

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ  
ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА У КРАГУЈЕВЦУ**

И

**ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ  
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ**

На седници Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу одржаној 22.4.2026. године (број одлуке: IV-04-199/11) одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом: „Утицај додавања угљеничних наноцеви у мазиво на радне карактеристике пужних зупчастих преносника”, кандидата Милана Р. Буквића, студента докторских академских студија Факултета инжењерских наука, за коју је именован ментор др Блажа Стојановић, редовни професор.

На основу података којима располажемо достављамо следећи:

**ИЗВЕШТАЈ**

**О ОЦЕНИ УРАЂЕНЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

<b>1. Подаци о докторској дисертацији</b>
1.1. Наслов докторске дисертације:
Утицај додавања угљеничних наноцеви у мазиво на радне карактеристике пужних зупчастих преносника
1.2. Опис докторске дисертације (навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, шема, графикона, једначина и референци) (до 500 карактера):
Докторска дисертација кандидата Милана Р. Буквића, под називом „Утицај додавања угљеничних наноцеви у мазиво на радне карактеристике пужних зупчастих преносника“ је написана на 197 страна и подељена у десет поглавља, која су логички и тематски повезана. Садржи 118 слика, 41 табела, 55 једначина и 157 референци. Поглављима претходе резиме рада, на српском и енглеском језику, садржај рада, списак слика, списак табела, списак ознака и списак скраћеница. На крају рада су списак литературе, прилози и биографија кандидата. У поглављу Литература је дат списак 157 релевантних библиографских јединица које су цитиране у тексту докторске дисертације.
Претходно поменуто поглавља наведена су следећим редоследом:
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Увод;</li> <li>2. Предмети и циљ дисертације;</li> <li>3. Приказ досадашњих испитивања степена искоришћења, хабања, буке, вибрација и промене температуре пужних преносника снаге;</li> <li>4. Пужни преносници снаге;</li> </ol>

5. Мазива са наноадитивима;
6. План и спровођење експерименталних истраживања;
7. Резултати испитивања;
8. Анализа и дискусија добијених резултата;
9. Оптимизација и модел предвиђања степена искоришћења пужног преносника снаге;
10. Закључна разматрања.

### 1.3. Опис предмета истраживања (до 500 карактера):

Предмет истраживања докторске дисертације је била идентификација и одређивање оптималних концентрација угљеничних наноцеви у мазиву (глицеролу), као и на испитивање њиховог утицаја на радне карактеристике пужних преносника снаге. Посебна пажња је била усмерена на анализу и оптимизацију параметара као што су интензитет хабања, степен искоришћења, промена температуре преносника, односно ниво буке и вибрација. Истраживање је спроведено у различитим радним условима, који су подразумевали варијације броја обртаја и оптерећења. Дисертација је обухватила примену теоријског и експерименталног истраживачког приступа, уз статистичку обраду добијених података и предвиђање степена искоришћења.

Теоријска истраживања су обухватила анализу доступних научних и стручних истраживања у овој области, са посебним освртом на пужне преноснике снаге и мазива са додатком адитива нано величине. Ова истраживања су такође била усмерена на одређивање губитака снаге и степена искоришћења пужних зупчастих преносника снаге у условима примене мазива са додатком угљеничних наноцеви (наноадитива). Извршена је детаљна анализа степена искоришћења, укључујући губитке снаге настале услед трења у зони спрезања пужног пара. Посебна пажња посвећена је утицају реолошких својстава мазива са додатком наноадитива на промену интензитета хабања, температуре мазива, буке и вибрација пужних преносника снаге.

Експериментална истраживања су спроведена у лабораторијским условима, према унапред дефинисаном плану експеримента, са циљем испитивања утицаја различитих концентрација наноадитива у мазиву на радне карактеристике пужних преносника. При томе су анализирани степен искоришћења, величина хабања контактних површина, интензитет буке и вибрација, као и температура у зони контакта. Истовремено је испитан и утицај комбинације материјала пужног пара, односно челичног пужа и пужних зупчаника израђених од цинк-алуминијумске легуре ZA-12 и калајне бронзе CuSn14.

Статистичка обрада добијених експерименталних података је омогућила утврђивање утицаја концентрације наноадитива и материјала пужног пара на радне карактеристике преносника. Применом полиномске регресије, генерисане су једначине и развијен модел за предвиђање степена искоришћења. На основу добијених резултата идентификована је оптимална концентрација наноадитива у мазиву са којом је добијено најзначајније смањење хабања, буке, вибрација и температуре мазива, уз повећање степена искоришћења и побољшање укупних експлоатационих карактеристика пужних преносника снаге.

### 1.4. Анализа испуњености полазних хипотеза:

*Хипотеза 1: Применом експеримента је могуће да се одреде утицајни фактори (врста материјала елемената пужног преносника, врста примењених наноадитива у глицеролу, улазна угаона брзина и оптерећење) на губитке снаге, степен искоришћења, хабање, температуру, интензитет буке и вибрације пужног преносника.*

На основу спроведеног теоријско-експерименталног истраживања и статистичке обраде података применом полиномске регресије, успешно су идентификовани и анализирани кључни фактори који дефинишу радне карактеристике пужног преносника. Утврђено је да концентрација угљеничних наноцеви представља доминантан фактор, при чему је њихов оптимални удео од 1 мас. % довео до најзначајнијег смањења трења и хабања. Анализа је

показала да комбинација челичног пужа (20CrMo5) и зупчаника од цинк-алуминијумске легуре (ZA-12) остварује већи степен искоришћења и нижи интензитет буке и вибрација у поређењу са калајном бронзом (CuSn14). Идентификована је директна зависност губитака снаге и температуре мазива од улазних параметара (оптерећења и брзине), уз уочене критичне тачке при високим оптерећењима, када долази до локалног прекида слоја мазива. Добијени резултати су потврдили постављену хипотезу.

*Хипотеза 2: Изабрани утицајни фактори делују на губитке снаге, степен искоришћења, хабање, температуру, интензитет буке и вибрације пужног преносника.*

Експерименталним истраживањем и анализом добијених резултата детаљно је утврђен и квантификован утицај одабраних фактора (концентрација наноадитива, врста материјала и радни режим) на излазне карактеристике пужног преносника. Примена наноадитива је директно утицала на смањење губитака снаге. Примена легуре ZA-12 и глицерола легираног угљеничним наноцевима је резултирала најмањим хабањем и утврђен је најмањи пораст температуре. Експеримент је показао да употреба наноадитива и избор цинк-алуминијумске легуре доводе до значајног смањења интензитета буке и нивоа вибрација, чиме се побољшавају радне карактеристике система у поређењу са комерцијалним редукторским уљем, односно применом калајне бронзе. Тиме је постављена хипотеза потврђена.

*Хипотеза 3: Одговарајућом методом оптимизације могуће је одредити оптималну комбинацију утицајних фактора који ће да дају захтеване карактеристике.*

Применом методе полиномске регресије са високим коефицијентом детерминације ( $R^2$ ), идентификована је оптимална концентрација наноадитива од 1 мас. % која је при коришћењу легуре ZA-12 омогућила максималан степен искоришћења и најнижи интензитет хабања. Овакав приступ је омогућио предвиђање радних карактеристика у различитим режимима оптерећења и брзине. На основу постигнуте оптимизације експлоатационих параметара, хипотеза 3 је такође потврђена.

*Хипотеза 4: Примена савремене опреме за испитивање пужних преносника пружа могућност избора нових материјала за израду пужног зупчаника, избор одговарајућих мазива са различитим уделом адитива у виду угљеничних наноцеви и избор различитих улазних брзина вратила и оптерећења зупчастих преносника.*

Употреба савремене лабораторијске опреме је омогућила симулацију експлоатационих радних режима и компаративну анализу перформанси цинк-алуминијумске легуре у односу на калајну бронзу. Систем за прикупљање података је идентификовао промене у степену искоришћења и динамичком понашању при варијацији концентрације наноадитива, брзине и оптерећења, потврђујући оптималне вредности радних карактеристика за глицерол са 1 мас. % угљеничних наноцеви. Овакав приступ је омогућио уочавање предности напредних материјала, чиме је хипотеза 4 потврђена.

*Хипотеза 5: Остварени резултати ће пружити даље смернице за избор нових материјала за израду пужних зупчаника, али преваасходно за примену одговарајућих наноадитива у виду угљеничних наноцеви, који ће у будућности да се користе за подмазивање пужних преносника.*

Анализа остварених резултата је омогућила дефинисање параметара за избор нових материјала за израду пужних зупчаника, при чему је посебан акценат стављен на триболошки утицај угљеничних наноцеви. Доказана ефикасност ових наноадитива представља значајну основу за њихову ширу индустријску примену у системима за подмазивање преносника снаге, чиме је и хипотеза 5 доказана.

### 1.5. Анализа примењених метода истраживања:

У докторској дисертацији кандидата Милана Р. Буквића под називом „Утицај додавања угљеничних наноцеви у мазиво на радне карактеристике зупчастих пужних преносника“, примењене су теоријске, експерименталне и статистичке методе, имајући у виду сложеност и мултидисциплинарност предмета истраживања.

Примена теоријских метода је обухватила прорачун губитака снаге, степена искоришћења и хабања појединих компоненти, као и одређивање параметара буке и вибрација пужног преносника.

Експериментално истраживање, реализовано на уређају „GUNT AT 200“ у Центру за испитивање механичких преносника Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, обухватило је одређивање триболошког понашања пужног преносника снаге подмазиваног са глицеролом легираним различитим концентрацијама угљеничних наноцеви при променљивим режимима улазне угаоне брзине и оптерећења.

У оквиру техничке дијагностике спроведене на Војнотехничком институту у Београду, применом гравиметријске методе и морфолошке анализе површинских слојева, је анализиран интензитет хабања зубаца пужног зупчаника и идентификовани су доминантни механизми хабања.

Лабораторијска испитивања на Машинском факултету у Београду су омогућила одређивање коефицијента трења и топографије површина на еталонским узорцима дискова и плочица, чиме је успостављена корелација између својстава материјала и експлоатационих карактеристика преносника.

Коришћење статистичких метода је омогућило дескриптивну и компаративну анализу претходних истраживања степена искоришћења и механизма хабања, чиме су идентификовани кључни фактори који директно одређују степене искоришћења пужних преносника снаге. На основу дефинисаних параметара који утичу на интензитет хабања бокова зубаца пужног зупчаника, извршено је математичко моделирање зависности карактеристика преносника снаге од примењених радних режима.

### 1.6. Анализа испуњености циља истраживања:

Циљеви дефинисани у пријави теме докторске дисертације су и испуњени, односно:

- Реализована је израда пужног преносника снаге за испитивање радних карактеристика у лабораторијским условима;
- Обезбеђена је опрема за мерење буке, вибрација, хабања, температуре и броја обртаја пужног преносника снаге, односно дефинисан је план експеримента;
- Реализовано је експериментално истраживање, применом расположиве испитне и мерне опреме, односно одређени су степени искоришћења при различитим бројевима обртаја и оптерећења преносника снаге и различитој концентрацији наноадитива у глицеролу, уз мерење буке, вибрација и температуре;
- На крају сваког мерног циклуса је одређивано хабање пужног зупчаника преко мерења смањења масе;
- Одређени су коефицијенти трења и параметри храпавости површина делова израђених од различитих материјала, испитиваних на трибометру уз коришћење глицерола са различитим процентуалним уделом наноадитива, односно комерцијалног редукторског уља, уз анализу похабаних површина електронским микроскопом;
- Генерисан је математички модел за одређивање степена искоришћења пужног преносника снаге, применом полиномске регресије.

1.7.Анализа добијених резултата истраживања и списак објављених научних радова кандидата из докторске дисертације (аутори, наслов рада, назив часописа, волумен, година објављивања, странице од-до, DOI број<sup>1</sup>, категорија):

Дисертација кандидата Милана Р. Буквића нуди систематичну синтезу научних сазнања, проистеклих из интеграције прорачуна, комплексних експерименталних истраживања и валидиране статистичке обраде добијених података.

Анализа добијених резултата је омогућила идентификацију оптималне концентрације наноадитива у глицеролу, чиме се у условима експлоатационог оптерећења обезбедио максимални степен искоришћења преносника. Овакав оптимизовани састав мазива директно утиче на смањење коефицијента трења и интензитета хабања контактних површина, истовремено обезбеђујући формирање стабилног слоја мазива који спречава директан контакт металних површина, чак и при релативно високим притисцима.

