

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној Докторској дисертацији кандидаткиње Милице Мићић, магистарског инжењера.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду бр. 84/14-17 од 29.03.2021. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану Докторске дисертације кандидаткиње Милице Мићић, магистарског инжењера, под насловом:

**УПРАВЉАЊЕ НЕРАВНИНАМА МАЛИХ ТАЛАСНИХ ДУЖИНА
НА ГЛАВИ ШИНЕ**

Наслов на енглеском језику:

**MANAGEMENT OF SHORT WAVE UNEVENNESS OF THE
RAIL HEAD SURFACE**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидаткињом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде Дисертације

На седници Катедре за путеве, железнице и аеродроме, одржаној 13. фебруара 2017. године, Милица Мићић је јавно изложила предложену тему Докторске дисертације под насловом „Управљање неравнинама кратких таласних дужина на горњој површи главе шине“. Катедра је формирала Комисију за одбрану приступног рада у саставу проф. др Зденка Поповић, в. проф. др Дејан Гавран и доц. др Лука Лазаревић, која је прихватила предложену тему.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду бр. 84/6 од 24. фебруара 2017. године, донетој на седници одржаној 23. фебруара 2017. године, одређена је Комисија за оцену научне заснованости теме Докторске дисертације под насловом „Управљање неравнинама кратких таласних дужина на горњој површи главе шине“ у саставу проф. др Зденка Поповић, в. проф. др Љиљана Брајовић, доц. др Дејан Вучковић и доц. др Лука Лазаревић. Позитиван извештај Комисије за оцену научне заснованости теме Докторске дисертације под измењеним насловом „Управљање неравнинама малих таласних дужина на горњој површи главе шине“, усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 30.03.2017. године и за ментора је предложена др Зденка Поповић, редовни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду. Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду, на седници одржаној 11.04.2017.

године (одлука бр. 61206-1459/2-17 од 11.04.2017. године) усвојило је предлог теме Докторске дисертације кандидаткиње Милице Мићић под називом: „Управљање неравнинама малих таласних дужина на глави шине“ и предлог ментора.

Ментор проф. др Зденка Поповић поднела је Студентској служби Грађевинског факултета у Београду оцену извештаја о провери оригиналности Докторске дисертације дана 02.03.2021. године, чиме је указано на оригиналност Докторске дисертације и да је могуће наставити прописани поступак за њену одбрану.

Дана 12.03.2021. године кандидаткиња је предала Студентској служби Грађевинског факултета седам укоричених примерака завршене Докторске дисертације.

На седници Катедре за путеве, железнице и аеродроме, одржаној 18.03.2021. године, установљен је предлог Комисије за оцену и одбрану Докторске дисертације у следећем саставу:

1. проф. др Зденка Поповић, дипл.грађ.инж., Универзитет у Београду, Грађевински факултет (уже научне области: Планирање и пројектовање железница и Конструкција, грађење и одржавање железница)
2. проф. др Драган Петровић, дипл.маш.инж., Универзитет у Крагујевцу, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву (ужа научна област: Железничко машинство)
3. в. проф. др Љиљана Брајовић, дипл.ел.инж., Универзитет у Београду, Грађевински факултет (ужа научна област: Техничка физика, физичка електроника и грађевинска физика)
4. доцент др Лука Лазаревић, маст.инж.грађ., Универзитет у Београду, Грађевински факултет (уже научне области: Планирање и пројектовање железница и Конструкција, грађење и одржавање железница)
5. доцент др Дејан Вучковић, дипл.инж.геол., Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет (ужа научна област: Геофизика)

На седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду, одржаној 25.03.2021. године усвојен је предлог Катедре и донета је одлука о формирању Комисије за оцену и одбрану Докторске дисертације кандидаткиње Милице Мићић, маст.инж.грађ.

1.2. Научна област Дисертације

Докторска дисертација припада научној области техничко-технолошких наука, подручје Грађевинарство, као и ужој научној области *Конструкција, грађење и одржавање железница*, за коју је Грађевински факултет Универзитета у Београду матичан.

