

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 18.6.2025. године (број одлуке: IV-04-380/19) одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом: „Истраживање термичке стабилности циклоредуктора“, кандидата Милана П. Васића, студента докторских академских студија Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, за коју је именован ментор др Мирко Благојевић, редовни професор.

На основу података којима располажемо достављамо следећи:

ИЗВЕШТАЈ

О ОЦЕНИ УРАЂЕНЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

1. Подаци о докторској дисертацији
1.1. Наслов докторске дисертације:
Истраживање термичке стабилности циклоредуктора
1.2. Опис докторске дисертације (навести кратак садржај са знаком броја страница, поглавља, слика, шема, графикона, једначина и референци) (до 500 карактера):
Докторска дисертација кандидата Милана П. Васића, под називом „Истраживање термичке стабилности циклоредуктора“ је написана на 170 страница и подељена у 10 поглавља која су логички и тематски повезана. Садржи 138 слика, 22 табеле, 243 једначине и 160 референци. Поглављима претходи резиме рада, на српском и енглеском језику, као и садржај рада, док се на крају рада налазе списак литературе и биографија кандидата. Претходно поменути поглавља су наведена према следећем редоследу:
1. Уводна разматрања; 2. Преглед и анализа досадашњих истраживања; 3. Систематизација постојећих концепцијских решења циклоредуктора; 4. Контактна анализа виталних елемената циклоредуктора; 5. Губици снаге и степен искоришћења циклоредуктора; 6. Термичка стабилност циклоредуктора; 7. Примена софтверског пакета ANSYS за истраживање термичке стабилности циклоредуктора; 8. Експериментална истраживања;

9. Резултати истраживања термичке стабилности циклоредуктора;
10. Закључна разматрања.

1.3.Опис предмета истраживања (до 500 карактера):

Предмет ове докторске дисертације јесте теоријско, нумеричко и експериментално истраживање термичке стабилности циклоредуктора.

Теоријска истраживања обухватају преглед досадашњих истраживања у области циклоредуктора, са посебним освртом на анализу њиховог термичког стања, као и контактну анализу, будући да је претварање механичке енергије у топлотну локалног карактера и да се јавља само у зонама оптерећења. Посебна пажња је посвећена идентификацији и квантификацији термичких извора, односно губицима снаге (оних који зависе од оптерећења и оних који не зависе од њега), степену искоришћења, као и проучавању механизма преноса топлоте из унутрашњости циклоредуктора на околни ваздух, при чему је посебно разматрана равнотежна температура мазива.

Нумеричка истраживања су усмерена на анализу утицаја термичких напрезања на интензитете контактних сила и напонско-деформационо стање, док експериментална истраживања имају за циљ да резултате истраживања добијене аналитичким и нумеричким путем верификују.

1.4.Анализа испуњености полазних хипотеза:

На основу анализе приказаних резултата и изведених закључака, може се констатовати да су хипотезе постављене у почетној фази истраживања и наведене у пријави теме докторске дисертације у потпуности потврђене.

Хипотеза 1: *Могуће је развити допуњени математички модел за одређивање степена искоришћења циклоредуктора, који узима у обзир шири спектар утицајних фактора и на основу кога ће се добити прецизнији резултати у односу на већ постојеће моделе.*

У оквиру докторске дисертације развијен је допуњени и свеобухватни математички модел за одређивање губитака снаге у циклоредуктору, као и степена искоришћења у зависности од различитих улазних параметара. Ради верификације развијеног математичког модела, спроведена су експериментална истраживања на једноступеном циклоредуктору.

На основу поређења резултата степена искоришћења и губитака снаге добијених аналитичким прорачуном и експерименталним истраживањима, може се закључити да допуњени математички модел омогућава добијање поузданих и практично применљивих резултата. Просечно одступање вредности степена искоришћења износи 1,46% (макс. 2,11%), док просечно одступање вредности губитака снаге износи 9,88% (макс. 23,52%).

