

280/5
(Број захтева)
23.04.2026.
(Датум)

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

ЗАХТЕВ

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

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

Оптимизација самоподмазујућих клизних лежаја израђених адитивним производним технологијама

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: Машинство (ужа научна област: Опште машинске конструкције)

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата: ИВАН (Милорад) СИМОНОВИЋ
2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):
Универзитет у Београду - Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35
3. Година завршетка претходног нивоа студија: 2020.
4. Година уписа на докторске студије: 2020.
5. Назив студијског програма докторских студија: Машинско инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Александар Маринковић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. I. Simonović, D. Milković, Ž. Mišković, A. Marinković, 2026, Dry-Sliding Behavior and Surface Evolution of SLS-Manufactured Glass Bead-Filled Polyamide 12 Bearings, Lubricants, Vol. 14, no. 1: 31. DOI: 10.3390/lubricants14010031, IF = 2.9, M21, (извор: KOBSON).

2. I. Simonović, A. Marinković, D. Milković, Ž. Mišković, I. Trajković, M. Milošević, A. Milivojević, 2025, Tribological Performance of Selective Laser Sintered Pa12 Sliding Bearings under Dry Sliding Conditions, Science of Sintering, 40–40, OnLine-First Issue 00, pp. 40–40. DOI: 10.2298/SOS250723040S, IF 2024: 1.3, M22 (извор: KOBSON)

3. A. Marinković, B. Stojanović, C. Gachot, T. Lazović, 2024, Analysis of Lubrication regimes for Porius Sliding Bearings, Lubricants, Vol. 12, No 6: 184, DOI :10.3390/lubricants12060184, IF = 2.9, M21 (извор: KOBSON)

4. T. Lazović, A. Marinković, I. Atanasovska, M. Sedak, B. Stojanović, 2024, From Innovation to Standardization—A Century of Rolling Bearing Life Formula, Machines, , Vol. 12, No 7: 444, DOI: <https://www.mdpi.com/2075-1702/12/7/444>. IF = 2.6, M22 (извор: KOBSON).

5. I. Atanasovska, D. Momčilović, T. Lazović, A. Marinković, N. Soldat, 2023, Biomimetics Design of Tooth Root Zone at Cylindrical Gears Profile, Biomimetics, Vol. 8, No.3, 308, DOI: <https://doi.org/10.3390/biomimetics8030308> IF = 5.0, M21, (извор: KOBSON).

Обавештавамо вас да је Наставно – научно веће на седници одржаној 23.04.2026. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Прилог:

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

Напомена:

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

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 280/5
Датум: 23.04.2026. године
Београд, Краљице Марије 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 76/2023 и 19/2025), члана 64. Статута Универзитета у Београду – Машинског факултета – пречишћен текст, арх. бр. 667/4 од 31.03.2026. године. и члана 38. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду - Машинском факултету – пречишћени текст, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 23.04.2026. године донело је:

О Д Л У К У

о прихватању Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације

Прихвата се Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **Ивана Симоновића**, маг. инж. маш. под насловом **„Оптимизација самоподмазујућих клизних лежаја израђених адитивним производним технологијама“**.

Извештај је поднела Комисија у саставу: др Драган Милковић, ред. проф., др Александар Маринковић, ред. проф. и др Снежана Ћирић-Костић, ванр. проф., Универзитет у Крагујевцу – Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву.

За **ментора** докторске дисертације именује се **др Александар Маринковић, ред. проф.**

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о научној заснованости теме докторске дисертације кандидата Ивана М. Симоновића, маг. инж. маш.

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Машинског факултета број 280/3 од 26.3.2026. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Ивана М. Симоновића, маг. инж. маш. под називом:

Оптимизација самоподмазујућих клизних лежаја израђених адитивним производним технологијама

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Иван М. Симоновић, маг. инж. маш., рођен је 21. августа 1995. године у Чачку, Република Србија. Основну школу „Милица Павловић“ у Чачку завршио је са одличним успехом као носилац дипломе „Вук Караџић“. Након тога уписује Гимназију у Чачку, коју такође завршава са одличним успехом као носилац дипломе „Вук Караџић“, остваривши просечну оцену 5.00 (пет и 00/100) у свим разредима.

На Универзитет у Београду – Машински факултет уписао се школске 2014/2015. године. Основне академске студије – машинско инжењерство завршио је 2017. године, са укупном просечном оценом 9,21 (девет и 21/100). Током студија био је добитник похвале за изванредан успех на првој и трећој години. Такође, у току друге и треће године био је стипендиста Министарства просвете Републике Србије.

