

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

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

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата
Александра Скулића, дипломираног машинског инжењера

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-32/11 од 25.01.2023. године, на предлог Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу (одлука број 01-1/4581-11 од 22.12.2022. године), именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Александра Скулића, дипломираног машинског инжењера, под насловом:

**„ИДЕНТИФИКАЦИЈА ОПТИМАЛНИХ ВРЕДНОСТИ СТЕПЕНА
ИСКОРИШЋЕЊА ПУЖНИХ ЗУПЧАСТИХ ПРЕНОСНИКА“**

На основу увида у приложену докторску дисертацију и извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације, која је одобрена за израду Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу број 01-1 /2139-5 од 20.06.2019. године и одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-579/9 од 10.07.2019. године, на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Комисија подноси Наставно-научном већу следећи:

ИЗВЕШТАЈ

1. Опис докторске дисертације

Један од главних циљева научне и инжењерске активности, између осталог, представља уштеда енергије и заштита животне средине. Зупчасти преносници снаге као трибомеханички системи су посебно значајни у остварењу рационалне потрошње енергије. Један од директних начина за смањење енергетских губитака јесте смањење трења између спрегнутих зубаца зупчаника. Поред трења у спрези зубаца зупчаника, трење се јавља у лежајима, заптивкама и помоћној опреми. Последице појаве трења код зупчастих преносника су губици снаге и мањи степен искоришћења, хабање и остала оштећења елемената преносника, његово загревање, појава вибрација и буке и скраћење радног века.

Пужни преносници као хиперболоидни зупчasti парови чије се осе мимоилазе карактеришу се линијским контактом зубаца пужа и пужног зупчаника, који је праћен релативно великим трењем клизања између спрегнутих елемената. Релативно велико клизање доводи до губитка енергије и развоја велике количине топлоте, што условљава низак степен искоришћења пужних преносника. То представља један од њихових највећих недостатака. Међутим, многобројна истраживања у овој области, која су спроведена последњих година, указују на знатна побољшања степена искоришћења пужних преносника. Тако постоје решења са степеном искоришћења изнад 90% , што се може постићи повољним избором конструкционе концепције, геометрије, материјала пужних парова и поступка подмазивања.

Докторска дисертација кандидата Александра Скулића обрађује проблеме који су веома актуелни и имају вишеструки значај у области преноса снаге. У дисертацији је дат детаљан приказ досадашњих истраживања која се баве анализом различитих утицајних фактора на степен искоришћења зупчастих преносника снаге, од којих је већина потврђена експерименталним резултатима. Такође је дат и приказ актуелних истраживања из области оптимизације зупчастих преносника са циљем смањења губитака снаге, масе преносника, буке и вибрација, односно повећања носивости и радног века.

Главни део докторске дисертације чине експериментална испитивања која су спроведена у две фазе. У првој фази су извршена испитивања степена искоришћења пужног преносника на уређају АТ200 који се налази у Лабораторији за испитивање механичких преносника снаге на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Вредности степена искоришћења су одређене за различите експерименталне услове варирањем релевантних утицајних фактора (броја обртаја, вискозности уља и оптерећења). За испитивање су коришћена три пужна пара са пужевима израђеним од челика за побољшање 42CrMo4 и пужним зупчаницима израђеним од различитих материјала (калајна бронза CuSn12, цинк-алуминијумска легура ZA12 и алуминијумска легура A356). На основу добијених резултата, извршен је прорачун губитака снаге у спрези зупчаника, лежајима и заптивкама вратила, као и прорачун коефицијента трења између спрегнутих зубаца зупчаника. Извршена је и анализа хабања пужних зупчаника након одређеног периода испитивања.

У другој фази извршена су триболошка испитивања контактних парова на компјутерски подржаном трибометру TPD 95 са контактном геометријом блок на диску. Ова испитивања су обављена у Лабораторији за трибологију на Машинском факултету Универзитета у Београду. Блокови су били израђени од истог материјала као и пуж, а дискови су били израђени од материјала од којих су били израђени пужни зупчаници. Током испитивања одређене су вредности коефицијента трења контактних парова.

Према резултатима експерименталних испитивања креиран је математички модел којим се најбоље апроксимирају вредности степена искоришћења. Оптимизација датог математичког модела извршена је применом генетског алгоритма (енг. „genetic algorithm-GA“) и алгоритма за оптимизацију ројем честица (енг. „particle swarm

optimization – PSO“), док је предвиђање вредности степена искоришћења извршено применом вештачке неуронске мреже (енг. „artificial neural networks – ANN“). Резултати добијени процесом оптимизације и предвиђања су упоређени са експерименталним резултатима, при чему је утврђена грешка датог математичког модела. Изведени су закључци и дате препоруке за будућа истраживања.

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

Докторска дисертација кандидата Александра Скулића, дипломираног машинског инжењера, под насловом „**Идентификација оптималних вредности степена искоришћења пужних зупчастих преносника**“, представља резултат оригиналног научно-истраживачког рада кандидата у области која се односи на губитке снаге, степен искоришћења и примену метода оптимизације код зупчастих преносника снаге.

Анализом доступних литературних извора може се закључити да губици снаге који се јављају у зупчастом преносу варирају у широким границама које зависе од многобројних утицајних фактора. Ови губици се исказују преко степена искоришћења који представља битан показатељ квалитета преносника, тј. који говори о очувању енергије. Фактори који имају значајан утицај на степен искоришћења су, пре свих врста материјала од ког су израђени пуж и пужни зупчаник, геометрија пужног пара, услови рада преносника (обимна брзина и оптерећење), врста и вискозност уља за подмазивање и радна температура. Највећи губици снаге се јављају услед трења у спрези зубаца пужа и пужног зупчаника, затим у лежајима и заптивкама вратила. Такође се дошло до закључка да се мали број истраживања бави применом различитих материјала за израду пужних парова и анализом њиховог утицаја на губитке снаге и степен искоришћења преносника.

Кандидат је извршио детаљан преглед стања развоја и истраживања у овој научној области, користећи се научним резултатима компетентних истраживача. Урадио је детаљну анализу и систематизацију тако добијених података са циљем дефинисања фактора који имају значајан утицај на степен искоришћења преносника и примене нових материјала за израду пужних парова, а који су предмет истраживања ове докторске дисертације.

Значај и допринос ове дисертације огледају се у чињеници да је кандидат извршио упоредну анализу релевантних утицајних фактора на степен искоришћења тј. губитке снаге преносника кроз многобројна експериментална испитивања. За потребе истраживања конструисан је и израђен једноступени пужни преносник, што представља практични допринос ове докторске дисертације. Резултати истраживања показују да разматрани фактори (врста материјала спрегнутих зупчаника, број обртаја, оптерећење и вискозност уља за подмазивање) имају значајан утицај на степен искоришћења преносника. Највећи утицај на степен искоришћења је имала врста материјала спрегнутих зупчаника, што указује да би фокус будућих истраживања у овој области могао да буде у области материјала који се користе за израду пужних парова.

Суштински допринос ове дисертације се огледа у примени нових материјала са цинк-алуминијумском и алуминијумском основом за израду пужних зупчаника. Резултати добијени проучавањем триболошког понашања и степена искоришћења пужних преносника израђених од ових материјала су од велике важности због могућности њихове примене за производњу нових елемената преносника.

У дисертацији је развијен математички модел који је креиран на основу експерименталних резултата. Оптимизацијом датог математичког модела одређена је комбинација утицајних фактора којом се остварује максимална (оптимална) вредност степена искоришћења преносника. Модел се одликује великом поузданошћу и може се применити за предвиђање вредности степена искоришћења пужних преносника и за услове који нису обухваћени експериментом.

На основу свега наведеног, Комисија сматра да резултати и закључци ове дисертације имају велики значај и допринос и да отварају простор за даља истраживања у овој научној области. Спроведена анализа и развијена методологија имају велики потенцијал и могу допринети већој и значајнијој практичној примени нових материјала за израду пужних зупчаника. Тиме се у великој мери може утицати на смањење енергетских губитака, масе преносника, трења између спрегнутих зубаца зупчаника, хабања, као и на повећање носивости преносника.

3. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Александра Скулића под насловом „**Идентификација оптималних вредности степена искоришћења пужних зупчастих преносника**“, представља резултат оригиналног научно-истраживачког рада у актуелној научној области. Један од аспеката оригиналности докторске дисертације јесте провера на плагијаризам помоћу софтвера iThenticate где је идентификовао укупно 5% идентичног текста. Кандидат је тему обрадио студиозно детаљном анализом теоретских основа и доступних научно-истраживачких радова који се баве датом проблематиком. Извршен је велики број експерименталних испитивања са детаљним приказом и тумачењем добијених резултата. У погледу предмета истраживања и добијених експерименталних и нумеричких резултата може се закључити да ова докторска дисертација представља јединствен научни рад.

Оригиналност научног рада, истраживања и резултата остварених у оквиру докторске дисертације огледају се у следећем:

- Предложена је процедура експерименталних испитивања степена искоришћења преносника кроз идентификацију и анализу релевантних утицајних фактора;
- Примењени су нови материјали за израду пужних зупчаника (материјали са цинк-алуминијумском и алуминијумском основом) и одређен њихов утицај на губитке снаге и степен искоришћења преносника;
- Извршена су триболошка испитивања материјала коришћених за израду пужних парова, при чему је извршено поређење нових материјала са конвенционалним и идентификован материјал са најбољим триболошким карактеристикама;

- Креиран је математички модел за предвиђање вредности степена искоришћења пужног преносника који се може применити и за услове испитивања који нису обухваћени експериментом;
- Применом одговарајућих метода оптимизације одређена је комбинација утицајних фактора помоћу којих се добија оптимална (максимална) вредност степена искоришћења преносника;
- Креирана је трослојна вештачка неуронска мрежа, на основу релевантних утицајних фактора, према којој се предвиђају вредности степена искоришћења преносника.

4. Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

4.1 Биографија кандидата

Александар Скулић, дипломирани машински инжењер, рођен је 24. новембра 1979. године у Скопљу, Република Северна Македонија. Основно образовање стекао је у Основној школи „Пеко Тепавчевић“ у Урошевцу. Средњошколско образовање стекао је 1998. године у Техничкој школи „Никола Тесла“ у Урошевцу са одличним успехом у сва четири разреда. Исте године уписао је Вишу техничку школу у Урошевцу коју је завршио 2001. године у Звечану, где је школа имала привремено седиште, са општим успехом 8,78.

Факултет техничких наука у Косовској Митровици уписао је школске 2001/2002. године на смеру Производно машинство. Током студирања остварио је просечну оцену 8,31; а завршни рад под називом „Заштита и ограничење од преоптерећења ексцентар преса“, је одбранио 2006. године са оценом 10.

Докторске академске студије уписао је школске 2014/2015. године на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, на студијском програму Машинско инжењерство. Положио је све испите предвиђене наставним планом и програмом докторских академских студија са просечном оценом 9,67 и одобрена му је израда докторске дисертације под насловом „Идентификација оптималних вредности степена искоришћења пужних зупчастих преносника“ под менторством др Блаже Стојановића, редовног професора.

У периоду од 2007. до 2013. године био је запослен у Техничкој школи Вучитрн у Косовској Митровици. Током рада у школи учествовао је на бројним семинарима стручног усавршавања и стицања звања наставника. Од 2011. до 2013. године радио је на Високој техничкој школи струковних студија из Урошевца са привременим седиштем у Звечану као хонорарни сарадник. Звање наставника практичне наставе стекао је 2013. године на Високој техничкој школи струковних студија из Урошевца са привременим седиштем у Лепосавићу. Поновни избор кандидата у звање наставника практичне наставе, у трајању од пет године, био је 2017. године на истој установи. У том периоду био је ангажован у планирању и извођењу аудиторних и лабораторијских вежби из следећих наставних предмета: Статика, Кинематика и динамика, Отпорност материјала, Бука и вибрације, Машински елементи, Машинска обрада, Моторна возила и Одржавање техничких система.

4.2 Референце кандидата

Кандидат Александар Скулић је као аутор или коаутор објавио 19 научно-стручних радова у домаћим и међународним часописима и конференцијама. Међу објављеним радовима истичу се 3 рада у часописима са SCI листе од којих је један цитиран у докторској дисертацији. Објављени радови кандидата су следећи:

Рад у истакнутом међународном часопису (категорија M22)

1. Anicic, O., Jović, S., Aksić, D., **Skulić, A.**, Nedić, B. Machining process influence on the chip form and surface roughness by neuro-fuzzy technique. Applied physics A - Materials science and processing, Vol.123, No.284, pp. 1-9, ISSN: 0947-8396, <https://doi.org/10.1007/s00339-017-0915-4>, 2017.

Рад у међународном часопису (категорија M23)

1. Jović S., **Skulić A.**, Lazarević M. Analysis of the Laser Forming of Shaped Surfaces Using the Adaptive Neuro-Fuzzy Technique. Lasers in Engineering, Vol.40, No.4-6, pp. 333-340, ISSN: 0898-1507, 2018.
2. **Skulić, A.**, Milojević, S., Marić, D., Ivanović, L., Krstić, B., Radojković, M., Stojanović, B. The Impact of Lubricant Viscosity and Materials on Power Losses and Efficiency of Worm Gearbox. Tehnički vjesnik, Vol.29, No.6, pp. 1853-1860, ISSN 1330-3651, <https://doi.org/10.17559/TV-20220207092015>, 2022.

Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (категорија M24)

1. Todić, A., Čikara, D., Lazić, V., Todić, T., Čamagić, I., **Skulić, A.** Čikara, D. Examination of Wear Resistance of Polymer – Basalt Composites. Tribology in Industry, Vol.35, No.1, pp. 36-41, ISSN: 0354-8996, 2013.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (категорија M33)

1. Stojanović, B., Veličković, S., Ristić, M., Jovanović, S., **Skulić, A.** Influence of torque variation on stress of timing belt. 3th International Scientific Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications (COMETA 2016), East Sarajevo - Jahorina, B&H, 7th-9th December, pp. 123-130, ISBN: 978-99976-623-7-8, 2016.
2. Radosavljević S., Stojanović B., **Skulić A.** Determination of power losses in worm gear reducer. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, The 10th International Symposium Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering (KOD 2018), 6th–8th June 2018, Novi Sad, Serbia, Vol.393, No.012050, Doi: 10.1088/1757-899X/393/1/012050, ISSN:1757-899X, 2018.
3. Radojković, M., Kokić Arsić, A., Čamagić, I., **Skulić, A.** The analysis of impact of square opening on stress distribution. 13th DQM International Conference (DQM-POLYTECH-2022), Life cycle engineering and management, Prijedor, Serbia, 23th and 24th June, pp. 252-256, ISBN: 978-86-86355-48-5, 2022.

4. Miladinovic, S., Gajević, S., Ivanović, L., **Skulić, A.**, Stojanović, B. A review of hypereutectic aluminum piston materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IX International Congress Motor Vehicles and Motors (MVM 2022) 13/10/2022 - 14/10/2022 Kragujevac, Serbia, Vol.1271, No.012012, Doi: 10.1088/1757-899X/1271/1/012012, ISSN:1757-899X, 2022.
5. Stojanović, B., Vencl, A., **Skulić, A.**, Miladinović, S., Gajević, S. Influence of materials on the efficiency of worm gear transmission. 6th International Scientific Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications (COMETA 2022), East Sarajevo, Jahorina, B&H, 17th-19th November, pp. 402-409, ISBN: 978-99976-947-6-8, 2022.

Рад у водећем часопису националног значаја (категорија М51)

1. Pejović, B., Todić, A., **Skulić, A.** Jedan način uspostavljanja analogije između samoizazvanih oscilacija kod mašina alatki i električnih sistema. IMK 14- Istraživanje i razvoj, Vol.16, No.1, pp. 77-81, ISSN: 0354-6829, 2010.
2. Pejović, B., Todić, A., **Skulić, A.** Grafička konstrukcija karakterističnih dijagrama kod istraživanja funkcije intenziteta habanja alata. IMK 14- Istraživanje i razvoj, Vol.16, No.2, pp. 11-16, ISSN: 0354-6829, 2010.
3. **Skulić, A. D.**, Pejović, B. B., Todić, T. N., Čamagić, I. R., Mičić, V. M. Methods and devices for registration of road microprofiles. Tehnika, Vol.71, No.5, pp. 697-701, ISSN: 0040-2176, Doi:10.5937/tehnika1605697S, 2016.

Рад у часопису националног значаја (категорија М52)

1. Stojanović, B., Milanović, I., Milojević, S., **Skulić, A.**, Janjić, R.. The impact of the pre-tensioning on the load distribution of timing belt drives. Tehnička dijagnostika, Vol.13, No.4, pp.7-14, ISSN: 1451-1975, 2014.
2. **Skulić, A.**, Todić, A., Pejović, B., Todić, T., Čamagić, I., Mičić, V. Metode i uređaji za registrovanie mikroprofila puta. Tehnička dijagnostika, Vol.14, No.4, pp. 62-66, ISSN 1451-1975, 2015.

Рад у научном часопису (категорија М53)

1. **Skulić, A.**, Krsmanović, D., Radosavljević, S., Ivanović, L., Stojanović, B. Power losses of worm gear pairs. Acta Technica Corvininensis-Bulletin of Engineering, Vol.10, No.3, pp. 39-45, ISSN: 2067-3809, 2017.
2. **Skulić, A.**, Stojanovic, B., Radosavljević, S., Velickovic, S. Experimental determination of worm gearing efficiency. Applied Engineering Letters, Vol.4, No.4, pp. 115-119, ISSN: 2466-4847, Doi: 10.18485/aeletters.2019.4.4.2, 2019.

Домаћи научни часопис који се први пут категоризује (категорија М54)

1. **Skulić, A.**, Bukvić, M. Tribological properties of piston - cylinder set in internal combustion engines. Applied Engineering Letters, Vol.1, No.1, pp. 29-33, ISSN: 2466-4677, 2016.

2. Miladinović, S., Radosavljević, S., Veličković, S., Atyat, R., **Skulić, A.**, Šljivić, V. Optimization of efficiency of worm gear reducer by using Taguchi-Grey method. Applied Engineering Letters, Vol.2, No.2, pp. 69-75, ISSN: 2466 - 4847, 2017.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (категорија M63)

1. Živković, D., **Skulić, A.** Određivanje statičkih veličina nosača u Mathcad – u 14. Zbornik radova – Visoka tehnička škola strukovnih studija Uroševac, Zvečan, No.2, pp. 62- 69, ISSN: 2217-4362, 2012.

5. Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

Докторска дисертација кандидата Александра Скулића под насловом „Идентификација оптималних вредности степена искоришћења пужних зупчастих преносника“, по обиму и садржају одговара прихваћеној теми од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу. По квалитету, обиму и резултатима истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове за израду докторских дисертација.

Докторска дисертација је написана на 172 стране, при томе садржи 99 слика, 49 табела, при чему је цитирано 127 библиографских података. Дисертацију чини једанаест поглавља којима претходе резиме рада на српском и енглеском језику и садржај рада. Претходно поменута поглавља су наведена према следећем редоследу:

1. Увод;
2. Преглед досадашњих истраживања;
3. Пужни зупчасти преносници;
4. Теоријска истраживања триболошких процеса зупчастих преносника снаге;
5. Динамика пужних зупчастих преносника и критеријуми прорачуна носивости;
6. Експериментална истраживања;
7. Резултати експерименталних истраживања;
8. Анализа резултата;
9. Оптимизација и предвиђање степена искоришћења;
10. Закључак;
11. Литература.

У првом поглављу докторске дисертације дата су уводна разматрања о зупчастим преносницима снаге, њиховој примени, основној подели, као и о предностима и недостацима у поређењу са другим преносницима. Ово поглавље садржи и уопштени приказ садржаја докторске дисертације.

Друго поглавље представља детаљан приказ доступних литературних извора из области губитака снаге, степена искоришћења и оптимизације зупчастих преносника снаге, са посебним освртом на пужне зупчасте преноснике. Између осталог, у овом поглављу су представљени предмет и основни циљеви истраживања докторске дисертације.

У трећем поглављу су дате теоријске основе пужних зупчастих преносника. Приказани су основни облици пужних парова, њихове геометријске и кинематске величине, могућност конструкционог извођења, материјали који се користе за израду пужних парова и поступци израде.

Четврто поглавље представља теоријске основе о триболошким процесима као основним узрочницима оштећења зубаца зупчаника и отказа преносника у целини. У овом поглављу је дат приказ најчешћих врста хабања зубаца зупчаника које се могу јавити у експлоатацији, затим приказ различитих врста мазива за подмазивање, њихова класификација, начин избора, као и температурни интервал употребе мазива за пужне зупчасте преноснике.

У петом поглављу је анализирана носивост цилиндричних пужних преносника. Дате су теоријске основе које се односе на степен искоришћења и губитке снаге пужног преносника са детаљним приказом начина прорачуна. Ово поглавље садржи и поступак прорачуна носивости пужних парова према различитим критеријумима.

У шестом поглављу је дат приказ опреме за испитивање степена искоришћења и опреме за триболошка испитивања са детаљним планом извођења експеримента. Ово поглавље садржи и податке о основним геометријским карактеристикама опитних пужних парова, материјалима од којих су израђени и њиховим механичким карактеристикама, као и податке о уљима која се користе за подмазивање.

У седмом поглављу су приказани резултати експерименталних испитивања која су спроведена у две фазе. Резултати прве фазе односе се на испитивање степена искоришћења преносника са пужним паровима израђеним од различитих материјала. Вредности степена искоришћења преносника су одређене варирањем четири различите вредности броја обртаја, пет нивоа оптерећења (излазних обртних момената) и четири уља различитих вискозности. На основу експерименталних података приказан је ток прорачуна губитака снаге у спрези зупчаника, лежајима, заптивкама вратила, као и прорачун коефицијента трења између спрегнутих зубаца зупчаника. Поред тога, праћена је величина хабања пужних зупчаника која је одређена мерењем њихове масе пре и након одређеног периода испитивања. Резултати друге фазе испитивања односе се на одређивање коефицијента трења кроз триболошка испитивања контактних елемената израђених од различитих материјала. При томе су дефинисани услови испитивања који одговарају условима рада пужног преносника са циљем избора материјала са најбољим триболошким карактеристикама. Добијени резултати обе фазе експерименталних испитивања су приказани уз пратећа објашњења и тумачења.

У осмом поглављу је извршена упоредна анализа и дискусија добијених резултата. Разматран је утицај вискозности мазива, обимне брзине, оптерећења (излазног обртног момента) и материјала спрегнутих зупчаника на степен искоришћења преносника, губитке снаге и коефицијент трења пужних парова. При упоредној анализи резултата дат је дијаграмски приказ зависности степена искоришћења, губитака снаге и коефицијента трења од излазног обртног момента. Разматран је и утицај врсте материјала (легури CuSn12, ZA-12 и A356) на величину хабања пужног зупчаника, као и на коефицијент трења контактних елемената. Сви резултати су детаљно анализирани.

У деветом поглављу су описане методе које су коришћене за оптимизацију и предвиђање вредности степена искоришћења пужног преносника. На основу експерименталних података креиран је математички модел за предвиђање степена искоришћења који се одликује високом поузданошћу. Извршена је оптимизација датог математичког модела применом генетског алгорита и алгорита за оптимизацију ројем честица. У овом поглављу је извршено и предвиђање степена искоришћења применом вештачке неуронске мреже. Резултати оптимизације су упоређени са експерименталним подацима при чему је утврђена грешка математичког модела. Анализом резултата добија се јасна слика о проблему који је дефинисан циљевима дисертације.

У десетом поглављу, кроз закључна разматрања, анализирани су добијени резултати, приказана је оптимална комбинација утицајних фактора којом се добија максимална вредност степена искоришћења и наведени су могући правци даљих истраживања.

У последњем једанаестом поглављу је дат приказ библиографских података који су коришћени у овом раду.

На крају, у прилогу докторске дисертације, дат је табеларни приказ резултата експерименталних испитивања за пужни пар израђен од материјала 42CrMo4/CuSn12 и табеларни приказ података потребних за прорачун носивости пужног преносника и израду математичког модела.

На основу свега наведеног, Комисија сматра да докторска дисертација по обиму истраживања и квалитету добијених резултата у потпуности испуњава постављене циљеве и одговара пријављеној теми дисертације.

6. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат Александар Скулић, дипломирани машински инжењер, је у оквиру докторске дисертације извршио систематску анализу постојећих знања и искустава из области степена искоришћења, губитака снаге и оптимизације пужних зупчастих преносника. У току израде дисертације кандидат је извршио многобројна испитивања и дошао до резултата и закључака који су значајни како у научном, тако и у практичном смислу.

Најважнији резултати докторске дисертације су:

- Детаљан преглед стања истраживања у области степена искоришћења, губитака снаге и оптимизације пужних преносника;
- Извршена је конструкција и израда пужног редуктора и пужних парова за потребе експерименталних истраживања. Конструкционо решење преносника омогућава једноставну монтажу и демонтажу његових елемената, што омогућава испитивање пужних парова израђених од различитих материјала;
- Утврђен је утицај релевантних фактора на степен искоришћења пужног преносника, губитке снаге, као и на коефицијент трења између спрегнутих зубаца зупчаника;

- Развијена је методологија за прорачун губитака снаге пужног преносника на основу експерименталних података, тако да је добијена реална слика о овим губицима;
- Извршена је анализа процеса хабања пужних зупчаника кроз одређивање губитка масе након одређеног времена испитивања;
- Извршена су и додатна триболошка испитивања и одређене вредности коефицијента трења контактних елемената израђених од материјала који су исти као и материјали пужних парова, при чему је идентификован материјал са најбољим триболошким карактеристикама;
- Изведен је закључак да врста материјала пужног зупчаника има највећи утицај на степен искоришћења, тако да се кроз адекватан избор материјала пужног пара знатно могу смањити енергетски губици;
- Развијен је математички модел којим се дефинише степен искоришћења у зависности од утицајних фактора, чиме се олакшава предвиђање степена искоришћења преносника у експлоатацији;
- Оптимизацијом математичког модела применом генетског алгоритма и алгоритма за оптимизацију ројем честица одређена је комбинација утицајних фактора којом се добија оптимална вредност степена искоришћења;
- Предвиђене вредности степена искоришћења преносника на основу претходно дефинисаних утицајних фактора је извршено применом вештачке неуронске мреже, при чему је установљена велика подударност са експерименталним подацима.

7. Примењивост резултата у теорији и пракси

Резултати докторске дисертације кандидата Александра Скулића, дипломираног машинског инжењера, под насловом, „**Идентификација оптималних вредности степена искоришћења пужних зупчастих преносника**“, применљиви су и корисни, како у теорији, тако и у пракси.

Проблематика разматрана у оквиру ове дисертације је од изузетног значаја при пројектовању и изради пужних зупчастих преносника. Могућност примене нових материјала за израду пужних зупчаника и замена конвенционалних, је веома важна са аспекта смањења масе преносника, нижих енергетских губитака, повољнијих услова трења и хабања, односно продужетка радног века.

Добијени експериментални резултати у дисертацији су презентовани тако да се могу веома лако упоређивати са другим резултатима из дате области истраживања. Поред утицајних фактора који су разматрани у оквиру дисертације, применом развијених метода оптимизације могуће је анализирати и друге релевантне факторе и одредити њихов утицај на губитке снаге и степен искоришћења пужних зупчастих преносника. Развијени математички модел се одликује великом поузданошћу и може да се примени за предвиђање степена искоришћења пужних преносника у оквиру

презентованих услова испитивања. Предложена методологија експерименталних испитивања и оптимизације је веома значајна јер се може применити и на друге области истраживања зупчастих преносника снаге, као и у њиховој индустријској производњи.

8. Начин презентовања резултата научној јавности

Кандидат је у дисертацији дао систематичан и детаљан приказ добијених резултата који су проистекли као резултат спроведених експерименталних испитивања. Део научних резултата је већ верификован објављивањем научно-стручних радова у међународним и домаћим часописима, као и на међународним научним конференцијама.

Комисија сматра да истраживања и необјављени резултати ове докторске дисертације представљају обиман и користан материјал за даљу публикацију радова у међународним и домаћим часописима и конференцијама у области зупчастих преносника снаге, оптимизације, трибологије и развоја нових материјала за израду пужних парова.

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Докторска дисертација кандидата Александра Скулића, дипломираног машинског инжењера, под насловом „**Идентификација оптималних вредности степена искоришћења пужних зупчастих преносника**“, одговара прихваћеној теми од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу и Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу.

Кандидат је у приказу свог рада користио одговарајућу методологију излагања, која је у складу са универзитетским нормама.

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 и поседује способности системског приступа и коришћења литературе. При томе је, користећи своје професионално образовање, показао способност да сложеној проблематици приступи свеобухватно, у циљу добијања конкретних и примењивих резултата.

С обзиром на актуелност проблематике која је обрађена и остварене резултате, чланови Комисије сматрају да кандидат Александар Скулић, дипломирани машински инжењер, 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.


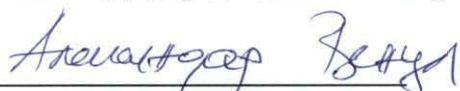
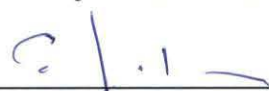


На основу свега наведеног, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Александра Скулића, дипломираног машинског инжењера, предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да докторску дисертацију кандидата под називом:

„Идентификација оптималних вредности степена искоришћења пужних зупчастих преносника“

прихвате као успешно урађену и да кандидата позову на јавну одбрану докторске дисертације.

У Крагујевцу, Београду и Косовској Митровици
Март 2023. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

1. 
др **Лозица Ивановић**, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу; ужа научна област: Машинске конструкције и механизација, председник Комисије
2. 
др **Александар Венцл**, редовни професор, Универзитет у Београду - Машински факултет; ужа научна област: Технологија материјала - трибологија, члан Комисије
3. 
др **Срђан Јовић**, редовни професор, Универзитет у Приштини - Факултет техничких наука у Косовској Митровици; ужа научна област: Механика, члан Комисије
4. 
др **Ненад Костић**, ванредни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу; ужа научна области: Машинске конструкције и механизација, члан Комисије
5. 
др **Сандра Гајевић**, доцент, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу; ужа научна област: Машинске конструкције и механизација, члан Комисије