, AIP Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/5.0306854>
- [89] M. M. F. Melo Neta, R. R. C. Monteiro, P. R. C. F. Ribeiro Filho, C. L. Cavalcante Jr., F. M. T. Luna, Tribological Properties of Biolubricants: A Comprehensive Bibliometric and Trend Analysis, *Lubricants*, vol. 14(2), pp. 77, 2026. <https://doi.org/10.3390/lubricants14020077>
- [90] G. Pintaude, J. K. Katiyar, Advanced Tribological Solutions for Sustainable Future, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, vol. 240(3), pp. 533–535, 2026. <https://doi.org/10.1177/13506501251320719>
- [91] L. Wang, G. Deng, J. Cheng, Recent Advances in High-Temperature Tribology, *Lubricants*, vol. 14(2), pp. 91, 2026. <https://doi.org/10.3390/lubricants14020091>

- [92] M. Ziemiański and A. Budniak, "Lubrication Properties of Modified Lard and Rapeseed Oil Greases," *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 67, no. 6, pp. 557–563, 2015. <https://doi.org/10.1108/ILT-11-2014-0304>
- [93] H. O. Yosief, M. I. Sarker, G. B. Bantchev, and R. O. Dunn, "Isopropyl-Branched Lard and Its Potential Application as a Bio-Based Lubricant," *Lubrication Science*, vol. 36, no. 2, 2024. <https://doi.org/10.1002/lis.1673>
- [94] C.H. Chan, S. W. Tang, N. K. Mohd, W. H. Lim, S. K. Yeong, Z. Idris, and H. Amiruddin, "Tribological Behavior of Biolubricant Base Stocks and Additives," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 93, pp. 145–157, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.024>
- [95] A. Saka, E. O. Aluyor, A. O. Oyewole, M. O. Daramola, and E. R. Sadiku, "Low- and High-Oleic Vegetable Oils as Sustainable Bio-Based Lubricants: Thermo-Rheological and Tribological Assessment," *Sustainable Food Technology*, vol. 3, pp. 256–270, 2025. <https://doi.org/10.1039/D4SU00605D>
- [96] C. Sanjurjo, M. D. Fernández-Ramos, P. Calvo, and E. Tojo, "Influence of Molecular Structure on the Physicochemical and Tribological Properties of Biolubricants," *Lubricants*, vol. 11, no. 9, pp. 380, 2023. <https://doi.org/10.3390/lubricants11090380>
- [97] D. T. Nguyen, T. T. T. Huynh, A. T. Hoang, and A. T. Le, "Microalgae-Derived Biolubricants: Challenges and Opportunities," *Science of the Total Environment*, vol. 950, pp. 176145, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176145>
- [98] R. S. Odera, O. D. Onukwuli, V.E. Ojukwu, and E. E. Ohiaeri, "Optimization of Bio-Lubricant Production from Transesterification of Lard Fat Base with Ethylene Glycol via Response Surface Methodology," *Next Research*, vol. 3, pp. 100719, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.100719>
- [99] A. Kupčinskis and R. Kreivaitis, "Modification of Rapeseed Oil and Lard by Monoglycerides and Free Fatty Acids Improving Tribological Properties," *Mechanika*, vol. 18, no. 4, pp. 369–374, 2012.

ИМЕ И РЕФЕРЕНЦЕ МЕНТОРА

Проф. др Марија Матејић, ванредни професор на Факултету техничких наука у Косовској Митровици. Научно-истраживачку и наставну делатност остварује у области машинског инжењерства, са посебним фокусом на производно машинство и индустријски инжењеринг. Научна компетентност потврђена је бројним радовима објављеним у међународним часописима категорија M21, M22 и M23, учешћем у научно-истраживачким пројектима, као и успешним менторским радом на академским студијама.