Школске 2017/2018. године уписао је Мастер академске студије – машинско инжењерство, модул Производно машинство, које је завршио 24. јуна 2020. године. Мастер рад под насловом „Експериментална модална анализа у идентификацији динамике машина алатки“ одбранио је са оценом 10 (десет), у оквиру предмета „Машине алатке М“, под

менторством проф. др Бранка Кокотовића. Током мастер академских студија остварио је просечну оцену 9,26 (девет и 26/100).

У школској 2020/2021. години уписао је Докторске академске студије – машинско инжењерство на Универзитету у Београду – Машинском факултету (број индекса Д08/2020). Положио је све испите предвиђене наставним планом и програмом, а тренутно је студент треће године Докторских академских студија.

У периоду од 2. августа 2020. до 12. фебруара 2021. био је запослен у компанији „Транспортгас Србија“ у Новом Саду, на позицији инжењера за обављање делатности транспорта природног гаса и управљање транспортним системом природног гаса.

Од 12. фебруара 2021. године запослен је на Машинском факултету Универзитета у Београду, у звању асистента на Катедри за опште машинске конструкције.

Од 2024. године учествује у реализацији националног пројекта технолошког развоја под називом „Интегрисана истраживања у области макро, микро и нано машинског инжењерства“, финансираног од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије, у оквиру уговора о реализацији и финансирању научноистраживачког рада.

Од 2024. године Учесник на пројекту COST акције CA23155. „A pan-European network of Ocean Tribology“ у оквиру радних група WG2 „Advanced materials & lubrication for sustainable ocean systems“ и WG3 „Optimized design methodologies for durability-by-design of ocean systems“.

Познавање страних језика

- Енглески језик - говори, чита и пише, успешно завршио Обуку за држање наставе на енглеском језику, фондације Темпус, број потврде: 2025-HEU-0310-125,
- Немачки језик - споразумева се у свакодневном говору.

Познавање рада на рачунару

Кандидат се активно служи софтверским пакетима неопходним за инжењерске прорачуне и научно-истраживачки рад, посебно:

1. MATLAB
2. ANSYS
3. CATIA
4. MS Office
5. Inkscape

Истраживачке области

- Опште машинске конструкције, машински елементи, клизни лежаји, методе вештачке интелигенције, оптимизација, адитивно произведени машински елементи.

Остало

- Возачка дозвола за Б категорију возила,
- Члан је Асоцијације за дизајн, елементе и конструкције – АДЕКО и Управног одбора Научног друштва Инжењерски дизајн, Симулације и Иновације (ИнДИС),
- Био је члан Организационог одбора на две међународне конференције: 10. Међународна конференција „Research and Development of Mechanical Elements and Systems“ – IRMES 2022 у организацији Машинског факултета Универзитета у Београду и друштва АДЕКО и 2. Међународна конференција „Mathematical modelling in mechanics and Engineering“ – ICME 2024 у организацији Математичког института САНУ, Машинског факултета Универзитета у Београду и Научног друштва ИнДИС,
- Међууниверзитетску сарадњу у оквиру CEEPUS мреже мобилности наставника и сарадника, кандидат је реализовао кроз студијске боравке на универзитетима: „Politehnica“, University of Timisoara, Faculty of Engineering, Hunedoara, Romania и Универзитет у Источном Сарајеву, Машински факултет, Источно Сарајево, Босна и Херцеговина као и кроз програм Erasmus+ (Mobility type: Staff mobility for training) на Wrocław University of Science and Technology, Вроцлав, Пољска,
- Учествовао у организацији обласног Такмичења ученика средњих машинских школа из Моделирања, за град Београд, које Заједница машинских школа Републике Србије реализује у сарадњи са Машинским факултетом Универзитета у Београду.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Иван М. Симоновић, маг. инж. маш., уписао је Докторске академске студије – машинско инжењерство на Универзитету у Београду – Машинском факултету школске 2020/2021. године. У циљу реализације Програма усавршавања, положио је следеће обавезне и изборне предмете:

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
Обавезни предмети			
Виши курс математике	проф. др Слободан Радојевић	5	10
Нумеричке методе	проф. др Миодраг Спалевић	5	10
ОМНИР и комуникација	проф. др Милош Недељковић	5	10
Одабрана поглавља из механике	проф. др Зоран Митровић	5	10
Истраживање и публикавање 1	проф. др Ненад Коларевић	10	10
Истраживање и публикавање 2	проф. др Ненад Коларевић	15	10
Истраживање и публикавање 3	доц. др Милош Седак	20	10
Пројекат идеје докторске дисертације	проф. др Александар Маринковић проф. др Ненад Коларевић доц. др Милош Седак	30	10
Изборни предмети			

Методе испитивања структура	проф. др Александар Маринковић	5	10
Методи оптимизације машинских система	проф. др Божидар Росић	5	10
Одабрана поглавља из машинских елемената В	проф. др Татјана Лазовић-Капор	5	10
Планетарни преносници	проф. др Александар Маринковић	5	10
Трибологија машинских елемената	проф. др Александар Маринковић	5	10
Укупно ЕСПБ		120	

Кандидат је од 2021. године запослен на Машинском факултету Универзитета у Београду, као асистент на Катедри за опште машинске конструкције, и учествовао је у извођењу наставе на Основним и Мастер академским студијама, на следећим предметима катедре за опште машинске конструкције: Машински елементи 1, Машински елементи 2 и Моделирање и прорачун структура.