Менторка, др Зденка Поповић, дипл.грађ.инж., изабрана је у звање редовног професора на Грађевинском факултету Универзитета у Београду 2015. године, за уже научне области *Планирање и пројектовање железница и Конструкција, грађење и одржавање железница*. Објавила је 17 радова у часописима међународног значаја категорије M20 (2 рада категорије M21a, 4 рада категорије M22, 5 радова категорије M23, 6 радова категорије M24). Радови публиковани у међународним часописима који квалификују менторку проф. др Зденку Поповић за вођење докторске дисертације су:

1. Lazarević, L., Vučković, D., Vilotijević, M., Popović, Z. (2019). Application of seismic tomography for assessment of the railway substructure condition. *Structural Health Monitoring*, 18(3), 792-805. <https://doi.org/10.1177/1475921718774778>. [M21a]

2. Lazarević, L., Vučković, D., Popović, Z. (2016). Assessment of sleeper support conditions using micro-tremor analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 230(8), 1828-1841. <https://doi.org/10.1177/0954409715615629>. [M22]
3. Popović, Z., Brajović, Lj., Lazarević, L., Milosavljević, L. (2014). Rail defects head checking on the Serbian railways. *Technical Gazette*, 21(1), 147-153. [M22]
4. Popović, Z., Lazarević, L., Brajović, Lj., Gladović, P. (2014). Managing rail service life. *Metallurgy*, 53(4), 721-724. [M22]
5. Popović, Z., Radović, V., Lazarević, L., Vukadinović, V., Tepić, G. (2013). Rail inspection of RCF defects. *Metallurgy*, 52(4), 537-540. [M22]
6. Vilotijević, M., Vukićević, M., Lazarević, L., Popović, Z. (2018). Sustainable railway infrastructure and specific environmental issues in the Republic of Serbia. *Technical Gazette*, 25(Supplement 2), 516-523. <https://doi.org/10.17559/TV-20171019124644>. [M23]
7. Popović, Z., Radović, V. (2013). Analysis of cracking on running surface of rails. *Građevinar*, 65(3), 251-259. <https://doi.org/10.14256/JCE.877.2012>. [M23]
8. Puzavac, L., Popović, Z., Lazarević, L. (2012). Influence of track stiffness on track behaviour under vertical load. *Promet-Traffic&Transportation*, 24(5), 405-412. [M23]

1.3. Биографски подаци о кандидату

Милица Мићић, маг.инж.грађ. је рођена 23.10.1986. године у Ужицу, где је са одличним успехом завршила Основну школу и Гимназију.

Грађевински факултет Универзитета у Београду уписала је 2005. године и основне академске студије на Одсеку за путеве, железнице и аеродроме завршила 2009. године са просечном оценом 8,94. Синтезни пројекат из предмета Планирање и пројектовање путева под насловом „Варијантна функционална решења денивелисане раскрснице на нивоу идејног пројекта за случај слободне и комерцијалне експлоатације саобраћаја“ одбранила је 30.09.2009. године са оценом 10. Мастер академске студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду уписала је 2009. године. Све предвиђене испите положила је са просечном оценом 9,57. Дипломски-мастер рад под насловом „Идејно решење денивелисане раскрснице Лајковац на аутопуту Е-763 (Београд - Јужни Јадран) са посебним освртом на заштиту животне средине“ одбранила је 14.03.2011. године са оценом 10. У току студија, била је стипендиста Министарства просвете Републике Србије, Саобраћајног института ЦИП и града Ужица. За изузетан успех у току студија, добила је похвалницу од Грађевинског факултета у Београду. Награду и похвалницу за постигнуте резултате добила је и од Регионалне привредне коморе у Ужицу.

Од 24.5.2010. до 24.11.2010. године обављала је стручну праксу у оквиру програма Универзитетска радна пракса у ЈП „Дирекција за грађевинско земљиште и изградњу Београда“, у Сектору за изградњу и надзор, ради стручног усавршавања и стицања знања и способности за рад у струци. Била је ангажована на пословима вршења стручног надзора над извођењем радова на денивелисаној раскрсници „Хиподром“.

По завршетку факултета запослила се у Градској управи града Београда, Агенцији за инвестиције и становање, у Сектору за извођење радова на објектима нискоградње и хидроградње, на пословима реализације Пројекта финансираних од стране међународних финансијских институција (ЕИВ, ЕБРД, ИРА фондова, WBIF фондова и сл.) као и пројекта финансираних из буџета Града Београда, где је радила до краја 2014. године. Била је ангажована на реализацији „Пројекта обнове града Београда“, који је финансиран из

кредита Европске инвестиционе банке и „Пројекта унапређења београдског јавног превоза и саобраћајне инфраструктуре“, који је финансиран од стране Европске банке за обнову и развој. На тај начин је стекла радна искуства у области реконструкције трамвајских пруга, трамвајске контактне мреже, мостовских конструкција, тротоара, коловоза и комуналне инфраструктуре по деоницама, обнове трамвајских возила и реализације система управљања саобраћајем. У Сектору за извођење радова на објектима нискоградње и хидроградње похађала је радни семинар „Процес јавних набавки по правилима EBRD“ и стекла Сертификат од Европске банке за обнову и развој.