Научне референце ментора др Марије Матејић објављене последњих 10 година:

- Marković, J., **Matejić, M.**, Matejić, M., Bogdanović, B., Skerlić, J., & Miletić, I. (2026). *The design, construction, and experimental validation of a custom linear reciprocating tribometer.* *Machines*, 14(4), 392. <https://doi.org/10.3390/machines14040392> (M22)
- Marković, J., **Matejić, M.**, Rangelov, D., Banić, M., Skerlić, J., Jeremić, N., & Matejić, M. (2026). *Tribological and rheological characterization of 3D printed polycarbonate: Effect of layer orientation, surface topography, and lubrication conditions.* *Lubricants*, 14(1), 28. <https://doi.org/10.3390/lubricants14010028> (M21)
- Matejić, M., **Matejić, M.**, Miletić, I., Marić, D., Milojević, S., Stojanović, B., & Blaza, B. (2025). *Efficiency calculation of cycloid reducer with plastic meshing elements.* *Tehnički vjesnik / Technical Gazette*, 32(2), 748–755. <https://doi.org/10.17559/TV20241015002060> (M22)
- Matejić, M., Blagojević, M., Disić, A., **Matejić, M.**, Milovanović, V., & Miletić, I. (2023). *A dynamic analysis of the cycloid disc stress-strain state.* *Applied Sciences*, 13(7), 4390. <https://doi.org/10.3390/app13074390> (M21)
- Tadić, B., **Matejić, M.**, Simunović, G., Kljajin, M., Kočović, V., Bogdanović, B., & Vukelić, Đ. (2018). *Increasing stiffness of constructions through application of enhancing elements.* *Tehnički vjesnik / Technical Gazette*, 25(2), 479–485. <https://doi.org/10.17559/TV-20171229212528> (M22)
- **Matejić, M.**, Tadić, B., Lazarević, M., Mišić, M., & Vukelić, Đ. (2018). *Modelling and simulation of a novel modular fixture for a flexible manufacturing system.* *International Journal of Simulation Modelling*, 17(1), 18–29. [https://doi.org/10.2507/IJSIMM17\(1\)407](https://doi.org/10.2507/IJSIMM17(1)407) (M21)

ЗАКЉУЧАК

На основу увида у приложену документацију и података о научној и стручној подобности кандидата, као и анализе постављеног проблема, Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације закључује следеће:

1. Предложена истраживања, хипотезе, циљеви, методологија и очекивани резултати су веома добро осмишљени и усклађени за израду докторске дисертације,
2. Досадашњи научни и научно-истраживачки резултати рада кандидата Јоване Марковић, показују њену квалификованост и способност за израду докторске дисертације
3. Кандидат испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом Универзитета и Статутом Факултета техничких наука у Косовској Митровици за израду докторске дисертације.

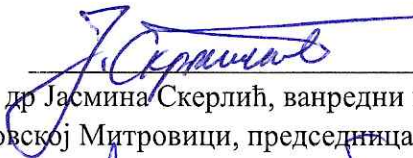
На основу горе наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета техничких наука у Косовској Митровици да **прихвати тему** за израду докторске дисертације под називом: **„Развој и триболошко-реолошка карактеризација биомазива у условима праволинијског реципрочног клизања“**, кандидата **Јоване Марковић**.

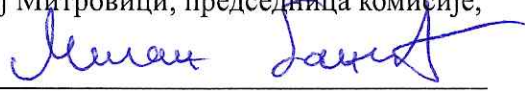
Предложена тема за израду докторске дисертације припада научној области Машинско инжењерство у оквиру поља техничко-технолошких наука, ужа научна област- Производно машинство и индустријски инжењеринг.

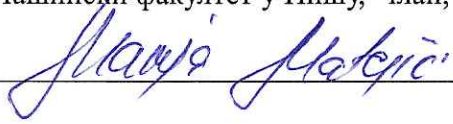
У Косовској Митровици,

09.07.2026. год.

КОМИСИЈА


др Јасмина Скерлић, ванредни професор,
ФТН у Косовској Митровици, председница комисије,


др Милан С. Банић, редовни професор,
Машински факултет у Нишу, члан,


др Марија Матејић, ванредни професор
ФТН у Косовској Митровици, члан- ментор