Почевши од школске 2025/2026. кадидат учествује у извођењу наставе из предмета Машински елементи 1 и Машински елементи 2 као асистент на Војној академији Универзитета одбране.

У наставку је дат списак објављених научних радова и других релевантних резултата и активности кандидата Ивана М. Симоновића, маг. инж. маш., у вези са темом докторске дисертације:

Рад у водећем међународном часопису категорије М21

[1] I. Simonović, D. Milković, Ž. Mišković, A. Marinković, 2026, Dry-Sliding Behavior and Surface Evolution of SLS-Manufactured Glass Bead-Filled Polyamide 12 Bearings, Lubricants, Vol. 14, no. 1: 31. DOI: 10.3390/lubricants14010031, IF = 2.9, M21 (извор: KOBSON).

Рад у међународном часопису категорије М22

[1] I. Simonović, A. Marinković, D. Milković, Ž. Mišković, I. Trajković, M. Milošević, A. Milivojević, 2025, Tribological Performance of Selective Laser Sintered Pa12 Sliding Bearings under Dry Sliding Conditions, Science of Sintering, OnLine-First Issue 00, pp. 40-40. DOI: 10.2298/SOS250723040S, IF = 1.3, M22 (извор: KOBSON).

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (М33)

[1] A. Marinković, I. Simonović, T. Lazović, 2020, Load capacity for self-lubricating sliding bearings, Book of Proceedings of the "The 10th International Conference on Tribology – BALKANTRIB", Belgrade, Serbia, May 20-22, 2020. ISBN: 978-86-6060-072-3.

[2] T. Lazović, I. Simonović, A. Marinković, 2021, Service life of universally loaded deep groove ball bearing depending on internal clearance, Book of Proceedings of the “The 11th International Conference Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering KOD 2021”, Novi Sad, Serbia, June 10-12, 2021. ISBN: 978-3-030-88464-2.

[3] A. Marinković, I. Simonović, 2022, Working performances of self-lubricating sliding bearings, Book of Proceedings of the “The 10th International Conference on Research and Development of Mechanical Elements and Systems”, Belgrade, Serbia, May 26, 2022. ISBN: 978-86-6060-119-5.

[4] I. Simonović, P. Ljubojević, T. Vasiljević, Standardization in the Field of Machine Elements and Design, 2022, Book of Proceedings of the “8th International Conference on Industrial Engineering”, Belgrade, Serbia, September 29-30, 2022. ISBN: 978-86-6060-131-7.

[5] P. Ljubojević, I. Simonović, T. Lazović, Comparative analysis of load carrying capacity of shear-loaded bolted joints, 2022, Book of Proceedings of the “Conference on Mechanical Engineering Technologies and Application - COMETA 2022”, Jahorina, B&H, November 17-19, 2022. ISSN: 978-99976-947-6-8.

[6] I. Simonović, A. Marinković, C. Gachot, P. Ljubojević, Application of MXene Nanosheets for Improving Machine Elements Properties, 2023, Book of Proceedings of the “18th International Conference on Tribology - SERBIATRIB '23”, Kragujevac, Serbia, May 17-19, 2023. ISBN: 978-86-6335-103-5.

[7] I. Simonović, A. Marinković, Analysis of pressure distribution in 3D-printed sliding bearings using Hertzian contact theory, 2025, Book of Proceedings of the “The 19th International Conference on Tribology – SERBIATRIB '25”, Kragujevac, Serbia, May 14–16, 2025. ISBN: 978-86-6335-128-8.

[8] I. Simonovic, A. Marinkovic, J. Antić, N. Kolarević, Challenges of Additive Manufacturing in Machine Element Applications, 2025, Book of Proceedings of the “41st Danubia-Adria Symposium Advances in Experimental Mechanics”, Kragujevac, Serbia, September 23-26, 2025. ISBN: 978-86-6335-157-8.

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (М34)

[1] P. Ljubojević, I. Simonović, T. Lazović, Safety factor of the bolted flange joints, 2023, Book of Abstracts of the “2nd International Symposium on Risk Analysis and Safety of Complex Structures and Components-(IRAS 2023)”, Belgrade, Serbia, April 2-4, 2023, ISBN: 978-86-900686-1-6.

