

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

На седници Наставно – научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу одржаној 21.09.2023. године (број одлуке: 01-1/3209-21) и на седници Већа за техничко – технолошке науке одржаној 18.10.2023. године (број одлуке: IV-04-775/14) којом смо одређени као чланови Комисије за подношење извештаја за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације:

**„УТИЦАЈ ДОДАВАЊА УГЉЕНИЧНИХ НАНОЦЕВИ У МАЗИВО
НА РАДНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПУЖНИХ ЗУПЧАСТИХ ПРЕНОСНИКА“**

у ужој научној области машинске конструкције и механизација кандидата Милана Буквића, дипломираног инжењера машинства. На основу података којима располажемо достављамо следећи

ИЗВЕШТАЈ

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

У предложеном нацрту докторске дисертације, кандидат је образложио предмет и циљеве рада, наводећи актуелности, значај и оправданост истраживања у области примене угљеничних наноцеви у мазивима пужних преносника снаге.

Предмет предложене докторске дисертације јесте теоријско, нумеричко и експериментално истраживање утицаја удела угљеничних наноцеви у мазиву на промену радних карактеристика пужног преносника снаге, као што су губици снаге, степен искоришћења, промена температуре, буке, вибрација и интензитета хабања код пужног преносника снаге.

Зупчasti преносници снаге представљају групу механичких преносника, која има веома широку примену. Основна намена пужних преносника снаге је да пренесу кретање где је неопходно да се осе вратила мимоилазе, као и да врше редукацију, а ређе и мултипликацију броја обртаја. Пужни преносници снаге се могу конструисати са различитим положајем вратила (пуж испод, поред и изнад пужног зупчаника), са различитим облицима, профилима и величинама зубаца, као и широким опсегом номиналних снага и преносних односа.

Услед знатних предности које имају, пужни преносници имају широко подручје примене, нарочито код краткотрајних погона. Најважнија њихова предност је велики преносни однос, који се у једном степену може остварити у дијапазону од $i = 5$ до $i = 70$. На тај начин могуће је применом погонских електромотора различитих снага остварити веома велики дијапазон излазних бројева обртаја. Пужни преносници имају и задовољавајућу носивост у поређењу са већином других зупчастих преносника снаге. Та карактеристика омогућава истовремени захват већег броја зубаца (најчешће од 2 до 4 зупца) и линијски додир спрегнутих бокова.

У односу на остале зупчасте преноснике, пужне парове карактерише појава губитака енергије због релативно великог отпора клизања и стварања велике количине топлоте. Управо због релативно великог отпора клизања и већег броја зубаца у спреси, код пужних парова се користе мекши материјали за пужне зупчанике, док се за пужеве користе тврђи материјали. Пужни зупчаник се најчешће израђује од бронзи (калајне или алуминијумске), а пуж од каљеног челика.

Као средство за подмазивање пужних парова најчешће се примењују течна мазива са минералном основом (минерална уља), која нису скупа и обезбеђују ниске коефицијенте трења и омогућавају релативно добру отпорност бокова зубаца на хабање. За подмазивање пужних преносника примењују се такође и течна мазива са синтетичком основом (синтетичка уља), као и техничке масти. Синтетичка уља генерално имају боље карактеристике у односу на минерална уља, али су скупља. Савремене нанотехнологије омогућиле су производњу и примену различитих металних и неметалних наночестица (наноадитива) у мазивима. Примена различитих врста наноадитива у мазиву утиче различито на појаве: интензитета хабања зубаца, појаву отпора клизања која доводи до стварања велике количине топлоте, као и на механизам одвођења створене топлоте.

Како би утицали на смањење губитака снаге потребно је одабрати оптималну комбинацију геометријских фактора, материјала пужног зупчастог пара, мазива и услова подмазивања, као и радних услова. Због тога је неопходно знати у којој мери ови фактори утичу на степен искоришћења, интензитет хабања и промену температуре елемената пужног преносника.

Сходно наведеном, кандидат је предложио план истраживања у наведеној области, који је у складу са савременим научним методама и техникама за истраживање, обраду и анализу добијених резултата. Коришћењем одговарајућих метода оптимизације потребно је пронаћи једну или више комбинација примене уља за подмазивање и материјала за израду елемената пужних преносника, која ће пружити најбоље резултате, уз обезбеђење константне геометрије пужа и пужног зупчаника, као и константних радних услова.

Крајњи циљ истраживања у оквиру дисертације је да се применом мазива са додатком адитива на бази угљеничних наноцеви у различитим процентуалним уделима за подмазивање пужног преносника, експериментално, аналитички и статистички истражи њихов утицај на хабање елемената преносника, утицај на губитке снаге у преноснику, промену температуре елемената преносника, интензитет буке и вибрација у поређењу са комерцијалним мазивом без додатих адитива, при различитим радним условима.

Сагледавајући проблем проучавања, полазне хипотезе и предложене научне методе истраживања (аналитичке, статистичке, нумеричке и експерименталне), приказани нацрт докторске дисертације садржи све прописане елементе који су неопходни да би се у изради докторске дисертације дао научни допринос, значајан за даљи развој научних истраживања у области примене напредне генерације мазива пужних преносника снаге. Поред научно значајних резултата, очекује се и велики допринос самој инжењерској пракси, посебно у процесу изналажења оптималних материјала за израду елемената пужних преносника, као и оптималног процентуалног удела адитива на бази угљеничних наноцеви у мазивима.

Очекивани научни доприноси и резултати дисертације су:

- Одређивање оптималног процентуалног удела угљеничних наноцеви у мазиву у циљу добијања најбољих радних карактеристика пужних преносника (смањења буке и

вибрације, бољег одвођења топлоте, мањег хабања пужног зупчаника и повећање степена искоришћења).

- Развијен математички модел који би давао опис радних карактеристика пужног преносника за широк дијапазон улазних параметара бројева обртаја и оптерећења, који би био потврђен експерименталним резултатима.
- Идентификација оптималног избора материјала за израду пужног преносника снаге на основу добијених експерименталних резултата.

Веза са досадашњим истраживањима

Сагледавањем садржаја досада публикованих радова у научним и стручним часописима, као и радова објављених на међународним конференцијама долази се до закључка да се кандидат Милан Буквић, дипл. инж. маш., бавио проучавањем радних карактеристика пужних и других преносника снаге, као проучавањем трансмисија код моторних возила, што представља добру основу за реализацију ове докторске дисертације. Поред наведеног, предложена докторска дисертација даје могућност кандидату да настави са досадашњим истраживачким радом, што поред стручног усавршавања самог кандидата има за циљ и могућност примене развијене методологије у примени мазива и различитих материјала за израду пужних преносника снаге.

Проучавањем доступне литературе и анализом садржаја до сада публикованих научних и стручних радова у области примене угљеничних наноцеви као адитива у мазивима различитих преносника снаге коју је кандидат користио при изради пријаве теме докторске дисертације, долази се до закључка да је сам предмет истраживања предложене дисертације недовољно истражен, што намеће закључак да је ова тема изузетно актуелна и значајна, како за тренутни, тако и за будући развој адитива за примену у мазивима, али и примену различитих материјала за израду пужних преносника снаге.

Као тренутно једни од најактуелнијих и највише цитираних радова из предметне области докторске дисертације, као и одлична основа за наставак научног рада кандидата Милана Буквића издвајају се следећи радови и истраживања:

(Kotnarowski A., et al. 2009¹, Liu G., et al. 2004², Pottuz L. J., et al. 2004³) приказују да додавање микро и нано честица елемената као што су бакар, волфрам, молибден и молибден дисулфид у уље за подмазивање представља врло ефикасно успостављену методу смањења трења у мотору. Експериментално је приказано да процес таложења ових супстанци на радне површине елемената, који су у контакту, доводи до смањења трења и хабања материјала.

(Cursaru D.L., et al. 2012⁴) у својој студији приказују да када се једнослојне угљеничне наноцеви (SWCNT) додају у уље за подмазивање, уочава смањење силе трења између контактних металних површина, при чему је са масеним уделом угљеничне наноцеви (CNT) од 1%, у опсегу различитих притисака, постигнут најнижи коефицијент трења од 0,08. На основу објављених резултата испитивања сила трења, може се закључити да оптимални масени удео износи 1% CNT док је већи проценат концентрације неефикасан. У исто време, промена коефицијента

¹ Kotnarowski A., *Konstituowanie Warstw Ochronnych z Nanoproszków Miedzi i Molibdenu w Procesach Tribologicznych*, Publishing House of Radom University of Technology, Radom, Poland, 2009.

² Liu G., Li X., Qin B., Xing D., Guo Y. and Fan R., Investigation of the mending effect and mechanism of copper nanoparticles on a tribology stressed surface, *Tribology Letters* 17, 4, 961-966, 2004.

³ Pottuz L. J., Dassenoy F., Vacher B., Martin J. M. and Mieno T., Ultralow friction and wear behavior of Ni/Y-based single wall carbon nanotubes (SWNTs), *Tribology International* 37, 11-12, 1013-1018, 2004.

⁴ Cursaru D. L., Andronescu C., Pirvu C. and Ripeanu R., The efficiency of Co-based single-wall carbon nanotubes (SWNTs) as an AW/EP additive for mineral base oils. *Wear*, 290-291, 133-139, 2012.

трења, утврђена за ограничену масену концентрацију CNT на 0,5%, показује значајно смањење сила трења тек после великог броја циклуса испитивања на трибometру.

(Hwang Y., et al. 2011⁵) са друге стране приказују да уља са адитивима у виду наноцеви показују већи коефицијент трења од уља са адитивима са сферним наночестицама. Оваква чињеница објашњена је доказаном хипотезом у раду да наночестице обављају улогу котрљајућег (наноцеви) или кугличног лежаја (сферичне наночестице).

(Chauveau V., et al. 2011⁶, Tao X., et al. 2011⁷, Chauveau V., et al. 2012⁸) у својим радовима износе закључке да се ефикасност подмазивања јасно побољшава са смањењем величине честица које се налазе у суспензији у минералном уљу. Међутим, подмазивање је било лошије у односу на минерално уље без адитива, када је просечна величина честица у уљу била већа од неколико микрометара.

(Ettfaghi E., et al. 2011⁹) су показали да са становишта услова који владају у мотору, ефекат који се састоји од драматичног повећања дебљине уљног филма у условима ниских брзина елемената у контакту, има посебан значај у одабиру адитива у уљима. Овај ефекат је примећен за уље са концентрацијама CNT од само 0,01% до 0,1%. Проучавање утицаја CNT на реолошке параметре уља је посебно значајно, имајући у виду интензивно унутрашње трење у уљима, како оним са наноцевима, тако и у уљима са сферичним наночестицама.

(Kogovšek J., et al. 2013¹⁰, Kalin M., et al. 2012¹¹) истичу да позитиван ефекат на повећање топлотне проводљивости има додавање наночестица попут молибден дисулфида (MoS_2) и CNT, чиме уље за подмазивање показује још већу ефикасност.

(Huang Y., et al. 2013¹²) у својој студији описују структуру коју формирају CNT адитиви, где посебно истичу да адитиви SWCNT формирају „снопове“ од паралелно распоређених, суседних бочних зидова CNT. Вишеслојне угљеничне наноцеви (MWCNT) су уплетене у хаотично везани узорак укрштених влакана, који формира мрежасту конфигурацију. Број контаката који се остварују између суседних MWCNT се много повећава са повећањем дужине CNT. Дакле, веза груписане мреже дугих MWCNT је изузетно јака, где сваки контакт заједно ефективно делује као попречна веза мреже.

Осим наведених радова, истраживање у оквиру предложене теме докторске дисертације ослањаће се и на истраживања представљена у следећим литературним изворима новијег датума:

⁵ Hwang Y., Lee C., Choi Y., Cheong S., Kim D., Lee K., Lee J. and Kim H., Effect of size and morphology of particles dispersed in nano-oil on friction performance between rotating discs, *Mechanical Science and Technology* 25, 11, 2853-2857, 2011.

⁶ Chauveau V., Le Pouvoir Lubrifiant des Nanotubes de Carbone, Ph. D. Dissertation. L'Ecole Centrale de Lyon, Lyon, France, 2010.

⁷ Tao X., Jiazheng Z. and Kang X., The ball-bearing effect of diamond nanoparticles as an oil additive, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 29, 11, 2932-2937, 1996.

⁸ Chauveau V., Mazuyer D., Dassenoy F. and Cayer-Barrioz J, In situ film-forming and friction-reduction mechanisms for carbon-nanotube dispersions in lubrication. *Tribology Letters* 47, 3, 467-480, 2012.

⁹ Ettfaghi E., Ahmadi H., Rashidi A., Nouralishahi A. and Mohtasebi S. S., Preparation and properties of oil-based nanofluid from multi-walled carbon nanotubes and engine oil as nano-lubricant, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 46, 142-1058, 2013.

¹⁰ Kogovšek J., Remškar M., Mrzel A. and Kalin M., Influence of surface roughness and running-in on the lubrication of steel surfaces with oil containing MoS_2 nanotubes in all lubrication regimes, *Tribology International*, 61, 40-4, 2013.

¹¹ Kalin M., Kogovšek J. and Remškar M., Mechanisms and improvements in the friction and wear behavior using MoS_2 nanotubes as potential oil additives, *Wear*, 280-281, 36-45, 2012.

¹² Huang, Y. Y. and Terentjev, E. M., Dispersion of carbon nanotubes: Mixing, sonication, stabilization and composite properties, *Polymers* 4, 1, 275-295, 2012.

- [1] Hao L., Li P., Aljabri A., Li H., d, Liu G., Xie Z., Li T. Investigation on the tribological performance of functionalized nanoscale silica as an amphiphilic lubricant additive, *Journal of materials research and technology*, 15, 5507 – 5515, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.11.022>, 2021.
- [2] Skulic A., Milojevic 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, *Tehnicki vjesnik*, 29(6), 1853–1860, <https://doi.org/10.17559/TV-20220207092015>, 2022.
- [3] Pourpasha H., Heris S. Z., Mohammadfam Y., Comparison between multi-walled carbon nanotubes and titanium dioxide nanoparticles as additives on performance of turbine meter oil nano lubricant, *Scientific Reports*, 11(11064), 1–19 <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90625-5>, 2021.
- [4] Alghani W., Ab Karim M. S., Bagheri S., Amran N. A. M., Gulzar M., Enhancing the tribological behavior of lubricating oil by adding TiO₂, graphene, and TiO₂/graphene nanoparticles, *Tribology Transactions*, 62(3), 452–463, <https://doi.org/10.1080/10402004.2019.1573282>, 2019.
- [5] Hong F. T., Schneider A., Sarathy S. M., Enhanced lubrication by core-shell TiO₂ nanoparticles modified with gallic acid ester, *Tribology International*, 146 (106263), 1–10 <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106263>, 2020.
- [6] Sharma V., Timmons R. B., Erdemir A., Aswath P. B., Interaction of plasma functionalized TiO₂ nanoparticles and ZDDP on friction and wear under boundary lubrication, *Applied Surface Science*, 489, 372–383, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.05.359>, 2019.
- [7] Pourpasha H., Heris S. Z., Mahian O., Wongwises S., The effect of multi-wall carbon nanotubes/turbine meter oil nanofluid concentration on the thermophysical properties of lubricants, *Powder technology*, 367, 133–142, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.03.037>, 2020.
- [8] Pourpasha H., Heris S. Z., Asadi A., Experimental investigation of nano-TiO₂/turbine meter oil nanofluid, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138, 57–67, <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08155-2>, 2019.
- [9] Birleanu C., Pustan M., Cioaza M., Molea A., Popa F. Contiu G., Effect of TiO₂ nanoparticles on the tribological properties of lubricating oil: an experimental investigation, *Scientific Reports*, 12(5201), <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09245-2>, 2022.
- [10] Gupta G., Ul Haq M. I., Raina A., Shafi W. K., Rheological and tribological behavior of sunflower oil: Effect of chemical modification and tungsten disulfide nanoparticles, *Journal of Bio-and Tribo-Corrosion*, 7(157), <https://doi.org/10.1007/s40735-021-00593-6>, 2021.
- [11] Raina A., Irfan Ul Haq M., Anand A., Mohan S., Kumar R., Jayalakshmi S., Arvind Singh R., Nanodiamond particles as secondary additive for polyalphaolefin oil lubrication of steel-aluminium contact, *Nanomaterials*, 11(6), 1438, 1–25, <https://doi.org/10.3390/nano11061438>, 2021.
- [12] Anand R., Raina A., Irfan Ul Haq M., Mir M. J., Gulzar O., Wani M. F., Synergism of TiO₂ and graphene as nano-additives in bio-based cutting fluid—An experimental investigation, *Tribology Transactions*, 64(2), 350–366, <https://doi.org/10.1080/10402004.2020.1842953>, 2021.
- [13] Wang B. B., Qu X. L., Zhu M. K., Chen Y. A., Zheng K., Zhong X. X., Cvelbar U., Ostrikov K., Plasma produced photoluminescent molybdenum sub-oxide nanophase materials, *Journal of Alloys and Compounds*, 765, 1167–1173, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.06.279>, 2018.
- [14] Rajendhran N., Palanisamy S., Periyasamy P., Venkatachalam R., Enhancing of the tribological characteristics of the lubricant oils using Ni-promoted MoS₂ nanosheets as nano-additives, *Tribology international*, 118, 314–328, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.10.001>, 2018.
- [15] Vazirisereshk M. R., Martini A., Strubbe D. A. Baykara M. Z., Solid lubrication with MoS₂: A Review, *Lubricants*, 7(7), 57, <https://doi.org/10.3390/lubricants7070057>, 2019.
- [16] Zhao J., Huang Y., He Y., Shi Y., Nanolubricant additives: A review, *Friction*, 9, 891–917, <https://doi.org/10.1007/s40544-020-0450-8>, 2021.

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

Предмет, циљеви и хипотезе ове дисертације обухватају следеће

Предмет докторске дисертације је идентификација и утврђивање оптималних количина угљеничних наноцеви у мазиву на радне карактеристике зупчастих преносника снаге, у циљу

оптимизације интензитета хабања, степена искоришћења, промене температуре пужних преносника, интензитета буке и вибрација, а при различитим радним условима (броју обртаја и оптерећењима).

У индустријској примени најчешће се користи пужни пар, који се састоји од цилиндричног или глобоидног пужа. Код цилиндричних пужних парова, темена и подножна површина пужа су у облику кружних цилиндара, а темена и подножна површина пужног зупчаника су прилагођене подножној и теменој површини пужа и имају облик кружних торуса. Код глобоидних пужних парова, темене и подножне површине и пужа и пужног зупчаника имају облик делова кружних торуса, који су међусобно прилагођени једни другима.

Циљ ове докторске дисертације јесте примена мазива са додатком адитива – угљеничних наноцеви за подмазивање пужног преносника, као и истраживање њиховог утицаја на хабање елемената преносника, утицаја на губитке снаге у преноснику, промену температуре елемената преносника, интензитет буке и вибрација у поређењу са минералним и синтетичким мазивима без додатих адитива, при различитим радним условима (броју обртаја и оптерећењима).

Коришћењем одговарајућих метода оптимизације потребно је пронаћи једну или више комбинација примене уља за подмазивање и материјала за израду елемената пужних преносника, која ће пружити најбоље резултате, уз обезбеђење константне геометрије пужа и пужног зупчаника, као и константне радне услове.

Изучавање триболошког понашања (трења и хабања), степена искоришћења, температурних карактеристика, интензитета буке и вибрација пужног преносника је од изузетног значаја, због развоја уља бољих карактеристика, али и материјала за израду пужних преносника.

На основу дефинисаног предмета и циља рада, резултата других аутора и сопствених прелиминарних теоријских истраживања, кандидат је формирао основне хипотезе од којих полази и то:

- Применом експеримента могуће је одредити утицајне факторе (врста материјала елемената пужног преносника, врста примењених наноадитива уља за подмазивање, улазни број обртаја и оптерећење) на губитке снаге, степен искоришћења, хабање, промену температуре, интензитета буке и вибрација пужног преносника.
- Експерименталним триболошким испитивањима могуће је одредити коефицијенте трења и начин подмазивања одговарајућих контактних парова.
- Одговарајућом методом оптимизације могуће је одредити оптималну комбинацију утицајних фактора који ће дати најбоље радне карактеристике пужног пара.
- Применом савремене опреме за испитивање пужних преносника могуће је одредити утицај садржаја адитива у мазиву на њихове радне карактеристике.
- Применом модификованих мазива за подмазивање пужних преносника могуће је смањити губитке снаге у спреси и повећати степен искоришћења пужног преносника.

Методе истраживања

Кандидат ће за реализацију докторске дисертације користити аналитичке, експерименталне и статистичке методе, имајући у виду сложеност и мултидисциплинарност предмета истраживања.

Аналитичку методу ће кандидат користити при прорачунима величина везаних за пужни преносник, тј. при прорачуну губитака снаге у озубљењу, лежајима и заптивним елементима, као и приликом израчунавања коефицијента трења. Поред тога метода има примену и код праћења повећања температуре појединих елемената пужног преносника, као и буке и вибрација преносника у целини.

Методом експеримента ће кандидат практично сагледавати понашање елемената пужног преносника, са аспекта промене кључних физичких, механичких и триболошких карактеристика, при промени радних параметара дефинисаних планом експеримента. Сам експеримент ће се изводити на уређају АТ 200, инсталираном у Центру за испитивање механичких преносника на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, а тежиште ће бити на употреби мазива са различитом концентрацијом адитива у виду угљеничних наноцеви. Испитивање које ће кандидат да обави на пужном редуктору ће укључити варирање радних параметара, односно промену броја обртаја (угаоне брзине) улазног вратила, као и промену оптерећења излазног вратила пужног редуктора уз помоћ магнетне кочнице. Кандидат ће посебно методом експеримента разматрати интензитет хабања, пре свега пужног зупчаника, мерењем промене масе, као и визуелним посматрањем површинских промена (трагова хабања) на зупцима пужног зупчаника.

Кандидат ће коришћењем статистичке методе извршити детаљну анализу и обраду резултата добијених методом експеримента кроз следеће:

- сагледавање до сада извршених истраживања из области степена искоришћења и хабања пужних преносника снаге,
- одређивање фактора и величина који директно и индиректно утичу на губитке и самим тим на степен искоришћења пужног преносника снаге,
- дефинисање параметара који су у непосредној вези са интензитетом хабања зубаца пужног зупчаника,
- дефинисање зона пужног преносника на којима се прате температурне промене,
- формирање базе података и статистичка обрада прикупљених података у одговарајућем програмском пакету MATLAB, SPSS, Statistica, Minitab и др.
- процену и поређење сваког дефинисаног параметра на губитке снаге, степен искоришћења, интензитет хабања и промену температуре пужног редуктора,
- оптимизацију у циљу одређивања оптималне комбинације утицајних фактора са аспекта степена искоришћења, интензитета хабања, промене температуре, нивоа буке и вибрација.

Статистичком обрадом добијених резултата и формирањем базе података подржане одговарајућим програмом за обраду података, кандидат планира да прикаже свеобухватну слику, ради потврде постављених хипотеза у докторској дисертацији.

Оквирни садржај докторске дисертације

Кандидат је планирао да докторска дисертација буде реализована кроз следећа поглавља:

1. Увод
2. Преглед литературе
3. План и спровођење експерименталних испитивања
4. Резултати експерименталних испитивања
5. Анализа и дискусија добијених резултата
6. Закључна разматрања
7. Литература
8. Прилози

У првом поглављу биће изнета уводна разматрања и основне информације о пужним преносницима снаге. Такође ће бити дефинисани предмет, циљеви и основне хипотезе истраживања.

У другом поглављу кандидат планира да изврши детаљно анализирање литературе која третира теме везане за примену адитива у мазивима за различите врсте преносника снаге, губитке снаге, степене искоришћења, величине хабања, промене температуре и интензитета буке и вибрација пужних зупчастих преносника. Свеобухватним сагледавањем досадашњих истраживања на пољу испитивања пужних преносника снаге и детаљном анализом и проучавањем расположиве литературе кандидат ће дефинисати који су фактори који имају највећи утицај на степен искоришћења пужних преносника, промене температуре, интензитет хабања појединих елемената пужног преносника и интензитет буке и вибрација, а који могу представљати полазиште за нека наредна испитивања у овој области.

Треће поглавље ће кандидат обрадити у циљу приказа досадашњих истраживања из области примене различитих адитива за мазива пужних преносника снаге, пре свега се фокусирајући на адитиве нано димензија, при чему ће тежишно поред примене угљеничних наноцеви анализирати и примену наноадитива на бази молибдена, титанијум-оксида и алуминијумских оксида.

У четвртном поглављу кандидат ће приказати детаљно разрађен план експерименталних испитивања ради одређивања степена искоришћења, хабања, промене температуре и интензитета буке и вибрација пужног преносника на уређају АТ200. Притом ће описати технологију реализације експеримента, начин повезивања погонског агрегата, начин промене оптерећења, праћење промене радних карактеристика пужног преносника снага. Приказаће детаљан опис целокупне мерне опреме, њихових техничких карактеристика и могућности.

Пето поглавље кандидат је одредио за приказ експерименталних резултата у табеларној и дијаграмској форми. Резултате ће приказати тако да је могуће остварити брз и једноставан увид и поређење радних карактеристика добијених применом различитих материјала пужног пара, различитих режима рада (улазних бројева обртаја и оптерећења пужног преносника) и примене мазива за различитим процентуалним уделом угљеничних наноцеви.

У шестом поглављу ће бити сумирани претходно добијени експериментални резултати истраживања и извршиће се њихова анализа и међусобно повезивање. Такође биће извршено поређење са резултатима приказаним у раније објављеним истраживањима.

У седмом поглављу кандидат ће представити закључна разматрања, као и смернице за будућа истраживања у овој области.

Осмо поглавље ће обухватити списак литературних ставки коришћених при изради докторске дисертације.

У оквиру деветог поглавља биће приказани прилози.

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

Имајући у виду досадашња истраживања, пријаву теме докторске дисертације и представљени концепт, може се закључити да постоји потреба за испитивањем и утврђивањем утицаја удела адитива у виду угљеничних наноцеви у мазиву на радне карактеристике пужног преносника снаге, као и да се изврши поређење радних карактеристика пужног преносника снаге приликом примене различитих материјала за израду у првом реду пужног зупчаника.

Осим научног, докторска дисертација има и практични инжењерски допринос, будући да третира једно од важнијих експлоатационих питања у виду смањења губитака снаге, како актуелног, тако и будућег развоја мазива која би имала примену код пужних преносника снаге.

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације, са образложеним предметом, методама, циљевима рада и очекиваним резултатима, насталим свеобухватном анализом доступних научних радова, оригинална идеја кандидата Милана Буквића, дипл. инж. маш.

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 Милан Буквић, дипл. инж. маш., ће у својој докторској дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког рада, поштујући основне критеријуме науке, научних циљева и метода анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања.

Кандидат ће детаљно проверити полазне хипотезе.

У достављеној пријави теме докторске дисертације, кандидат се служио одговарајућом терминологијом из области која је предмет рада. Дефиниција предмета истраживања је усклађена са основним појмовима, предложеним хипотезама и методама истраживања. Кандидат је показао способност да планира и реализује нумеричка и експериментална истраживања уз коришћење савремених рачунарских програма и мерне опреме. Такође, показао је и способност за селекцију и анализу доступних научних радова и других литературних извора.

Имајући у виду да су циљеви истраживања проистекли из реалне потребе за утврђивањем радних карактеристика пужних преносника снаге у зависности од удела угљеничних наноцеви као адитива у мазиву, добијени резултати би представљали оригинални и свеобухватни допринос овој истраживачкој области.

5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата

Кратка биографија кандидата

Милан Буквић је рођен 23. јула 1976. године у Ужицу. Основно образовање стекао је у Основној школи „Нада Матић“ у Ужицу. Средњошколско образовање стекао је 1995. године у Техничкој школи „Радоје Марић“ у Ужицу и стекао диплому електротехничар погона.

Војнотехничку академију у Београду је уписао школске 1995/1996. године на смеру техничка служба, специјалност мотори и моторна возила. Током студирања остварио је просечну оцену 7,70 (седам и 70/100) и одбранио дипломски рад 2000. године из предмета Оклопна борбена возила под називом "Примена хибридних и електричних трансмисија на борбеним возилима", са оценом 9.

Докторске академске студије уписао је школске 2017/2018. године на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Положио је све испите предвиђене наставним планом и програмом са просечном оценом 9,67 (девет и 67/100) и тако стекао услов за пријаву теме докторске дисертације.

Професионалну каријеру је градио на руководећим и командним дужностима у јединицама и командама Војске Србије, у периоду од 2000. године. У поменутом периоду бавио се истраживачким и научним радом из области алтернативних погона на моторним возилима, еколошким аспектима примене моторних, хибридних и електричних возилима, као и истраживањем области одржавања и експлоатације моторних возила и других техничких система и примене напредних материјала за различите намене.

Опредељен је за научни рад и усавршавање у области машинског инжењерства, ужа научна област: машинске конструкције и механизација.

Говори енглески језик.

У свом раду користи следеће софтверске пакете: MS Office, Autodesk Inventor, AutoCAD, Matlab.

Научно-истраживачки рад

Као аутор или коаутор кандидат је објавио **17** научних радова у научно – стручним часописима и на међународним и домаћим научно - стручним конференцијама.

• Списак објављених радова:

M22

1. I.Epler, V.Sokolović, M.Milencov, **M.Bukvić**, Application of Lean Tools for Improved Effectiveness in Maintenance of Technical Systems for Special Purposes, *Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*, Vol.19, No.4, pp.615–623, DOI: <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2017.4.16>, 2017.

M33

1. B.Stojanović, **M.Bukvić**, R.Janjić, Maintenance of hybrid vehicles, 7th International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH 2016, 6-7 October, pp. 739-744, Beograd, 2016, ISBN 978-86-81123-82-9.

2. **M.Bukvić**, R.Janjić, B.Stojanović, Recycling lithium-ion battery, 7th International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH 2016, 6-7 October, pp. 636-641, Beograd, 2016, ISBN 978-86-81123-82-9.
3. **M.Bukvić**, Ž.Petrović, B.Stojanović, S.Milojević, Models and simulations of transmission of hybrid and electric vehicles, International Congress Motor Vehicles & Motors 2016, 6-8 October, pp. 149-155, Kragujevac, 2016, ISBN 978-86-6335-037-3.
4. R.Janjić, B.Stojanović, **M.Bukvić**, S.Mališić, Management activities during testing vehicles with upgrades, XVIII YUCORR International Conference, 12-15 April, pp. 398-400, Tara Mountain, Serbia, 2016, ISBN 978-86-82343-24-0.
5. R.Janjić, B.Stojanović, **M.Bukvić**, S.Mališić, Impact on people in microclimate body of motor vehicles, 1st International conference on Quality of Life, 9-10 June, pp. 311-315, Kragujevac, 2016, ISBN 978-86-6335-033-5.
6. R.Janjić, **M.Bukvić**, B.Stojanović, Problems of production, use and recycling of motor vehicles, XVIII YUCORR International Conference, 12-15 April, pp. 405-411, Tara Mountain, Serbia, 2016, ISBN 978-86-82343-24-0.
7. R.Janjić, **M.Bukvić**, B.Stojanović, S.Mališić, Impact of noise and vibrations in the people in the car with upgrades, 1st International conference on Quality of Life, 9-10 June, pp. 305-309, Kragujevac, 2016, ISBN 978-86-6335-033-5.
8. R.Janjić, N.Brkljač, B.Stojanović, **M.Bukvić**, Management documented informations during testing vehicles with upgrades, XVIII YUCORR International Conference, 12-15 April, pp. 401-404, Tara Mountain, Serbia, 2016, ISBN 978-86-82343-24-0.
9. R.Janjić, R.Makljenović, Z.Ilić, N.Brkljač, B.Stojanović, **M.Bukvić**, S.Mališić, Diagnosis of diesel vehicles using modern diagnostic software, 7th DQM International Conference ICDQM-2016, Life cycle engineering and management, 29-30 June, pp. 407-413, Prijedor, 2016, ISBN 978-86-86355-32-4.
10. R.Janjić, S.Mitrović, D.Džunić, I.Mačužić, B.Stojanović, **M.Bukvić**, Z.Ilić, Measuring cleaning class of oil after tribological testing, 7th International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH 2016, 6-7 October, 2016, pp. 630-635, Belgrade, ISBN 978-86-81123-82-9.
11. B.Stojanović, S.Radosavljević, S.Velicković, S.Miladinović, **M.Bukvić**, The influence of lubricant viscosity on the efficiency of worm gear reducer, 8th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "Research and development of mechanical elements and systems" IRMES 2017, 7-9 September, pp. 219-224, Trebinje, 2017, ISBN 978-9940-527-53-2.
12. R.Janjić, N.Brkljač, **M.Bukvić**, A.Pajić, S.Mališić, Conception, Analysis, Simulations and Development of Planetary Transmission Gears, XXI YuCorr, September 17-20, pp. 126-133, Tara Mountain, Serbia, 2019, ISBN 978-86-82343-27-1.

M52

1. **M.Bukvić**, Z.Petrović, B.Stojanović, S.Milojević, Models and simulations of transmission of hybrid and electric vehicles, *Mobility & Vehicle Mechanics*, Vol.43, No.2, pp. 3-12, ISSN 1450-5304, Doi: 10.24874/mvm.2017.43.02.01, 2017.

M53

1. **M.Bukvić**, B.Stojanović, L.Ivanović, S.Milojević, Recycling of the hybrid and electric vehicles, *Acta technica corviniensis - Bulletin of Engineering*, Vol.10, No.3, pp. 107-114, ISSN 2067-3809, 2017.

2. B.Stojanović, **M.Bukvić**, I.Milojević, L.Ivanović, Influence of recycling of electric vehicles on energy consumption and greenhouse gas emissions, ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Vol.11, No.1, pp. 127-132, ISSN 1584-2665, 2018.

M54

1. **M.Bukvić**, B.Stojanović, I.Epler, Application of Aluminum and Aluminum Alloys in Engineering, Applied Engineering Letters: Journal of Engineering and Applied Sciences Vol.3, No.2, pp. 52-62, ISSN: 2466-4677, DOI: 10.18485/aeletters.2018.3.2.2, 2018.

6. Предлог за ментора са његовим референцама којима се доказује испуњеност услова за менторство

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

Др Блажа Стојановић, редовни професор је као аутор или коаутор објавио више од 200 научно-истраживачких радова у међународним и домаћим научним часописима, као и зборницима међународних и домаћих научних скупова.

• Референце којима се доказује испуњеност услова за менторство:

1. **B. Stojanović**, A. Vencl, I. Bobić, S. Miladinović, J. Skerlić, Experimental optimisation of the tribological behaviour of Al/SiC/Gr hybrid composites based on Taguchi's method and artificial neural network, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 40, 311, 1-14, ISSN 1678-5878, Doi: 10.1007/s40430-018-1237-y, 2018. M22
2. **B.Stojanović**, S.Gajević, N.Kostić, S.Miladinović, A.Vencl, (2022), Optimization of parameters that affect wear of A356/Al₂O₃ nanocomposites using RSM, ANN, GA and PSO methods, Industrial Lubrication and Tribology, 74, 3, 350-359, Doi: 10.1108/ILT-07-2021-0262, ISSN: 0036-8792, 2022, M23
3. A.Skulić, S.Milojević, D.Marić, L.Ivanović, B.Krstić, M.Radojković, **B.Stojanović**, The Impact of Lubricant Viscosity and Materials on Power Losses and Efficiency of Worm Gearbox, Tehnički vjesnik, 29, 6, 1853-1860, ISSN 1330-3651, Doi: 10.17559/TV-20220207092015, 2022, M23
4. M.Vasic, **B.Stojanovic**, M.Blagojevic, Failure analysis of idler roller bearings in belt conveyors, Engineering Failure Analysis, 117, 104898, ISSN 1350-6307, Doi: 10.1016/j.engfailanal.2020.104898, 2020, M21
5. A. Vencl, P. Svoboda, S. Klančnik, A. But, M.Vorkapić, M. Harničárová, **B. Stojanović**, Influence of Al₂O₃ Nanoparticles Addition in ZA-27 Alloy-Based Nanocomposites and Soft Computing Prediction, Lubricants, 11, 1:24, 1-13, ISSN 2075-4442, Doi: 10.3390/lubricants11010024, 2023. M22

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

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Милан Буквић, дипл. инж. маш., испунио је све предвиђене услове за одобрење израде докторске дисертације.

Предложена тема докторске дисертације је оригинална и има научну заснованост. Предложена методологија израде докторске дисертације је у складу са научним принципима. Очекивани резултати докторске дисертације требало би да представљају оригинални научни допринос у области примене мазива у пужним преносницима снаге.

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:

УТИЦАЈ ДОДАВАЊА УГЉЕНИЧНИХ НАНОЦЕВИ У МАЗИВО НА РАДНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПУЖНИХ ЗУПЧАСТИХ ПРЕНОСНИКА

прихвати и одобри њену израду кандидату **Милану Буквићу, дипл. инж. маш.**

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

У Крагујевцу,

новембар 2023. године.

КОМИСИЈА

1. 

др Блажа Стојановић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу (датум избора у звање: 15.07.2022. године) – председник комисије. Ужа научна област: Машинске конструкције и механизација.

2. 

др Слободан Савић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу (датум избора у звање: 29.09.2016. године) – члан. Ужа научна област: Примењена механика.

3. 

др Александар Венцл, редовни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет (датум избора у звање: 18.01.2017. године) – члан. Ужа научна област: Технологија материјала – трибологија.

4. 

др Милош Матејић, доцент, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу (датум избора у звање: 10.06.2020. године) – члан. Ужа научна област: Машинске конструкције и механизација.

5. 

др Сандра Гајевић, доцент, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу (датум избора у звање: 19.01.2022. године) – члан. Ужа научна област: Машинске конструкције и механизација.