Докторске академске студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду уписала је 2012. године. У школској 2013/2014. години одобрено јој је мировање права и обавеза. У школској 2018/2019. години користила је породилско одсуство. Положила је све испите на докторским студијама са просечном оценом 9,875.

Решењем Грађевинског факултета у Београду, број 12/10 од 28.10.2014. године, ангажована је као студент - демонстратор у зимском семестру школске 2014/2015. године, на предметима на мастер академским студијама.

Од 24.12.2014. године Милица Мићић је запослена на Грађевинском факултету Универзитета у Београду у звању асистента - студента докторских студија за уже научне области *Планирање и пројектовање железница* и *Конструкција, грађење и одржавање железница*. На основним академским студијама ангажована је на извођењу вежби из предмета: *Планирање и пројектовање железница 1*, *Планирање и пројектовање железница 2*, *Горњи строј железница* и *Одржавање железничких пруга*. На дипломским академским - мастер студијама учествује у извођењу вежби из предмета: *Железничке станице* и *Саобраћајнице и животна средина*. Поред наведеног, у школској 2014/15. години учествовала је и у извођењу вежби из предмета *Саобраћајни инфраструктурни системи* на Одсеку за конструкције и на Одсеку за хидротехнику и водно еколошко инжењерство.

Активно учествује у консултацијама за израду студентских дипломских и мастер радова, као и у комисијама за одбрану дипломских радова из области *Планирање и пројектовање железница* и *Конструкција, грађење и одржавање железница*. У студентским анкетама рад Милице Мићић у настави је оцењен одличним оценама за све предмете на којима је ангажована.

До сада је објавила 2 рада у часописима индексираним на SCI листи (категорије M21a и M23), 2 рада категорије M24, 17 радова на међународним конгресима (категорије M33), 7 радова у домаћим часописима (6 радова категорије M51 и 1 рад категорије M52), 1 рад на домаћем конгресу (категорије M63). Према подацима из Scopus базе, остварила је 27 хетероцитата и h-index 4.

Учесник је Технолошког пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије од 2017. године. Члан је кластера железница за Југоисточну Европу (Cluster of railways for South-Eastern Europe).

Удата је и мајка једног детета.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај Дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Милице Мићић, маг.инж.грађ. написана је у складу са правилницима и упутствима Универзитета у Београду и обликована у складу

са Упутством о облику и садржају докторске дисертације која се брани на Универзитету у Београду из 2019. године.

Докторска дисертација садржи укупно 244 стране, укључујући насловне стране, садржај, основни текст Дисертације, списак литературе, прилоге, биографију и пратеће изјаве. На почетку Дисертације дат је сажетак на српском и енглеском језику са кључним речима, а затим садржај и листе слика, табела, симбола и скраћеница. Докторска дисертација је написана на српском језику. Основни текст Дисертације обухвата 215 страна (нумерисане стране Дисертације). Дисертација је подељена на 7 поглавља под следећим називима:

1. Увод
2. Управљање развојем неравнина малих таласних дужина са аспекта одрживог развоја
3. Смернице за дефинисање стратегије за управљање *RCF* шинским дефектима
4. Инспекција *RCF* шинских дефеката
5. Крутост шинске подлоге
6. Експериментални део истраживања - утицај стања колосечне подлоге на појаву *squat* дефеката
7. Закључак и смернице за даља истраживања.

Дисертација садржи 161 слику и 14 табела. Након закључка, дат је списак литературе који садржи 212 библиографских јединица. У наставку, приложена су 4 Прилога који обухватају: (1) Класификацију метода инспекције са аспекта способности детекције *RCF* дефеката шине, као и комбинације метода инспекције за поузданију детекцију *RCF* дефеката шине, (2) Податке о нумерацији и размаку бетонских прагова, (3) Фотографије возних шина са и без *squat* дефеката на целој дужини репрезентативне деонице колосека број 2, које су снимљене током детаљне визуелне инспекције *squat* дефеката у станици Панчево Варош, (4) Визуелни кључ за квантификацију озбиљности *squat* дефекта, као и нумеричко оцењивање стања дефеката на сваком прагу.

На крају Дисертације дата је кратка биографија кандидаткиње, као и потписане изјаве: *Изјава о ауторству*, *Изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада* и *Изјава о коришћењу*.

Према структури рада, примењеним научним методама и постигнутим резултатима, Дисертација у потпуности задовољава критеријуме и стандарде предвиђене за овакву врсту научног рада.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље је уводно. У њему је представљен предмет истраживања у Докторској дисертацији. Предмет истраживања у Дисертацији је управљање развојем неравнина малих таласних дужина на горњој површи главе шине у колосеку. Тема Дисертације је саставни део управљања животним веком шина у колосеку у условима одрживог развоја железничке инфраструктуре. Указано је на актуелност теме и њен значај за безбедност железничког саобраћаја, као и економичност одржавања железничке инфраструктуре. Разматрана је додатна актуелност теме са аспекта хармонизације техничке регулативе у Републици Србији са техничким захтевима интероперабилности за железничку инфраструктуру, укључујући област одржавања шина за железничке пруге на коридору X, а дугорочно и за целу железничку мрежу у Србији.

У **другом поглављу** представљен је савремени приступ управљању неравнинама малих таласних дужина на горњој површи главе возних шина у колосеку у оквирима одрживог развоја железничке инфраструктуре, уз разматрање комплексних и често

супротних захтева корисника, железнице, привреде, животне средине, друштвене заједнице и безбедности транспорта. Приказане су расположиве технологије за уклањање неравнина на новим шинама у колосеку (иницираних технологијом производње и насталих приликом полагања шина у колосек). Препоручено је укључивање управљања развојем неравнина малих таласних дужина у интегрално одржавање конструкције горњег и доњег строја железничке пруге, како би се смањили укупни трошкови одржавања инфраструктуре и возила током целокупног животног века колосека и смањили екстерни трошкови (утицаји на животну средину). У поглављу су коришћени делови рада публикованог у часопису категорије M23, чији је први аутор кандидаткиња: *Vilotijević, M., Vukićević, M., Lazarević, L., Popović, Z. (2018). Sustainable railway infrastructure and specific environmental issues in the Republic of Serbia. Technical Gazette, 25(Supplement 2), 516-523.*

У **трећем поглављу** објашњени су узроци појаве и механизам развоја неравнина малих таласних дужина на горњој површи главе возне шине. Посебно су разматрани следећи типови *RCF (Rolling Contact Fatigue)* шинских дефеката: (а) *head checking (HC)* шински дефекти на колосеку у правцу и деоницама колосека са већим радијусима ($R \geq 800 - 3000 \text{ m}$), (б) *squat* дефекти који се јављају на деоницама са покретањем и кочењем железничких возила, (в) набораност унутрашње шине услед проклизавања унутрашњих тачкова возила у кривинама малих радијуса ($R \leq 450 \text{ m}$), (г) набораност главе шине у колосецима конвенционалних железничких пруга и (д) *belgrospi* дефекти. Сви разматрани *RCF* дефекти припадају класи неравнина малих таласних дужина. У поглављу су дате опште смернице за дефинисање стратегије за управљање *RCF* шинским дефектима, а посебна пажња је посвећена дефекту типа *squat*.

У **четвртом поглављу** представљено је тренутно стање и преглед непосредних и посредних метода без разарања шинског челика за рану детекцију неравнина малих таласних дужина на возној површи главе шина у колосеку. Представљене су методе инспекције које су обухваћене *EN* стандардима, као и унапређене и нове методе које се могу користити за инспекцију површинских и потповршинских *RCF* дефеката. У поглављу су наведене смернице за избор метода за инспекцију *RCF* шинских дефеката.