[2] I. Simonovic, A. Marinkovic, D. Milkovc, Z. Miskovic, I. Trajkovic, M. Milosevic, A. Milivojevic, 2025, Investigation of Tribological Behaviour of PA12 Sliding Bearings Produced by Selective Laser Sintering, Book of Abstracts of the “International Conference of Experimental and Numerical investigations and New Technologies CNN TECH 2025”, Belgrade, Serbia, July 1, 2025, ISBN: 978-86-6060-218-5.

[3] I. Simonovic, A. Marinkovic, Z. Miskovic, I. Trajkovic, M. Milosevic, D. Milkovic, Evolution of Surface Roughness in SLS-Manufactured PA12 Sliding Bearings under Dry Friction Conditions, 2025, Book of Abstracts of the "The 13th conference of the Serbian ceramic society - Advanced ceramics and application", Belgrade, Serbia, September 8-10. ISBN 978-86-905714-2-0.

Учешће у научно-истраживачким, стручним и образовно-развојним пројектима

[1] „Интегрисана истраживања у области макро, микро и нано машинског инжењерства” научноистраживачки пројекат технолошког развоја финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја, односно Министарства науке, технолошког развоја и иновација Владе Републике Србије, према уговорима о реализацији и финансирању научноистраживачког рада НИО 2024. (ев. бр. 451-03-65/2024-03/200105), 2025. години (ев. бр. 451-03-137/2025-03/2001057) и 2026. години (ев. бр. 451-03-34/2026-03/200105), руководилац пројекта: проф. др Владимир Поповић, Београд, 01.01.2022–...

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат Иван М. Симоновић, маг. инж. маш., је својим досадашњим истраживачким активностима показао неопходно знање, заинтересованост и способност за научноистраживачки рад. Његови биографски подаци, објављени научни радови и други остварени резултати суштински су повезани са научном облашћу којој припада предложена тема, што кандидата, према мишљењу Комисије, квалификује за самосталан научноистраживачки рад на предметној докторској дисертацији.

2. Предмет и циљ истраживања

Триболошки процеси, у машинским системима, имају кључан значај јер директно утичу на ефикасност, поузданост и радни век машинских делова, међу којима клизни лежаји представљају једну од најзаступљенијих и конструкционо најважнијих група машинских елемената [1]. Трибологија као научна дисциплина тиме заузима битно место у функционисању савремених система, посебно у области клизних лежаја, где понашање у контакту утиче како на перформансе машинских делова и елемената тако и читавог система у ком се налази.

Триболошки процеси прате човечанство од самих почетака, при чему њихова улога обухвата од најједноставнијих свакодневних појава попут ходања до најсложенијих инжењерских примена. Према истраживањима [2], приближно 23% укупне светске потрошње енергије одлази на превазилажење триболошких контакта (20% се односи на губитке услед трења и око 3% потроши се на ремонт и поновну израду делова чији је узрок отказа хабање), при чему би се применом напредних материјала, нових технологија површина и савремених система подмазивања губици услед трења и хабања могли смањити и до 18% у релативно кратком периоду, а у интервалу од 15 година до 40%. Ови подаци јасно указују на значај истраживања триболошких процеса и развој материјала и конструкција ради унапређења триболошких перформанси клизних лежаја.

Аддитивне производне технологије представљају нову парадигму израде делова засновану на додавању материјала, за разлику од традиционалних метода које се заснивају на скидању вишка материјала са припремка. Технологије израде попут фузије нанетог праха (SLS), екструдирања материјала (FFF/FDM), стереолитографије (SLA) се последњих година интензивно развијају и примењују у изради машинских делова сложених геометрија. У оквиру ових производних технологија, примењује се широк дијапазон материјала, укључујући полимере, техничке термопласте, метале и керамике. Захваљујући повољној комбинацији механичких и триболошких својстава, попут отпорности на хабање и могућности рада без додатног подмазивања полимери постају све значајни у истраживањима за потребе функционалних машинских елемената попут клизних лежаја. На понашање полимерних лежаја, у условима без додатног подмазивања, утиче више међусобно повезаних фактора: термички фактори, ниво оптерећења, брзина клизања и својства коришћених материјала. Код делова израђених SLS методом, микроструктура настала процесом синтеровања попут порозности, присуства делимично истопљених зрна, оријентација слојева имају значајан утицај на отпорност на хабање, развој температуре у контакту и стабилизацију коефицијента трења [3, 4]. Због специфичних својстава и могућности прилагодљиве производње, триболошке карактеристике клизних лежаја израђених адитивним технологијама представљају предмет интензивних истраживања.

Актуелност теме произилази из чињенице да савремени машински системи све више захтевају компоненте које, између осталих, треба да задовоље следеће захтеве:

- брза и једноставна израда без сложених алата,
- поуздан рад у системима без додатног подмазивања уљима и мастима,
- смањени трошкови одржавања,
- ефикасност и стабилност при променљивим оптерећењима и брзинама.

Комбиновањем адитивне производње и полимерних материјала са самоподмазујућим карактеристикама отвара се могућност развоја машинских елемената, пре свега клизних лежаја, који су лакши, економски исплативији, конструктивно флексибилнији и потенцијално одрживији у односу на класичне синтероване металне лежаје или полимерне израђене ливењем. Посебно значајну примену ова врста лежаја, без подмазивања, има у хемијски агресивним срединама, раду у вакууму, радиоактивним срединама и окружењима у којима се лубриканти не смеју користити. У индустрији хране, медицине, третирању воде, чистим собама, процесима прераде слика често су потребни лежаји који захтевају рад без додатних подмазивања мастима или уљима.

Упркос све учесталијој примени адитивне производње у индустрији, и даље постоји релативно ограничен број експерименталних испитивања која систематски анализирају триболошке перформансе адитивно израђених лежаја у условима сувог трења при различитим режимима оптерећење-брзина (PV режими). Такође, недостају поуздани модели који би омогућили предвиђање коефицијента трења и развоја температуре у контакту у функцији оптерећења и брзине базирани на моделима вештачке интелигенције, као и оптимизацију радних и/или конструкционих параметара применом метахеуристичких алигоритама.

Досадашња истраживања у области трибологије полимера и полимерних клизних лежаја пружају теоријску основу за формирање предложене теме докторске дисертације. Са становишта фундаменталних механизма, аутори у [5] детаљно анализирају трибологију

полимера и указују да је понашање полимерних материјала у условима сувог трења резултат сложене интеракције адхезије, деформације неравнина, формирања и стабилизације трибо-филма, као и изражене термомеханичке зависности коефицијента трења и хабања. Полимери, посебно кристално-аморфне структуре попут полиамида, показују изражену осетљивост на температуру и режим оптерећења, што доводи до промена у контактної крутости, развоју топлоте и стабилности формираног трибо-филма [5]. Ова запажања су од посебног значаја за даље истраживање полимерних лежаја у условима сувог трења, где се стабилно трење успоставља након фазе уходавања.

Посебна група радова се бави истраживањима адитивно израђених полимера. У раду [6] се показује да на триболошке перформансе знатно утиче оријентација штампе у односу на правац клизања. Ова запажања су у складу са општим запажањима да површинска храпавост и порозност имају директан утицај на триболошко понашање адитивно израђених полимера. Резултати остварени у [7] показују да микроструктура и услови израде утичу не само на триболошка, већ и на механичка својства, што је важно за разумевање реалне деформације лежаја под оптерећењем и за повезивање експерименталних података са нумеричким моделима. Више радова се бави утицајем ојачивача у композиту са полимерном основом [8, 9] где је акценат на угљеничним влакнима, стакленим куглицама као и чврстим лубрикантима. Ове студије показују да пажљиво креирање композитне структуре може значајно утицати на побољшање триболошких перформанси материјала који се користе у испитивању клизних лежаја, али се углавном фокусирају на стандардне узорке и методе испитивања попут *pin-on-disc*, *ball-on-disc*, *ball-on-ring*, а не на реалне машинске елементе.

Ограничен број студија које се баве конкретно клизним лежајима представљају значајан корак ка анализи реалних машинских елемената. Истраживачи у [10] су показали да се уз адекватан избор материјала и технологије израде може постићи ниска вредност коефицијента трења, али уз ограничену термичку стабилност испитиваних материјала. У радовима [11, 12] аутори су испитивали клизне лежаје од различитих материјала где су се бавили различитим текстурама и принципима израде.

Ипак већина доступне литературе се бави материјалом као узорком, а не реалним машинским елементима попут клизног лежаја. Анализом наведене литературе, поред осталих анализираних студија, увиђа се недостатак систематичних истраживања која повезују режим оптерећење-брзина са коефицијентом трења и температуром у контакту, промену топографских параметара и формирање предиктивних и оптимизационих модела. Предложена дисертација директно адресира уочене истраживачке празнине кроз систематично експериментално испитивање реалних клизних лежаја израђених адитивним производним технологијама, при различитим режимима рада, уз квантитативну анализу триболошких процеса, јасно разграничење карактеристичних фаза рада, детаљну карактеризацију површинске морфологије и топографије, прецизно одређивање специфичног интензитета хабања, примену напредних статистичких метода, као и интеграцију оптимизационих алгоритама и вештачких неуронских мрежа како би се поуздано предвидело триболошко понашање.

