

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Научно-наставног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу одржаној 21.03.2019. године (број одлуке: 01-1/1019-10) и на седници Већа за техничко-технолошке науке одржаној 10.04.2019. године (број одлуке: IV-04-275/11) именовани смо за чланове Комисије за подношење извештаја за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације:

ИДЕНТИФИКАЦИЈА ОПТИМАЛНИХ ВРЕДНОСТИ СТЕПЕНА ИСКОРИШЋЕЊА ПУЖНИХ ЗУПЧАСТИХ ПРЕНОСНИКА

у научној области Машинско инжењерство и ужој научној области Машинске конструкције и механизација, кандидата Александра Скулића дипломираног машинског инжењера. На основу увида у достављену документацију Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада

У предложеном нацрту докторске дисертације кандидат је дао образложен предмет истраживања наводећи актуелност и значај истраживања у области губитака снаге и оптимизације степена искоришћења пужних зупчастих преносника.

Зупчасти преносници снаге представљају најраспрострањенију и најважнију групу механичких преносника помоћу којих се кретање, односно обртни момент преноси са једног вратила на друго и трансформише непосредним додиривањем зубаца. То су најчешће коришћени преносници снаге и кретања који могу да се примене за различите положаје улазног и излазног вратила, као и за врло широки дијапазон снага, бројева обртаја и преносних односа. Пужни преносници као хиперболоидни зупчасти парови чије се осе мимоилазе карактеришу се линијским контактом бокова зубаца пужа и пужног зупчаника који је праћен релативно великим трењем клизања између спрегнутих елемената. Релативно велико клизање доводи до стварања велике количине топлоте и губитка енергије, што условљава низак степен искоришћења пужних преносника. Такви услови спрезања, захтевају посебне мере у погледу квалитета обраде, избора материјала пужа и пужног зупчаника, а нарочито обезбеђења уљног слоја између спрегнутих бокова зубаца. Поред трења клизања у спреси пужа и пужног зупчаника, трење се јавља и у лежиштима, између зупчаника и уља, у заптивкама итд. Последице трења код пужног преносника су губици снаге, мањи степен искоришћења, хабање и оштећења елемената преносника, загревање преносника, појава вибрација и буке, скраћење радног века преносника итд.

Кандидат је представио актуелна истраживања у наведеној области и предложио је програм истраживања применом статистичких, аналитичких и експерименталних метода. Примена савремене мерне опреме и плана истраживања је у складу са савременим научним методама истраживања. Обрада експерименталних резултата, одређивање утицајних фактора на губитке снаге и оптимизација степена искоришћења пужног преносника су у циљу проналажења комбинације утицајних фактора која ће дати најбоље резултате.

Имајући у виду приказ проблема истраживања, полазне хипотезе и предложене примене научне методе истраживања, приказани нацрт докторске дисертације садржи све елементе који су потребни да би се у изради докторске дисертације дао научни допринос, значајан за даље изучавање могућности примене нових материјала за израду елемената преносника.

Веза са досадашњим истраживањима

Увидом у објављене радове у научним и стручним часописима, као и радове презентоване на међународним конференцијама може се закључити да је кандидат Александар Скулић радио истраживања везана за губитке снаге и степена искоришћења пужних зупчастих преносника. Научно-истраживачка активност кандидата припада области машинских конструкција и механизације, а уско је везана за трибологију машинских елемената. Кандидат се бавио детаљном анализом утицајних фактора на губитке снаге као и применом оптимизационих метода у циљу проналажења оптималних вредности степена искоришћења пужног зупчастог преносника. Рад у оквиру ове дисертације омогућава кандидату да реализује започета истраживања и оствари континуитет у свом истраживачком раду. Остваривање постављених циљева, поред стручног усавршавања кандидата, даће одговоре на многа питања која су већ дуго актуелна у области преноса снаге.

2. Образложење предмета, метода и циља који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке

Предмет, циљеви и хипотезе ове дисертације обухватају следеће:

Предмет истраживања ове докторске дисертације јесте испитивање и оптимизација степена искоришћења пужног зупчастог преносника и анализа утицајних фактора на губитке снаге у пужном преноснику.

Губици енергије или губици снаге у зупчастом преноснику, који се исказују преко степена искоришћења, варирају од 0,5% до преко 80% што зависи од многобројних утицајних фактора. Највећи губици снаге у пужном преноснику јављају се у спреси пужа и пужног зупчаника, затим у лежајевима, губици услед контакта уља и зупчаника, заптивкама итд. Фактори који у многоме утичу на губитке снаге, а самим тим и на степен искоришћења, су следећи: врста материјала спрегнутих зупчаника и геометрија пужног пара, обимна брзина (улазни број обртаја), врста и вискозност уља за подмазивање, оптерећење, облик пужа, температура итд.

Прегледом и истраживањем литературе уочено је да врста материјала спрегнутих елемената пужног пара има велики утицај на губитке снаге у преноснику. Приликом избора треба одабрати такву комбинацију материјала спрегнутих зупчаника која ће омогућити мање отпоре клизању, боље услове трења и хабања, мање губитке снаге и загревање преносника, чиме се омогућује висок степен искоришћења пужног пара. Најбоље триболошке карактеристике се постижу комбинацијом материјала пужа израђеног од каљеног (цементираног, побољшаног) челика са брушеним зубима и пужног зупчаника од центрифугално ливене калајне бронзе. Поред тога добре карактеристике имају и пужни зупчаници израђени од алуминијумских легура и месинга. У случају мањих брзина клизања за израду пужних зупчаника користе се перлитни сиви и нодуларни лив.

Значајан утицај на степен искоришћења имају и врста и вискозност уља за подмазивање. Да би се смањили губици снаге услед клизања, а самим тим побољшале перформансе пужног преносника, изузетно је важан правилан избор уља за подмазивање. Остварена дебљина уљног филма има битан утицај на појаву површинског замора, на трајност контактних површина и степен искоришћења зупчастог пара. Оптимално мазиво је оно које обезбеђује мало хабање зупчаника и ниске радне температуре, а тиме и дуг радни век преносника.

Геометријске карактеристике и тип пужног пара такође имају битан утицај на степен искоришћења пужног преносника. Мање вредности односа средњег пречника и осног растојања пужног пара омогућавају већи степен искоришћења, док са друге стране доводе до веће осетљивости на питинг и до великог угиба вратила пужа услед савијања. Повећањем угла завојнице пужа постиже се мањи коефицијент трења у спреси пужа и пужног зупчаника, а тиме и већи степен искоришћења. Када је у питању тип пужног пара најчешће се примењују цилиндрични пужни парови који су једноставни за израду и уградњу. Пужни парови типа ZA, ZN, ZK и ZI имају приближно исту носивост и губитке снаге и слични су у погледу стварања уљног филма између спрегнутих бокова. Повољнији облик у погледу услова подмазивања имају пужни парови типа ZC па због тога имају и већу носивост и мање губитке снаге. За експериментална испитивања биће коришћени пужни парови типа ZI из разлога што су најједноставнији за израду, монтажу и демонтажу.

Циљ овог истраживања јесте де се испита утицај различитих фактора на губитке снаге, а тиме и на величину степена искоришћења пужног преносника. За ту сврху конструисан је и израђен једностепени пужни преносник који ће се користити за експериментална испитивања. Испитивања ће се вршити према тачно дефинисаном плану експеримента на расположивој испитној опреми. Главни циљ докторске дисертације јесте примена нових материјала са цинк-алуминијумском и алуминијумском основом (ZA12 и A356) за израду пужних зупчаника као и истраживање њиховог утицаја на губитке снаге у преноснику у поређењу са стандардним материјалима. Проучавање триболошког понашања и степена искоришћења пужних преносника израђених од ових материјала јесте од велике важности због могућности њихове примене за израду пужних зупчаника. Наиме, примена нових материјала има за циљ смањење масе преносника, боље услове трења и хабања, мање губитке енергије у спреси, бољу топлотну проводљивост као и могућност њихове рециклаже.

Предмет докторске дисертације јесте идентификација оптималних вредности степена искоришћења у смислу минимизирања губитака снаге у пужном преноснику. Применом одговарајућих оптимизационих метода проналази се комбинација утицајних фактора која ће дати најбоље резултате. Скуп променљивих оптимизације биће рационално изабран и обухватиће само оне факторе чијом се променом може утицати на величину степена искоришћења пужног преносника.

Основни циљеви предложене дисертације су:

- конструисање и израда пужног преносника и пужних парова за сврху експерименталних испитивања,
- примена нових материјала за израду пужних зупчаника и истраживање њиховог утицаја на губитке снаге у пужном преноснику,
- дефинисање и израда плана експерименталних испитивања ради одређивања степена искоришћења пужног преносника на расположивој опреми,
- одређивање утицаја појединих фактора на губитке снаге и степен искоришћења пужног преносника и избор оптималне комбинације фактора,
- анализа резултата, уз анализу похабаних површина пужног пара и продуката хабања помоћу оптичког или скенирајућег електронског микроскопа,
- триболошка испитивања материјала спрегнутих зупчаника на трибометру block-on-disk, одређивање коефицијента трења и прорачун губитака снаге у преноснику,
- оптимизација степена искоришћења са циљем минимизирања губитака снаге у пужном преноснику.

Основне хипотезе предложене докторске дисертације настале су као резултат детаљног проучавања досадашњег истраживања у области губитака снаге пужних зупчастих преносника. Реализација докторске дисертације заснива се на следећим полазним хипотезама:

- Могуће је одредити утицајне факторе (врста материјала спрегнутих зупчаника, вискозност уља за подмазивање, улазни број обртаја...) на губитке снаге и степен искоришћења пужног преносника,
- Изабрани фактори имају велики утицај на степен искоришћења пужног преносника,
- Одговарајућом оптимизационом методом могуће је одредити комбинацију утицајних фактора која ће дати најбоље резултате,
- Могуће је испитати триболошке карактеристике материјала спрегнутих зупчаника и на тај начин одредити врсту мазива за различите режиме рада пужног преносника,
- Триболошким испитивањем контактних парова могуће је одредити коефицијенте трења и утврдити начин подмазивања,
- Применом расположиве опреме за испитивање степена искоришћења могуће је извршити избор нових материјала за израду пужних зупчаника,
- Након експерименталних испитивања могуће је извршити анализу похабаних површина пужног пара и продуката хабања,
- Применом нових материјала за израду пужних зупчаника могуће је смањити губитке снаге у спреси и тако утицати на повећање степена искоришћења пужног преносника,
- Ова истраживања ће дати смернице за примену нових материјала који ће се у будућности користити за израду пужних зупчаника.

Постављене хипотезе треба да дефинишу постављене правце истраживања на тему докторске дисертације. Научни циљеви су у складу са актуелним стањем у датој области на основу којих је кандидат формулисао хипотезе и предложио научне методе рада на дисертацији.

Методе истраживања

Истраживања у оквиру докторске дисертације биће изведена применом статистичких, експерименталних и аналитичких метода.

Статистичком методом ће се извршити дефинисање утицајних фактора за оптимизацију степена искоришћења пужног преносника, статистичка обрада добијених резултата и формирање базе података, процена утицаја сваког фактора на степен искоришћења као и избор најбоље комбинације фактора у циљу проналажења оптималног степена искоришћења пужног преносника.

Метода планирања експеримента користи се у сврху добијања што више информација о утицајним факторима на степен искоришћења пужног преносника. Експериментална испитивања извршиће се према дефинисаном плану експеримента на уређају АТ200 у Центру за испитивање механичких преносника на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. За реализацију експерименталних испитивања биће коришћен једностепени пужни преносник специјално конструисан и израђен за ту намену. Анализом експерименталних резултата врши се идентификовање фактора који знатно утичу на степен искоришћења пужног преносника.

Аналитичка метода ће се применити приликом прорачуна губитака снаге у пужном преноснику након извршених триболошких испитивања контактних елемената израђених од материјала пужног пара и одређивања коефицијента трења. Експериментална триболошка испитивања ће се обавити на трибометру block-on-disk уз варијацију утицајних параметара, на основу постављеног плана експеримента.

Оквирни садржај докторске дисертације

1. Увод
2. Преглед стања досадашњих истраживања из области губитака снаге и степена искоришћења пужних преносника,
3. План експерименталних испитивања,
4. Резултати експерименталних испитивања,
5. Анализа и дискусија добијених резултата,
6. Оптимизација степена искоришћења пужних преносника према одабраним критеријумима,
7. Закључана разматрања,
8. Литература,
9. Прилози.

3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације **Идентификација оптималних вредности степена искоришћења пужних зупчастих преносника** кандидата **Александра Скулића** оригинална идеја.

4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације

Кандидат Александар Скулић ће у својој дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког начина рада поштујући основне критеријуме науке и научних циљева и методе анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања. Кандидат има за циљ да детаљно провери полазне хипотезе како теоријски тако и експериментално. С обзиром на то да су циљеви истраживања проистекли из потребе да се изврши оптимизација степена искоришћења са циљем минимизирања губитака снаге у пужном преноснику, добијени резултати би представљали оригинални допринос кандидата у истраживачкој области. На основу предложене теме, може се закључити да би ова дисертација имала значајан теоријски и практичан допринос у примени нових материјала за израду пужних зупчаника, као и њиховог утицаја на смањење губитака снаге и повећање степена искоришћења пужних зупчастих преносника.

5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата

а) Кратка биографија кандидата

Кандидат Александар Скулић рођен је 24. новембра 1979. године у Скопљу, Република Македонија. Основно образовање стекао је у Основној школи "Пеко Тепавчевић" у Урошевцу. Средњешколско 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 (осам и 78/100). Факултет техничких наука у Косовској Митровици уписао је школске 2001/2002. године на смеру производно машинство. Током студирања остварио је просечну оцену 8,31 (осам и 31/100) и одбранио завршни рад 2006. године из предмета Машине и алати за обраду деформацијом под називом "Заштита и ограничење од преоптерећења ексцентар преса", са оценом 10.

Докторске академске студије уписао је школске 2014/2015. године на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу на смеру Машинске конструкције и

механизација. Положио је све испите предвиђене наставним планом и програмом докторских академских студија са општим успехом 9,67 (девет и 67/100).

У периоду од 2007-2013. године био је запослен у Техничкој школи Вучитрн у Косовској Митровици. Током рада у школи учествовао је на бројним семинарима са програмима 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 где и данас ради.

Кандидат Александар Скулић је у протеклом периоду био ангажован у планирању и извођењу вежби из наставних предмета: Статика, Кинематика и динамика, Отпорност материјала, Машински елементи, Моторна возила и Одржавање техничких система.

б) Научно - истраживачки рад

Кандидат је претходних година, као аутор или коаутор, објавио 17 научних радова у домаћим и међународним часописима и на домаћим и међународним научно - стручним конференцијама.

Објављени радови кандидата:

Радови објављени у истакнутим међународним часописима

Категорија M22

1. Aničić, 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*, 123(4), pp. 1-9, (2017). ISSN: 0947-8396

Радови објављени у међународним часописима

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*, 40(4-6), pp. 333-340. (2018). ISSN: 0898-1507.

Радови у националним часописима међународног значаја

Категорија M24

1. Todić, A., Čikara, D., Lazić, V., Todić, T., Čamagić, I., **Skulić, A.** Examination of Wear Resistance of Polymer – Basalt Composites. *Tribology in Industry*, 35(1), pp. 36-41, (2013). ISSN: 0354-8996.

Радови у врхунским часописима националног значаја

Категорија M51

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*, 34(1), str. 77-81, (2010). ISSN: 0354-6829.
2. Pejović, B., Todić, A., **Skulić, A.** Grafička konstrukcija karakterističnih dijagrama kod istraživanja funkcije intenziteta habanja alata. *IMK 14- Istraživanje i razvoj*, 35(2), str. 11-16, (2010). ISSN: 0354-6829.

3. **Skulić, A.**, Krsmanović, D., Radosavljević, S., Ivanović, L., Stojanović, B. Power losses of worm gear pairs. *Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, 10(3), pp. 39-45, (2017). ISSN: 2067-3809.

Радови у истакнутим националним часописима

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*, 13(4), pp.7-14, (2014). ISSN: 1451-1975.
2. **Skulić, A.**, Todić, A., Pejović, B., Todić, T., Čamagić, I., Mičić, V. Metode i uređaji za registrovanie mikroprofila puta. *Tehnička dijagnostika*, 14(4), str. 62-66, (2015). ISSN 1451-1975.
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*, 71(5), pp. 697-701, (2016). ISSN: 0040-2176.

Радови у домаћем научном часопису

Категорија М54

1. **Skulić, A.**, Bukvić, M. Tribological properties of piston-cylinder set in internal combustion engines. *Applied Engineering Letters*, 1(1), pp. 29-33, (2016). ISSN: 2466-4677.
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*, 2(2), pp. 69-75, (2017). ISSN: 2466-4847.

Саопштења са међународних скупова штампана у целини

Категорија М33

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, (2016). ISBN: 978-99976-623-7-8.
2. Denić, N., Vujović, V., **Skulić, A.**, Perenić, G. Effectiveness and Efficiency of Management Information Systems in Serbian Enterprises. *16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2016, Albena, Bulgaria, 30th June – 6th July*, pp. 203-210, (2016). ISSN: 1314-2704. DOI:10.5593/SGEM2016/B21/S07.027.
3. Denić, N., Vujović, V., **Skulić, A.**, Filić, S. Studius Analysis of Business Intellingence Systems in Serbian Enterprises. *16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2016, Albena, Bulgaria, 30th June – 6th July*, pp. 425-435, (2016). ISSN: 1314-2704.
4. Radosavljević S., Stojanović B., **Skulić A.** Determination of power losses in worm gear reducer. *The 10th International Conference on Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, KOD 2018, Novi Sad, Serbia, 6th-8th June*, pp. 1-8, (2018). DOI:10.1088/1757-899X/393/1/012050.

Саопштења са скупа националног значаја штампано у целини

Категорија М63

1. Živković, D., **Skulić, A.** Određivanje statičkih veličina nosača u Mathcad – u 14. *Zbornik radova - VTŠSS Uroševac*, br. 2, str. 62- 69, (2012). ISSN: 2217-4362.

На основу свега наведеног у претходним тачкама овог извештаја Комисија доноси следећи

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Александар Скулић, дипломирани машински инжењер, испунио је све предвиђене услове за одобрење израде докторске дисертације.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да наведену предложену тему за докторску дисертацију:

ИДЕНТИФИКАЦИЈА ОПТИМАЛНИХ ВРЕДНОСТИ СТЕПЕНА ИСКОРИШЋЕЊА ПУЖНИХ ЗУПЧАСТИХ ПРЕНОСНИКА

прихвати и одобри њену израду кандидату Александру Скулићу, дипл.маш.инж.

Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др Блажа Стојановић, ванредни професор Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

У Крагујевцу, Нишу и Београду, маја 2019. год.

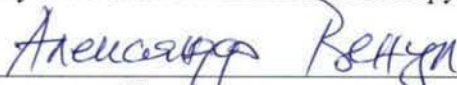
КОМИСИЈА:



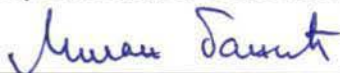
Др Лозица Ивановић, редовни професор - члан
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу,
Ужа научна област: Машинске конструкције и механизација



Др Мирко Благојевић, редовни професор - члан
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу,
Ужа научна област: Машинске конструкције и механизација



Др Александар Венцл, редовни професор - члан
Универзитет у Београду, Машински факултет,
Ужа научна област: Технологија материјала – трибологија



Др Милан Банић, доцент - члан
Машински факултет, Универзитет у Нишу,
Ужа научна област: Машинске конструкције



Др Блажа Стојановић, ванредни професор - председник комисије
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу,
Ужа научна област: Машинске конструкције и механизација