Хипотеза 2: *Могуће је формирати математички модел и дефинисати методологију за проверу термичке стабилности циклоредуктора у складу са међународним стандардом ISO/TR 14179-2:2001 који би имао адекватну примену у инжењерској пракси.*

У оквиру докторске дисертације је дефинисана методологија за проверу термичке стабилности циклоредуктора у складу са стандардом ISO/TR 14179-2:2001. Развијена методологија може да квантификује расипање снаге и да предвиди равнотежну температуру мазива за било коју комбинацију стационарних радних услова. Заснива се на глобалном енергетском билансу између укупних губитака снаге који се претварају у топлоту и количине топлоте која се из унутрашњости циклоредуктора одводи у околину.

На основу поређења добијених вредности равнотежне температуре мазива, проистеклих из аналитичког прорачуна и експерименталних истраживања, може се закључити да развијена

методологија омогућава добијање поузданих резултата. Просечно одступање добијених вредности равнотежне температуре мазива износи 7,54% (макс. 14,3%).

Хипотеза 3: На термичку стабилност циклоредуктора поред радних карактеристика, коришћеног мазивог средства и различитих геометријских и кинематских параметара, изузетно велики утицај има и брзина опструјавања ваздуха.

Експериментална истраживања су показала да термичка стабилност циклоредуктора зависи од брзине струјања околног ваздуха, као и од врсте примењеног средства за подмазивање. У анализираном случају, струјање ваздуха брзином од 3 m/s је довело до снижења равнотежне температуре мазива у просеку за 23%.

Хипотеза 4: Применом методе коначних елемената (МКЕ) могуће је моделирати сложена термичка стања циклоредуктора и одредити расподелу температурних поља унутар преносника са циљем идентификације критичних локација са аспекта загревања.

У оквиру докторске дисертације је развијена нумеричко-аналитичка методологија која може да предвиди расподелу температурних поља и да квантификује њен утицај на контактне силе и напонско-деформационо стање одговарајућих елемената.

Анализом резултата је утврђено да се највиша температура јавља у зони излазних ваљака, док су нешто ниже вредности забележене у зони лежаја циклозупчаника. Такође је уочено да најинтензивнији пораст температуре настаје током првих пола сата рада, док је за успостављање термичке стабилности — у којој се температурна поља не мењају значајно током времена — потребно приближно 2.5 сати.

Хипотеза 5: Експерименталним истраживањима је могуће одредити расподелу температурних поља на спољашњој површини кућишта испитиваног једностепеног циклоредуктора.

У оквиру експерименталних истраживања је одређена расподела температурних поља на спољашњој површини кућишта. Инфрацрвене термичке (ИРТ) слике значајно доприносе разумевању процеса генерисања и простирања топлоте по спољашњој површини кућишта и представљају користан алат у анализи термичких стања. Једини недостатак ове методе је што омогућава праћење само температурних поља на спољашњој површини кућишта, док се унутрашња расподела температуре на кључним елементима циклоредуктора не може директно визуализовати.

Анализом добијених температурних поља на спољашњој површини кућишта је утврђено да се највиша температура јавља у зони лежаја улазног вратила. Главни узрок овакве расподеле на улазу јесте непосредна близина лежаја циклозупчаника, који представља један од највећих термичких извора унутар циклоредуктора.

1.5.Анализа примењених метода истраживања:

У докторској дисертацији кандидата Милана П. Васића, под називом „Истраживање термичке стабилности циклоредуктора“, је примењено више метода истраживања које су пажљиво одабране и функционално повезане.

Пошто је на почетку дисертације извршена систематизација и упоредна анализа најчешће коришћених концепцијских решења циклоредуктора са аспекта њихових радних карактеристика и основних геометријских и кинематских параметара, коришћене су статистичке методе.

За прорачун стварних контактних сила на додирним површинама спрегнутих елемената, као и за прорачун губитака снаге, степена искоришћења и равнотежне температуре мазива, коришћене су аналитичке методе. С обзиром да код циклоредуктора постоји велики број контактних зона и да су вредности контактних сила временски зависне од угла заокретања циклозупчаника, за

прорачун је коришћен програмски пакет *Matlab 2017*. После реализованих прорачуна, статистичким методама је извршена обрада добијених аналитичких резултата.