Предмет истраживања ове докторске дисертације јесте експериментална и аналитичка триболошка карактеризација клизних лежаја израђених адитивним производним

технологијама у реалним радним условима без додатног подмазивања, као и примена оптимизационих алгоритама и развој модела за предвиђање триболошких параметара. Циљ истраживања је да се, на основу експерименталних испитивања самоподмазујућих клизних лежаја израђених адитивним производним технологијама при различитим *PV* режимима, анализирају коефицијент трења, температура у контакту, еволуција хрпавости и механизми оштећења носећих површина, као и да се на основу добијених података развију статистички, оптимизациони и предиктивни модели засновани на неуронским мрежама и метахеуристичким алгоритмима, који ће омогућити поуздано предвиђање понашања клизних лежаја и у нерегистрованим режимима рада, који ће затим бити експериментално верификовани.

Све наведено позиционира предложену тему докторске дисертације као актуелну, применљиву и научно оправдану, јер обрађује:

- истраживања триболошког понашања реалних машинских елемената,
- материјале добијене савременим методама адитивне производње,
- рад у области сувог трења без додатног подмазивања,
- анализу промена микротопографије и механизме хабања,
- примену оптимизационих алгоритама и предвиђање коефицијента трења и контактне температуре на основу *in situ* експериментално добијених података.

Референце

[1] I. Hutchings and P. Shipway, "Tribology: Friction and wear of engineering materials: Second Edition", Elsevier, 2017.

[2] K. Holmberg and A. Erdemir, "Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions," *Friction*, vol. 5, no. 3, pp. 263–284, Sep. 2017, doi: 10.1007/s40544-017-0183-5.

[3] Y. Liu, L. Zhu, L. Zhou and Y. Li, "Microstructure and Mechanical Properties of Reinforced Polyamide 12 Composites Prepared by Laser Additive Manufacturing". *RPJ*, vol. 25, pp. 1127–1134, Aug. 2019, doi:10.1108/RPJ-08-2018-0220.

[4] J. Bai, S. Yuan, W. Chow, C.K. Chua, K. Zhou and J. Wei, "Effect of Surface Orientation on the Tribological Properties of Laser Sintered Polyamide 12". *Polymer Testing*, vol. 48, pp. 111–114, Dec. 2015, doi:10.1016/j.polymertesting.2015.09.017.

[5] N. K. Myshkin, M. I. Petrokovets, and A. V. Kovalev, "Tribology of polymers: Adhesion, friction, wear, and mass-transfer," *Tribology International*, vol. 38, no. 11–12, pp. 910–921, Nov. 2005, doi: 10.1016/j.triboint.2005.07.016.

[6] A. Wörz and D. Drummer, "Tribological anisotropy of selective laser sintered PA12 parts," *Polymer Testing*, vol. 70, pp. 117–126, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.polymertesting.2018.06.028.

[7] M. Kadkhodaei, M. Pawlikowski, R. Drobnicki, and J. Domański, "Modeling of hyperelasticity in polyamide 12 produced by selective laser sintering," *Continuum Mech. Thermodyn.*, vol. 35, no. 4, pp. 1735–1744, Jul. 2023, doi: 10.1007/s00161-023-01199-8.

[8] A. Gadelmoula and S. A. Aldahash, "Tribological Properties of Glass Bead-Filled Polyamide 12 Composite Manufactured by Selective Laser Sintering," *Polymers*, vol. 15, no. 5, p. 1268, Mar. 2023, doi: 10.3390/polym15051268.

[9] A. Gadelmoula and S. A. Aldahash, "Dry Friction and Wear Behavior of Laser-Sintered Graphite/Carbon Fiber/Polyamide 12 Composite," *Polymers*, vol. 15, no. 19, Art. no. 19, Jan. 2023, doi: 10.3390/polym15193916.

[10] Y.-J. Lee, K.-H. Lee, and C.-H. Lee, "Self-Lubricating and Friction Performance of a Three-Dimensional-Printed Journal Bearing," *Journal of Tribology*, vol. 140, no. 5, p. 054501, Sep. 2018, doi: 10.1115/1.4039995.

[11] V. Mourya, S. P. Bhole, and P. G. Wandale, "Comparative investigation on wear properties of 3D-printed textured journal bearings," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 103, pp. 337–353, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.jmapro.2023.08.046.

[12] A. Andrearczyk and P. Bagiński, "The Use of Additive Manufacturing Technology to Manufacture Slide Bearing Sleeves – A Preliminary Study," *Tribologia*, vol. 291, no. 3, pp. 7–14, Jun. 2020, doi: 10.5604/01.3001.0014.4752.

Научни циљ докторске дисертације

Општи научни циљ докторске дисертације јесте квантитативна анализа, поуздано предвиђање триболошког понашања као и оптимизација радних и/или конструкционих параметара клизних лежаја произведених адитивним производним технологијама у условима сувог трења. Научни циљеви дисертације остварују се интеграцијом систематичних експерименталних испитивања, напредних статистичких метода и оптимизационих алгоритама, као и применом вештачких неуронских мрежа, са циљем дефинисања параметара применљивих у реалним машинским системима.

Појединачни циљеви:

1. Експериментална карактеризација триболошких параметара клизних лежаја укључујући коефицијент трења, температуру у контакту, специфични интензитет хабања и еволуцију параметара микротопографије површине у различитим PV режимима.
2. Идентификација и анализа доминантних триболошких механизма на основу промена површинске морфологије и микротопографије носећих површина пре и након испитивања.
3. Примена статистичких метода и оптимизационих алгоритама ради одређивања утицаја радних и/или конструкционих параметара на триболошка својства клизних лежаја.
4. Развој и верификација предиктивних модела за коефицијент трења, радну температуру у контакту и степен хабања, заснованих на вештачким неуронским мрежама и експериментално добијеним подацима, са циљем поузданог предвиђања понашања клизних лежаја и његовог очекиваног радног века у нерегистрованим радним режимима.

Основне хипотезе

Фокус истраживања ове дисертације је експериментално испитивање и оптимизација клизних лежаја израђених адитивним производним технологијама у реалним радним условима. Основне хипотезе истраживања у оквиру ове дисертације могу се јасно и систематично формулисати на следећи начин:

- Клизни лежаји произведени адитивним производним технологијама могу остварити стабилан и поуздан рад у условима без подмазивања, у дефинисаним радним условима.
- Триболошке перформансе адитивно израђених лежаја упоредиве су са конвенционално израђеним полимерним лежајима у истим и сличним радним условима.
- Триболошко понашање адитивно произведених лежаја може се објаснити и квантификовати кроз анализу промене микротопографије и морфологије носећих површина, које одражавају доминантан механизам хабања у испитиваним условима.
- Промене параметара храпавости и топографских параметара носећих површина могу се повезати са доминантним механизмима хабања.
- На основу експерименталних истраживања извршених у оквиру дисертације могуће је дефинисати и оптимизовати радне и/или конструкционе параметре ради остваривања комбинације ниског трења, контролисаног пораста температуре и прихватљивог интензитета хабања.
- Вештачке неуронске мреже обучене на експерименталним подацима, могу успешно предвиђати коефицијент трења и температуру у режимима који нису директно мерени, обезбеђујући поуздан модел за проширење анализе.
- Оптимизација се може извршити користећи метахеуристичке оптимизационе алгоритме применљиве за решавање комплексних мултимодалних оптимизационих проблема. Метахеуристички алгоритми су изабрани због могућности успешног проналажења глобалног оптималног решења овако сложених проблема.
- Математички модел оптимизационог проблема као и критеријумске функције могу се формирати користећи вештачке неуронске мреже.

Научне методе истраживања

Истраживања у оквиру ове дисертације заснивају се на интегрисаној примени теоријских, експерименталних, статистичких и оптимизационих метода, у циљу анализе, квантификације и оптимизације триболошког понашања адитивно израђених клизних лежаја, од различитих материјала, као и развој предиктивних модела применљивих у реалним машинским системима.

1. Анализа релевантних литературних извора и систематизација постојећих знања

У уводној фази истраживања спроводи се систематична анализа релевантних научних и стручних литературних извора из области трибологије, клизних лежаја, полимерних материјала и адитивних производних технологија. Анализа обухвата систематизацију постојећих теоријских концепата, експерименталних метода и досадашњих резултата, са посебним освртом на истраживања чији су императив реални клизни лежаји који раде у условима без додатног подмазивања. На основу ових анализа дефинишу се предмет, циљеви и полазне хипотезе истраживања, при чему се јасно идентификују постојеће научне празнине у релевантној области истраживања.

2. Експериментална испитивања на реалном моделу

Експериментално испитивање спроводи се на уређају USL 5-30, развијеном у сарадњи са индустријским произвођачем лежаја, који омогућава симулацију реалних радних услова.

Испитивања се врше при различитим режимима оптерећења и брзине клизања уз константно праћење свих значајних параметара. У оквиру испитивања врше се мерења неопходних триболошких параметара, попут коефицијента трења и температуре у конатној зони. Пре и након испитивања сви узорци пролазе кроз неопходну припрему за експеримент, и врши се мерење масених губитака као и карактеризација носеће површине користећи профилометар и микроскопију ради обезбеђивања статистички поузданих података.

Тако добијени подаци служе као основа за развој неуронских мрежа способних за предвиђање коефицијента трења и контактне температуре у различитим условима.

3. Статистичка анализа и оптимизација

На експериментално добијеним подацима спроводи се анализа статистички најрелевантнијих параметара који описују триболошко понашање клизних лежаја. Резултати статистичке обраде користе се као основа за формулисање оптимизационог проблема, при чему се тежи ка одређивању радних и/или конструкционих параметара који нуде најповољнију комбинацију трења, хабања и загревања.

Глобална оптимална решења мултимодалног проблема проналазе се користећи метахеуристичке оптимизационе алгоритме. Метахеуристички алгоритми раде са популацијом решења, и кроз итерације се побољшавају и иду ка глобалном оптималном решењу применом механизма често инспирисаним природним процесима (јато, крдо, рој, итд.). У процесу оптимизације врши се анализа осетљивости чиме се проверава понашање модела у зависности од појединачних параметара, што помаже дефинисању домена што представља значајан корак у оптимизацији.

План истраживања

- Дефинисање концепта и структуре дисертације.
- Детаљна анализа литературе из трибологије, полимера и адитивних технологија.
- Дефинисање протокола експеримената (узорци, режими, мерења).
- Извођење експерименталних испитивања.
- Испитивање храпавости и морфолошка анализа површина.
- Статистичка анализа и оптимизација параметара.
- Развој модела вештачке интелигенције и валидација.
- Синтеза резултата.
- Техничка припрема и уобличавање дисертације.

Очекивани научни допринос

Предложена докторска дисертације пружа свеобухватну и методолошки уједначену експерименталну анализу триболошког понашања клизних лежаја израђених адитивним производним технологијама у условима без спољашњег подмазивања.

Очекивани научни допринос се огледа кроз формирање репрезентативног и статистички валидираног скупа података о коефицијенту трења, температури у контакту, специфичном интензитету хабања, доминантном механизму хабања и промени микротопографије у различитим режимима оптерећења. Овим се попуњава значајна празнина у постојећој научној литератури, где се адитивно израђени лежаји углавном третирају кроз појединачне

студије. На основу експериментално добијених података биће успостављена веза оптерећења и промене микро-геометрије контактних површина.

Очекивани научни допринос дисертације огледа се и у формулацији и примени вишекритеријумског оптимизационог алгоритма у циљу избора радних и/или конструкционих параметара клизних лежаја израђених адитивним производним технологијама, заснованог на експериментално утврђеним триболошким карактеристикама у условима сувог трења. Модел интегрише међусобно конфликтне функције циља, и то минимизацију коефицијента трења и интензитета хабања, уз истовремено експлицитно увођење термичких и технолошких ограничења, чиме се оптимизациони проблем поставља у оквир који одражава реалне физичке услове рада и савремене инжењерске захтеве.

Посебан научни допринос представља унапређење ефикасности решавања развијеног вишекритеријумског оптимизационог модела кроз адаптивно подешавање параметара оптимизационих алгоритама и интеграцију предиктивних модела заснованих на неуронским мрежама.

7. Закључак и предлог

На основу анализе пријаве теме докторске дисертације кандидата Ивана М. Симоновића, маг. инж. маш., архивирани под евиденционим бројем 280/1 од 05.02.2026. године, а сходно сагласности Колегијума наставника Катедре за опште машинске конструкције 280/2 од 26.02.2026. године, као и Одлуци Наставно-научног већа број 280/3 од 26.03.2026. године, Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације закључује да је предложена тема научно утемељена и адекватна за израду докторске дисертације високог ранга, као и да кандидат испуњава све услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Машинског факултета који га квалификују за рад на предметној докторској дисертацији.

Имајући у виду наведено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да се Ивану М. Симоновићу, маг. инж. маш. одобри израда докторске дисертације са темом

Оптимизација самоподмазујућих клизних лежаја израђених адитивним производним технологијама

научна област: **машинско инжењерство** (ужа научна област – **опште машинске конструкције**).

На основу Одлуке Наставно-научног већа број 280/3 од 26.3.2026. године, за ментора кандидата Ивана М. Симоновића, маг. инж. маш., током рада на предметној докторској дисертацији, Комисија предлаже да буде именован др Александар Маринковић, редовни професор на Машинском факултету Универзитета у Београду који задовољава услове члана 28, став 9, Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду – Машинском факултету (Образац 3.) и то у домену машинског инжењерства – опште машинске конструкције, дакле има све неопходне компетенције у оквиру научне области којој припада тема докторске дисертације, са чиме је Комисија у потпуности сагласна.

С поштовањем,

Београд, 06.04.2026. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Драган Милковић, редовни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....
др Александар Маринковић, редовни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....
др Снежана Ћирић-Костић, ванредни професор
Универзитет у Крагујевцу - Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву