

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата
Жарка З. Мишковића, дипл. инж. маш., студента докторских студија

Одлуком број 1368/2 од 22.06.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом

„УТИЦАЈ КОНЦЕНТРАЦИЈЕ ЕКСПЛОАТАЦИОНИХ ЧЕСТИЦА НЕЧИСТОЋА НА РАДНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КОТРЉАЈНИХ ЛЕЖАЈА“

кандидата Жарка З. Мишковића, дипл. инж. маш., студента докторских студија.

Након прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, као и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

На докторске студије на Машинском факултету, кандидат Жарко З. Мишковић дипл.инж.маш., уписан је 2008/2009. године, по наставном плану који је Сенат Универзитета прихватио 2007. године на основу Закона о високом образовању из 2005. године.

На молбу кандидата Жарка З. Мишковића и ментора проф. др Радивоја Митровића, сагласно одредбама Статута Универзитета у Београду, рок за одбрану дисертације је продужен до 30. септембра 2017. године.

На захтев кандидата Жарка З. Мишковића број 432/1 од 16.03.2015. године да му се одобри пријава теме докторске дисертације и именује Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације, као и сагласности Катедре за опште машинске конструкције од 16.03.2015. године, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је Одлуку број 432/2 од 19.03.2015. године, којом се прихвата тема докторске дисертације и именује ментор проф. др Радивоје Митровић, као и Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

- др Радивоје Митровић, ред. проф., ментор, Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Милета Ристивојевић, ред. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Татјана Лазовић, ванр. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Зоран Стаменић, доц., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Сениша Кузмановић, ред. проф., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука

На основу извештаја Комисије и одлуке ННВ бр. 432/4 од 2.4.2015. године, поднет је захтев Машинског факултета Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, које је на седници одржаној 11.05.2015. године донело Одлуку бр. 61206-1550/2-15 да се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације Жарка З. Мишковића, дипл.инж.маш., на основу које је Декан Машинског факултета у Београду донео Закључак о одобравању рада на теми докторске дисертације „**Утицај концентрације експлоатационих честица нечистоћа на радне карактеристике котрљајних лежаја**“ под менторством проф. др Радивоја Митровића.

На основу обавештења проф. др Радивоја Митровића, ментора, да је докторанд Жарко З. Мишковић, дипл.инж.маш. завршио докторску дисертацију под називом „**Утицај концентрације експлоатационих честица нечистоћа на радне карактеристике котрљајних лежаја**“, и предлога Катедре за опште машинске конструкције бр. 1368/1 од 14.06.2017. године, Наставно-научно веће Машинског факултета донело је Одлуку број 1368/2 од 22.06.2017. године о именовану Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Радивоје Митровић, ред. проф., ментор, Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Милета Ристивојевић, ред. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Татјана Лазовић, ванр. проф, Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Зоран Стаменић, доц., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Синиша Кузмановић, ред. проф., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Жарка З. Мишковића, под насловом „**Утицај концентрације експлоатационих честица нечистоћа на радне карактеристике котрљајних лежаја**“, припада области техничких наука – машинство, ужа научна област Опште машинске конструкције, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

Израдом докторске дисертације руководио је проф. др Радивоје Митровић, редовни професор групе предмета везаних за Опште машинске конструкције.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат Жарко З. Мишковић је рођен 20.10.1980. године у Загребу (Хрватска). Основну школу, као и IX гимназију, завршио је у Београду (општина Нови Београд). Дипломирао је на Машинском факултету Универзитета у Београду – 2008. године, са просечном оценом 8,62. Докторске студије је уписао 2008/2009. године, након чега се запослио као истраживач–приправник у Иновационом центру Машинског факултета Универзитета у Београду (по Уговору о раду од 23.02.2009 године). Од 09.07.2010. године је запослен са пуним радним временом, на радном месту Асистента на Катедри за опште машинске конструкције Машинског факултета Универзитета у Београду (Уговор о раду бр. 11/71).

Активни је учесник Пројеката Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије – ТР 35029 (руководилац проф. др Радивоје Митровић) и ТР 35030 (руководилац проф. др Градимир Ивановић), а у периоду 2009-2010. је учествовао и у реализацији Пројекта ТР 14033 (руководилац проф. др Радивоје Митровић). Такође, од октобра 2012. године до октобра 2015. године учествује у реализацији међународног

ТЕМПУС пројекта 530577-TEMPUS-RS-TEMPUS-JPCR – Improvement of product development studies in Serbia and Bosnia and Herzegovina.