Да би се истражила расподела температурних поља и њихов утицај на контактне силе и напонско-деформационо стање виталних елемената, коришћена је Метода коначних елемената (МКЕ), која представља једну од најсавременијих нумеричких метода за анализу понашања сложених машинских система у различитим радним условима. У ту сврху, у програмском пакету *SolidWorks 2017*, креиран је тродимензионални геометријски *CAD* модел једноступеног циклоредуктора који, по својим карактеристикама, готово у потпуности одговара испитиваном циклоредуктору (радне карактеристике, габаритне димензије, карактеристике материјала итд.). Реч је о веома сложеном тродимензионалном моделу који, према доступној светској литератури, први пут при анализи напонско-деформационог стања виталних елемената, без и са утицајем термичких напрезања, полази од реалне конструкције једноступеног циклоредуктора са два циклозупчаника. За нумеричку анализу креираног модела коришћен је комерцијални софтвер *ANSYS Workbench 2019 R2* (модули *Transient Thermal* и *Static Structural*). У овом софтверу су реализоване три анализе:

1. Прва анализа (*Static Structural*) је коришћена за одређивање вредности контактних сила на местима контакта циклозупчаника, централних и излазних ваљака (који учествују у преносу оптерећења), као и одговарајућих вредности напона.
2. Друга анализа (*Transient Thermal*) је коришћена за одређивање расподеле температурних поља унутар циклоредуктора. У овој анализи су коришћени полазни подаци из прве анализе (геометрија модела, карактеристике материјала), као и интензитети термичких извора (губици снаге), који су претходно аналитички одређени у софтверу *Matlab 2017*.
3. Трећа (завршна) анализа је поново извршена у модулу *Static Structural*. На основу улазних података из прве анализе и термичког стања из друге анализе добијене су коначне (укупне) вредности контактних сила и напонско-деформационо стање виталних елемената циклоредуктора као последица дејства спољашњих и термичких оптерећења.

Ради верификације резултата добијених аналитичким и нумеричким путем, спроведена су експериментална истраживања. Она су изведена у *Лабораторији за машинске конструкције Машинског факултета у Нишу*, на пробном столу који је прилагођен потребама ове докторске дисертације. Испитивање је реализовано према предвиђеном плану који садржи меродавне тестове. Циљ ових тестова је да квантификују појединачне радне параметре и њихов утицај на губитке снаге, степен искоришћења и термичку стабилност испитиваног преносника. Једна група тестова се заснива на промени броја обртаја улазног вратила при константном оптерећењу излазног вратила, док се друга група тестова заснива на промени оптерећења излазног вратила при константном броју обртаја улазног вратила. Током експерименталних истраживања праћене су вредности следећих параметара:

- температура мазивог средства (посредством термопара),
- спољашња температура кућишта (посредством термовизијске камере),
- температура околног ваздуха (посредством анемометра),
- брзина струјања околног ваздуха (посредством анемометра),
- број обртаја вратила погонског мотора (посредством контролера мотора),
- улазни обртни момент (посредством тренутне јачине струје електромотора),
- излазни обртни момент (посредством јачине контролне струје електромагнетне кочнице).

Након извршених мерења, статистичким методама је извршена обрада добијених експерименталних резултата.

1.6.Анализа испуњености циља истраживања:

Сви циљеви дефинисани у пријави теме докторске дисертације су у потпуности испуњени.

- Извршена је систематизација, означавање и упоредна анализа најраспрострањенијих концепцијских решења циклоредуктора. За означавање је коришћен систем који је за планетарне редукторе предложио руски професор Кудрјавцев (рус. *Кудрявцев*).
- Одређене су вредности стварних контактних сила на контактним површинама спрегнутих елемената циклоредуктора, узимајући у обзир кориговање профила зупца циклозупчаника, контактне деформације и унутрашње зазоре између одговарајућих елемената.
- Развијен је допуњени и свеобухватни математички модел за одређивање губитака снаге у циклоредуктору као и степена искоришћења у функцији различитих улазних параметара.
- Дефинисана је методологија за проверу термичке стабилности циклоредуктора према стандарду ISO/TR 14179-2:2001. За репрезентативни параметар термичке стабилности означена је равнотежна температура мазивог средства.
- Развијена је нумеричко-аналитичка методологија која може да предвиди расподелу температурних поља и да квантификује њен утицај на контактне силе и напонско-деформационо стање одговарајућих елемената.
- Извршена су експериментална истраживања на једноступеном циклоредуктору. Том приликом су добијени веома значајни резултати о равнотежној температури мазива, временском периоду потребном за постизање термичке стабилности циклоредуктора, расподела температурних поља на спољашњој површини кућишта, као и резултати о укупним губицима снаге и степену искоришћења.

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 број¹, категорија):

Кандидат Милан П. Васић, је у дисертацији дао систематичан и детаљан приказ добијених резултата, који су проистекли као резултат аналитичких прорачуна, нумеричких анализа и експерименталних истраживања.

Аналитички прорачуни су показали да је карактер промене контактних сила током заокретања циклозупчаника релативно исти при свим угаоним положајима и да се фазно помера у зависности од редних бројева ваљака који улазе или излазе из спреге, при чему су ваљци који улазе у спрегу значајно више оптерећени. Такође је утврђено да повећавање оптерећења, уз понављање истих бројева обртаја, доводи до повећања вредности контактних сила, док промена улазног броја обртаја, уз понављање истих оптерећења, не утиче на промену вредности контактних сила.

У другом делу контактне анализе разматран је утицај радних и кинематских параметара на геометрију контактних површина, као и на вредности максималног површинског притиска, минималне и константне дебљине уљног филма. Добијени резултати показују да је ширина контактне површине у додиру конвексно-конкавних површина већа у односу на ширину додира две конвексне површине. То значи да се додир конвексно-конкавних површина остварује по већој површини, док се додир између две конвексне површине остварује по мањој површини. При томе,

¹ Уколико публикација нема DOI број уписати ISSN и ISBN

повећавање оптерећења, уз понављање истих бројева обртаја, доводи до повећања ширине контактних површина, док промена улазног броја обртаја, уз понављање истог оптерећења, не утиче на промену ширине контакта. Такође је утврђено да се највећи површински притисак јавља у контактима котрљајних тела лежаја циклозупчаника и унутрашње стазе котрљања. Када је реч о контакту централних ваљака и зубаца циклозупчаника, већи површински притисак се јавља између две конвексне површине, него што је то случај у контакту конвексно-конкавних површина. Добијени резултати такође показују да повећање оптерећења уз понављање истих бројева обртаја, доводи до смањења константне и минималне дебљина уљног филма, односно већег хабања радних површина елемената у контакту.

Даље је на основу нумеричких анализа утврђено да је између циклозупчаника 1 и 2, као и одговарајућих ваљака присутна неравномерна расподела оптерећења. У анализираном случају, контактне силе између централних ваљака и одговарајућих зубаца циклозупчаника 2 су за 5÷6% веће у односу на контактне силе између централних ваљака и одговарајућих зубаца циклозупчаника 1. Осим тога, нумеричке анализе су показале да температурна напрезања доводе до повећања вредности контактних сила. У анализираном случају, нормалне контактне силе се услед температурних напрезања повећавају у просеку за 2÷3%, док се излазне контактне силе повећавају у просеку за 5÷8%.

На основу поређења добијених резултата контактних сила, који су проистекли као резултат аналитичких прорачуна и нумеричких анализа, може се закључити да нумеричке анализе, уз прецизно дефинисане граничне услове, могу добро да предвиде расподелу контактних сила са одступањем добијених вредности у просеку од 15%.

Такође, нумеричке анализе су показале да се већи еквивалентни (фон Мизесови, нем. *Von Mises*) напони јављају у контактима излазних ваљака и отвора у циклозупчанику, као и да се значајно мањи еквивалентни напони јављају у контактима централних ваљака и зубаца циклозупчаника. Овде је важно напоменути да су еквивалентни напони на ваљцима већи у односу на еквивалентне напоне на циклозупчаницима, што је условљено обликом ваљака и правцем ширења напона у поређењу са правцем ширења напона код циклозупчаника. Такође, еквивалентни напони у контактима циклозупчаника 2 и одговарајућих ваљака су већи у односу на напоне у контактима циклозупчаника 1 и одговарајућих ваљака што је резултат претходно анализираних контактних сила. Осим тога, нумеричке анализе су показале да температурна напрезања доводе до повећања вредности еквивалентних напона. У анализираном случају, еквивалентни напони се услед температурних напрезања повећавају у просеку за 2,8%.

Када је реч о губицима снаге и степену искоришћена, аналитички резултати су показали да повећање оптерећења, уз понављање истих бројева обртаја, доводи до повећања степена искоришћења, док повећање улазног броја обртаја, уз понављање истог оптерећења, доводи до смањења степена искоришћења. Са друге стране, повећање оптерећења, уз понављање истих бројева обртаја, као и повећање бројева обртаја уз понављање истог оптерећења доводи до повећања губитака снаге. Такође је утврђено да су губици снаге између одговарајућих ваљака (централних и излазних) и осовиница, као и губици снаге у лежајима циклозупчаника доминантни губици снаге. При томе, губици снаге у одговарајућим контактима излазних ваљака су значајно већи од губитака снаге у одговарајућим контактима централних ваљака јер је угаона брзина излазних ваљака значајно већа од угаоне брзине централних ваљака.

На основу поређења резултата степена искоришћења и губитака снаге, добијених аналитичким прорачуном и експерименталним истраживањима, може се закључити да допуњени математички модел омогућава добијање поузданих и практично примењивих резултата. Просечно одступање вредности степена искоришћења износи 1,46% (макс. 2,11%), док просечно одступање губитака

снаге износе 9,88% (макс. 23,52%). Такође је важно напоменути да је тачност модела ограничена претходним прорачуном контактних сила.

Са становишта равнотежне температуре мазива показало се да повећање улазног броја обртаја, уз понављање истог оптерећења као и повећање оптерећења, уз понављање истих бројева обртаја, доводи до повећања равнотежне температуре мазива. Такође је утврђено да се највећа вредност равнотежне температуре мазива јавља при номиналним радним условима.

На основу поређења добијених резултата равнотежне температуре мазива, који су проистекли из аналитичког прорачуна и експерименталних истраживања, може се закључити да развијени математички модел омогућава добијање поузданих резултата. Одступања добијених вредности равнотежне температуре мазива у просеку износе 7,54% (макс. 14,3%). Ипак, и овде је важно напоменути да је тачност модела ограничена претходним прорачуном контактних сила и степена искоришћења.

Још једна значајна појава која је утврђена јесте да се равнотежна температура мазива повећава све док се не постигне термичка стабилност. Експериментална и нумеричка тестирања су показала да је пораст температуре најинтензивнији у првих пола сата рада, док је у наставку значајно мањи. Просечни временски период потребан за постизање термичке стабилности, у коме се температурна поља не мењају значајно током времена износи око 2.5 сата.

Поред тога, експериментална истраживања су показала да термичка стабилност циклоредуктора зависи од брзине опструјавања околног ваздуха, као и од врсте примењеног средства за подмазивање. У анализираном случају, струјање ваздуха од 3 m/s је довело до снижења равнотежне температуре мазива у просеку за 23%. Са друге стране, коришћење уља *Famredol Ultra 150*, у односу на маст *Unirex N2*, је довело до повећања вредности равнотежне температуре мазива при свим радним условима. Овај резултат се може повезати са чињеницом да се сувишна количина масти помера са стране и удаљава од обртних елемената, формирајући одговарајући канал. На тај начин, у контакту покретних елемената остаје само потребна количина масти, док остатак остаје ван путање кретања покретних елемената. Супротно томе, уље се због своје ниже густине стално враћа у контакт што изазива мешање и истискивање, па доводи до већих губитака снаге, а самим тим и до виших радних температура.

Такође је важно напоменути да су термовизијска истраживања пружила значајан допринос разумевању расподеле температурних поља на спољашњој површини кућишта. Добијене инфрацрвене термалне (ИРТ) слике су показале да се највиша температура јавља у зони лежаја улазног вратила и да се повећава и преноси према излазном вратилу. Главни разлог овакве расподеле на улазу јесте непосредна близина лежаја циклозупчаника који представља један од највећих термичких извора у циклоредуктору.

На основу детаљне анализе резултата, комисија сматра да добијени резултати истраживања у оквиру ове докторске дисертације, представљају обиман и користан материјал. Кандидат Милан П. Васић, је један део поменутих научних резултата већ верификовао објављивањем следећих научно-стручних радова, у међународним и домаћим часописима и конференцијама:

1. **M. Vasić**, M. Blagojević, M. Banić, L. Maccioni, F. Concli: Theoretical and Experimental Investigation of the Thermal Stability of a Cycloid Speed Reducer, Lubricants-Special Issue „Tribology of Cycloidal Reducers: Enhancing Efficiency, Durability and Reliability through Experimental and Numerical Methods“, Vol. 13, No. 70, 2025, pp: 1-21, DOI: <https://doi.org/10.3390/lubricants13020070>, **M21**.
2. **M. Vasić**, M. Blagojević, G. Nestorović: Primary Criteria for Selecting Gearboxes for Axes of 6-Axis Industrial Robots, International Scientific and Professional Conference POLITEHNIKA 2023, Belgrade, 15th December 2023, pp: 1250-1254, ISBN: 978-86-7498-110-8, **M33**.

3. M. Blagojević, **M. Vasić**, M. Matejić: Comparative Calculation of Cycloid Reducers Efficiency Between Classic and Non-Pin Wheel Concepts, 18th International Conference on Tribology SERBIATRIB 23, Kragujevac, 17-19th May 2023, pp: 507-517, ISBN: 978-86-6335-103-5, **M33**.
4. M. Blagojević, **M. Vasić**, S. Dizdar, S. Tuka, M. Josimović: The Influence of Thermal Stresses on the Load Distribution in Cycloidal Reducers, 3rd International Symposium on Industrial Engineering and Automation – ISIEA 2024, Bozen-Bolzano, Italy, 19-21st June 2024, pp: 1-9, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-70462-8_10, **M33**.
5. M. Josimović, G. Bogdanović, **M. Vasić**, M. Blagojević: The Use of the Cycloidal Drive Block in the Analysis of the Cycloidal Reducer Efficiency, 7th International Scientific Conference „Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications“ COMETA 2024, East Sarajevo, BiH, 14-16th November 2024, pp: 308-315, ISBN: 978-99976-085-2-9, **M33**.
6. M. Blagojević, M. Matejić, **M. Vasić**: Comparative Overview of Calculation of Normal Force on Cycloidal Gear Tooth, International Congress Motor Vehicles and Motors 2020, Kragujevac, Serbia, 8-9th October 2020, pp: 131-137, ISBN: 978-86-6335-074-8, **M33**.
7. **M. Vasić**, M. Matejić, M. Blagojević: A Comparative Calculation of Cycloid Drive Efficiency, Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications COMETA 2020, Jahorina, BiH, 26-28th November 2020, pp: 259-266, ISBN: 978-99976-719-8-1, **M33**.
8. **M. Vasić**, M. Blagojević, M. Matejić, I. Cofaru: The Influence of the Cycloid Disc Bearing Type on the Cycloidal Speed Reducer Efficiency, 10th International Conference on Manufacturing Science and Education „Trends in New Industrial Revolution“ - MSE 2021, Sibiu, Romania, 2-4th June 2021, pp: 1-8, DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134301004>, **M33**.
9. M. Matejić, V. Goluža, **M. Vasić**, M. Blagojević: Analysis of Two-Stage Cycloid Speed Reducers Dimensions and Efficiency, The 11th International Conference on Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering KOD 2021, Novi Sad, Serbia, 10-12th June 2021, pp: 1-10, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-88465-9_14, **M33**.
10. **M. Vasić**, M. Blagojević, M. Matejić: Efficiency of Non-Pin Wheel Cycloid Reducer Concept, 6th International Scientific Conference on Mechanical Engineering Technologies and Application COMETA 2022, Jahorina, BiH, 17-19th November 2022, pp: 430-441, ISBN: 978-99976-947-6-8, **M33**.
11. E.A. Tchufistov, O.E. Tchufistov, M. Blagojević, **M. Vasić**: Simulation of Motion in a Cycloidal Gear. Part 1: Unloaded Gear (in Russian), Machine Science and Building, Vol. 4, 2024, pp: 92-108, ISSN: 2072-3059, **M53**.
12. E.A. Tchufistov, O.E. Tchufistov, M. Blagojević, **M. Vasić**: Simulation of Motion in a Cycloidal Gear. Part 2: Loaded gear (in Russian), Machine Science and Building, Vol. 5, 2025, pp: 92-105, ISSN: 2072-3059, **M53**.
13. **M. Vasić**, M. Blagojević, M. Dragoi: Thermal Stability of Lubricants in Cycloidal Reducers, Engineering Today, Vol. 1, No. 2, 2022, pp: 7-17, ISSN: 2812-9474, **M53**.

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):

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Милана П. Васића, под називом „Истраживање термичке стабилности циклоредуктора“, представља резултат оригиналног

научно-истраживачког рада у актуелној научној области. Један од аспеката оригиналности докторске дисертације јесте провера на плагијаризам помоћу софтвера *iThenticate*, којом је идентификовано укупно 1% идентичног текста. Проценат подударања од 1% је последица коришћења истих фраза у апстракт докторске дисертације и у раду објављеном у часопису са *SCI* листе, у којем је кандидат први аутор. Такође, преклапање текста у обиму од 1% односи се на навођење истих литературних извора у докторској дисертацији и у радовима чији је кандидат први аутор.

На основу претраге доступних литературних извора, која је спроведена кроз детаљно и систематично истраживање базе података *KoBSON*, уз коришћење одговарајућих кључних речи као што су: циклоредуктори, термичка стабилност, расподела температурних поља, радна температура мазива, губици снаге, степен искоришћења – није пронађен научно-истраживачки рад који се бави сличним предметом и методолошким приступом.

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

Докторска дисертација кандидата Милана П. Васића, под називом „Истраживање термичке стабилности циклоредуктора“, бави се веома актуелним и значајним проблемима у области циклоредуктора, као што су термичка анализа, контактна анализа, губици снаге и степен искоришћења. Осим научног, докторска дисертација има и практичан допринос, будући да третира неколико важних експлоатационих питања, како актуелног, тако и будућег развоја једног од најзначајнијих представника високопрецизних редуктора.

С обзиром да се у последњој деценији у области ових преносника снаге спроводе интензивна истраживања с циљем дефинисања нових концепцијских решења, постоји све већа потреба за њиховим груписањем и једнозначним означавањем. Због тога је кандидат, на основу доступне стручне литературе и каталога реномираних светских произвођача (*Nabtesco, Sumitomo, Onvio*), извршио детаљан опис и систематизацију постојећих концепцијских решења. За њихово означавање је користио систем који је за планетарне редукторе предложио руски истраживач Кудрјавцев (рус. *Кудрявцев*).

Анализом стања досадашњих истраживања у области термичке анализе, коју је кандидат обавио при писању докторске дисертације, може се закључити да у данашње време не постоји методологија која систематски изучава и проверава термичку стабилност циклоредуктора. Најчешћи проблеми који се повезују са нарушавањем термичке стабилности су: смањење вискозности мазивог средства, односно дебљине уљног филма, убрзано хабање радних површина елемената у контакту, скраћење радног века средства за подмазивање и заптивних елемената, као и појава температурних напрезања. Из тог разлога су истраживања у овој области изузетно актуелна и значајна.

Како је провера термичке стабилности конвенционалних зупчастих редуктора дефинисана међународним стандардом *ISO/TR 14179-2:2001*, кандидат је, уз одговарајућу аналогију и прилагођавање, користио исти стандард као полазну основу за развој методологије за проверу термичке стабилности циклоредуктора, која омогућава да се још у фази пројектовања предвиди равнотежна температура мазива за било коју комбинацију стационарних радних услова, без скуких и дуготрајних испитивања прототипа. Добијени резултати су показали веома добро слагање са експериментално добијеним резултатима.

Осим термичке стабилности, пројектовање циклоредуктора захтева и познавање интензитета и карактера оптерећења, као и максималних вредности еквивалентних напона на одговарајућим елементима. У доступној литератури, расподела оптерећења и напонско-деформационо стање елемената циклоредуктора углавном се одређују узимајући у обзир кориговање профила зупца

циклозупчаника, контактне деформације и унутрашње зазоре, док се утицај термичких напрезања најчешће занемарује. Да би се ова научна празнина попунила, у овој докторској дисертацији је развијена нумеричко-аналитичка методологија која може да предвиди расподелу температурних поља и да квантификује њен утицај на контактне силе и напонско-деформационо стање одговарајућих елемената. Заснива се на Методи коначних елемената (МКЕ) и обухвата коришћење нестационарне термичке анализе и статичко-структуралне анализе, при чему се интензитети термичких извора на контактним површинама спрегнутих елемената одређују аналитичким путем. Развијена методологија може бити корисна компанијама које се баве производњом циклоредуктора, јер омогућава предвиђање њиховог понашања у различитим радним условима.

Као што се може приметити, кључни део у истраживању термичке стабилности циклоредуктора јесте одређивање парцијалних губитака снаге, односно интензитета термичких извора који настају у зони одговарајућих контаката, као и одређивање укупног степена искоришћења. Прегледом стања досадашњих истраживања у области степена искоришћења може се закључити да сви развијени математички модели обухватају само одређивање губитака снаге који, према ауторима, доминантно утичу на степен искоришћења, док се остали губици снаге занемарују. Због тога је кандидат развио допуњени и свеобухватни математички модел за одређивање степена искоришћења, који узима у обзир све релевантне утицајне параметре и на основу кога се добијају знатно прецизнији резултати. Осим тога, развијени математички модел представља значајан корак напред, јер проширује постојећа знања у области парцијалних губитака снаге. Пошто добијени резултати показују веома добро слагање са експериментално добијеним резултатима, модел се може користити као валидни алат у пројектовању циклоредуктора.

Такође је важно истаћи да докторска дисертација кандидата Милана П. Васића садржи веома значајне експерименталне резултате о равнотежној температури мазива, степену искоришћења, губицима снаге и расподели температурних поља. Ови резултати се могу користити за валидацију резултата других математичких и нумеричких модела у оквиру ове научне области.

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 П. Васића, под називом „Истраживање термичке стабилности циклоредуктора“ одговара теми дисертације одобрене одлуком број 01-1/4921-18 од 21.12.2023. године од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу, број IV-04-7/9 од 24.01.2024. године.

Докторска дисертација, по квалитету, обиму и приказаним резултатима истраживања, у потпуности задовољава законске услове и универзитетске норме прописане за израду докторске дисертације.

Кандидат је показао да влада методологијом научно-истраживачког рада, од прегледа литературних извора, постављања хипотеза, развијања математичких модела, осмишљавања и спровођења експерименталних истраживања, до анализе и дискусије резултата. При томе је, користећи своје професионално образовање, показао способност да сложеној проблематици приступи свеобухватно, у циљу добијања конкретних и применљивих резултата.

С обзиром на актуелност проблематике која је обрађена и остварене резултате, чланови Комисије сматрају да кандидат Милан П. Васић 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 „Истраживање термичке стабилности циклоредуктора”, кандидата **Милана П. Васића**, предлаже надлежним стручним органима да се докторска дисертација прихвати и да се одобри њена одбрана.

Чланови комисије:



Блажа Стојановић, редовни професор
Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу

Машинске конструкције и механизација

Председник комисије



Родољуб Вујанац, редовни професор
Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу

Машинске конструкције и механизација

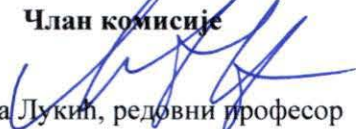
Члан комисије



Милош Матејић, ванредни професор
Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу

Машинске конструкције и механизација

Члан комисије



Небојша Лукић, редовни професор
Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу

Термодинамика и термотехника

Члан комисије



Милан Банић, ванредни професор
Машински факултет у Нишу Универзитета у
Нишу

Машинске конструкције

Члан комисије