

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
<p>1. Датум и орган који је именовано комисију: Решењем бр. 012-199/04-2021 од 01.07.2021. године, на основу Одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука, а у складу са Статутом Факултета техничких наука, Декан Факултета техничких наука именовано је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације</p>		
<p>2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i>:</p>		
1. Зељковић др Милан	редовни професор	Машине алатке, технолошки системи и аутоматизација поступака пројектовања, 2007
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		председник
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. Митровић др Радивоје	редовни професор	Опште машинске конструкције, 2003
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Машински факултет, Универзитет у Београду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. Хаџистевић др Миодраг	редовни професор	Метрологија, квалитет, еколошко инжењерски аспекти, алати и прибори, 2015
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. Мишковић др Жарко	доцент	Опште машинске кунструкције, 2018
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Машински факултет, Универзитет у Београду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
5. Живковић др Александар	ванредни професор	Машине алатке, технолошки системи и аутоматизација поступака пројектовања, 2018
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		ментор
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
6. Рацков др Милан	ванредни професор	Машински елементи, механизми и инжењерске графичке комуникације, 2018
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		ментор
установа у којој је запослен-а		функција у комисији

<p>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</p>
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Мирјана, Гојко, Бојанић Шејат</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 03.07.1986., Бугојно, Босна и Херцеговина</p> <p>3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Производно машинство, рачунаром подржане технологије, Мастер инжењер машинства</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2020. година Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука Машинско инжењерство</p>
<p>III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:</p>
<p>МОДЕЛОВАЊЕ МЕХАНИЧКОГ ПОНАШАЊА КУГЛИЧНИХ ЛЕЖАЈА</p>
<p>IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:</p>
<p>Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.</p>
<p>Докторска дисертација кандидаткиње <i>Мсц. Мирјане Бојанић Шејат</i>, под насловом "Моделовање механичког понашања кугличних лежаја" садржи 203 нумерисане странице, са 200 графичких илустрација у виду скица и дијаграма, 31 табела са нумеричким подацима и 107 литературна наслова. Испред основног дела текста, у раду су дати: наслов рада, кључна документацијска информација, садржај рада, списак слика, списак табела и списак коришћених ознака.</p> <p>Истраживања реализована у оквиру докторске дисертације су приказана кроз десет поглавља. У наставку се даје садржај рада са назнаком броја страна сваког поглавља.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Увод (5 страна) • Конструкциони параметри лежаја са контактом у четири тачке (19 страна) • Приказ досадашњих истраживања понашања кугличних лежаја (36 страна) • Квазистатички модел кугличних лежаја (17 страна) • Дефинисање нумеричког модела лежаја применом МКЕ (18 страна) • Експериментално испитивање динамичког понашања кугличних лежаја (26 страна) • Верификација резултата моделовања механичког понашања радијалног кугличног лежаја (27 страна) • Верификација резултата моделовања механичког понашања кугличног лежаја са контактом у четири тачке (34 стране) • Завршна разматрања (14 страна) • Литература (7 страна)
<p>V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:</p>
<p>Наслов докторске дисертације указује на садржај истраживања и истиче предмет истраживања.</p> <p>У <i>првом поглављу</i>, УВОД, полази се од значаја котрљајних лежаја у металопрерађивачкој индустрији, те констатује непрекидан развој техничких карактеристика истих. Указује се на чињеницу да је понашање конструкција у експлоатацији условљено понашањем лежаја. Такође је уочен велики утицај конструкционих и експлоатационих параметара лежаја на његово статичко и динамичко понашање. Истиче се неопходност дефинисања што свеобухватнијег математичког модела за пројектовање лежаја, те</p>

дефинише оквирни задатак везан за развој различитих математичких модела кугличних лежаја и даје структура докторске дисертације.

Текст у оквиру овог поглавља је делом резултат сазнања из литературе, а делом сопствених погледа на разматрану проблематику.

Кроз *друго поглавље*, КОНСТРУКЦИОНИ ПАРАМЕТРИ ЛЕЖАЈА СА КОНТАКТОМ У ЧЕТИРИ ТАЧКЕ, је дат кратак приказ основних спољашњих и унутрашњих параметара који дефинишу конструкцију лежаја са контактом у четири тачке, те се приказују најважнији статички параметри лежаја са контактом у четири тачке, као што су крутост и контактне деформације. Сем тога, у овом поглављу су приказани и механизми настанка вибрација код кугличних лежаја при чему је указано на параметре који утичу на његово понашање у експлоатацији.

Материја изложена у оквиру овог поглавља представља, највећим делом, приказ спољашње и унутрашње геометрије кугличних лежаја са контактом у четири тачке и механизма настанка вибрација код кугличних лежаја и резултат је критичке анализе истраживања која се реализују у свету.

У *трећем поглављу*, ПРИКАЗ ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА ПОНАШАЊА КУГЛИЧНИХ ЛЕЖАЈА, се детаљније указује на лежај, како са функционалног, тако и са конструкционог аспекта, те дефинишу основни захтеви који се пред исти постављају. Усмеравајући истраживања првенствено у правцу статичког и динамичког понашања, у овом поглављу се указује на неке од математичких модела за анализу статичког понашања кугличних лежаја као основе, за дефинисање динамичког модела истог. Констатује се, да развој већег броја математичких модела је условљен постојањем различитих параметара преко којих се успоставља зависност између улазних и излазних величина. На основу најновијих литературних извора се приказују одређени резултати истраживања, где се запажа да су најважнији параметри који утичу на понашање лежаја: расподела оптерећења, величине контактних напона, зазор/преклоп и сл. Анализирани радови су указали на могућност квантитативне оцене статичког и динамичког понашања лежаја у зависности од његове намене. На крају се, имајући у виду досадашња истраживања, код нас и у свету и постигнуте резултате, дефинише циљ и предмет истраживања у оквиру докторске дисертације. Такође се дефинишу и хипотезе које се кроз истраживања желе верификовати.

Већи део овог поглавља је резултат систематске анализе истраживања која се реализују у свету. На основу извршене систем анализе досадашњих истраживања статичког и динамичког понашања, кандидаткиња је поставила оригиналну концепцију истраживања у оквиру докторске дисертације и дефинисала хипотезе.

У *четвртном поглављу*, КВАЗИСТАТИЧКИ МОДЕЛ КУГЛИЧНИХ ЛЕЖАЈА, су дефинисани аналитички (квазистатички) модели за анализу статичког понашања лежаја са контактом у две и четири тачке, као и математички модел за одређивање века истог, у складу са постављеним циљем истраживања. Квазистатички модел за анализу статичког понашања кугличних лежаја је развијен на бази *Hertz-ове* теорије контакта и *John-Haris-ове* расподеле оптерећења на котрљајна тела. Модел је, у овом раду, проширен увођењем утицаја, преклопа/ззора у статичке једначине равнотеже. Развијени модел је са три степена слободe и узима у разматрање дејство центрифугалних сила и преклоп/ззор. Применом развијеног програмског решења је извршена анализа статичког понашања кугличних лежаја са контактом у две и четири тачке. Излазни резултати из квазистатичког моделовања су коришћени као улазни подаци при дефинисању нумеричког (МКЕ) модела кугличних лежаја.

Развијени математички модел кугличног лежаја са контактом у четири тачке представља оригинални допринос кандидата.

У раду је поред квазистатичког модела развијен и механички модел кугличних лежаја, моделован у програмском систему опште намене, базираном на методи коначних елемената (МКЕ). Модел је приказан у оквиру *петог поглавља* ДЕФИНИСАЊЕ НУМЕРИЧКОГ МОДЕЛА ЛЕЖАЈА ПРИМЕНОМ МКЕ и састоји се од статичког и динамичког модела. Да би се дефинисали почетни услови (добра

