

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ЗА МАШИНСТВО И ГРАЂЕВИНАРСТВО У КРАЉЕВУ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ЗА МАШИНСТВО И ГРАЂЕВИНАРСТВО У КРАЉЕВУ

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата
Милана Бижића, дипл. инж. маш., студента докторских студија

Одлуком Наставно-научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву, број 9/1 од 08.01.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милана Бижића, дипл. инж. маш., студента докторских студија, под називом:

"Истраживање утицајних параметара у интеракцији точак-шина на стабилност кретања железничких возила"

Тема докторске дисертације одобрена је за израду од стране Наставно-научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву одлуком бр. 222/10 од 26.02.2013. године, и на њу је сагласност дало Стручно веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу одлуком бр. 122/6 од 13.03.2013. године.

На основу увида у приложену докторску дисертацију и Извештаја Комисије за оцену подобности кандидата и теме докторске дисертације, а на основу Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, Наставно-научном већу подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

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

Докторска дисертација кандидата Милана Бижића, дипл. инж. маш., под насловом "Истраживање утицајних параметара у интеракцији точак-шина на стабилност кретања железничких возила" представља резултат мулти-дисциплинарног научно-истраживачког рада кандидата у актуелној научној области која се односи на анализу стабилности кретања железничких возила, а посебно на експериментална испитивања утицајних параметара у интеракцији точак-шина применом мерних осовинских склопова. Са аспекта предмета истраживања и добијених резултата, ова докторска дисертација представља јединствен и оригиналан научни рад.

Од оснивања до данас, један од најактуелнијих проблема на железници је проблем безбедности. Након сваке железничке несреће праћене људским жртвама и огромном материјалном штетом, истраживања везана за стабилност кретања и смањење ризика од исклизнућа железничких возила су све актуелнија и представљају својеврстан изазов у научно-стручним круговима. Актуелност и значај проблема безбедности на железници се додатно појачавају имајући у виду сталне тежње за повећањем брзине и осовинског оптерећења. Незаобилазну основу за сва истраживања у циљу повећања безбедности на железници, представљају истраживања интеракције точка и шине. У том смислу, највећи значај имају истраживања везана за одређивање сила у интеракцији точак-шина, које представљају кључне утицајне параметре и показатеље квалитета динамичког понашања и стабилности кретања железничких возила. Најпоузданији начин за одређивање ових сила је експериментално испитивање у експлоатационим условима. То потврђују и релевантни стандарди међународне железничке уније UIC 518 и Европског комитета за стандардизацију EN 14363, који у великом броју случајева сертификације нових или модификованих прототипова железничких возила, као обавезна намећу експериментална испитивања сила у интеракцији точак-шина применом мерних осовинских склопова.

Полазећи од претходно изнетих чињеница, кандидат је извршио анализу и систематизацију постојећих знања, искустава, као и научних и практичних резултата релевантних истраживача и стручњака из ове области, и на основу тога дефинисао предмет и циљ сопствених истраживања у оквиру ове докторске дисертације.

Значај и допринос ове докторске дисертације везани су за развој јединствене и универзалне методе за експериментално одређивање сила, као и положаја тачке контакта, у интеракцији точак-шина применом мерног осовинског склопа. У оквиру системског и свеобухватног приступа, анализиран је утицај сила у интеракцији точак-шина на стабилност кретања железничких возила и методологије експерименталног одређивања ових сила применом мерних осовинских склопова. Дефинисани су оптимални начини решавања свих кључних проблема развоја којима се омогућава постизање високе тачности мерења мерних осовинских склопова намењених експерименталним испитивањима динамичког понашања и стабилности кретања железничких возила у складу са релевантним међународним стандардима.

Ова дисертација представља веома значајан допринос у области истраживања стабилности кретања железничких возила, а посебно у области експерименталних испитивања утицајних параметара у интеракцији точак-шина. Овом дисертацијом умањен је значајан недостатак домаће и стране литературе из области решавања веома сложеног проблема експерименталног одређивања сила и положаја тачке контакта у интеракцији точак-шина применом мерних осовинских склопова. Добијени резултати у овој дисертацији представљају важну основу и отварају могућности за даља истраживања у овој области која се односе на унапређења постојеће методе и повећање тачности мерења, развој система за тзв. високо-фреквентна мерења која би омогућила да се на основу добијених параметара у интеракцији точак-шина оцењује квалитет колосека, развој система у којима би се уместо мерних трака користили други типови сензора (нпр. фибер-оптички сензори), итд.

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

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Милана Бижића, дипл. инж. маш., под насловом "**Истраживање утицајних параметара у интеракцији точак-шина на стабилност кретања железничких возила**", представља резултат оригиналног научног рада. Обрађена тема је веома актуелна и значајна за развој науке у области испитивања

динамичког понашања и стабилности кретања железничких возила применом мерних осовинских склопова. Кандидат је тему обрадио веома детаљно и студиозно, при чему је користио теоријске основе научних дисциплина релевантних за ову проблематику. Систематизована су и критички анализирана постојећа знања, искуства, као и научни и стручни резултати публиковани у релевантној литератури и научним радовима који се баве проблематиком разматраном у оквиру ове докторске дисертације.

У дисертацији је успешно дефинисан научни проблем и методологија његовог решавања која базира на примени научног приступа и савремених научних метода. Добијени резултати уклапају се у општи систем знања из области испитивања динамичког понашања и стабилности кретања железничких возила применом мерних осовинских склопова. Сагледавањем теоријских знања и искустава, развојем нумеричког модела за решавање постављеног проблема, и свеобухватним и обимним експерименталним истраживањима применом савремене мерне опреме, кандидат је показао способност за самостално бављење научним радом.

3. Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

Кандидат Милан Бижић рођен је 02.03.1981. године у Бихаћу, а потиче из села Крбавица у Лици, недалеко од Коренице. Основну школу завршио је на Плитвичким Језерима, а средњу Машинско-техничку школу „14. Октобар” завршио је у Краљеву, где и данас живи са супругом Виолетом, сином Петром и кћерком Маријом.

Студије машинства на Машинском факултету у Краљеву уписао је 1999. године, при чему је у току студија остварио просечну оцену 8,95. На смеру за Конструкције и машине дипломирао је у јулу 2004. године са оценом 10,00, и тако постао један од најмлађих дипломираних инжењера у историји Машинског факултета у Краљеву.

Након редовног одслужења војног рока, засновао је радни однос у приватном предузећу „Амига” из Краљева, где је у бироу за пројектовање и развој провео 3,5 године, прво као пројектант, а једно време и као руководиоца. У том периоду, стекао је веома значајна практична искуства из области пројектовања и конструисања носећих челичних конструкција, пројектовања и конструисања транспортних средстава, руковођења реализацијом пројеката и изградњом објеката.

Стручни испит положио је 2008. године, пред комисијом у Савезу инжењера и техничара Србије. Члан је Инжењерске коморе Србије и поседује лиценце одговорног пројектанта и извођача радова из области транспортних средстава, складишта и машинских конструкција и технологије бр. 333Н96909 и бр. 434Е17809.

Докторске студије машинског инжењерства уписао је 2009. године на Машинском факултету у Краљеву (сада Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву). У досадашњем току студија положио је све испите и остварио просечну оцену 9,80, чиме је испунио један од услова за пријаву и одбрану докторске дисертације. Исте године засновао је и радни однос на Машинском факултету у Краљеву као асистент за ужу научну област Железничко машинство, на следећој групи предмета: Вагони, Локомотиве, Железничка возила 1, Железничка возила 2, и Испитивање машинских конструкција.

Одлуком Наставно-научног већа број 1118/1 од 30.10.2012. године, други пут је изабран у звање асистента за ужу научну област Железничко машинство (Статутом Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву бр. 1070 од 24.10.2012. године, промењено у "Железничко машинство и испитивање конструкција"). У том звању и на том радном месту налази се и данас, при чему је ангажован у реализацији аудиторних, самосталних и

лабораторијских вежби из следећих предмета: Методе испитивања конструкција, Основе железничких возила, Конструкција и прорачун железничких возила, Испитивање машинских конструкција, Вагони и локомотиве, Пројектовање и развој железничких возила, и Испитивање железничких возила.

Из области железничког машинства и испитивања конструкција, којој припада ова докторска дисертација, као аутор или коаутор, објавио је укупно 28 научних радова (7 радова у међународним часописима са СЦИ листе, 3 рада у часописима у другим државама, 13 радова на међународним и домаћим научним конференцијама, и 5 радова у домаћим часописима), и учествовао је у реализацији 2 научно-истраживачка пројекта финансирана од стране ресорног Министарства Републике Србије, као и једног међународног ФП-7 пројекта финансираног од стране Европске Комисије. Подаци о научно-истраживачком и стручном раду кандидата дати су у наставку.

Рад у врхунском међународном часопису - [M21]:

1. Mirko Djelosevic, Vladeta Gajic, Dragan Petrovic, **Milan Bizic**, Identification of local stress parameters influencing the optimum design of box girders, Engineering Structures, Volume 40 (2012), 299–316, doi:10.1016/j.engstruct.2012.02.040.

Рад у међународном часопису - [M22]:

2. Dragan Petrović, **Milan Bižić**, Improvement of suspension system of Fbd wagons for coal transportation, Engineering Failure Analysis, Volume 25 (2012), 89–96, doi:10.1016/j.engfailanal.2012.05.001.
3. **Milan Bižić**, Radovan Bulatović, Dragan Petrović, Milomir Gašić, Mile Savković, Modeling profile and kinematic analysis of two circular-arc cams, Engineering with Computers, Volume 29 (2013), Issue 4, 535-546, doi:10.1007/s00366-012-0280-z

Рад у међународном часопису - [M23]:

1. Dragan Petrovic, **Milan Bizic**, Mirko Djelosevic, Determination of dynamic sizes during the process of impact of railway wagons, Archive of Applied Mechanics, Volume 82, Number 2 (2012), 205-213, doi: 10.1007/s00419-011-0549-5.
2. **Milan Bižić**, Dragan Petrović, Dragan Pančić, Zoran Đinović, Mathematical modelling of a disc weakened by an eccentric circular hole, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 50, 4 (2012), 1097-1108, ISSN 1429-2955, <http://www.ptmts.org.pl/volume.xsl?vol=50&no=4>.
3. Dragan Petrović, **Milan Bižić**, Milomir Gašić, Mile Savković, Vladeta Gajić, Increasing the Efficiency of Railway Transport by Improvement of Suspension of Freight Wagons, Promet – Traffic&Transportation, Vol. 24, 2012, No. 6, 487–493, doi:10.7307/ptt.v24i6.1202.
4. **Milan Bizic**, Dragan Petrovic, Zoran Djinovic, Milos Tomic, Experimental Testing of Impact of Railway Wagons, Experimental Techniques, July 2012, doi:10.1111/j.1747-1567.2012.00850.x. (у штампи)

Рад у водећем часопису националног значаја - [M51]:

1. Ranko Rakanović, Momčilo Vesković, Dragan Petrović, Tomislav Simović, **Milan Bižić**, Akreditacija metodologija ispitivanja vagona saglasno evropskim standardima, IMK-14 – Istraživanje i razvoj, vol. 16, br. 2, str. 85-90, (2010), ISSN 0354-6829.
2. Mirko Đelošević, Dragan Petrović, **Milan Bižić**, Identification of the stress-strain state of a cylindrical tank with walls of variable thickness, FME Transactions, vol. 39, iss. 1, pp. 25-32, (2011), ISSN 1451-2092.

3. Dragan Petrović, **Milan Bižić**, Improvement of the suspension system of the wagons with laminated springs, FACTA UNIVERSITATIS, Series: Mechanical Engineering, Vol. 10, No 1, pp. 55-62, (2012), ISSN 0354-2025.

Рад у научном часопису - [M53]:

1. **Milan Bižić**, Dragan Petrović, Identifikacija uticaja kružnog otvora na naponsko stanje homogene izotropne jednoosno zategnute ploče, IMK-14 – Istraživanje i razvoj, br. 40, 3/2011, str. 17-22, (2011), ISSN 0354-6829.
2. Dragan Petrović, **Milan Bižić**, Stability of reservoir of tank-wagon at longitudinal impact, IMK-14 – Research and development, Volume 18, Number 1, pp. EN19-23, (2012), ISSN 0354-6829.

Рад у научном часопису у другим државама - [M53]:

1. Dragan Petrovic, **Milan Bizic**, Mirko Djelosevic, Distribution of energy in the impact of railway freight wagons, Almanac of University of Transport "Todor Kableshkov" Sofia, Bulgaria, 1/2010, pp. 1-8, (2010), ISSN 1314-362X.
2. Dragan Petrović, Miloš Tomić, Zoran Đinović, **Milan Bižić**, Measuring systems for testing the safety and security of railway vehicles, Proceedings of the 20th International Scientific Conference TRANSPORT 2011, Academic journal: Mechanics Transport Communications, Sofia, Bulgaria, issue 3, part 2, pp. VI-20-VI-28, (2011), ISSN 1312-3823. (категорише се и као M33).
3. Dragan Z. Petrović, **Milan B. Bižić**, Mathematical modelling of a plate weakened by a circular hole in pure bending condition, Academic journal: Mechanics Transport Communications, Sofia, Bulgaria, volume 12, issue 3/3, pp. VI-45-VI-54, (2014), ISSN 1312-3823.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини - [M33]:

1. Dragan Petrovic, Arandjel Babic, **Milan Bizic**, Marina Pljakic, Analysis of wagon impact, Proceedings of the First International Conference on Road and Rail Infrastructure – CETRA 2010, Opatija, Croatia, pp. 957-962, (2010), ISBN 978-953-6272-37-2.
2. **Milan Bizic**, Milos Tomic, Zoran Djjinovic, Dragan Petrovic, Test stand for calibration of measurement railway wheelsets, Proceedings of the 7th International Conference Research and Development of Mechanical Elements and Systems – IRMES, Zlatibor, Serbia, pp. 419-424, (2011), ISBN 978-86-6055-012-7.
3. Mirko Djelosevic, Milomir Gasic, Mile Savkovic, Dragan Petrovic, **Milan Bizic**, Analysis of the influence of local stress on the carrying capacity of box beams, Proceedings of the 7th International Conference Research and Development of Mechanical Elements and Systems – IRMES, Zlatibor, Serbia, pp. 279-284, (2011), ISBN 978-86-6055-012-7.
4. Dragan Petrovic, **Milan Bizic**, Mirko Djelosevic, Ranko Rakanovic, Identification of wave phenomena at wagons impact, Proceedings of the Seventh Trienal International Conference HEAVY MACHINERY – HM 2011, Vrnjacka Banja, Serbia, No 1, pp. 9-12, (2011), ISBN 978-86-82631-58-3.
5. Mirko Djelosevic, Vladeta Gajic, Dragan Petrovic, **Milan Bizic**, Distribution of Bending Moments on the Plates of Carrier with Trapezoidal Cross Section, Proceedings of the Seventh Trienal International Conference HEAVY MACHINERY – HM 2011, Vrnjacka Banja, Serbia, No 4, pp. 81-84, (2011), ISBN 978-86-82631-58-3.
6. **Milan Bižić**, Dragan Petrović, Miloš Tomić, Zoran Đinović, Detection of overheating in axle-boxes of railway vehicles, Proceedings of the XV International Scientific-expert

Conference on Railways – RAILCON '12, Niš, Serbia, pp. 145-148, (2012), ISBN 978-86-6055-028-8.

7. Dragan Petrović, **Milan Bižić**, Improvement of suspension system of wagons with laminated springs, Proceedings of the XV International Scientific-expert Conference on Railways – RAILCON '12, Niš, Serbia, pp. 33-36, (2012), ISBN 978-86-6055-028-8.
8. Dragan Petrović, Dobrinka Atmadzhova, **Milan Bižić**, Advantages of installation of rubber-metal elements in suspension of railway vehicles, Proceedings of the Third International Conference on Road and Rail Infrastructure – CETRA 2014, Split, Croatia, pp. 491-497, (2014), ISSN 1848-9842.
9. **Milan Bižić**, Dragan Petrović, Isidora Pančić, Functions of wheel-rail contact geometry, Proceedings of the Eighth Triennial International Conference HEAVY MACHINERY – HM 2014, Zlatibor, Serbia, pp. F77-F84, (2014), ISBN 978-86-82631-74-3.
10. Dragan Petrović, **Milan Bižić**, Dragan Pančić, Dragić Mirković, Numerical simulation of wagons impact, Proceedings of the Eighth Triennial International Conference HEAVY MACHINERY – HM 2014, Zlatibor, Serbia, pp. F85-F92, (2014), ISBN 978-86-82631-74-3.
11. **Milan Bižić**, Dragan Petrović, Methodologies of experimental determination of wheel-rail contact forces, Proceedings of the XVI International Scientific-Expert Conference on Railways – RAILCON '14, Niš, Serbia, pp. 157-160, (2014), ISBN 978-86-6055-060-8.
12. Dragan Petrović, **Milan Bižić**, Repairing of broken laminated springs of freight wagons by welding, Proceedings of the XVI International Scientific-Expert Conference on Railways – RAILCON '14, Niš, Serbia, pp. 145-148, (2014), ISBN 978-86-6055-060-8

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини - [M63]

1. Dragan Petrović, Arandel Babić, **Milan Bižić**, Mirko Đelošević, Merna oprema za dinamička i kvazistatička ispitivanja železničkih vozila, Zbornik radova sa XIV Naučno-stručne konferencije o železnici – ŽELKON-RAILCON 10, Niš, Srbija, str. 177-181, (2010), ISBN 978-86-6055-007-3.

Учесће на националним пројектима ресорног Министарства:

1. Пројекат технолошког развоја бр. ТР-14019 Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије: "Оспособљавање и припрема за акредитацију лабораторија за испитивање железничких возила сагласно Европским нормама – подршка извозу". Реализатор: Машински факултет Краљево, Руководилац: проф. др Ранко Ракановић (проф. др Драган Петровић), Корисник: Фабрика вагона Краљево, Трајање: 2008–2010. године. **Учесник на пројекту.**
2. Пројекат технолошког развоја бр. ТР-35038 Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије: "Истраживање и развој нових концепција веза окретне и неокретне конструкције машина транспортне и грађевинске механизације". Реализатор: Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Руководилац: проф. др Миломир Гашић, Трајање: 2011–2015. године. **Учесник на пројекту.**

Учесће на међународним пројектима:

1. ФП-7 пројекат финансиран од стране Европске Комисије и Министарства за науку Републике Србије: "Strengthening Railway Vehicles Centre of Faculty of Mechanical Engineering Kraljevo", Акроним: SeRViCe, Евиденциони број пројекта: 206929, Реализатор: Машински факултет Краљево, Руководилац: проф. др Ранко Ракановић (проф. др Драган Петровић), Трајање: 01.05.2008–30.04.2011. године. **Члан пројектног борда и руководиоца једног радног пакета.**

Учешће на међународним скуповима и симпозијумима:

1. Међународни скуп "Week of Innovative Regions in Europe" – WIRE 2010, у организацији владе Шпаније, одржан 15-17 марта 2010. године у Грапади, Шпанија. Презентован постер са оствареним резултатима ФП-7 пројекта "Strengthening Railway Vehicles Centre of Faculty of Mechanical Engineering Kraljevo". Назив постера: Support to reinforcement of railway research potential of Serbia.
2. Међународни скуп (радионица) "Workshop on Rail Vehicle Dynamics" – RAILDYN, у организацији Машинског факултета Краљево и Међународне асоцијације за динамику возила (International Association for Vehicle System Dynamics – IAVSD; www.iavsd.org), одржан 12-14 априла 2011. године у Краљево. Одржано предавање под називом: "Development of Measurement Equipment for Testing of Dynamic Behavior of Railway Vehicles at Faculty of Mechanical Engineering Kraljevo".

Подаци о студијским боравцима у иностранству:

1. Француска, Париз, 2010. год., Компанија "ALSTOM", трајање: 5 дана.
2. Аустрија, Wiener Neustadt, 2010. год., Институт "Integrated Microsystems Austria GmbH", трајање: 10 дана.

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

Докторска дисертација кандидата Милана Бижића, дипл. инж. маш., под насловом **"Истраживање утицајних параметара у интеракцији точак-шина на стабилност кретања железничких возила"**, по обиму и садржају у потпуности одговара теми прихваћеној од стране Наставно-научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљево и Стручног већа Универзитета у Крагујевцу. По квалитету, обиму и презентованим резултатима истраживања, ова докторска дисертација у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове и критеријуме за израду докторских дисертација.

Резултати истраживања су у писаном делу докторске дисертације изложени на 241 страни. У раду су приказане 283 графичке илустрације и цитирано је 107 библиографских података. Садржај дисертације обухвата 9 поглавља:

1. Увод
2. Геометрија контакта точак-шина
3. Теорија контакта точак-шина
4. Стабилност кретања и исклизнуће железничких возила
5. Методе експерименталног одређивања сила у интеракцији точак-шина
6. Развој методе за експериментално одређивање сила у интеракцији точак-шина применом мерног осовинског склопа
7. Експериментална испитивања и верификација развијене методе на реалном објекту
8. Закључак и правци даљих истраживања
9. Литература

У првом поглављу дефинисан је предмет истраживања и изложени су циљеви дисертације. Посебан акценат стављен је на формулацију и значај проблема који се решава у оквиру дисертације. Дефинисана је структура дисертације са краћим напоменама о спроведеним истраживањима у оквиру сваког поглавља.

У другом поглављу анализирана је геометрија интеракције точак-шина. Дефинисани су параметри геометрије колосека и осовинског склона, као и кључни параметри њихове међусобне интеракције. Посебан акценат стављен је на увођење и анализу еквивалентне коничности као функције која служи за описивање и карактеризацију нелинеарне геометрије интеракције точак-шина.

У трећем поглављу обрађена је теорија контакта точак-шина. Анализиране су методологије за одређивање облика и величине контактне површине између точка и шине, нормалног и тангенцијалног напона, њихове расподеле у контактної површини, као и сила које у њој владају. Разматран је феномен псевдоклизања који има кључни утицај на карактер тангенцијалне силе у контактної површини. Акценат је стављен на преглед развоја теорија за решавање тангенцијалног контактног проблема, са посебним освртом на њихове предности и недостатке, као и примену у анализама динамичког понашања железничких возила.

У четвртном поглављу обрађени су проблеми стабилности кретања и исклизућа железничких возила. Анализирано је вијугање осовинских склопова као највећи проблем са аспекта комфора и стабилности при кретању на правцу, и утицаји центрифугалне силе и закретања осовинских склопова као највећих проблема са аспекта ризика од пењања венца точка на главу шине и исклизућа при кретању у кривини. Посебан акценат стављен је на анализу механизма настанка исклизућа и кључне утицајне параметре – бочну силу Y и вертикалну силу Q у интеракцији точак-шина, као и на њихов однос Y/Q , који представља главни показатељ стабилности кретања железничких возила у кривинама.

У петом поглављу анализиране су методе експерименталног одређивања сила у интеракцији точак-шина са стране колосека и са стране железничких возила. Акценат је стављен на принцип реализације и предности и недостатке појединих техничких решења мерних система у оквиру датих метода. Посебна пажња посвећена је прегледу стања у области савремених решења мерних осовинских склопова са посебним освртом на њихову тачност мерења, конструкцију, локације, распоред, број и начин повезивања мерних трака, начин калибрације, начин инверзне идентификације, итд.

У шестом поглављу развијена је јединствена метода за експериментално одређивање сила у интеракцији точак-шина применом мерног осовинског склопа. Поред експерименталног одређивања бочне силе Y и вертикалне силе Q у интеракцији точак-шина у складу са релевантним међународним стандардима UIC 518 и EN 14363, развијена метода омогућава и одређивање положаја тачке контакта између точка и шине. Развој методе заснован је на нумеричком моделу точка и резултатима прорачуна применом методе коначних елемената. Формирани модел је верификован експерименталним испитивањима на реалном објекту односно точку. У оквиру развијене методе дефинисани су начини решавања кључних проблема при развоју мерних осовинских склопова високе тачности. Ти проблеми односе се пре свега на одређивање оптималних локација, распореда, броја и начина повезивања мерних трака у мерне мостове, као и на развој алгоритма за инверзну идентификацију параметара који се мере. У овој фази истраживања, развијена метода и алгоритам инверзне идентификације тестирани су и верификовани помоћу нумеричког модела точка.

У седмом поглављу извршена су експериментална испитивања са циљем верификације развијене методе и алгоритма инверзне идентификације на реалном објекту – мерном осовинском склопу. За испитивања су коришћени мерни осовински склоп мерног система МЕРОСА и специјална пробница М10.09 производње ОСС – Оптички сензорски системи, Београд, Србија. У првој фази, реализована су статичка испитивања са циљем потврђивања линеарности система. У другој фази, у складу са претходно развијеним алгоритмом, извршена је калибрација мерног система и одређивање појединачних

матрица раздвајања помешаних сигнала са мерних мостова, у динамичким условима, при обртању мерног осовинског склопа. Након тога извршено је тестирање раздвајања помешаних сигнала и одређивања непознатих параметара у интеракцији точак-шина за два тест случаја у којима су на пробници задавана оптерећења која приближно одговарају оптерећењима точка за празан односно натоварен 4-осовински теретни вагон. Након тога, извршена је анализа добијених резултата и статистичка анализа грешака мерења, чиме је потврђена чињеница да развијена метода омогућава постизање тачности мерења параметара у интеракцији точак-шина која се креће у рангу најсавременијих светских решења.

У осмом поглављу, на основу свеобухватне анализе резултата истраживања у оквиру дисертације, формулисани су закључци и дефинисани су правци даљих истраживања.

На крају дисертације, у деветом поглављу, дат је попис коришћене литературе по редоследу појављивања.

5. Научни резултати докторске дисертације

Кандидат Милан Бижић, дипл. инж. маш., је у оквиру ове докторске дисертације, на веома детаљан, студиозан и свеобухватан начин, извршио систематизацију и критичку анализу постојећих знања и искустава из области испитивања динамичког понашања и стабилности кретања железничких возила, а посебно из области експерименталног одређивања сила у интеракцији точак-шина применом мерних осовинских склопова. У оквиру дисертације, кандидат је дошао до резултата и закључака који имају велики научни значај, како у теоријском, тако и у практичном смислу. Најважнији научни резултати докторске дисертације су:

- На основу постојећих знања и искустава, извршена је детаљна и свеобухватна анализа и систематизација утицајних параметара на динамичко понашање и стабилност кретања железничких возила. Спроведене анализе указују да су силе у интеракцији точак-шина кључни утицајни параметри и показатељи квалитета динамичког понашања и стабилности кретања железничких возила, као и да експериментална испитивања у експлоатационим условима представљају најпоузданији начин за њихово одређивање.
- Развијена је јединствена и универзална метода за експериментално одређивање сила у интеракцији точак-шина применом мерног осовинског склопа. Развијена метода омогућава постизање високе тачности мерења која се креће у рангу најсавременијих светских решења. У оквиру развијене методе дефинисан је оптималан начин решавања свих кључних проблема при развоју мерних осовинских склопова. Поред тога, развијена метода је применљива и код постојећих мерних осовинских склопова, са циљем повећања њихове тачности.
- Идентификовани су главни утицајни параметри на деформације диска точка на који се постављају сензори за индиректно мерење сила у интеракцији точак-шина и положаја тачке контакта.
- Развијен је нумерички модел точка на основу кога су изведени веома значајни закључци везани за утицај сила у интеракцији точак-шина, али и осталих параметара, на деформационо-напонска стања диска точка. На основу тога, дефинисане су методологије за одређивање оптималних локација (радијалних растојања), распореда, броја и начина повезивања мерних трака на точковима мерног осовинског склопа у мерне мостове, са циљем постизања високе тачности

мерења. Развијени нумерички модел точка верификован је резултатима експерименталних испитивања на реалном објекту.

- Развијен је алгоритам инверзне идентификације који омогућава издвајање појединачних утицаја и одређивање вредности параметара који се мерс (вертикалне силе Q , бочне силе Y , и положаја тачке контакта) на основу вредности помешаних сигнала са мерних мостова. Решен је проблем нелинеарне зависности деформација диска точка од промене положаја тачке контакта, чиме је омогућено да анализирани модел функционише као линеаран, што знатно поједностављује алгоритам. За решавање проблема у математичком смислу односно за раздвајање сигнала и одређивање три непозната параметра, довољна су три независна сигнала са мерних мостова. Међутим, на основу резултата добијених помоћу нумеричког модела точка, констатовано је да су потребна најмање четири независна мерна сигнала, чиме се омогућава знатно тачније мерење положаја тачке контакта између точка и шине.
- Развијена метода и алгоритам инверзне идентификације тестирани су и верификовани прво на нумеричком моделу точка, а затим и на реалном објекту односно мерном осовинском склопу, у лабораторијским условима. Експерименталним испитивањима потврђено је да развијена метода омогућава постизање високе тачности мерења параметара у интеракцији точак-шина која се креће у рангу најсавременијих светских решења.
- Идентификован је однос сигнал-шум као главни утицајни параметар на тачност експерименталног одређивања параметара у интеракцији точак-шина применом развијене методе. Такође, добијени резултати указују на значај калибрације мерног система на пробници и на чињеницу да је, због великог броја утицајних параметара, калибрација заснована на резултатима нумеричког модела точка крајње непоуздана.

Развијена метода има изузетан значај за даља истраживања из области експерименталног одређивања параметара у интеракцији точак-шина применом мерних осовинских склопова. Омогућава велики потенцијал за истраживања везана за кључне проблеме на железници – повећање комфора и безбедности, повећање брзине кретања и осовинског оптерећења, смањење хабања и замора елемената возила и колосека, итд.

Имајући у виду да у Републици Србији нису евидентирана значајнија истраживања из области експерименталног одређивања сила у интеракцији точак-шина применом мерних осовинских склопова, ова докторска дисертација представља једно од првих системских и свеобухватних истраживања у овој области у нашој земљи.

6. Примењивост и корисност резултата у теорији и пракси

Резултати докторске дисертације кандидата Милана Бижића, дипл. инж. маш., под насловом **"Истраживање утицајних параметара у интеракцији точак-шина на стабилност кретања железничких возила"**, применљиви су и корисни, како у теорији, тако и у пракси. Развијена метода и алгоритам инверзне идентификације за експериментално одређивање сила у интеракцији точак-шина имају изузетан значај у динамици железничких возила који се огледа у постизању високе тачности мерења, што представља главни императив при развоју мерних осовинских склопова. Развијена метода је универзална и може се применити код развоја нових мерних осовинских склопова, независно од типа стандардног осовинског склопа као полазне платформе. Уз одређене модификације и подешавања мерног система, метода је применљива и код постојећих мерних осовинских склопова, у циљу значајног повећања њихове тачности.

У великом број случајева испитивања квалитета динамичког понашања железничких возила према међународним стандардима UIC 518 и EN 14363, потребна су експериментална испитивања сила у интеракцији точак-шина применом мерних осовинских склопова. Највећи број испитних центара који се баве експерименталним испитивањима железничких возила опредељује се за набавку готовог мерног система неког од реномираних светских произвођача, за коју треба издвојити огромна материјална средства. Са друге стране, поједини испитни центри одлучују се за улазак у развој сопственог мерног осовинског склопа, при чему се суочавају са великим бројем практичних проблема. Имајући у виду да је на овом пољу присутан огроман недостатак стручне литературе, резултати ове докторске дисертације имају изузетан теоријски и практичан значај, и представљају веома користан научно-истраживачки садржај који ће у великој мери олакшати процес развоја мерних осовинских склопова високе тачности.

7. Начин презентирања резултата научној јавности

Део научних резултата добијених у оквиру ове докторске дисертације презентован је објављивањем научних радова у међународним научним часописима, као и на међународним научним скуповима.

Комисија сматра да истраживања и резултати докторске дисертације пружају обиман и користан материјал за даље публикување у високо рангираним међународним и националним научним часописима и скуповима, који се баве теоријским и експерименталним проблемима динамике железничких возила, али и железничког инжењерства и испитивања конструкција уопште.

На основу података презентираних у претходним тачкама овог извештаја, Комисија доноси следећи

ЗАКЉУЧАК

Докторска дисертација кандидата Милана Бижића, дипл. инж. маш., по обиму и квалитету у потпуности одговара одобреној теми дисертације, одлуком бр. 222/10 од 26.02.2013. године од стране Наставно-научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву, на коју је сагласност дало Стручно веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу одлуком бр. 122/6 од 13.03.2013. године.

Кандидат је у презентовању истраживања користио уобичајену и стандардизовану стручну терминологију, а структура дисертације и методологија излагања су у складу са универзитетским нормама.

Кандидат је показао да влада методологијом научно-истраживачког рада и поседује способност систематског приступа и коришћења литературе.

У току израде докторске дисертације, кандидат је дошао до оригиналних научних резултата, приказаних у дисертацији, а који представљају значајан допринос области која се односи на експериментално испитивање стабилности кретања железничких возила и развој мерних осовинских склопова.

Дисертација представља и својеврстан наставак научно-истраживачког рада кандидата из области железничког машинства и испитивања конструкција, чиме се истиче способност кандидата да веома обимној и сложеној проблематици приступи свеобухватно, а започети рад стално надограђује у циљу добијања резултата применљивих како у теоријском смислу, тако и у инжењерској пракси.

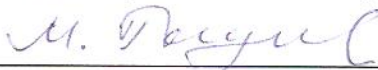
На основу свега претходно наведеног, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милана Бижића, дипл. инж. маш., студента докторских студија, једногласно је закључила да докторска дисертација под насловом:

"Истраживање утицајних параметара у интеракцији точак-шина на стабилност кретања железничких возила"

по квалитету, обиму и резултатима истраживања, у потпуности задовољава све научне, стручне и законске критеријуме за израду докторске дисертације. Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву, да на основу овог извештаја, докторску дисертацију прихвати као успешну и кандидата позове на јавну, усмену одбрану.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

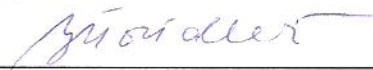
Др Миломир Гашић, редовни професор, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Научна област: Механизација и носеће конструкције, председник Комисије



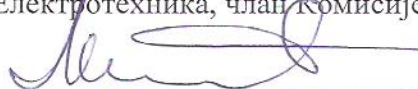
Др Душан Стаменковић, редовни професор, Машински факултет у Нишу, Научна област: Саобраћајно машинство, члан Комисије



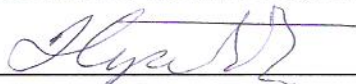
Др Зденка Поповић, ванредни професор, Грађевински факултет у Београду, Научне области: Планирање и пројектовање железница; Конструкција, грађење и одржавање железница, члан Комисије



Др Милош Томић, виши научни сарадник, Електротехнички факултет у Београду, Научна област: Електротехника, члан Комисије



Др Драган Петровић, ванредни професор, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Научна област: Железничко машинство, ментор



У Краљеву,
28.01.2015. године