

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 21.1.2026. године (број одлуке: IV-04-6/7) одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом: „Анализа губитака снаге код вишестепеног планетарног преносника“, кандидата мр Милана З. Станојевића, студента докторских академских студија Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, за коју је именован ментор др Блажа Стојановић, 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:
Анализа губитака снаге код вишестепеног планетарног преносника
1.2. Опис докторске дисертације (навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, шема, графикана, једначина и референци) (до 500 карактера):
Докторска дисертација кандидата мр Милана З. Станојевића, под називом „Анализа губитака снаге код вишестепеног планетарног преносника“ је написана на 212 страница и подељена у девет поглавља која су логички и тематски повезана. Садржи 128 слика, 111 табела, 382 једначине и 102 референце. Поглављима претходи резиме рада, на српском и енглеском језику, садржај рада, списак слика, списак табела, списак скраћеница и страних израза, као и списак ознака. На крају рада се налазе списак литературе, прилози и биографија кандидата. У поглављу Литература је дат списак 102 релевантних библиографских јединица које су цитиране у тексту докторске дисертације. Претходно поменуто поглавља наведена су следећим редоследом: 1. Увод; 2. Преглед и анализа досадашњих истраживања; 3. Прорачун и конструкција вишестепеног планетарног преносника; 4. Губици снаге и степен искоришћења вишестепеног планетарног преносника; 5. Експериментална истраживања; 6. Резултати експерименталних истраживања; 7. Анализа резултата;

8. Статистичка обрада података и предвиђање степена искоришћења; 9. Закључак.
1.3.Опис предмета истраживања (до 500 карактера): Предмет истраживања ове докторске дисертације је идентификација и анализа различитих утицајних фактора на губитке снаге, као и одређивање степена искоришћења код конструисаног вишестепеног планетарног преносника. Анализа је спроведена кроз теоријско, аналитичко и експериментално истраживање, као и статистичку обраду података и предвиђање степена искоришћења. Теоријска истраживања обухватају критичко разматрање досадашњих истраживања у овој области, са фокусом на анализу губитака снаге и степена искоришћења код планетарних преносника. Аналитичка истраживања су посвећена развоју аналитичког модела за одређивање губитака снаге у вишестепеном планетарном преноснику. Детаљно су анализирани сви релевантни извори губитака енергије, укључујући губитке у зупчастим паровима, котрљајним и клизним лежајима, као и губитке настале на заптивачима вратила. Као важан резултат овог дела истраживања, развијен је софтверски алат за прецизан прорачун свих наведених губитака. Експериментална истраживања, спроведена према дефинисаном плану, послужила су за одређивање степена искоришћења вишестепеног планетарног преносника, анализу утицаја температуре на нивое буке и вибрација, као и верификацију добијених аналитичких резултата. Статистичка обрада података је омогућила поуздано утврђивање нивоа утицаја појединих фактора на карактеристике преносника. На основу прикупљених експерименталних података, софтверски пакет <i>Minitab 19</i> коришћен је за генерисање регресионих једначина и израду предиктивног модела за процену степена искоришћења вишестепеног планетарног преносника.
1.4.Анализа испуњености полазних хипотеза: Анализом резултата истраживања представљених у овој дисертацији, а у контексту постојећих студија о губицима снаге и степену искоришћења планетарних преносника, доносе се следећи закључци у вези са постављеним хипотезама: Хипотеза 1: <i>Спровођењем експерименталног истраживања могуће је одредити најважније утицајне факторе на губитке снаге и степен искоришћења, као и на промену температуре, интензитета буке и нивоа вибрација у вишестепеном планетарном преноснику.</i> На основу софтверске анализе, експерименталних резултата и статистичке обраде података идентификовани су и анализирани најважнији фактори који утичу на степен искоришћења вишестепеног планетарног преносника. Утврђен је значајан утицај степена преноса, преносног односа, улазног броја обртаја, нивоа уља и дефинисаних вредности сила кочења, односно обртног момента. Сви добијени резултати потврђују почетну хипотезу. Хипотеза 2: <i>Постоји узајамна зависност између губитака снаге, тј. степена искоришћења од степена преноса планетарног преносника, односно преносног односа.</i> Спроведена мерења и детаљна истраживања показала су да је степен искоришћења преносника максималан у највишем испитиваном степену преноса, што одговара најмањој вредности преносног односа. Тиме је постављена хипотеза потврђена. Хипотеза 3: <i>Постоји узајамна зависност између губитака снаге, односно степена искоришћења од нивоа уља, при истом броју обртаја у вишестепеном планетарном преноснику.</i> Експериментална истраживања су потврдила да постоји узајамна зависност између нивоа уља и степена искоришћења вишестепеног планетарног преносника. Показано је да повећање нивоа уља

доводи до раста хидродинамичких губитака и смањења степена искоришћења. Овај тренд је константан у свим анализираним случајевима, при улазним бројевима обртаја од 500 min^{-1} , 750 min^{-1} и 900 min^{-1} у сва четири степена преноса, где је степен искоришћења увек виши при минималном нивоу уља у односу на максимални. Тиме је постављена хипотеза у потпуности потврђена.

Хипотеза 4: Утицај промене радне температуре на ниво вибрација и буке у вишестепеном планетарном преноснику је доминантан.

Детаљном анализом добијених експерименталних резултата, недвосмислено је доказано да постоји директна веза између повећања температуре и пораста нивоа буке и вибрација. Ово је посебно евидентно у четвртом степену преноса, где је највећи пораст температуре праћен највишим вредностима буке и вибрација. Иако су и други фактори, попут нивоа уља и броја обртаја, важни, њихов утицај на динамичко понашање преносника често се манифестује управо кроз промене температуре. Ови налази потврђују да температура игра доминантну улогу као кључни фактор који утиче на динамичко понашање вишестепеног планетарног преносника, чиме је постављена хипотеза у потпуности доказана.

1.5. Анализа примењених метода истраживања:

У докторској дисертацији кандидата мр Милана З. Станојевића, под називом „Анализа губитака снаге код вишестепеног планетарног преносника“, примењено је више метода истраживања које су пажљиво одабране и функционално повезане. Коришћене су аналитичке, експерименталне и статистичке методе.

За изведено конструкционо решење вишестепеног планетарног преносника, на основу расположивих литературних података, извршен је аналитички прорачун губитака снаге. У вишестепеном планетарном преноснику укупни губици снаге се могу представити као збир губитака снаге у спрези зупчастих парова, губитака снаге у котрљајним и клизним лежајима и губитака снаге услед трења на местима заптивача вратила. Теоријски прорачун губитака снаге у спрези зупчастих парова (проузрокованих оптерећењем), традиционално се ослања на Ниманову методу (*Niemann*). Код планетарних преносника је веома битан избор котрљајних и клизних лежаја који се користе за улежиштење вратила на којима се налазе одговарајући зупчаници. За изведено конструкционо решење вишестепеног планетарног преносника, због његових димензија и конструкционих карактеристика, углавном су се користиле одговарајуће клизне чауре. Губици снаге у заптивачима настају као последица трења. Величина ових губитака зависи од броја обртаја вратила, вредности унутрашњег пречника заптивача и од притиска који се остварује у контакту између заптивних прстенова и вратила.

Развој апликације за одређивања губитака снаге је реализован у програму *Visual Studio 2022*. Имплементација је извршена у програмском језику *C#*, а за израду графичког корисничког интерфејса (*Graphical User Interface, GUI*) коришћен је *Windows Forms* оквир. Апликација је архитектонски подељена на два основна функционална модула: прорачун степена искоришћења зупчастих парова и прорачун осталих губитака. Коришћењем развијеног софтверског програма, реализовано је свеобухватно одређивање губитака снаге вишестепеног планетарног преносника.

Ради верификације резултата добијених аналитичким путем, спроведена су експериментална истраживања. На Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу у Центру за испитивање механичких преносника је спроведено експериментално одређивање степена искоришћења вишестепеног планетарног преносника на уређају АТ 200. У спроведеним експерименталним истраживањима, коришћењем расположиве мерне и испитне опреме, одређивани су степени искоришћења у појединим степенима преноса вишестепеног планетарног преносника. На основу дефинисаног плана експерименталног истраживања, одређени су степени искоришћења у појединим степенима преноса, при одговарајућим бројевима обртаја, за три

различита нивоа уља и дефинисаним вредностима силе кочења, односно обртног момента. За подмазивање је коришћено моноградно уље минералне основе за мењаче и диференцијале са EP својствима API GL – 5. Анализиран је и утицај промене температуре на ниво вибрација и буке у вишестепеном планетарном преноснику.

У овој докторској дисертацији коришћене су три различите статистичке методе за израчунавање корелационих коефицијената како би се обезбедила свеобухватнија анализа и омогућила упоредивост резултата. Први метод је Пирсонов коефицијент корелације (енгл. *Pearson's r*) који је најчешће коришћен за процену јачине и смера линеарне везе између две променљиве. Он је идеалан за податке који прате нормалну расподелу и немају екстремне вредности. Као други метод је коришћен Спирманов коефицијент корелације рангова (енгл. *Spearman's ρ*). То је начин да се види да ли са порастом једне променљиве, друга променљива доследно такође расте или опада, користећи рангове уместо тачних вредности података. Овај начин прорачуна не захтева нормалну расподелу података, а због тога је мање осетљив на екстремне вредности и може бити погодан за широк спектар истраживања. Трећи метод је Кендалов тау (енгл. *Kendall's τ*), који се заснива на процени сагласности и несавласности између променљивих које се посматрају. Поред тога што је овај метод значајан када постоји мањи број узорака, значајан је и у ситуацијама када постоји већи број једнаких вредности.

Анализа је имала за циљ да испита утицај различитих степена преноса на кључне параметре као што су степен искоришћења преносника, температура, бука и вибрације.

На основу експерименталних података из докторске дисертације, за генерисање једначина и предвиђање степена искоришћења коришћен је софтверски пакет *Minitab 19*. Применом овог софтвера, генерисано је више различитих регресионих модела за сваки степен преноса. Овај приступ омогућава већи избор модела и прецизније добијене резултате приликом даље примене једначина.

1.6. Анализа испуњености циља истраживања:

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

- У складу са усвојеном концепцијом Равињоновог преносника, извршен је прорачун, а затим и моделирање у програму *Autodesk Inventor*, као и израда комплетне конструкционе документације на основу које је извршена израда вишестепеног планетарног преносника.
- Реализовано је конструкционо решење за компоненте помоћу којих се врши промена степена преноса и заустављање појединих елемената планетарног преносника (носача сателита, мањег централног зупчаника и већег централног зупчаника), што је реализовано као саставни део изведене конструкције.
- Направљена је апликација за аналитичко одређивање губитака снаге и степена искоришћења у појединим степенима преноса вишестепеног планетарног преносника.
- У складу са расположивом опремом за експериментално истраживање, предвиђен је начин повезивања израђеног планетарног преносника са мерном опремом.
- Сprovedено је експериментално истраживање, коришћењем расположиве мерне и испитне опреме, одређени су степени искоришћења у појединим степенима преноса вишестепеног планетарног преносника.
- Генерисан је регресиони математички модел за предвиђање губитака снаге и одређивање степена искоришћења вишестепеног планетарног преносника у појединим степенима преноса.

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 мр Милан З. Станојевић, је у дисертацији дао систематичан и детаљан приказ добијених резултата, који су проистекли као резултат аналитичких прорачуна, експерименталних истраживања и статистичке обраде добијених података.

Коришћењем развијеног софтверског програма, реализовано је свеобухватно одређивање губитака снаге вишестепеног планетарног преносника. У прорачун су интегрисани сви релевантни фактори губитака, укључујући губитке при спрезању зупчаника, као и остале губитке генерисане у клизним, котрљајним лежајима и заптивачима. Прорачуни су извршени за три радна режима и то при бројевима обртаја од 500 min^{-1} , 750 min^{-1} и 900 min^{-1} . На основу добијених резултата, израчунате су одговарајуће вредности степена искоришћења (η_{rac}) за сваки степен преноса. Коначна валидација модела извршена је упоређивањем израчунатих вредности (η_{rac}) са вредностима степена искоришћења добијеним експерименталним истраживањем (η_{eksp}). Ово поређење омогућава одређивање грешке модела и оцену његове поузданости.

Постигнуто максимално одступање између прорачунатих (η_{rac}) и експериментално добијених вредности степена искоришћења (η_{eksp}) износи 6,19%, што указује на висок степен поузданости развијеног софтверског модела. Оваква мала грешка представља одлично слагање у инжењерској пракси и јасно потврђује адекватност и прецизност аналитичких модела који су имплементирани у програм.

Узроци одступања могу бити последица неизбежних грешака при експерименталном мерењу и поједностављења у аналитичким моделима. Софтверски програм је валидиран и може се сматрати поузданим алатом за анализу губитака снаге и одређивање ефикасности разматраног типа преносника.

Анализом резултата утврђено је да највећи удео у укупним губицима снаге у свим степенима преноса припада спрегама зупчастих парова. Након зупчаника, значајан допринос губицима имају клизни лежаји. Губици снаге у котрљајним лежајима и, посебно, у заптивачима имају мале вредности, те се могу и занемарити. Повећање броја обртаја на улазу директно доводи до пораста губитака у свим испитиваним степенима преноса. Највеће вредности губитака су регистроване у првом степену преноса.

Експериментална испитивања, спроведена на вишестепеном планетарном преноснику коришћењем уређаја АТ 200, била су усмерена на детаљну анализу карактеристика система. Утврђиван је степен искоришћења под различитим режимима рада, као и утицај промене температуре на ниво буке и вибрација. Анализирани су кључни параметри као што су степен преноса, број обртаја, ниво уља и оптерећење, чиме је добијен прецизан увид у понашање преносника под разним условима, потврђујући важност експерименталног приступа у оцени поузданости конструкције.

Анализа експерименталних резултата показује да се највећи степен искоришћења преносника постиже у четвртом степену преноса, што одговара најмањој вредности преносног односа. Овај налаз потврђује општеприхваћени тренд у машинству: ефикасност преноса се повећава са смањењем преносног односа. То практично значи да се боље карактеристике постижу преласком у виши степен преноса. Ова директна корелација наглашава кључну везу између вредности преносног односа и укупне енергетске ефикасности преносника.

¹ Уколико публикација нема DOI број уписати ISSN и ISBN

Корелациона анализа спроведена у дисертацији јасно је демонстрирала да различити степени преноса значајно утичу на кључне радне параметре, укључујући степен искоришћења преносника, температуру, буку и вибрације. Истовремено, анализа предложених нелинеарних регресионих модела показала је изузетну адекватност. Високе вредности коефицијента детерминације (R^2) добијене за сва четири степена преноса чврсто потврђују да су ови модели високо поуздани и прецизни за одређивање степена искоришћења у свим режимима рада. Развијене математичке функције представљају прецизну апроксимацију експерименталних података и служе као поуздан алат за предиктивну анализу степена искоришћења.

На основу спроведеног истраживања, развијеног аналитичког модела, корелационе анализе, извршених мерења и детаљно анализираних експерименталних резултата, проистекли су следећи закључци:

- Највећи степен искоришћења преносника се постиже у највишем степену преноса, што одговара најмањој вредности преносног односа.
- Повећањем нивоа уља долази до пораста хидродинамичких губитака и смањује се степен искоришћења преносника. Ово је евидентно у свим анализираним случајевима, при улазним бројевима обртаја од 500 min^{-1} , 750 min^{-1} и 900 min^{-1} , где је у сва четири степена преноса степен искоришћења увек већи при минималном нивоу уља у односу на максимални. Разлике у степену искоришћења су значајне и крећу се од 0,8% до 10,3% у зависности од степена преноса и броја обртаја.
- У првом степену преноса, степен искоришћења преносника се повећава са порастом броја обртаја на улазу за сва три испитивана нивоа уља.
- У другом степену преноса, повећањем нивоа уља, хидродинамички губици постају значајнији, што узрокује да губици због трења брже доминирају у односу на ефекат повећања броја обртаја. То резултира ранијом стабилизацијом степена искоришћења при нижим излазним обртним моментима. При минималном нивоу уља стабилизација се дешава на $T_5=1,9 \text{ Nm}$, при средњем нивоу уља на $T_5=1,7 \text{ Nm}$ и при максималном нивоу уља при $T_5=1,6 \text{ Nm}$.
- У трећем степену преноса тачка стабилизације степена искоришћења се помера на још ниже вредности излазног обртног момента. За минимални ниво уља је то вредност од $T_5=1,4 \text{ Nm}$, а за средњи и максимални ниво уља $T_5=1,2 \text{ Nm}$. Иако се ефикасност преносника стабилизује, утицај броја обртаја остаје значајан. После стабилизације, степен искоришћења је и даље највећи при највећем броју обртаја, што указује да губици због трења постају доминантнији, али не поништавају у потпуности позитиван утицај већег броја обртаја.
- У четвртном степену преноса, утицај броја обртаја на степен искоришћења је доминантан за сва три нивоа уља.
- При минималном нивоу уља, за испитиване улазне бројеве обртаја 500 min^{-1} , 750 min^{-1} и 900 min^{-1} , се може закључити да у четвртном степену преноса долази до највећег пораста температуре, док је у осталим степенима преноса (првом, другом и трећем), пораст температуре знатно мањи и сличан један другом. Ово објашњава да губици који се претварају у топлоту нису само функција нивоа уља и броја обртаја, већ и специфичне конфигурације зупчаника и оптерећења унутар сваког степена преноса.
- При средњем нивоу уља, при свим испитиваним улазним бројевима обртаја, се константно понавља тренд да у четвртном степену преноса долази до највећег пораста температуре, док је најнижи пораст температуре забележен у првом степену преноса.
- При максималном нивоу уља се, на основу испитивања, може закључити да у четвртном степену преноса долази до највећег пораста температуре, док је најмањи пораст температуре забележен у другом степену преноса при улазним бројевима обртаја 500 min^{-1} и 750 min^{-1} и у првом степену преноса при 900 min^{-1} .

- Ниво буке варира у зависности од степена преноса, нивоа уља, броја обртаја и температуре. Највећи ниво буке често, али не увек, долази из четвртог, а најмањи из другог степена преноса. Овај пораст буке је често повезан са повећањем температуре. При средњем и максималном нивоу уља, први степен може имати највиши ниво буке у почетним фазама рада, али га четврти степен преноса често надмашује касније са повећањем температуре. Ово указује на комплексну везу између механичких и хидродинамичких губитака, који заједно доприносе укупној буци и загревању преносника.
- За сва три нивоа уља и при улазним бројевима обртаја 500 min^{-1} и 750 min^{-1} , највећи ниво вибрација је забележен у четвртом степену преноса, док је најмањи ниво вибрација константно у другом степену преноса. Једини изузетак од овог правила се јавља при максималном нивоу уља и улазном броју обртаја од 900 min^{-1} , где се највиши ниво вибрација премешта у први степен преноса.
- Ниво вибрација расте са повећањем температуре. Занимљиво је да се са повећањем нивоа уља, са минималног на максимални, примећује смањење нивоа вибрација при 500 min^{-1} . Ово указује на то да већа количина уља може помоћи у амортизацији вибрација, иако истовремено повећава температуру и губитке.

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

1. **Stanojević, M.**, Tomović, R., Ivanović, L., Stojanović B.: Critical analysis of design of Ravigneaux planetary gear trains, Applied Engineering Letters, Vol. 7, No. 1, pp. 32-44, 2022, ISSN: 2466-4677, <https://doi.org/10.18485/aeletters.2022.7.1.5> (**M51**).
2. **Stanojević, M.**, Stojanović, B., Đorđević, Z., Žarevac Bošković, M.: Stepен искоришћења зупчastih парова, 24. Naučni stručni skup Sistem kvaliteta uslov za uspešno poslovanje i konkurentnost, pp. 311-321, Kopaonik 18-20. maj 2022, ISBN-978-86-80164-18-2 (**M63**).
3. **Stanojević, M.**, Milojević, S., Marić, D., Stojanović, B.: Influence of Gears and Oil levels Upon Efficiency of Ravigneaux Gearset, Tehnički vjesnik, 32(6), 2048-2055, 2025, <https://doi.org/10.17559/TV-20250311002455> (**M23**).

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 мр Милана З. Станојевића, под називом „Анализа губитака снаге код вишестепеног планетарног преносника“, 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 2% идентичног текста. Први извор са којим је показано поклапање од 1% је са сајтом факултета на коме се налазе сва претходна документа кандидата који се односе на докторску дисертацију (пријава, извештаји комисија итд.). Други извор је такође приказао поклапање од 1%. Ова поклапања се односе на рад докторанда који је цитиран у дисертацији тј. рад објављен на СЦИ листи, у којем 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: планетарни преносник, губици снаге, степен искоришћења, Равињонов планетарни преносник, аутоматски мењач, 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 мр Милана З. Станојевића, под називом „Анализа губитака снаге код вишестепеног планетарног преносника“, бави се веома актуелним и значајним проблемима у области планетарних преносника снаге. Њиховом применом се могу остварити преносни односи у широком опсегу, што даје велику слободу конструкторима да успешно реше различите захтеве за пренос снаге и кретања. Ови преносници имају могућност поделе снаге са погонског на више гоњених вратила, да се примене зупчаници са мањим модулом и да се оствари висок степен искоришћења. Унутрашњи простор конструкције се може ефикасно искористити додавањем већег броја сателита око централног зупчаника. Овакав распоред омогућава пренос оптерећења преко већег броја зубаца, што смањује појединачно оптерећење сваког од њих и омогућава примену зупчаника са мањим модулом, односно са мањим димензијама.

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 вишестепеног планетарног преносника. Степен искоришћења код машина и механизма, укључујући и вишестепену планетарну преноснике, представља параметар за процену ефикасности коришћења енергије и служи као мера способности техничких система да очувају енергију током њеног преноса. Код планетарних преносника, степен искоришћења представља један од најважнијих критеријума за оцену поузданости изведене конструкције.

Повећање степена искоришћења и одређивање губитака снаге код планетарних преносника представља нови изазов још у фази развоја производа. Анализом стања досадашњих истраживања у области одређивања степена искоришћења и губитака снаге код планетарних преносника, коју је кандидат обавио при писању докторске дисертације, може се видети спроведена анализа утицаја различитих фактора на губитке снаге код планетарних преносника, што је у највећем броју случајева и верификовано добијеним експерименталним резултатима.

Независно од начина спровођења савремених истраживања (аналитичких, експерименталних или нумеричких), неопходно је направити квалитетан план експеримента, као предуслов за добијање поузданих резултата. Анализирана експериментална истраживања вишеструких планетарних преносника указују на јасне трендове усмерене ка смањењу губитака снаге и повећања степена искоришћења преносника. Детаљном анализом и прегледом доступне литературе се може уочити да је мали број истраживања у којима је спроведена свеобухватна анализа и идентификација губитака снаге, експериментално одређивање степена искоришћења за три различита нивоа уља и испитивање утицаја промене температуре на појаву буке и вибрација у мењачу.

Коначни резултати истраживања пружају свеобухватан увид у експлоатационо понашање вишестепеног планетарног преносника. Прикупљени подаци о степену искоришћења, као и о корелацији између температуре, нивоа вибрација и буке, представљају значајан допринос разумевању рада и оптимизацији ових система. Ови налази могу послужити као основа за даља истраживања у области пројектовања и експлоатације планетарних преносника.

Као практичан резултат овог истраживања, кандидат је креирао специјализовани софтверски алат који омогућава брз и прецизан прорачун укупних губитака, чиме се значајно доприноси оптимизацији и развоју ефикаснијих система преноса снаге. Експериментална валидација софтверског модела показала је изузетно подударње, са максималним одступањем од 6,19% између прорачуног и експериментално добијеног степена искоришћења. Овај низак ниво грешке не само да у потпуности задовољава инжењерске стандарде, већ и чврсто потврђује адекватност, тачност и поузданост аналитичких основа уграђених у програм.

Корелациона анализа, коју је кандидат спровео у дисертацији јасно је демонстрирала да различити степени преноса значајно утичу на кључне радне параметре, укључујући степен

искоришћења преносника, температуру, буку и вибрације. Истовремено, анализа предложених нелинеарних регресионих модела показала је изузетну адекватност. Високе вредности коефицијента детерминације (R^2) добијене за сва четири степена преноса чврсто потврђују да су ови модели високо поуздани и прецизни за одређивање степена искоришћења у свим режимима рада. Развијене математичке функције представљају прецизну апроксимацију експерименталних података и служе као поуздан алат за предиктивну анализу степена искоришћења.

Овим истраживањем и изработом докторске дисертације, аутор је дао значајан допринос у неколико кључних области:

- Извршен је прорачун и израда комплетне техничке документације на основу које је извршена израда вишестепеног планетарног преносника са пет степени преноса и једним степеном за ход уназад. Поред развоја Равињоновог планетарног преносника, било је неопходно и изградити оригинално конструкционо решење за компоненте неопходне за промену степена преноса и заустављање појединих елемената планетарног преносника.
- Да би се верификовала ефикасност новопроектираног планетарног преносника, спроведено је експериментално одређивање степена искоришћења. Експерименти су омогућили прецизно одређивање степена искоришћења и анализу кључних фактора као што су степен преноса, број обртаја, ниво уља у преноснику, оптерећења и вредности сила кочења.
- Експерименталном анализом је показано да се максимални степен искоришћења преносника постиже у највишем степену преноса, што је у директној корелацији са најмањом вредношћу преносног односа. Ово откриће представља кључни налаз истраживања, јер дефинише оптималне радне услове за постизање највеће ефикасности преносника.
- Анализом је недвосмислено утврђено да повећање нивоа уља директно доводи до пораста хидродинамичких губитака, што резултира смањењем степена искоришћења.
- Потврђено је да пораст температуре смањује вискозност уља, што директно доводи до повећања нивоа вибрација.

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 мр Милана З. Станојевића, под називом „Анализа губитака снаге код вишестепеног планетарног преносника“ одговара теми дисертације одобрене одлуком број 01-1/145-22 од 23.01.2025. године од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу, број IV-04-69/7 од 19.02.2025. 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 мр Милан З. Станојевић 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 „Анализа губитака снаге код вишестепеног планетарног преносника”, кандидата **мр Милана З. Станојевића**, предлага надлежним стручним органима да се докторска дисертација прихвати и да се одобри њена одбрана.

Чланови комисије:

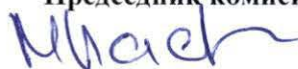


др Лозица Ивановић, редовни професор

Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу

Машинске конструкције и механизација

Председник комисије



др Мирко Благојевић, редовни професор

Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу

Машинске конструкције и механизација

Члан комисије

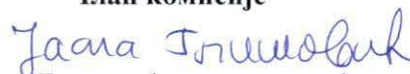


др Зорица Ђорђевић, редовни професор

Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу

Машинске конструкције и механизација

Члан комисије



др Јасна Глишовић, редовни професор

Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу

Моторна возила и мотори

Члан комисије



др Александар Маринковић, редовни професор

Машински факултет Универзитета у Београду

Опште машинске конструкције

Члан комисије