почетна апроксимација, задовољавајућа величина и број коначних елемената) за динамичку анализу, прво је примењена статичка нелинеарна анализа, односно, одређена су решења у виду померања, напона на стазама котрљања и котрљајним телима као резултат деловања спољашњег оптерећења. Нелинеране једначине су решаване коришћењем *Newton-Raphson-ove* методе. У следећем кораку су одређени сопствене фреквенције и модови осциловања на бази линеаризованих матрица крутости које су добијене у статичкој анализи. У трећем кораку су динамичком анализом, експлицитном методом одређене промене убрзања, брзине, померања, напона на елементима лежаја током времена у зависности од спољашњег оптерећења, зазора и броја обртаја лежаја. Век лежаја је одређен применом развијеног МКЕ динамичког модела, коришћењем спектралне густине амплитуда (PSD), и *Miner-ovog* правила на бази *S-N* криве. На основу побуде, односно убрзања као улазне величине одређена је промена одзива структуре у виду напона на елементима лежаја у временском домену, при чему је вредност напона израчуната као средњи квадратни корен (RMS), односно као стандардно одступање одзива (1σ , 2σ , 3σ). У последњем кораку се на бази претходно одређених напона *Miner-овим* правилом и *S-N* кривом израчунава век лежаја.

Развијени нумерички модели кугличног лежаја са контактом у две и четири тачке представљају оригинални допринос кандидата.

У *шестом поглављу* ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСПИТИВАЊЕ ДИНАМИЧКОГ ПОНАШАЊА КУГЛИЧНИХ ЛЕЖАЈА су приказана експериментална испитивања и неки од резултата мерења. Експериментално испитивање је спроведено за два типа лежаја: за радијални куглични лежај FKL 6006 и куглични лежај са контактом у четири тачке FKL LSQFR 308. Наведена испитивања се могу груписати у три дела. Први део се односи на одређивању сопствених фреквенција и модалних параметара лежаја. При идентификацији динамичког понашања радијалног кугличног лежаја, посматране су фреквенције, као и вредности амплитуда брзине елемената лежаја на појединим фреквенцијама у дефинисаним фреквентним опсезима према стандарду СРПС ИСО 17025:2006, што предствља други део испитивања. Мерења су вршена на узорку од 30 лежаја 6006. Свако мерење је поновљено три пута, ради провере поновљивости резултата, при чему је за сваки лежај вршено испитивање при различитим аксијалним оптерећењима (200 – 1000 N). У оквиру резултата мерења приказани је утицај радијалног зазора на динамичко понашање. Трећи део експерименталног испитивања се односи на одређивање века лежаја FKL LSQFR 308. Мерни штанд је искоришћен и за испитивање утицаја зазора на динамичко понашање лежаја FKL LSQFR 308. При испитивању утицаја зазора, за експериментално испитивање, су изабрани лежаји са зазором од 10 до 40 μm . Анализа утицаја зазора је извршена при комбинованом оптерећењу, за $n=200$ o/min. Оптерећење и број обртаја је одређен на основу услова експлоатације испитиваног лежаја. При анализи резултата добијених експерименталним испитивањем, дошло се до закључка да се максималне амплитуде убрзања јављају на фреквенцији спољашњег прстена, те да су амплитуде убрзања на фреквенцијама осталих елемената лежаја значајно мање у односу на наведену амплитуду. За експериментално одређивање века лежаја FKL LSQFR 308 и утицаја зазора на век изабрана су три зазора: 10 μm , 20 μm и 40 μm . За сваку вредност зазора је испитано по 8 лежаја, односно укупно је тестирано 24 лежаја.

Проблематика изложена у оквиру овог поглавља, представља оригинални допринос испитивању лежаја са контактом у четири тачке за дефинисане услове експлоатације.

Свеобухватно тестирање математичких модела извршено је за радијални куглични лежај FKL 6006, у оквиру *поглавља седам*, ВЕРИФИКАЦИЈА РЕЗУЛТАТА МОДЕЛОВАЊА МЕХАНИЧКОГ ПОНАШАЊА РАДИЈАЛНОГ КУГЛИЧНОГ ЛЕЖАЈА. При томе је у оквиру одређених фаза извршена анализа утицаја концепционих (зазора), на експлоатационе карактеристике лежаја. Приказна је и верификација резултата математичких модела поређењем са резултатима добијеним експерименталним испитивањем. Верификација статичког понашања разматраног лежаја је извршена поређењем резултата добијених квазистатичким моделовањем и применом методе коначних елемената. У оквиру статичког понашања посматрана су померања центра лежаја, промена угла контакта, контактних оптерећења и крутости при дејству силе оптерећења у аксијалном и радијалном правцу, за различите вредности зазора у лежају. Резултати моделовања динамичког понашања применом методе коначних елемената су поређени са резултатима добијеним експерименталним испитивањем. При анализи динамичког понашања одређене су фреквенције елемената лежаја као и понашање система под дејством спољашњег оптерећења за различите вредности зазора.

Приказани резултати представљају оригинални допринос аутора. На основу приказаних табеларних резултата, графичких илустрација, може се констатовати да је дискусија резултата јасна и недвосмислена, те не доводи у сумњу приказане резултате и закључке.

У *осмом поглављу*, ВЕРИФИКАЦИЈА РЕЗУЛТАТА МОДЕЛОВАЊА МЕХАНИЧКОГ ПОНАШАЊА КУГЛИЧНОГ ЛЕЖАЈА СА КОНТАКТОМ У ЧЕТИРИ ТАЧКЕ је приказана анализа понашања лежаја са контактом у четири тачке FKL LSQFR 308 за различите услове експлоатације. У оквиру овог поглавља, извршена је анализа утицаја концепционих параметара (ззора и преклопа), на експлоатационе карактеристике лежаја. Верификација статичког понашања лежаја FKL LSQFR 308 је извршена поређењем резултата добијених квазистатичким моделовањем и применом методе коначних елемената. На крају су резултати моделовања динамичког понашања применом методе коначних елемената поређени са резултатима експерименталних испитивања. Анализа статичког понашања лежаја LSQFR 308 је извршена за спољашње аксијално и радијално оптерећење при чему се посматрају лежаји са преклопом, односно радијалним ззором од -20 до 30 μm . Анализом су обухваћени утицаји контактних деформација, контактних оптерећења, крутости и померања центра лежаја, при деловању спољашњег оптерећења. Анализе су рађене при броју обртаја $n = 200$ o/min, што одговара брзини кретања пољопривредне механизације од 20 km/h. Примењена оптерећења су дефинисана на основу експлоатационих услова при обраде земље. Анализа динамичког понашања лежаја са контактом у четири тачке се састоји из два дела. Први део се односи на модалну анализу, односно одређивање сопствених фреквенција, главних облика осциловања и пригушења. Други део анализе се односи на динамичку анализу применом експлицитног динамичког модела, односно, одређивање утицаја конструкционих параметара (ззор/преклоп) на фреквенције и амплитуде осциловања елемената лежаја. Анализа века лежаја са контактом у четири тачке се састоји из две целине. У оквиру прве је вршено одређивање века лежаја за случај комбинованог оптерећења и ззоре од 10, 20 и 40 μm , што је одговарало експерименталним условима. На овај начин се желео верификовати развијени математички модел. У оквиру другог дела је век лежаја израчунат за реалне услове експлоатације при чему су разматрани прелклопи/ззори од -20 до 30 μm . У овом поглављу је такође приказна анализа века лежаја са контактом у четири тачке одређена МКЕ моделовањем, квазистатичким моделом и експерименталним испитивањем.

Приказани резултати представљају оригинални допринос аутора. На основу приказаних табеларних резултата, графичких илустрација, може се констатовати да је дискусија резултата јасна и недвосмислена, те не доводи у сумњу приказане резултате и закључке.

У *деветом поглављу*, ЗАВРШНА РАЗМАТРАЊА, су дати закључци, на основу резултата појединих сегмената и изведених истраживања у целини. Они се односе на оцену реализованих математичких модела, као и на конструкциона решења испитиваних експерименталних модела. Након тога, дати су неки од праваца будућих истраживања.

У оквиру овог поглавља кандидат је јасно сумирао резултате до којих је дошао током истраживања, на основу парцијалних резултата појединих сегмената и изведених истраживања у целини. Приказани закључци и правци будућих истраживања су оригинални.

Десето поглавље, ЛИТЕРАТУРА, садржи преглед коришћених 107 литературна наслова, груписаних по алфавитном реду. У самом раду су цитирани сви наведени литературни наслови.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

Радови објављени у међународном часопису (M23)

1. Desnica, E., Nikolić, I., Trinić, V., **Bojanić, M.**: *Reliability design of the casting machines under high pressure*, Tehnički vjesnik, Vol. 24, No.4, pp. 1277-1282, 2017, <https://doi.org/10.17559/TV-20150527101851>

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

2. **Bojanić Šejat M.**, Živković A., Knežević I., Rackov M., Zeljković M.: *Influence the Amount of Lubrication on Dynamic Behavior of the Ball Bearing*, International Scientific Conference "Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications" – COMETA, ISBN 978-99976-719-4-3, Izdavač: Faculty of Mechanical Engineering in East Sarajevo, East Sarajevo, B&H, pp: 414-419, Jahorina, 2018.
3. Knežević I., Živković A., **Bojanić Šejat M.**, Rackov M., Zeljković M., Cofaru N. F., *Analysis the amount of lubrication and roughness of raceways on dynamic behavior on the ball bearing*, MATEC Web of Conferences, ISSN: 2261-236X, Vol. 290, No. 1, pp. 10051-10056, UDK DOI: 10.1051/mateconf/201929001005, EDP Sciences, Les Ulis, France, 2019
4. Knežević, I., Živković, A., Rackov, M., Kanović, Ž., **Bojanić Šejat, M.**: *Analysis of the Impact of Lubrication on the Dynamic Behavior of Ball Bearings Using Artificial Neural Networks*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration (RJAV), Vol. 16, No 2, Page 178-183, ISSN: 1584-7284, Romanian Acoustic Society, Universitatea Politehnica Bucuresti
5. Knežević, I., Živković, A., Rackov, M., Kanović, Ž., Buljević, A., **Bojanić Šejat, M.**, Navalusić, S.: *Prediction of radial clearance based on bearing vibration using artificial neural network*, The 5th International Conference on Computing and Solutions in Manufacturing Engineering 2020, October 7-10, 2020, Brasov, Romania
6. Živković, A., Zeljković, M., Tabaković, S., **Bojanić, M.**: *Određivanje veka integrisanog ležaja točka primenom EMD metode i Furijerove transformacije*, Zbornik radova - CD ROM, 13. simpozijum INFOTEH, Proizvodni sistemi, str. 551-556, ISBN: 978-99955-763-3-2, 19.-21. mart 2014, JAHORINA

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

7. Živković, A., Knežev, M., Zeljković, M., **Bojanić Šejat, M.**, Mijušković, M., Navalusić, S.: *Analysis static behavior of ball bearings with two and four contact points*, 9th International Scientific Conference Research and development of mechanical elements and systems – IRMES 2019,05.-07. September, 2019, ISBN 978-86-6335-061, Page: 56-57

Радови у часопису националног значаја (M52)

8. Živković, A., Knežev, M., Zeljković, M., **Bojanić Šejat, M.**, Mijušković, M., Navalusić, S.: *Analysis static behaviour of ball bearings with two and four contact points*, Machine Design, Vol. 11, No 4, Page 131-134, ISSN: 1821-1259, Novi Sad, 2019

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

На основу свеобухватне и детаљне анализе досадашњих истраживања понашања кугличних лежаја, у раду су постављене следеће хипотезе:

- Применом методе коначних елемената је могуће одредити утицај конструкционих (ззора) и експлатационих (спољашњег оптерећења) параметара на статичко понашање котрљајних лежаја
- МКЕ моделовањем је могуће експлицитном методом одредити динамичке карактеристике (фреквенције елемената лежаја и амплитуду брзине и/или убрзања) котрљајних лежаја за одговарајуће услове експлатације.
- Методом коначних елемената и спектралном густином амплитуде (PSD) преко *Miner*-овог правила и С-Н криве је могуће са великом поузданошћу одредити век лежаја.

Имајући у виду резултате изложене у раду, може се констатовати да је кандидат потврдио постављене хипотезе. Дефинисани математички модели омогућавају узимање у обзир утицај ззора, односно, преклопа на понашање кугличних лежаја у експлоатацији, што је верификовано поређењем са експерименталним испитивањем. Разматрана је група лежаја са контактом у четири тачке са углом контакта у области 15° - 35° (лежаји за пољопривредну механизацију) са врло широким опсегом комбинованих спољашњих оптерећења, као и за различите вредности ззора и преклопа. Друга разматрана група лежаја са контактом у две тачке (радијални лежаји) са углом контакта у области 0° - 12° (лежаји за широку примену) са доминантним спољашњим радијалним оптерећењем, што такође има значајан утицај на век. Применом развијених математичких модела је закључено да конструкциони (ззор/преклоп) и експлоатациони параметри (спољашње оптерећење) имају значајан утицај и на статичко и динамичко понашање кугличних лежаја, а самим тим и на крутост и век истих. На овај начин пројектанти и конструктори лежаја променом унутрашње геометрије, у фази пројектовања, могу директно утицати на век лежаја. Другим речима, за дефинисане услове експлоатације може се пројектовати одговарајући лежај. На основу добијених резултата констатовано је да ззор, односно, преклоп имају директан и значајан утицај на динамичко понашање лежаја. Такође, у дисертацији, је закључено да број котрљајних тела која учествују у преношењу спољашњег оптерећења, директно зависи од радијалног ззора/преклопа и величине радијалног померања центра лежаја. За веће вредности радијалног ззора потребно је остварити и веће померања центра лежаја, па да већи број котрљајних тела буде у зони оптерећења. Мањи број котрљајних тела која преносе спољашње оптерећење, изазива неповољну расподелу оптерећења унутар лежаја и већи пораст контактних деформација. Услед претходног, радијална крутост у подручју преклопа има значајан пораст, док повећањем величине радијалног ззора крутост опада при мањим вредностима спољашњег радијалног оптерећења. Мање вредности амплитуде брзине и убрзања на фреквенцији спољашњег прстена разматраних лежаја одређене МКЕ моделовањем су последица идеалне стазе котрљања као и идеалног котрљајног тела. Ако се узме у обзир да се МКЕ моделовањем идеалног лежаја, добијају вибрације које су чисто последица промене ззора и крутости лежаја, онда се резултати могу сматрати задовољавајућим. Анализом резултата је констатовано да са повећањем величине унутрашњег ззора, линеарно расте и величина амплитуде брзине на фреквенцији спољашњег прстена, што је потврђено и експерименталним испитивањима. Ако се као референтна вредност узме век одређен експерименталним испитивањем на бази убрзања, онда век лежаја са контактом у четири тачке одређен квазистатичким моделовањем одступа за 20% при ззору од $10 \mu\text{m}$, 24% при ззору од $20 \mu\text{m}$, и 31% при ззору од $40 \mu\text{m}$. Век лежаја одређен МКЕ моделовање одступа од експериментално одређеног века за 14% при ззору од $10 \mu\text{m}$, 16% при ззору од $20 \mu\text{m}$ и 11% при ззору од $40 \mu\text{m}$. На основу претходног се може констатовати да предложени модел кугличног лежаја са контактом у четири тачке даје задовољавајуће (прихватљиве) резултате при одређивању века истог. Такође, постављени нумерички (МКЕ) модели разматраних кугличних лежаја дају прихватљиве резултате механичког (статичког и динамичког) понашања истих у поређењу са квазистатичким моделом и експерименталним испитивањима.

Експериментална испитивања су посебно усмерена на анализу динамичког понашања. Експериментално испитивање динамичког понашања је обухватило групу лежаја за широку примену (радијални лежаји). Резултати потврђују да је развијени рачунарски модел обухватио практично све разматране параметре. Овим испитивањем је индиректно проверен и статички прорачунски модел. За

динамичко испитивање друге групе лежаја (лежај са контактом у четири тачке) коришћен је посебан експериментални штанд, у циљу што веродостојније симулације услова експлоатације наведених лежаја. Испитивањем одређеног броја узорака са различитим величинама зазора, добијени су поуздани подаци о утицају зазора/преклопа и спољашњег оптерећења на динамичко понашање истих. Такође је експериментално проверен и век лежаја, односно верификован развијени математички модел за одређивање века лежаја са контактом у четири тачке.