Учесник је и реализатор три међународна билатерална пројекта – са Кином (2015-2017), Црном Гором (2016-2018) и Словачком (2017-2019). Сем наведених пројеката, кандидат је локални координатор три СЕЕПУС мреже:

- СШ-PL-0033-12-1617 Development of mechanical engineering (design, technology and production management) as an essential base for progress in the area of small and medium companies' logistics - research, preparation and implementation of joint programs of study
- СШ-BG-0722-05-1617 Computer Aided Design of automated systems for assembling
- СШ-RS-0304-09-1617 Technical Characteristics Researching of Modern Products in Machine Industry (Machine Design, Fluid Technics and Calculations) with the Purpose of Improvement Their Market Characteristics and Better Placement on the Market

Учешћем у акредитацији и одржавању акредитације лабораторије ЛИМЕС (Лабораторија за Испитивање Машинских Елемената и Система) Иновационог центра Машинског факултета Универзитета у Београду, стекао је значајна искуства у лабораторијским испитивањима котрљајних лежаја и техничкој регулативи у предметној области. Од новембра 2012. године, кандидат обавља функцију Заменика Руководиоца квалитета наведене Лабораторије.

Кандидат поседује вишегодишње искуство у раду на сервохидрауличној машини за динамичко и статичко испитивање материјала, за коју је похађао и курс. Такође је успешно завршио и курс 'Технички захтеви обезбеђења квалитета у лабораторијама', у организацији ADQM (Машински факултет Универзитета у Београду, април 2010. године), као и курс 'Имплементација техничких захтева стандарда SRPS ISO/IEC 17025:2006 у лабораторијској пракси', у организацији Савеза хемијских инжењера Србије (Технолошко – металуршки факултет Универзитета у Београду, октобар 2012. године) – за које поседује и одговарајуће сертификате.

Од 2009. године кандидат активно учествује у настави на Машинском факултету Универзитета у Београду, кроз држање вежби из предмета Машински елементи 1, Машински елементи 2, Основе конструисања, Конструисање М и Технички прописи и стандарди. Кандидатов педагошки рад је до сада увек вреднован од стране студената оценом >4,60 (анкете за 2016/17. годину се налазе код Комисије и још увек нису обрађене).

У оквиру научно-истраживачке делатности и рада на пројекту кандидат је аутор или коаутор осам радова у научним часописима са SCI листе. Поред тога кандидат је коаутор три поглавља у међународним монографијама, двадесет и два рада на међународним научним скуповима штампана у целини и једног рада штампаног у изводу, четири техничка решења и два национална патента.

Сем публикавања радова, кандидат је ангажован и у научним/организационим одборима више међународних конференција: KOD 2014, KOD 2016, CNN 2017, међу којима се посебно издваја конференција IRMES 2017 (Требиње, БиХ, септембар 2017. године) – на којој кандидат обавља дужности генералног секретара конференције.

У досадашњем раду кандидат је успешно овладао специфичним софтверима за 3D моделирање и симулацију Методом коначних елемената (Autodesk Inventor), управљање пројектима (MS Project 2012), као и статистичку анализу података (DataFit 8.x). Сем наведеним, кандидат се већ дужи низ година успешно користи и стандардним апликацијама из софтверског пакета MS Office (Word, Access, Excel).

Кандидат течно говори, чита и пише на енглеском језику, а служи се и руским.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Жарка З. Мишковића, дипл. инж. маш., под називом: „Утицај концентрације експлоатационих честица нечистоћа на радне карактеристике котрљајних лежаја“, написана је на српском језику, ћириличним писмом. Садржи 342 стране формата А4, 216 слика, 83 табеле, нумерисане изразе и списак литературе.

У оквиру дисертације истраживање је приказано у укупно седам поглавља, док су списак коришћене литературе и биографија дати као осмо и девето:

1. Уводна разматрања;
2. Транспортни ваљци – конструкциона решења и радни век;
3. Анализа стања у предметној области истраживања;
4. Нова методологија за експериментално испитивање транспортних ваљака;
5. Резултати испитивања транспортних ваљака према новој методологији;
6. Дискусија резултата спроведених експерименталних истраживања;
7. Закључак.

Осим наведеног, дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, номенклатуру, прилоге, као и изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

2.2. Кратки приказ појединих поглавља

У првом поглављу дисертације су представљене основне карактеристике и значај изведених истраживања у области транспортних ваљака и њихових критичних компоненти – котрљајних лежаја. Важно је напоменути да је у пријављеној теми дисертације планирано истраживање било фокусирано искључиво на котрљајне лежаје, међутим, након детаљне анализе предметне проблематике, објекат истраживања је накнадно проширен и на транспортне ваљке. Наиме, комплексност ових машинских склопова условљава да се њихове критичне компоненте не могу посматрати као издвојени системи, занемарујући утицај осталих компоненти. На тај начин, фокус дисертације је проширен са котрљајних лежаја на транспортне ваљке као целину – у којој су спроведена истраживања у области котрљајних лежаја веома битан део нове методологије за испитивање склопова транспортних ваљака. Наглашена је и актуелност представљених истраживања, посебно са економско-енергетског аспекта – јер управо наведени склопови узрокују велике губитке у системима термоелектрана и површинских копова. Узевши у обзир перманентну енергетску кризу, сваки допринос у побољшању енергетске ефикасности и поузданости компоненти система за производњу електричне енергије (укључујући и системе тракастих транспортера) представља значајан корак напред у односу на тренутно стање.

У првом поглављу су постављене и основне научне хипотезе истраживања, као и научни циљеви предметне дисертације. Сем наведеног, дефинисане су и научне методе коришћене током истраживања, укључујући и врло актуелне софтверске статистичке методе за успостављање корелација између посматраних карактеристика објекта истраживања – утврђених применом нове, оригиналне, експерименталне методологије за испитивање транспортних ваљака и котрљајних лежаја.

Друго поглавље дисертације је фокусирано на постојећа конструкциона решења транспортних ваљака. У њему су детаљно описане карактеристике свих уобичајених компоненти транспортних ваљака: цеви, осовине, заптивних група и котрљајних лежаја. Такође, представљени су и оригинални резултати анализе постојећих конструкција

транспортних ваљака методом коначних елемената – којим се постављају претпоставке за наставак истраживања ван обима предметне дисертације.

У овом поглављу је посебна пажња посвећена методама за процену очекиваног радног века транспортних ваљака – које се заснивају или на процени радног века њихових котрљајних лежаја, или на експериментално утврђеном радном веку еталон транспортних ваљака – који се затим модификује различитим утицајним коефицијентима. Као пример је процењен радни век транспортног ваљка према различитим методама прорачуна (за исте експлоатационе услове) и извршено поређење добијених резултата. Добијена одступања рачунског и реалног радног века транспортних ваљака су условила потребу за развојем нове, што обухватније, експерименталне методологије за испитивање карактеристика транспортних ваљака – која би омогућила да се са што већом поузданошћу процени њихов квалитет.

У трећем поглављу су приказане постојеће методологије и процедуре за експериментално испитивање транспортних ваљака. Посебна пажња је посвећена постојећим стандардизованим методологијама испитивања – у којима су сем процедура, дефинисане и дозвољене вредности појединих испитиваних параметара, као и одговарајуће испитне инсталације. Приказани су и резултати испитивања карактеристика транспортних ваљака које су спровели други аутори – представљени у бројним докторским дисертацијама, зборницима радова са међународних и националних скупова, међународним научним часописима и монографијама, и осталим релевантним публикацијама. Такође су представљене и статистичке корелације које су, различитим методама, други аутори успоставили између кључних карактеристика котрљајних лежаја – радног века, вибрација, радијалног зазора, температуре прстенова итд.

Четврто поглавље дисертације обухвата детаљан приказ нове експерименталне методологије за испитивање транспортних ваљака и котрљајних лежаја. Нова методологија испитивања се састоји од седам (условно осам) међусобно повезаних фаза:

1. Узорковање;
2. Визуелна контрола;
3. Димензиона контрола;
4. Контрола издржљивости;
5. Контрола отпора обртном кретању;
6. Контрола квалитета заптивних група и налегања у склоповима транспортних ваљака;
7. * Контрола квалитета уграђених котрљајних лежаја;
8. Експериментално испитивање утицаја концентрације експлоатационих честица нечистоћа на радне карактеристике котрљајних лежаја.

Све наведене фазе су упоредиве са смерницама стандарда DIN 22112 – 1, 2, 3 – зато што управо овај стандард представља основу за важеће релевантне националне стандарде. У овом поглављу је представљен и алгоритамски приказ свих активности обухваћених новом методологијом за испитивање карактеристика транспортних ваљака, што је посебан допринос јер у доступној стручној литератури тренутно не постоје одговарајући алгоритми испитивања. Свака од наведених фаза експерименталног испитивања је детаљно описана кроз развијене процедуре испитивања – корак по корак – укључујући и приказ конструкционих решења нових испитних инсталација и одговарајућих прототипова.

Резултати испитивања према новој методологији за експериментално испитивање карактеристика транспортних ваљака су приказани у петом поглављу дисертације (преко 4000 сати ефективног лабораторијског рада).

У форми прегледних дијаграма и табела, представљени су следећи резултати:

1. Температуре, вибрације и бука транспортних ваљака;
2. Отпор окретању транспортних ваљака;
3. Радијално бацање транспортних ваљака;
4. Квалитет заптивних група транспортних ваљака;
5. Квалитет налегања у склоповима транспортних ваљака;
6. RMS вибрацијско убрзање вештачки контаминираних лежаја;
7. Температуре спољашњих површина прстенова вештачки контаминираних котрљајних лежаја;
8. Радијални зазор вештачки контаминираних котрљајних лежаја;
9. Микроскопска анализа површина стаза котрљања вештачки контаминираних котрљајних лежаја.

Применом напредних софтверских метода за статистичку обраду података, успостављене су и следеће статистичке корелације – такође детаљно приказане у овом поглављу:

1. Статистичка корелација RMS вибрацијског убрзања, масе честица нечистоћа у мазиву, највиших температура на површини прстенова и времена испитивања вештачки контаминираних котрљајних лежаја
2. Статистичка корелација RMS вибрацијског убрзања у функцији масе честица нечистоћа у мазиву лежаја и времена испитивања (рада) лежаја
3. Статистичка корелација највиших температура на површинама унутрашњих и спољашњих површина прстенова, масе честица нечистоћа у мазиву и времена испитивања вештачки контаминираних котрљајних лежаја

Сви описани резултати испитивања према новој методологији су пропраћени одговарајућим коментарима, којима се пореде и описују њихове квантитативне вредности.

У шестом поглављу дисертације је представљена дискусија експерименталних резултата испитивања карактеристика транспортних ваљака. Описани су трендови промене посматраних величина и дата потенцијална објашњења за описане трендове, односно, наведени су узроци одговарајућих промена посматраних карактеристика транспортних ваљака и њихових котрљајних лежаја. Такође, у овом поглављу су представљене и могућности за практичну примену генерисаних статистичких корелација величина вештачки контаминираних котрљајних лежаја.

Седмо поглавље дисертације обухвата закључна разматрања. У овом поглављу је истакнут значај спроведених истраживања (нови научни доприноси), а извршена је и анализа планираних/извршених истраживања – у односу на планирана истраживања из уводног поглавља. Дат је и општи закључак о приказаним и анализираним резултатима, а извршена је и синтеза парцијалних закључака о резултатима истраживања из претходних поглавља дисертације. Такође, истакнута је и могућност примене остварених резултата истраживања при решавању конкретних инжењерских проблема, уз потенцијални економски значај развијене методологије за испитивање карактеристика транспортних ваљака. На основу добијених резултата истраживања, постављене су и основе за наставак истраживања у будућем периоду, као и за развој још поузданијих методологија испитивања транспортних ваљака и њихових критичних компоненти – котрљајних лежаја.

Након седмог поглавља у дисертацији су представљени Литература, Номенклатура, Биографија и Прилози.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Повећање радне способности машинских елемената и система је непрекидно у фокусу научних истраживања. Под радном способношћу се подразумева група услова који морају бити испуњени да би машински системи и њихови делови исправно и поуздано обављали предвиђене функције, односно, неопходно је да поседују довољну чврстоћу и крутост да у току радног века издрже сва оптерећења и друге утицаје, без штетних деформација, разарања, претераног хабања, загревања и опасних вибрација. Овим условима се последњих деценија прикључује и услов енергетске ефикасности – такав облик, димензије, материјал и технологија израде да је у експлоатацији омогућена минимална специфична потрошња енергије по јединици масе производа.

Остваривање овако комплексних и често конфликтних услова подразумева детаљно изучавање више различитих феномена: чврстоће, крутости, напона и деформација, трења, хабања и подмазивања, вибрација и пригушења. За то се користе поступци моделирања и оптимизације, контролисања и испитивања и мерења и анализе – а све у функцији развоја адекватних методологија за повећање радне способности, поузданости и енергетске ефикасности. Закључци и резултати оваквих истраживања су универзални али су посебно важни у енергетици, због круцијалног утицаја ове привредне гране на општи друштвени прогрес и економски развој.

Бројна истраживања су показала да велики проценат енергетских губитака у термоелектранама потиче од транспортних система, нарочито од система тракастих транспортера и њихових кључних компоненти – транспортних (носећих) ваљака. Транспортни ваљци су машински склопови чија је функција да пренесу оптерећење услед масе транспортне траке и транспортованог терета на носећи рам.

Пријава теме предметне докторске дисертације је била првенствено фокусирана на критичне елементе склопова транспортних ваљака – котрљајне лежаје, али је због комплексности проблематике транспортних ваљака (изузетно неповољних радних услова у којима транспортни ваљци најчешће функционишу, што доводи до великих одступања прорачунског у односу на реални радни век) у дисертацији развијена потпуно нова методологија за њихово експериментално испитивање, која обухвата више експерименталних процедура за испитивање њихових кључних карактеристика. Наведена методологија обухвата следеће:

- а) Процедура за експериментално испитивање динамичке издржљивости транспортних ваљака
- б) Процедура за експериментално испитивање отпора окретању транспортних ваљака
- в) Процедура за експериментално испитивање радијалног бацања транспортних ваљака
- г) Процедура за експериментално испитивање заптивне групе транспортних ваљака
- д) Процедура за експериментално испитивање налегања у склоповима транспортних ваљака
- е) Процедура за експериментално испитивање карактеристика лежаја транспортних ваљака под дејством високе концентрације честица експлоатационих нечистоћа у њиховом мазиву

Према свакој од наведених експерименталних процедура је испитан велики број различитих типова транспортних ваљака, а резултати испитивања су приказани у петом поглављу дисертације. Међу наведеним експерименталним процедурама, по значају се

посебно истиче процедура за експериментално испитивање динамичке издржљивости транспортних транспортних ваљака, јер се њоме узимају у обзир утицаји свих елемената склопа транспортног ваљка (првенствено крутости) на његове перформансе. Ради упоредивости резултата, параметри испитивања према овој процедури су примењени и при имплементацији процедуре за експериментално испитивање карактеристика лежаја транспортних ваљака под дејством високе концентрације честица експлоатационих нечистоћа у њиховом мазиву.

Полазећи од представљеног контекста, а у складу са добром инжењерском праксом, на изазове предметне проблематике је одговорено теоријским и експерименталним истраживањима, реализованим кроз следеће секвенцијалне фазе:

1. Прикупљање, анализа и синтеза доступних знања из предметне области;
2. Осмишљавање и спровођење одговарајућих експерименталних истраживања;
3. Статистичка анализа резултата експерименталних истраживања и развој нових статистичких модела;
4. Верификација експерименталних резултата и нових статистичких модела;
5. Имплементација развијених статистичких модела у постојеће аналитичке изразе за прорачун радних параметара транспортних ваљака, односно, котрљајних лежаја.

У оквиру дисертације кандидат је развио и унапредио наведене експерименталне процедуре за испитивање карактеристика транспортних ваљака и њихових котрљајних лежаја, обједињујући их у комплексну експерименталну методологију испитивања – што сведочи о високом нивоу оригиналности представљеног истраживања.

С обзиром на ограничене резерве угља и осталих фосилних горива, као и планирано повећање енергетских потреба у будућности, сваки допринос повећању поузданости и ефикасности машинских система у енергетици је веома актуелан – укључујући и представљено истраживање у области тракастих транспортера за континуални пренос угља, односно, њихових основних компоненти – транспортних ваљака. Приказан правац развоја нових методологија за испитивање карактеристика машинских система у енергетици омогућава да се на термоелектранама користе компоненте гарантованог квалитета чијом применом се избегавају хаваријски откази и непланирани застоји у производњи електричне енергије – а последично и велики финансијски и енергетски губици.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литературе која је коришћена приликом израде дисертације је дата у посебном поглављу. Литература обухвата радове, монографије и уџбенике који се односе на основе система тракастих транспортера (транспортне ваљке), машинске елементе и системе (котрљајне лежаје), нумеричке и статистичке симулације итд. Прегледом листе коришћених радова, намеће се закључак да је кандидат располагао релевантном стручном литературом – коју је детаљно проучио и приказао. Анализом доступне стручне литературе је постављен основ за приказ тренутног стања у предметној области истраживања, али и основ за развој нових експерименталних процедура за испитивање карактеристика транспортних ваљака и котрљајних лежаја – обједињених у нову експерименталну методологију испитивања. У дисертацији је приказан адекватан број референци, које су највећим делом актуелни радови из научних часописа, релевантне докторске дисертације или међународни стандарди.

Коришћена литература поседује карактер научног, савременог и актуелног извора информација, а осим прегледа постигнутих резултата, указује и на могуће правце даљег

научно-истраживачког рада у предметној области. Наведене изворе кандидат је коректно проучио и цитирао на одговарајући начин.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методе које су коришћене у току реализације предметног истраживања обухватају:

- Систематски приступ и класификација доступне стручне литературе – за критичку анализу и међусобно поређење различитих приступа развоју нових експерименталних методологија испитивања;
- Експерименталну методу – примењена на практично испитивање различитих карактеристика транспортних ваљака и котрљајних лежаја.
- Статистичку (софтверску) методу – кроз итеративну примену предефинисаних математичких модела, софтверски су дефинисане корелације између више посматраних карактеристика транспортних ваљака, односно, њихових котрљајних лежаја.
- Аналитичку методу – за допуну и усавршавање постојећег израза за прорачун радног радијалног зазора котрљајних лежаја статистичким корелацијама добијених експерименталних резултата.

3.4. Применљивост остварених резултата

Радам у предметној научној области кандидат Жарко З. Мишковић дипл. инж. маш. је постигао изванредне научно-истраживачке резултате са трајном научном вредношћу и практичном применљивошћу у домену испитивања карактеристика транспортних ваљака и њихових критичних компоненти – котрљајних лежаја.

Представљена мултидисциплинарна истраживања су омогућила развој и усвајање нове експерименталне методологије испитивања којом је могуће квантификовати кључне карактеристике транспортних ваљака, у циљу гарантовања њиховог квалитета. На тај начин, омогућава се избегавање уградње транспортних ваљака нижег квалитета у системе тракастог транспортера за континуални пренос угља од површинских копова до термоелектране, чиме се избегавају хаваријски откази и непланирани застоји у производњи електричне енергије. Наведено подразумева и значајне економске ефекте на рад целокупног термоенергетског постројења. Другим речима, применом представљеног методолошког приступа повећава се временски период између редовних одржавања (ремонта) система тракастих транспортера, као и смањење евентуалних ванредних застоја, чиме се остварује повећање поузданости и економичности целокупних термоенергетских постројења.

Посебан аспект представљеног истраживања се односи на процедуре експерименталног испитивања котрљајних лежаја у условима вештачке контаминације. Применљивост овог дела истраживања се огледа у чињеници да је представљену процедуру могуће применити на било које котрљајне лежаје који функционишу у експлоатационим условима у којима је изражена висока концентрација експлоатационих контаминирајућих честица – не само на лежаје транспортних ваљака, већ и на лежаје редуктора, погонских постројења, млинова итд. Исто важи и за развијену процедуру за испитивање производних налагења у склоповима транспортних ваљака – наведена експериментална процедура је универзална, и може се условно применити на различите типове пресовних спојева (не само на оне у склоповима транспортних ваљака).

Развијене статистичке корелације такође поседују практичан значај – њиховом применом је могуће нпр. заменити скупу опрему за вибро-дијагностику котрљајних лежаја (реда величине десетина хиљада евра) значајно јефтинијим термокамерама (реда величине пар хиљада евра).

Истраживања спроведена током израде дисертације представљају одличну основу за оптимизацију и пројектовање система тракастих транспортера на површинским коповима угља, као и за даљи рад на проучавању карактеристика њихових основних компоненти – транспортних ваљака, као и сличних машинских система.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Чланови Комисије сматрају да кандидат поседује смисао и знање неопходно за самостално препознавање и систематско решавање инжењерских и научних проблема, применом савремених метода теоријског, нумеричког и експерименталног карактера. Такође, кандидат је оспособљен и да користи расположиву литературу, као и да успешно влада савременим истраживачким методама.

Резултати експерименталне методологије приказани у докторској дисертације потврђују оспособљеност кандидата за даљи самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Општи научни циљеви истраживања обухваћени дисертацијом су унапређење постојећих знања кроз експериментални рад у лабораторијским условима, као и стварање новог генеричког знања у предметној области. Поред општих, остварено је и више посебних научних циљева:

- Детаљна анализа тренутног стања у области транспортних ваљака и њихових критичних компоненти – котрљајних лежаја, са посебним освртом на експлоатационе услове у којима најчешће функционишу;
- Развој нове универзалне методологије за експериментално испитивање транспортних ваљака и котрљајних лежаја;
- Имплементација развијене експерименталне методологије за испитивање транспортних ваљака са површинских копова угља – укључујући експерименталну процедуру у којој су по први пут за вештачку контаминацију мазива лежаја искоришћене реалне експлоатационе честице неметалних нечистоћа;
- Дефинисање нове статистичке корелације која повезује вибрације котрљајних лежаја, време проведено у експлоатацији и концентрацију абразивних честица страног порекла у њиховом мазиву;
- Дефинисање нове статистичке корелације која повезује температуре прстенова котрљајних лежаја, време проведено у експлоатацији и концентрацију абразивних честица страног порекла у њиховом мазиву;
- Имплементација нових статистичких корелација у постојећи општи израз за прорачун радног радијалног зазора котрљајних лежаја – допуна постојећег аналитичког модела.

Сем наведених, остварен је још један специфичан научни циљ – проширивање сарадње међу истраживачима у предметној области, на националном и интернационалном нивоу.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постојећих решења и прегледом релевантне литературе из научне области докторске дисертације – развоја нових експерименталних методологија испитивања транспортних ваљака и котрљајних лежаја, констатујемо да су представљени резултати истраживања оригинални и значајни, као и врло применљиви у пракси. Такође, на основу задатих научних циљева и представљених резултата истраживања, закључујемо да је кандидат на задовољавајући начин одговорио на сва релевантна питања и проблеме са којима се сусрео током реализације истраживања из предметне дисертације.

Установљена нова методологија за експериментално испитивање карактеристика транспортних ваљака, као и чињенице истакнуте у оквиру истраживања представљају значајан напредак у предметној области и отварају пут ка даљој оптимизацији система тракастих транспортера на површинским коповима угља, посебно њихових елементарних компоненти – транспортних ваљака.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси предметне дисертације су верификовани кроз више категорија објављених радова. Прва категорија су радови објављени у часописима са међународне SCI листе (група резултата M20) – кандидат је објавио укупно осам радова, од којих су са темом дисертације непосредно повезана три. Друга категорија су радови публиковани на међународним и националним конференцијама (група резултата M30 и M60) – кандидат их је објавио двадесет и пет, од којих је са темом дисертације непосредно повезано једанаест. У националним часописима, кандидат је објавио два рада – оба непосредно повезана са темом дисертације. Сем наведених радова, кандидат је публиковао и једно поглавље у међународној монографији (група резултата M10), три техничка решења (група резултата M80) и два реализована патента (група резултата M90)– проитеклих непосредно из рада на дисертацији. Преглед описаних референци:

Категорија M22 (1 x 5 = 5)

1. Tanasković J., Franklin F., Dišić A., **Mišković Ž.**: „Numerical Validation of the Combined Extrusion-Splitting Process of Energy Absorption Through Experimental Study“, Experimental Techniques, Society for Experimental Mechanics, ISSN 0732-8818, DOI: DOI 10.1007/s40799-017-0185-2, pp. 1227-1233, Malden, USA, 2017.

Категорија M23 (2 x 3 = 6)

2. **Mišković Ž.**, Mitrović R., Stamenić Z.: „ Analysis of grease contamination influence on the internal radial clearance of ball bearings by thermographic inspection“, Thermal Science, Institut za nuklearne nauke “Vinča”, ISSN 0354-9836, Vol. 20, No. 1, pp. 255-265, Belgrade, Serbia, 2016.
3. **Mišković Ž.**, Mitrović R., Maksimović V., Milivojević A.: „Analysis and prediction of vibrations of ball bearings contaminated by open pit coal mine debris particles“, Technical Gazzete (Tehnicki Vjesnik), Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Print: ISSN 1330-

Kategorija M14 (1 x 4 = 4)

4. Mitrović R., Tasić M., **Mišković Ž.**, Stamenić Z., Jovanović D.: „Data Acquisition and Automatisation of a Conveyor Idler Test Stand”, Advanced Materials Research, Trans Tech Publications, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.633.277, Vol. 633, pp.277-289, ISBN 1022-6680/978-3-03785-585-0, Zurich-Durnten, Switzerland, 2013.

Kategorija M33 (9 x 1 = 9)

5. Mitrovic R., **Miskovic Z.**, Djukic M., Bakic G.: „Statistical correlation between vibration characteristics, surface temperatures and service life of rolling bearings - artificially contaminated by open pit coal mine debris particles”, 21st European Conference On Fracture, ESIS, ISBN 978-15-1082-701-1, pp. 2338-2346, Catania, Italy, 2016
6. Mitrović R., **Mišković Ž.**, Ivanović G., Tasić M., Stamenić Z.: „Development of Experimental Methodology for Conveyor Idler’s Sealing Group Testing”, 2nd International Scientific Conference COMETA 2014, University of East Sarajevo – Faculty of Mechanical Engineering, Proceedings, pp.497-504, ISBN 978-99976-623-1-6, East Sarajevo – Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2014.
7. Mitrović R., **Mišković Ž.**, Stamenić Z.: „Review of Machine Elements and Systems Testing Capacities of Faculty of Mechanical Engineering at University of Belgrade”, 2nd International Scientific Conference COMETA 2014, University of East Sarajevo – Faculty of Mechanical Engineering, Proceedings, pp.681-688, ISBN 978-99976-623-1-6, East Sarajevo – Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2014.
8. Mitrović R., **Mišković Ž.**, Tasić M., Stamenić Z.: „Conveyor Idler’s Turning Resistance Testing Methodology”, 8th International Symposium Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering – KOD 2014, Association for Design, Elements and Constructions – ADEKO, Proceedings, pp.139-144, ISBN 978-86-7892-615-0, Balatonfured, Hungary, 2014.
9. Atanasovska I., Mitrović R., Stefanović S., Soldat N., **Mišković Ž.**: „Calculation of Radial Stiffness for Single-row Ball Bearing with Finite Element Analysis”, 8th International Symposium Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering – KOD 2014, Association for Design, Elements and Constructions – ADEKO, Proceedings, pp.201-206, ISBN 978-86-7892-615-0, Balatonfured, Hungary, 2014.
10. Mitrović R., Soldat N., **Mišković Ž.**, Matić N.: „Some Experiences In Laboratory Testing Of Bearings Of Transport Idlers On Belt Conveyor”, 11th Anniversary International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology, DEMI 2013, University of Banja Luka - Faculty of Mechanical Engineering, Proceedings, ISBN 978-99938-39-45-3, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, 2013.
11. Mitrović R., **Mišković Ž.**, Tasić M., Stamenić Z., Soldat N., Matić N.: „Conveyor Idlers Testing Machine”, The 29th Danubia-Adria-Symposium on Advances of Experimental Mechanics, Serbian Society of Mechanics, University of Belgrade Faculty of Mechanical Engineering, Proceedings, pp.278-281, ISBN 978-86-7083-762-1, Belgrade, Serbia, 2012.

12. Mitrović R., Stamenić Z., **Mišković Ž.**, Tasić M.: „Laboratory Installation for Belt Conveyors Idlers Testing on Servohydraulic Testing Machine ZWICK HB-250”, The 7th International Scientific Conference - Research and Development of Mechanical Elements and Systems - IRMES 2011, Mechanical Engineering Faculty, University of Nis, Proceedings, pp.371-376, ISBN 978-86-6055-012-7, Zlatibor, Serbia, 2011.
13. Mitrović R., Stamenić Z., **Mišković Ž.**, Tasić M., Jovanović D.: „Installation for carrier roller idlers of belt conveyors testing on the open pit mining”, The 7th International Scientific Conference - Research and Development of Mechanical Elements and Systems - IRMES 2011, Mechanical Engineering Faculty, University of Nis, Proceedings, pp.383-388, ISBN 978-86-6055-012-7, Zlatibor, Serbia, 2011.

Категорија М34 (1 x 0,5 = 0,5)

14. Mitrović R., Mišković Ž., Maksimović V., Jovanović D., Ivanović G., Stamenić Z., Tasić M.: „Analysis and Characterization of Coal Mine Conveyor Idlers Contamination Particles”, Sixteenth Annual Conference YUCOMAT 2014., Materials Research Society of Serbia, Book of abstracts, pp.96, Herceg Novi, Montenegro, 2014.

Категорија М52 (2 x 1,5 = 3)

15. Atanasovska I., Mitrović R., Stefanović S., Soldat N., **Mišković Ž.**: „Calculation of Radial Stiffness for Single-row Ball Bearing with Finite Element Analysis”, Machine Design, University of Novi Sad – Faculty of Technical Sciences, Vol. 6 (2014), No. 3, pp.85-90, ISSN 1821-1259, Novi Sad, Serbia, 2014.
16. Mitrović R., **Mišković Ž.**, Tasić M., Stamenić Z.: „Conveyor Idler’s Turning Resistance Testing Methodology”, Machine Design, University of Novi Sad – Faculty of Technical Sciences, Vol. 6 (2014), No. 4, pp.107-112, ISSN 1821-1259, Novi Sad, Serbia, 2014.

Категорија М63 (1 x 0,5 = 0,5)

17. Јовановић Д., Митровић Р., Ивановић Г., **Мишковић Ж.**, Стаменић З.: „Унапређење пословања ПД Термоелектране и Копови Костолац сарадњом са Универзитетом у Београду”, XXI скуп међународног значаја Технологија, Култура, Развој – ТКР 2014, Удружење ”Технологија и друштво”, Zbornik radova, pp.49-67, ISBN 978-86-915151-3-3, Тиват, Црна Гора, 2014.

Категорија М82 (2 x 6 = 12)

18. Митровић Р., Тасић М., Ивановић Г., **Мишковић Ж.**, Стаменић З.: „Пробни сто за испитивање радијално оптерећених транспортних ваљака“, ПД "Термоелектране и копови Костолац" д.о.о., Техничко решење - индустријски прототип, Србија, 2010.
19. Митровић Р., Тасић М., Ивановић Г., **Мишковић Ж.**, Стаменић З.: „Пробни сто за испитивање ефикасности заптивне групе транспортних ваљака“, ПД "Термоелектране и копови Костолац" д.о.о., Техничко решење - индустријски прототип, Србија, 2010.

Категорија М83 (1 x 4 = 4)

20. Митровић Ч., Воротовић Г., Петровић Н., Благојевић И., Стаменић З., **Мишковић Ж.**, Каран С.: „Пробни сто за испитивање момента отпора транспортних ваљака”, ANSAL STEEL D.O.O., Техничко решење - Нови технолошки поступак, Београд, Србија, 2014.

Категорија М92 (2 x 8 = 16)

21. **Мишковић Ж.**, Митровић Р., Тасић М., Стаменић З.: „Инсталација за испитивање транспортних ваљака”, Реализовани патент (израђен и верификован функционалан прототип), 1422 У1, Завод за интелектуалну својину Републике Србије, Београд, Србија, 2014.
22. **Мишковић Ж.**, Митровић Р., Тасић М., Стаменић З.: „Инсталација за сигнализацију отказа котрљајних лежаја транспортних ваљака”, Реализовани патент (израђен и верификован функционалан прототип), 1434 У1, Завод за интелектуалну својину Републике Србије, Београд, 2015.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљне анализе докторске дисертације под називом „**Утицај концентрације експлоатационих честица нечистоћа на радне карактеристике котрљајних лежаја**“ кандидата Жарка З. Мишковића, дипл. инж. маш., студента докторских студија, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је наведена дисертација написана према важећим стандардима у научно-истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима и Статутом Машинског факултета Универзитета у Београду.

На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији и чињенице да је анализирана проблематика значајна и актуелна у стручној и научној јавности, констатује се да је кандидат Жарко З. Мишковић, дипл. инж. маш., студент докторских студија, успешно завршио докторску дисертацију – у складу са предвиђеним предметом истраживања и постављеним научним циљевима.

Кандидат је остварио оригиналне резултате у области транспортних ваљака система тракастих транспортера и њихових критичних компоненти – котрљајних лежаја, користећи расположиву литературу и оригиналне резултате. Резултати истраживања су систематично обрађени и на основу њих изведени вредни закључци у погледу трендова и понашања кључних карактеристика транспортних ваљака. Развијена методологија за експериментално испитивање карактеристика транспортних ваљака представља значајан алат који омогућава оптимизацију система тракастих транспортера, односно, решавање конкретне инжењерске проблеме.

Научна и стручна јавност је упозната са резултатима истраживања публикавањем три рада у међународним часописима, више радова објављених у зборницима међународних и националних конференција, као и једним поглављем у међународној монографији. Директан резултат рада на дисертацији су и три техничка решења и два реализована патента – призната и објављена у Гласнику интелектуалне својине РС.

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључује да дисертација представља оригинални научни рад са научним доприносом у области техничких наука - машинство, ужа научна област Опште машинске конструкције, па сагласно томе предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да Реферат прихвати, дисертацију стави на увид јавности и упути извештај на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да се по окончаној процедури кандидат позове на јавну одбрану.

У Београду, 27.06.2017. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Радивоје Митровић, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет

др Милета Ристивојевић, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет

др Татјана Лазовић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет

др Зоран Стаменић, доцент
Универзитет у Београду – Машински факултет

др Сениша Кузмановић, редовни професор
Универзитет у Новом Саду – Факултет техничких наука