Дискусија добијених резултата је пружила основу за критичко поређење ефекта додавања угљеничних наноцеви у глицерол за подмазивање зупчаника израђених од различитих легура (калајне бронзе CuSn14 и цинк-алуминијумске легуре ZA-12). Кроз ово поређење је добијен бољи увид у сложене физичко-хемијске механизме деловања наноцеви, што је омогућило предвиђање триболошког понашања преносника у дужем временском периоду. Спроведена анализа је била од значаја за јасно утврђивање количине додатих угљеничних наноцеви уз задржавање прихватљиве кинематске вискозности на повишеним температурама. Ови параметри такође утичу на поузданост читавог механичког система, спречавајући превремени замор материјала и продужавајући радни век компонената пужних преносника.

Са порастом оптерећења, односно обртног момента на излазном вратилу, уочено је континуирано повећање степена искоришћења пужног преносника за све анализиране режиме рада и за сва испитивана мазива. Ова појава се објашњава триболошким механизмима, при чему већи контактни притисак доприноси формирању стабилнијег слоја мазива, што доводи до смањења трења, односно смањења губитака снаге. Истовремено, присуство наноадитива стабилизује контактне услове, што резултира ефикаснијим преносом обртног момента и повећањем степена искоришћења пужног преносника. Анализа резултата је показала да степен искоришћења пужног преносника снаге са пужним зупчаником од цинк-алуминијумске легуре има сличну зависност од врсте примењеног мазива и радних услова, као и степен искоришћења пужног преносника снаге са пужним зупчаником од калајне бронзе, али са укупно нешто вишим вредностима. Ова појава се објашњава већом тврдоћом и крутошћу цинк-алуминијумске легуре, које ограничавају пластичну деформацију у контактної зони пуж-пужни зупчаник и омогућавају стабилнији пренос оптерећења уз смањене губитке енергије услед трења. Ипак, при највећим оптерећењима се уочава извесно смањење степена искоришћења, што може да се објасни нижом термичком стабилношћу цинк-алуминијумске легуре, док калајна бронза у таквим условима задржава стабилан слој мазива и повољне механичке и триболошке карактеристике.

Кандидат је експериментално доказао да додавање угљеничних наноцеви у мазиво (глицерол) резултира формирањем стабилнијег слоја мазива, који примарно делује на смањење адхезионог хабања и значајно смањење емисије буке. У оквиру дисертације је доказано да оптимизација концентрације наноадитива представља битан предуслов за формирање стабилног слоја мазива, док је феномен агломерације наноадитива при вишим концентрацијама идентификован као примарни узрочник опадања радних карактеристика преносника снаге. Додавање угљеничних наноцеви у мазиво резултира смањењем интензитета вибрација и побољшањем стабилности рада пужног преносника. Истовремено, утврђено је да прекорачење оптималне концентрације адитива доводи до агломерације наноцеви, што узрокује пораст вибрација и смањење

<sup>1</sup> Уколико публикација нема DOI број уписати ISSN и ISBN

перформанси пужног преносника. Квантитативна анализа хабања је потврдила да примена мазива са оптималном концентрацијом угљеничних наноцеви смањује хабање пужних зупчаника за 46 % код калајне бронзе, односно чак 58 % код зупчаника од цинк-алуминијумске легуре. Овај ефекат је оцењен као повољан и остварује се захваљујући формирању стабилног слоја мазива који ефикасно штити и подмазује контактне површине.

На основу дискусије, формулисане су конкретне препоруке за практичну примену мазива са наноадитивима у индустријским погонима, уз јасне смернице за даљи развој. Будућа истраживања треба усмерити ка синтези адитива који би, поред побољшања степена искоришћења, додатно допринели смањењу вибрација, буке, температуре и хабања.

На основу реализованог истраживања досадашњих достигнућа у предметној области, извршених мерења, анализираних резултата, дискусије и примењене статистичке методе, изводе се следећи закључци:

- Концентрација од приближно 1 мас. % наноадитива у мазиву је оптимална за пужне преноснике снаге, при условима рада који су примењени у истраживању. При овој вредности наноадитива дошло је до формирања стабилног слоја мазива;
- Вредност од приближно 1 мас. % наноадитива у мазиву представља оптималан баланс између: смањења трења, смањења хабања контактних површина, стабилизације температуре, смањења буке и вибрација, повећања степена искоришћења и очувања реолошких карактеристика мазива;
- За концентрације наноадитива ниже од 1 мас. % позитивни ефекти нису били у потпуности изражени, док су се за веће концентрације јавили негативни ефекти услед агрегације наноадитива;
- За преносник са пужним зупчаником од калајне бронзе је уочено да са порастом оптерећења долази до повећања степена искоришћења. Пораст је за мазиво на бази глицерола без адитива (0 мас. %) износио приближно 0,08, а за мазиво са 1 мас. % адитива је износио око 0,14 и то за све анализиране улазне угаоне брзине (1500, 2000 и 2500  $\text{min}^{-1}$ );
- Код преносника са пужним зупчаником израђеним од цинк-алуминијум легуре је уочен израженији тренд повећања степена искоришћења са повећањем концентрације наноадитива. Са друге стране, при највећем анализираном оптерећењу од 4,1 Nm се, у односу на претходни ниво оптерећења од 3,4 Nm, уочава смањење степена искоришћења, што није био случај код пужног зупчаника од калајне бронзе;
- При улазној угаоној брзини од 1500  $\text{min}^{-1}$ , оптимална концентрација наноадитива од 1 мас. % остварује највеће смањење буке од 15 % (14 dB) код калајне бронзе, односно 18 % (16 dB) код цинк-алуминијумске легуре. Ови резултати су знатно бољи од резултата који се постижу коришћењем комерцијалног редукторског уља које остварује смањење буке у истом проценту као и мазиво са само 0,2 до 0,5 мас. % наноадитива. Са даљим повећањем концентрације наноадитива на 2 мас. % или порастом броја обртаја на 2500  $\text{min}^{-1}$ , долази до пораста буке за око 3 dB;
- Оптимална концентрација наноадитива од 1 мас. % у односу на нелегиран глицерол смањује вибрације за 27 % (1,8  $\text{m/s}^2$ ) код калајне бронзе, односно чак 37 % (2,1  $\text{m/s}^2$ ) код цинк-алуминијумске легуре. Повећање концентрације на 2 мас. %, услед агрегације адитива, изазива супротан ефекат, тј. погоршање карактеристика;
- Формирање стабилног слоја мазива и унапређење својстава мазива при оптималној концентрацији наноадитива од 1 мас. % резултира смањењем промене температуре за 26 % (4 °C) код калајне бронзе, односно за 27 % (4,8 °C) код цинк-алуминијумске легуре;
- Највећа отпорност на хабање је постигнута при оптималној концентрацији наноадитива од 1 мас. %, при чему је хабање смањено за 46 % (0,072 g) код калајне бронзе, односно за 58 % (0,031 g) код цинк-алуминијумске легуре у односу на вредности које су измерене при коришћењу нелегираног глицерола. Овај ефекат је мање изражен при концентрацији од 2 мас. % услед већ поменутог нагомилавања адитива, чиме је за дате услове испитивања

дефинисан опсег у којем мазиво са додатком наноцеви показује боље карактеристике у односу на комерцијално редукторско уље;

- Истраживање потврђује да ZA-12 легура остварује боље резултате степена искоришћења, отпорности на хабање и динамичке стабилности захваљујући бољој интеракцији са наноадитивом. Са друге стране, легура CuSn14 даје боље резултате при већим оптерећењима услед боље термичке стабилности. Обе легуре при коришћењу мазива са додатком од 0,5 до 1 мас. % наноадитива имају резултате боље него при коришћењу комерцијалног редукторског уља;
- За легуру CuSn14 је утврђен узан опсег оптималних концентрација од 1,32 до 1,35 мас. %, док је за легуру ZA-12 тај опсег нешто шири, тј. од 1,25 до 1,38 мас. %. Резултати добијени полиномском регресијом омогућавају прецизно формулисање наномазива у циљу постизања максималног степена искоришћења.

На основу анализе резултата, Комисија сматра да добијени резултати истраживања у оквиру докторске дисертације, представљају обиман, научно и комерцијално користан материјал. Кандидат Милан Р. Буквић је део наведених научних резултата већ верификовао објављивањем следећих научних радова у међународним и домаћим часописима:

1. Bukvić, M., Gajević, S., Skulić, A., Savić, S., Ašonja, A., Stojanović, B., Tribological application of nanocomposite additives in industrial oils, *Lubricants*, Vol. 12, No. 1, Paper 6, ISSN: 2075-4442, <https://doi.org/10.3390/lubricants12010006>, 2024 [M21].
2. Bukvić, M., Vencl, A., Milojević, S., Skulić, A., Gajević, S., Stojanović, B., The influence of carbon nanotube additives on the efficiency and vibrations of worm gears, *Lubricants*, Vol. 13, No. 8, Paper 327, ISSN: 2075-4442, <https://doi.org/10.3390/lubricants13080327>, 2025 [M21].
3. Skulić, A., Bukvić, M., Gajević, S., Miladinovic, S., Stojanovic, B. The influence of worm gear material and lubricant on the efficiency and coefficient of friction. *Tribology and Materials*, Vol. 3, No. 1, pp. 15-23, ISSN: 2812-9717, <https://doi.org/10.46793/tribomat.2024.001>, ISSN: 2812-9717, 2024 [M54].

1.8. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области и анализа извештаја о провери докторске дисертације на плагијаризам (до 1000 карактера):

Чланови Комисије сматрају да докторска дисертација кандидата Милана Р. Буквића, под називом „Утицај додавања угљеничних наноцеви у мазиво на радне карактеристике пужних зупчастих преносника“, представља резултат оригиналног научно-истраживачког рада, који даје значајан допринос у актуелној научној области. Анализом оригиналности докторске дисертације путем рачунарског програма „iThenticate“ утврђен је укупан степен подударности од 2 %. Детаљним увидом установљено је да се првих 1 % преклапања односи на званичне интернет странице Факултета инжењерских наука, где су претходно постављена административна документа кандидата (пријаве, обрасци и пратећи извештаји). Преосталих 1 % подударности идентификовано је у оквиру радова кандидата објављених у међународним часописима са *SCI* листе, који су цитирани у тексту дисертације.

1.9. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области:

Докторска дисертација обрађује проблематику примене напредних мазива за пужне преноснике снаге. Истраживање потврђује да се додавањем угљеничних наноцеви у глицерол (коришћено мазиво) значајно унапређују карактеристике пужних преносника. Најбитнији допринос представља повећање степена искоришћења пужног преносника, уз истовремено смањење радне температуре, буке, вибрација и интензитета хабања. Примена адитива у виду угљеничних наноцеви у глицеролу представља ефикасан начин за унапређење радних карактеристика пужних преносника снаге. Захваљујући, између осталог, специфичној геометрији и високој топлотној проводљивости угљеничних наноцеви долази до формирања стабилног слоја мазива,

што даље утиче на смањење трења и хабања. Поред научног, докторска дисертација има и практичан допринос, с обзиром да је експериментално потврђено да смањење нивоа буке и вибрација указује на већу динамичку стабилност система, док идентификовано повећање степена искоришћења потврђује енергетску ефикасност и технолошку оправданост употребе оваквих наномазива у преносницима снаге.

Без обзира на метод спровођења истраживања (теоријски, експериментални или нумерички), израда квалитетног плана експеримента остаје основни предуслов за генерисање поузданих резултата. Спроведена експериментална истраживања пужних преносника у оквиру дисертације указују на јасан тренд раста степена искоришћења, уз истовремено смањење буке, вибрација, хабања и радне температуре са повећањем концентрације угљеничних наноцеви у глицеролу. Преглед доступне литературе потврђује да је број студија које на овако свеобухватан начин анализирају радне карактеристике пужних парова при различитим режимима рада, односно варијацијама угаоне брзине и оптерећења, ограничен. Због тога добијени резултати истраживања пружају значајан увид у експлоатационе карактеристике пужних преносника снаге. Подаци о степену искоришћења, праћени анализом промена буке, вибрација, хабања и радне температуре, представљају значајан научни допринос разумевању рада и оптимизацији ових комплексних триболошких система. Сазнања изложена у овој дисертацији би требало да представљају основу за будућа истраживања у области пројектовања, експлоатације и одржавања пужних преносника снаге.

Као практичан резултат истраживања, применом полиномне регресије је одређен узан опсег оптималне концентрације наноадитива у глицеролу. Експериментални резултати показују да се најбоље радне карактеристике пужног преносника постижу при концентрацији угљеничних наноцеви од 1 мас. %, док даље повећање концентрације доводи до погоршавања радних карактеристика. Ово се показало као тачно за обе варијанте пужног преносника, тј. за оба материјала од којих је био израђен пужни зупчаник. Овим су створени предуслови за даље усавршавање ових мазива, пошто је смањен обим будућих испитивањима са концентрацијама које значајно одступају од оптималне вредности. Високе вредности коефицијента детерминације ( $R^2$ ), добијене за све режиме рада и оба материјала пужног зупчаника, потврђују поузданост и прецизност предложених модела. Развијене математичке функције представљају апроксимацију експерименталних података и представљају користан алат за предвиђање степена искоришћења у различитим експлоатационим условима.

Приказаним истраживањем и кроз израду докторске дисертације, кандидат је пружио значајан допринос у неколико области:

- Конструисан је пужни преносни систем са изменљивим пужним зупчаником који је био израђен од два различита материјала, тј. од калајне бронзе CuSn14 и цинк-алуминијумске легуре ZA-12. Испитивања су спроведена на специјализованом пробном столу за механичке преноснике снаге.
- Прибављена су и припремљена мазива на бази глицерола са различитим масеним уделима наноадитива у виду угљеничних наноцеви. Кроз експериментални рад је формирана база података радних карактеристика преносника.
- Анализирани су кључни индикатори перформанси, укључујући степен искоришћења, ниво буке и вибрација, величина хабања и промена температуре. Резултати указују да оптималне карактеристике у свим режимима рада даје мазиво са концентрацијом наноадитива од 1 мас. %.
- Утврђено је да пужни зупчаници израђени од цинк-алуминијумске легуре показују боље радне карактеристике у већини радних режима. Изузетак чине релативно велика оптерећења, где су специфична физичко-хемијска својства материјала условила другачије понашање.
- Испитивања на трибометру са контактном геометријом: епрувета (челик) на прстену

CuSn14/ZA-12), су показала да калајна бронза остварује нижи коефицијент трења и има мању крајњу храпавост површине у поређењу са цинк-алуминијумском легуром.

- Применом методе полиномске регресије је дефинисан оптимални опсег концентрације наноадитива. Утврђено је да се за оба материјала најповољнији резултати постижу коришћењем концентрација између 1 и 2 мас. %.

1.10. Оцена испуњености услова за одбрану докторске дисертације у складу са студијским програмом, општим актом факултета и општим актом Универзитета (до 1000 карактера):

Докторска дисертација кандидата Милана Р. Буквића, под називом „Утицај додавања угљеничних нанопеви у мазиво на радне карактеристике пужних зупчастих преносника“ одговара теми дисертације одобрене Одлуком број 01-1/57-13 од 18.01.2024. године од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу, број IV-04-92/4, 21.02.2024. године.

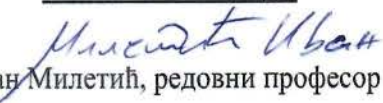
Предложена докторска дисертација својим квалитетом, обимом проучаване материје и значајем презентованих резултата испуњава законске оквире и академске стандарде прописане за израду и одбрану докторске дисертације. Кандидат је такође приказао задовољавајући степен овладавања савременом научном методологијом.

Имајући у виду актуелност теме која је обрађена и приказане резултате, чланови Комисије сматрају да кандидат Милан Р. Буквић и поднета докторска дисертација испуњавају све услове који се у поступку оцене писаног дела докторске дисертације захтевају Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Крагујевцу и Статутом Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

## 2. ЗАКЉУЧАК

На основу анализе докторске дисертације и приложене документације Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом „Утицај додавања угљеничних нанопеви у мазиво на радне карактеристике пужних зупчастих преносника“, кандидата Милана Р. Буквића, предлаже надлежним стручним органима да се докторска дисертација прихвати и да се одобри њена одбрана.

### Чланови комисије:

  
Иван Милетић, редовни професор

Факултет инжењерских наука Универзитета у  
Крагујевцу

Машинске конструкције и механизација

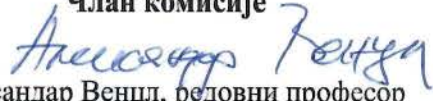
**Председник комисије**



Слободан Савић, редовни професор  
Факултет инжењерских наука Универзитета у  
Крагујевцу

Примењена механика

**Члан комисије**



Александар Венцл, редовни професор

Универзитет у Београду – Машински факултет

Технологија материјала – трибологија

**Члан комисије**

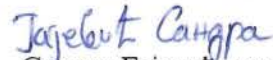


Милош Матејић, ванредни професор

Факултет инжењерских наука Универзитета у  
Крагујевцу

Машинске конструкције и механизација

**Члан комисије**



Сандра Гајевић, доцент

Факултет инжењерских наука Универзитета у  
Крагујевцу

Машинске конструкције и механизација

**Члан комисије**