Резултати у дисертацији задовољавају опште и посебне критеријуме вредновања научног рада.

Кандидаткиња је у решавању научног проблема користила познате и признате научне методе анализе и синтезе, математичког моделовања и експерименталног испитивања.

Детаљна анализа стања у области статичког и динамичког понашања кугличних лежаја, нуди нове перспективе за сагледавање и унапређивање ове још увек врло актуелне области, посебно понашања кугличних лежаја са контактом у четири тачке.

О непосредним доприносима ове дисертације шира научна јавност је упозната кроз осам радова који су уско везани за ову проблематику, а објављени су у иностраним часописима, или саопштени на скуповима међународног и националног значаја.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Резултати истраживања су јасно и прегледно приказани и исправно протумачени применом признатих научних метода, те не остављају сумњу у научни и стручни допринос наведене дисертације.

Текст докторске дисертације је проверен у софтверу за детекцију плагијаризма iThenticate, у Библиотеци ФТН-а. Са Извештајем о подударности упознати су сви чланови Комисије.

Комисија констатује да је начин на који су резултати приказани и тумачени, у оквиру ове докторске дисертације, у потпуности одговарају постављеним циљевима истраживања.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

Комисија констатује да је докторска дисертација урађена у складу са образложењем и циљевима истраживања које је кандидаткиња дефинисала у оквиру пријаве теме.

Кандидаткиња је у току израде дисертације, као и на основу резултата приказаних у раду, показала да влада методама рачунарске симулације и експерименталног истраживања. Такође се може констатовати да кандидаткиња врло добро влада организацијом и извођењем експерименталних испитивања применом савремене мерне опреме, тумачењем и анализом добијених резултата, као и исправним доношењем закључака.

Подаци из литературе, којима се кандидаткиња служила, су критички одабрани и уверљиви, а тумачење резултата јасно и коректно презентовано. Резултати сопствених истраживања су приказани у виду графичких илустрација и нумеричких интерпретација.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Докторска дисертација садржи све битне елементе. У оквиру дисертације су дефинисани предмет и циљ истраживања, полазне претпоставке (хипотезе) и методе истраживања. Изнете полазне претпоставке су логичне, а спроведено истраживање и анализе добијених резултата самостални и оригинални. Добијени резултати имају и практичну инжењерску примену у пројектовању и испитивању кугличних лежаја.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?	
<p>Дисертација садржи све битне елементе за сагледавање разматраних проблема који су обрађивани. Добијени резултати представљају научни допринос у области развоја производа и машинском инжењерству уопште.</p> <p>Кандидаткиња је поставила оригинални математички модел за предикцију механичког понашања кугличних лежаја са контактом у четири тачке у експлоатацији. Извршила је свеобухватну верификацију математичких модела, уз нагласак на одступања до којих долази због занемаривања параметара који нису узети у обзир у наведеној дисертацији. Математички модели су верификовани на два типа лежаја: један тип лежаја са контактом у четири тачке за улежиштење поњопривредне механизације и једним типом радијалног лежаја који има широку област примене.</p> <p>Развијени модели се могу успешно користити и за анализу „стандардних“, како радијалних кугличних, тако и лежаја са косим додиром са контактом у две и четири тачке.</p>	
4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?	
У дисертацији нису уочени недостаци који би утицали на резултат истраживања	
X ПРЕДЛОГ:	
На основу наведеног, комисија предлаже:	
<input checked="" type="radio"/> а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана; <input type="radio"/> б) да се докторска дисертација врати кандидату на дораду (да се допуни односно измени); <input type="radio"/> в) да се докторска дисертација одбије.	

Место и датум:
Нови Сад, Београд 09.07.2021.

1. Др Милан Зељковић, редовни професор
_____, председник
2. Др Радивоје Митровић, редовни професор
_____, члан
3. Др Миодраг Хаџистевић, редовни професор
_____, члан
4. Др Жарко Мишковић, доцент
_____, члан
5. Др Александар Живковић, ванредни професор
_____, ментор
6. Др Милан Рацков, ванредни професор
_____, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.