У **петом поглављу** представљени су резултати истраживања утицаја крутости елемената конструкције горњег и доњег строја на укупну крутост шинске подлоге. Указано је на утицај одржавања железничке инфраструктуре на промену крутости шинске подлоге. Анализиран је феномен променљиве крутости шинске подлоге дуж колосека. Дат је преглед савремених метода за мерење вертикалне крутости. Ово поглавље представља теоријску основу за испитивање утицаја крутости шинске подлоге на појаву и развој неравнина малих таласних дужина на возној површи главе шине у колосеку и тумачење резултата експерименталних испитивања приказаних у шестом поглављу Дисертације. У поглављу је коришћен преглед метода за мерење вертикалне крутости који је представљен на међународном конгресу: *Vilotijević, M., Brajović, Lj., Lazarević, L., Mirković, N. Methods for track stiffness measurement - state of the art. In Proceedings of the 6th International Symposium New Horizons 2017 of Transport and Communications, Doboј, Bosnia and Herzegovina, November 17-18, 2017, pp. 378-387.*

Шесто поглавље обухвата експериментално истраживање утицаја крутости шинске подлоге на појаву и развој шинских дефеката типа *squat* на главном пролазном колосеку у станици Панчево Варош. Представљени су резултати претходних истраживања методама опште и детаљне визуелне инспекције опходњом колосека. Детаљно су описани циљеви мерења геофизичким методама (електрометријска и сеизмометријска метода) на изабраној мерној деоници на главном пролазном колосеку.

Приказан је број и положај мерних места за обе примењене методе. Презентовани су мерни резултати спроведеног електрометријског профилисања у виду три подужна профила дуж мерне деонице. У циљу одређивања стања застора, планума и тампон слоја, приказане су карте интегрисане на основу претходно добијених профила. Резултати добијени сеизмометријском методом представљени су у виду 2D дистрибуције брзине, као и хоризонталног градијента примарних таласа за профил дуж осовине испитиваног колосека. Добијени резултати су анализирани са аспекта утицаја крутости подлоге на појаву и развој *squat* дефеката. У поглављу су коришћени резултати статистичке обраде података добијених општом визуелном инспекцијом *squat* дефеката који су публиковани у раду представљеном на међународном конгресу: *Vilotijević, M., Brajović, L., Pustovgar, A. (2018). Methodology for statistical analysis of squat rail defects. In Proceedings of the XVIII Scientific-expert conference on railways-RAILCON 18, Faculty of Mechanical Engineering, Niš, Serbia, October 11-12, 2018, pp. 157-160.* Коришћена су искуства стечена у примени сеизмометријске методе за испитивање стања колосека која су публикована у раду објављеном у часопису категорије M21a: *Lazarević, L., Vučković, D., Vilotijević, M., Popović, Z. (2019). Application of seismic tomography for assessment of the railway substructure condition. Structural Health Monitoring, 18(3), 792-805.*

На крају, у седмом поглављу су наведена закључна разматрања, као и смернице за даља истраживања. Указано је да управљање неравнинама малих таласних дужина на горњој површи главе шине у зони додира са точковима железничких возила представља изузетно важан део управљања животним веком возних шина у железничком колосеку, нарочито са порастом брзина и осовинских оптерећења, као и саобраћајног оптерећења. Закључено је да је управљање неравнинама малих таласних дужина саставни део интегралног одржавања конструкције горњег и доњег строја железничке пруге. Због комплексних утицаја на безбедност саобраћаја, животну средину и економичност пословања железнице, управљање неравнинама малих таласних дужина мора да испуни захтеве одрживог развоја и конкурентности у односу на друге видове саобраћаја. Указано је на важност откривања дефеката у што ранијој фази њиховог развоја и дате су смернице за избор одговарајућих метода инспекције, као и смернице за примену савремених технологија репрофилисања главе возних шина и подмазивања у зонама додира бока главе возне шине и венца точка. Посебан део закључака односи се на експериментална испитивања која су имала за циљ истраживање утицаја стања колосечне подлоге на појаву и развој дефеката типа *squat*. Указано је да нагле промене крутости шинске подлоге могу да се доведу у корелацију са појавом и развојем *squat* дефеката на површини главе возне шине, као и да појава *squat* дефеката доприноси бржем пропадању стања колосечне подлоге услед нарушавања ослањања прагова на застор.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

RCF шински дефекти се јављају у зонама великих и сложених контактних напрезања на глави возних шина у додиру са точковима возила и изражена су појава и отворено питање на железницама широм света. Велики број научних и стручних радова аутора, као и истраживачких пројеката, из различитих земаља доказује ову тврдњу. У приложеној литератури набројано је 212 библиографских јединица од којих се велики број односи на научне и стручне радове, као и истраживачке пројекте, који разматрају

RCF шинске дефекте са аспекта инфраструктуре, саобраћаја, конструкције возила и металургије.

У овој Дисертацији представљен је оригинални приступ истраживањима који је заснован на испитивању утицаја крутости колосечне подлоге на појаву и развој дефеката типа *squat*. До сада је у литератури било уобичајено представљање резултата испитивања интеракције точак/шина у специфичним режимима вожње (кочење/убрзавање), уз подразумевање да не постоји утицај шинске подлоге на феномен *squat* дефеката. Нажалост, велики број железничких несрећа широм света, од којих је најпознатија несрећа у Енглеској на излазу из станице Хетфилд (*Hatfield*), показују да Управљачи инфраструктуре још увек нису овладали управљањем неравнинама малих таласних дужина. Тема Дисертације и резултати истраживања представљају допринос развоју стратегије управљања шинским дефектима која се може применити на глобалном нивоу.

Савременост и актуелност Дисертације потврђена је објављивањем резултата истраживања у међународним часописима: један рад категорије M21a и један рад категорије M23. Оба рада су остварила по 6 хетероцитата (укупно 12 хетероцитата према подацима из Scopus базе). Поред тога, резултати истраживања су верификовани у три рада категорије M33 саопштеним на међународним скуповима у Србији, Босни и Херцеговини и Русији. Рад који је представљен на међународном конгресу у Босни и Херцеговини остварио је 1 хетероцитат у часопису индексираном у Scopus бази.

Поред тога, у експерименталном делу Дисертације су коришћене савремене геофизичке методе за испитивање стања колосечне подлоге.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Списак литературе садржи 212 библиографских јединица које су коришћене у изради Дисертације. Литература је релевантна за предмет и циљеве истраживања. Кандидаткиња је у Дисертацији правилно реферисала научно-стручне радове, монографије, уџбенике, студије, објаве Међународне железничке уније и европске стандарде. С обзиром на велики број библиографских јединица које су садржане у списку литературе на енглеском, немачком и српском језику, кандидаткиња је показала висок ниво познавања резултата истраживања (*state of the art*) у предметној области Дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За сагледавање постојећег нивоа знања из предметне области Дисертације извршена је критичка анализа и синтеза резултата досадашњих истраживања прегледом репрезентативне стручне и научне литературе. У том смислу, извршено је прикупљање, анализа и систематизација резултата досадашњих истраживања у области теоријског и експерименталног истраживања дефеката услед замора шинског челика, као и одређивања крутости шинске подлоге и њеног утицаја на развој неравнина малих таласних дужина на возној површи главе шине на основу доступне литературе.

Израда програма експерименталног истраживања на терену извршена је на основу дефинисаних циљева мерења, одабира мерне деонице, избора метода мерења, броја и положаја мерних места, као и начина презентовања мерних резултата.

У експерименталном делу Дисертације, примењене су две визуелне методе инспекције опходњом колосека. Примењена је статистичка анализа података прикупљених током визуелне инспекције *squat* дефеката. За утврђивање стања колосечне подлоге

примењене су две геофизичке методе, електрометријска и сеизмометријска метода, под делимичним затвором саобраћаја.

Геофизичким испитивањем применом електрометријске методе спроведена је техника профилисања, која је омогућила формирање 2D модела дуж испитиваног колосека. На основу профила генерисане су карте за три дубинска нивоа колосечне подлоге (застор, планум и тампон). Обрада мерних података и моделовање су извршени помоћу лиценцираних софтвера *GEO test* и *RES2D-INV*. Оптимизација и визуелизација обрађених мерних података изведени су применом програмских пакета *Golden Software Surfer* и *Golden Software Grapher*.

За испитивање стања колосечне подлоге применом сеизмометријске методе кроз поступак рефракције примењена је техника профилисања у циљу формирања 2D модела дистрибуције брзина лонгитудиналних сеизмичких таласа. Обрада мерних података и њихово моделовање извршени су помоћу програмских пакета *RAS-24 System Software* и *Rayfract*. Оптимизација и визуелизација обрађених мерних података изведени су применом програмских пакета *Golden Software Surfer* и *Golden Software Grapher*.

Извршена је упоредна анализа података добијених детаљном визуелном инспекцијом *squat* дефеката и података о стању колосечне подлоге представљеном помоћу електрометријских профила и карти, као и помоћу сеизмометријског профила.

3.4. Применљивост остварених резултата

Очекивани научни резултати Дисертације треба да унапреде инжењерску праксу у области одржавања железничке инфраструктуре и да послуже као основа за израду подзаконских аката у овој области у Републици Србији.

Како је у Републици Србији једини важећи документ у коме се дефинише одржавање горњег строја железница, *Правилник о техничким условима и одржавању горњег строја*, у коме није дефинисан план одржавања, као ни временски интервали инспекције горњег строја железничке пруге и граничне вредности хитних интервенција за одређене параметре, потребно је дати смернице за утврђивање интервала инспекције, избора метода инспекције, као и израду плана одржавања железничке инфраструктуре који укључује негу шине и одржавање током целокупног животног века.

Закон о интероперабилности железничких система, ("Службени гласник РС", број 41 од 31. маја 2018. године) захтева примену захтева интероперабилности за железничку инфраструктуру на коридору X кроз Републику Србију, а кроз време овај закон треба да важи за целокупну железничку мрежу у Републици Србији. То значи да је један од услова за пуштање нових и реконструисаних пруга у саобраћај постојање одговарајућег плана одржавања железничке инфраструктуре. Резултати Дисертације представљају драгоцену основу за развој стратегије управљања неравнинама малих таласних дужина, која је саставни део плана одржавања. Применљивост резултата Дисертације је општа, односно није ограничена на Републику Србију.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу анализе садржаја Докторске дисертације, верификације остварених резултата истраживања објављивањем у међународним часописима и радовима на међународним конгресима, као и оствареним хетероцитатима (укупно 13

хетероцитата), Комисија сматра да је кандидаткиња несумњиво доказала способност за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

На основу прегледа Докторске дисертације, Комисија сматра да су у њој остварени следећи оригинални научни доприноси:

- Извршена је класификација савремених метода инспекције са аспекта способности детекције *RCF* дефеката шине. Указано је на могућност комбинације метода инспекције за поузданију детекцију *RCF* дефеката шине. Указано је на предности и недостатке метода. Класификација и комбинације метода представљене су табеларно тако да олакшавају Управљачима инфраструктуре избор метода инспекције.
- Објашњен је појам вертикалне крутости. Приказане су савремене методе за утврђивање вертикалне крутости шинске односно колосечне подлоге.
- Указано је на недостатке постојеће класификације и кодирања *RCF* дефеката у објавама Међународне железничке уније и европским стандардима. Предложено је коришћење јединствених назива *RCF* дефеката на енглеском језику како би се избегли могући неспоразуми који би могли да доведу до угрожавања безбедности железничког саобраћаја.
- Издвојен је скуп геофизичких метода погодних за одређивање стања колосечне подлоге (електрометријска метода и сеизмометријска метода).
- Анализом резултата детаљне визуелне инспекције *squat* дефеката и геофизичких испитивања, доказана је веза између промене вертикалне крутости и појаве и развоја *squat* дефеката.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Научни доприноси наведени у тачки 4.1 представљају унапређење научних знања у поређењу са *state of the art*. До сада је у литератури било уобичајено представљање резултата испитивања интеракције точак/шина у специфичним режимима вожње (кочење/убрзавање), уз подразумевање да не постоји утицај стања колосечне подлоге на феномен *squat* дефеката. Такође, велики број истраживачких радова бави се утицајем квалитета шинског челика на појавност и брзину развоја *RCF* дефеката. Последњих година се интензивно истражује утицај конструкције возила на појаву и развој специфичних типова *RCF* дефеката. У Дисертацији је први пут истраживан утицај стања колосечне подлоге на појаву и развој *squat* дефеката, при чему је доказано да нагле промене вертикалне крутости подлоге дуж возних шина утичу на феномен *squat* дефеката.

С обзиром на то да велики број Управљача инфраструктуре (укључујући и Железнице Србије) користи ултразвучну методу, у Дисертацији је указано на недостатке ове методе за утврђивање *RCF* дефеката у раним фазама њиховог развоја, односно на непоузданост детекције потповршинских дефеката применом ове методе. Понуђен је преглед савремених метода које се могу користити самостално или у комбинацији са другим методама у циљу повећања поузданости детекције.

За испитивање стања колосечне подлоге први пут је примењена метода сеизмометрије кроз поступак рефракције. У наредним испитивањима требало би обухватити испитивање стања колосечне подлоге у зонама ослањања возних шина на прагове како би се добили резултати који указују на квалитет ослањања прагова на застор. Циљ оваквог испитивања био би утврђивање лоше ослоњених прагова, како током пријема радова, тако и током експлоатације. Правовремено откривање и санирање лоше ослоњених прагова утицало би на одлагање развоја дефеката на возној површи шина у колосеку.

4.3. Верификација научних доприноса

Верификација научних доприноса остварених у оквиру ове Докторске дисертације реализована је објављивањем резултата истраживања у међународним часописима и саопштавањем резултата истраживања на међународним скуповима, као и оствареним хетероцитатима.

Поред тога, резултати Дисертације су коришћени у реализацији активности научно-истраживачког пројекта подржаног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Верификација научног доприноса Дисертације остварена је објављивањем радова:

Категорија M21a:

1. Lazarević, L., Vučković, D., Vilotijević, M., Popović, Z. (2019). Application of seismic tomography for assessment of the railway substructure condition. *Structural Health Monitoring*, 18(3), 792-805. <https://doi.org/10.1177/1475921718774778>. - остварено шест хетероцитата (1 категорије M21a и 5 категорије M33) према подацима из Scopus базе

Категорија M23:

1. Vilotijević, M., Vukićević, M., Lazarević, L., Popović, Z. (2018). Sustainable railway infrastructure and specific environmental issues in the Republic of Serbia. *Technical Gazette*, 25(Supplement 2), 516-523. <https://doi.org/10.17559/TV-20171019124644>. - остварено шест хетероцитата категорије M33 према подацима из Scopus базе

Категорија M33:

1. Popović, Z., Lazarević, L., Brajović, Lj., Mićić, M., Mirković, N. Improvement recommendations for railway infrastructure maintenance. *Key Trends in Transportation Innovation - KTTI 2019*, Khabarovsk, Russia, October 24-26, 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015701001>
2. Vilotijević, M., Brajović, Lj., Pustovgar, A. (2018). Methodology for statistical analysis of squat rail defects. In *Proceedings of the XVIII Scientific-expert conference on railways - RAILCON 18*, Faculty of Mechanical Engineering, Niš, Serbia, October 11-12, 2018, pp. 157-160.
3. Vilotijević, M., Brajović, Lj., Lazarević, L., Mirković, N. Methods for track stiffness measurement - state of the art. In *Proceedings of the 6th International Symposium New Horizons 2017 of Transport and Communications*, Doboј, Bosnia and Herzegovina, November 17-18, 2017, pp. 378-387. <http://novihorizonti.sf.ues.rs.ba/wp-content/uploads/2016/10/Proceedings-New-Horizons-2017.pdf> - остварен један хетероцитат у часопису из Scopus базе

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Имајући у виду квалитет истраживања, сложеност проблема и значај резултата који су приказани, Комисија сматра да Докторска дисертација кандидаткиње Милице Мићић, маг.инж.грађ. представља вредан научни допринос у научној области *Конструкција, грађење и одржавање железница*.

Комисија сматра да је Докторска дисертација кандидаткиње Милице Мићић, маг.инж.грађ. оригиналан, савремен и значајан научни рад који доказује потпуну научно-истраживачку зрелост кандидаткиње и представља научни допринос применљив у пракси. Дисертација има све потребне елементе који задовољавају услове предвиђене Статутом Универзитета у Београду и Статутом Грађевинског факултета за стицање научног звања доктора техничких наука.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Грађевинског факултета да се Докторска дисертација под насловом „УПРАВЉАЊЕ НЕРАВНИНАМА МАЛИХ ТАЛАСНИХ ДУЖИНА НА ГЛАВИ ШИНЕ” кандидаткиње Милице Мићић, маг.инж.грађ. изложи на увид јавности, прихвати и упути на коначно усвајање Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду и да се након тога закаже јавна одбрана пред Комисијом у истом саставу.

У Београду,
05.04.2021. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Зденка Поповић, дипл.грађ.инж., редовни професор
Грађевински факултет Универзитета у Београду

др Драган Петровић, дипл.маш.инж., редовни професор
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву
Универзитета у Крагујевцу

др Љиљана Брајовић, дипл.ел.инж., ванредни професор
Грађевински факултет Универзитета у Београду

др Лука Лазаревић, маг.инж.грађ., доцент
Грађевински факултет Универзитета у Београду

др Дејан Вучковић, дипл.инж. геол., доцент
Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду