

Mjerenje naboranosti tračnica na tramvajskom kolosijeku

Burnać, Krešimir; Haladin, Ivo

Source / Izvornik: **Zbornik radova devetog skupa istraživača iz područja građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti, 2022, 17 - 19**

Conference paper / Rad u zborniku

Publication status / Verzija rada: **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:237:642734>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-28**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





**MJERENJE NABORANOSTI TRAČNICA NA
TRAMVAJSKOM KOLOSIJEKU**

**Measurements of rail corrugation on tramway
track**

Krešimir Burnać¹, Ivo Haladin¹

(1) Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, kburnac@grad.hr

Sažetak

Naboranost tračnica je nepravilnost koja se često pojavljuje na voznoj površini glave tračnice i može uzrokovati povišene razine vibracija i buke te ubranu degradaciju kolosiječne konstrukcije. U radu su opisane mogućnosti mjerenja ravnosti tračnice indirektnim i direktnim postupkom te je dodatno opisano ispitivanje ravnosti direktnim postupkom na zagrebačkoj tramvajskoj mreži. Na nekoliko lokacija u Zagrebu na kolosijeku je izmjerena hrapavost vozne površine glave tračnice nakon čega su njihove vrijednosti analizirane s obzirom na starost pojedinih dijelova trase i vrstu horizontalnih elemenata trase. Pokazalo se da se naboranost pojavljuje češće u krivinama nego u pravcima i da su valne duljine i amplitude naboranosti veće na tračnicama koje su dulje vrijeme u eksploataciji. Zaključci rada su u skladu s očekivanjima, ali kao dodatni korak prema automatizaciji analize podataka o naboranosti testira se model mjerenja indirektno ravnosti u svrhu primjene na cijeloj mreži koristeći monitoring na vozilima.

Ključne riječi: tramvaj, kolosijek, naboranost tračnica, mjerenje, nepravilnosti tračnica

Abstract

Rail corrugation is an irregularity that often occurs on a railhead running surface and can cause an increase in the noise and vibrations levels as well as faster track deterioration. The possibilities of direct and indirect rail corrugation measurements are described in this paper as well as direct rail corrugation measurement that was carried out on a tramway track network in the city of Zagreb. Rail roughness was measured on several locations on the tramway track and the values were analysed in respect to the exploitation period of the tramway sections and the type of horizontal alignment. Analysis has shown that rail corrugation occurs more often in the curves than in the straight track and that the wavelength and amplitude of rail corrugation are higher on tramway track that has longer exploitation period. Conclusions of this paper are as expected, but as a next step towards automatization of the rail corrugation data analysis, indirect measurements model is tested with a purpose of application on the whole tram track network using tramway vehicle monitoring.

Keywords: tramway vehicle, track, rail corrugation, measurement, rail irregularities

1. Uvod

Naboranost tračnice je nepravilnost koja može uzrokovati povišene razine buke, vibracija i ubranu degradaciju dijelova kolosijeka i tračničkih vozila [1]. Detekcija ovakvih nepravilnosti ljudskim okom vrlo je teška, osobito u ranim fazama razvoja, te iziskuje sofisticirane mjerne metode i zaposjedanje pruge. Nadalje, brušenje kao metoda za uklanjanje naboranosti ne sprječava ponovno pojavljivanje naboranosti tračnice nakon nekog vremena eksploatacije. Iz tog razloga je potrebno promatrati razvoj naboranosti tračnica u kontroliranim uvjetima i definirati parametre koji utječu na njezino povećanje [2]. Naboranost tračnica može se mjeriti direktno (pomoću ručnih uređaja, direktno na kolosijeku) ili indirektno (pomoću tračničkog vozila opremljenog inercijalnim mjernim sustavom) [3]. U radu [4] autori opisuju razvoj mjernih kolica za kontinuirano mjerenje hrapavosti površine (direktno mjerenje) pomoću kojih su skupljani podaci vezani uz mehanizme pojave naboranosti na tračnicama. Kao krajnji rezultat analize, uz pomoć rezultata mjerenja naboranosti mjernim kolicima u kombinaciji sa prijenosnim uređajem za monitoring naboranosti (koji je instaliran na tračničkom vozilu), razvijena je efikasna metoda upravljanja brušenja s ciljem optimizacije i smanjenja troškova.

Korištenje tračničkih vozila sa inercijalnim mjernim sustavom (akcelerometrima) otvara niz mogućnosti detektiranja nepravilnosti i oštećenja na kolosijeku kao što su puknuća tračnica, loše izvedeni zavari, izolirani spojevi i naboranost tračnica [5]. Matematički model koji je izrađen u sklopu studije [1], predviđa porast naboranosti i optimizaciju rasporeda brušenja tračnica, samim time veću efikasnost metode te kao rezultat predstavlja značajno smanjenje troškova održavanja kolosijeka. Studija je potvrdila da se funkcije krivulje ponašanja (rast) naboranosti u vremenu mogu modelirati pomoću rezultata mjerenja ravnosti površine kroz duži period. Vibracije i dinamičke sile koje nastaju kontaktom kotača i tračnice sadrže najvažnije informacije koje se koriste za ocjenu stanja kolosijeka i predviđanje ponašanja oštećenja i nepravilnosti na kolosijeku u svrhu osiguravanja visokog stupnja učinkovitosti takvih metoda.

Uzimajući u obzir saznanja o kontaktu kotača i tračnice, mogu se koristiti dva načina indirektnog mjerenja vibracija na kolosijeku: montiranjem senzora na okretno postolje za monitoring tračnice i/ili postavljanjem senzora na tračnicu u svrhu monitoringa vagona. U sklopu MaVico projekta [6] razvijen je prototip sustava za nadzor naboranosti tračnice sa ciljem prevencije posljedica koje naboranost tračnica ima na kolosijek i opremu

vagona. Na temelju mjerenja akceleracija na okretnom postolju koji služe za određivanje stanja naboranosti tračnice napravljeni su algoritmi koji su pokazali zadovoljavajuće rezultate mjerenja ravnosti tračnice indirektnom metodom u usporedbi sa klasičnom, direktnom metodom mjerenja pomoću mjernih kolica. Opisan sustav za indirektno mjerenje hrapavosti tračnice može izmjeriti više od 100 km željezničke pruge u jednom danu dok bi direktnoj metodi za mjerenje iste dionice trebalo nekoliko tjedana [7]. Cilj rada je predstaviti mjerenje podataka o naboranosti vozne površine glave tračnice direktnom metodom sa svrhom automatizacije analize podataka izmjerenih naboranosti u budućim istraživanjima koristeći indirektnu metodu mjerenja ravnosti i mogućnosti primjene iste na cijeloj mreži koristeći monitoring na tramvajskim vozilima.

4. Mjerenje ravnosti tračnica na tramvajskom kolosijeku Zagreb

Prvi dio istraživanja sastoji se od direktnog (ručnog) mjerenja ravnosti vozne površine tračnice na zagrebačkoj mreži tramvajskih kolosijeka. Ravnost vozne površine tračnice mjerena je prema normi HRN EN 15610 „Željeznički sustav – Akustika – Mjerenje hrapavosti tračnica i kotača u vezi stvaranja buke“ [8], pomoću uređaja za mjerenje ravnosti površine tračnica (slika 1d) koji omogućava mjerenja nabora valnih duljina od 1 cm do 40 cm. Mjerenja ravnosti vozne površine tračnice provedena su na lokaciji Horvaćanski zavoj (lokacija L1, slika 1a), Horvaćanska – Hrgovići (lokacija L2, slika 1b) i na raskrižju Horvaćanska – Hrvatskog Sokola (lokacija L3, slika 1c), na oba kolosijeka sa ukupno 54 mjerna mjesta (tablica 1).



Slika 1. Lokacije mjerenja ravnosti vozne površine tračnica (a,b,c) i prikaz rada uređaja za mjerenje ravnosti tračnica (d)

Navedene lokacije odabrane su jer su na njima primijećene naboranosti prilikom vizualne inspekcije. Nastavno na vizualnu inspekciju, detektirane su povišene razine vibracija i

buke u neposrednoj blizini tramvajskog kolosijeka. Dodatni kriteriji za odabir lokacije bili su različita starost tračnice za promatrane lokacije, različiti sustavi pričvršćenja i geometrijski elementi kolosijeka (pravac i krivina) kako bi se obuhvatio što veći broj parametara kolosijeka i tračnica koji se može analizirati. Na svakoj od lokacija (L1, L2 i L3) postoje mjerna mjesta i u pravcu i horizontalnoj krivini što će dodatno pridonijeti analizi vezanoj uz geometrijske elemente kolosijeka. Nakon mjerenja je napravljena analiza rezultata s ciljem kvalitativne ocjene ravnosti vozne površine tračnice i usporedbe ravnosti tračnica obzirom na različite parametre kolosijeka.

Tablica 1. Pregled mjernih lokacija, mjernih mjesta i njihovih obilježja

Lokacija	Godina rekonstrukcije (eksploatacije)	Sustav pričvršćenja	Mjerno mjesto	Radijus	Tračnica
L1	2017 (4)	PPE	MM 1	pravac	-
			MM 4	348 m	vanjska
			MM 7	348 m	unutarnja
L2	2004 (17)	DEPP	MM 2	pravac	-
			MM 5	1025 m	vanjska
			MM 6	pravac	-
			MM 8	1025 m	unutarnja
L3	2000 (21)	DEPP	MM 3	pravac	-

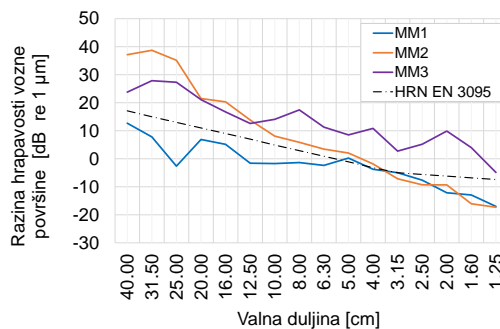
5. Analiza rezultata

Analizirane su izmjerene vrijednosti ravnosti vozne površine tračnice čije su amplitude (dB re 1 μ m) i valne duljine (cm) obrađene pomoću Fourier-ovih transformacija i prikazane u tercnim frekvencijskim pojasevima valnih duljina od 1.25 cm do 40 cm, sukladno normi [8]. Pojava i svojstva naboranosti tračnice su analizirani ovisno o parametrima koji utječu na naboranost. Ti parametri obuhvaćaju horizontalni položaj kolosijeka (u pravcu ili krivini), veličinu polumjera krivine i položaj tračnice obzirom na središnju os (vanjska ili unutarnja tračnica). Na dijagramima u nastavku prikazana je uz analizirane ravnosti površine tračnice i granična krivulja prema normi HRN ISO 3095 „Akustika – Oprema za željeznice – Mjerenje buke koju proizvode željeznička vozila“. Prema navedenoj normi, vrijednosti ravnosti površine tračnice koje se nalaze ispod

postavljene granice neće imati utjecaj na povećanje buke i vibracija, dok će vrijednosti iznad granice imati utjecaj na buku i vibracije od željezničkih vozila. Na apscisi dijagrama nalaze se valne duljine naboranosti iskazane u centimetrima dok se na ordinati nalaze vrijednosti amplituda iskazane u dB (referentna vrijednost $1\mu\text{m}$). Osnovna usporedba ravnosti napravljena je za tri različite dionice (L1, L2, L3) analizirajući vrijeme eksploatacije kolosijeka.

Naboranost i vrijeme eksploatacije

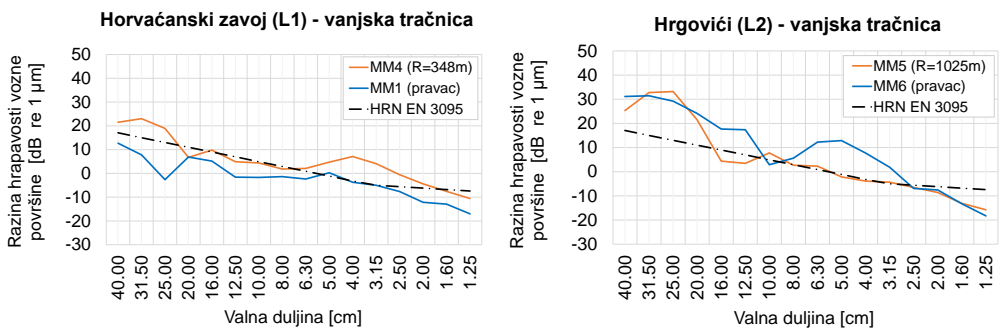
Analizom se pokušava utvrditi nastanak i razvoj naboranosti ovisno o vremenu eksploatacije kolosijeka. Valja napomenuti da se sve lokacije nalaze na istoj tramvajskoj trasi, pa je obujam prometa proporcionalan vremenu eksploatacije. Na slici 2 prikazana je ravnost površine tračnice u pravcu na lokaciji L1 (MM1), L2 (MM2) te L3 (MM3). Na dionici koja je najduže u eksploataciji (L3, MM3) pojavljuje se veći broj izraženih obrazaca naboranosti pri valnim duljinama $\lambda = 2\text{cm}$, $\lambda = 4\text{ cm}$ i $\lambda = 8\text{ cm}$. Na lokaciji L2 (MM2) naboranosti su dominantne u području od 25 do 40 cm (najveća amplituda $\lambda = 31,50\text{ cm}$, $a = 38,7\text{ dB}$), dok se na lokaciji L1 (L1, MM1) s obzirom na kratko vrijeme eksploatacije nisu još pojavili nabori vozne površine glave tračnice dominantnih valnih duljina.



Slika 2. Usporedba ravnosti vozne površine prema starosti kolosijeka

Naboranost i horizontalni elementi geometrije kolosijeka

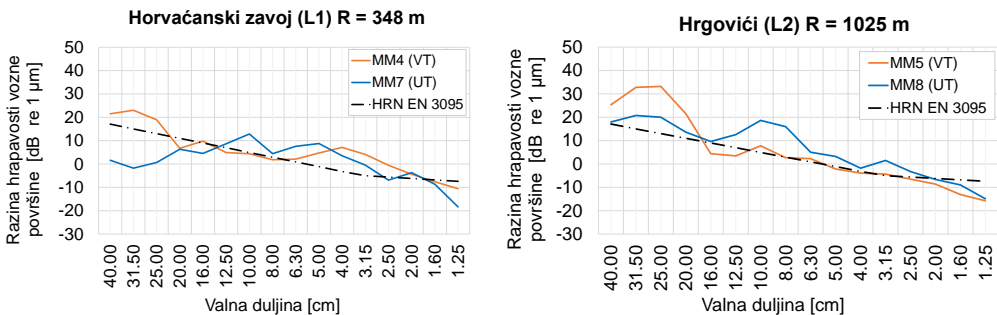
Analizirane su ravnosti vozne površine vanjske tračnice za krivine različitih polumjera $R=348$ m (L1, MM 4) i $R=1025$ m (L2, MM 5) (slika 3) u odnosu na ravnost tračnice u pravcu na istim mjernim lokacijama (L1, MM1 i L2, MM6). Ovakvom analizom moguće je uočiti da je značajnija razlika naboranosti prisutna kod krivina manjeg polumjera u odnosu na naboranost u pravcu. Na vanjskoj tračnici kolosijeka sa manjim polumjerom (MM 4, $R = 348$ m), detektirano je nekoliko dominantnih valnih duljina naboranosti ($\lambda = 25$ cm, $\lambda = 16$ cm, $\lambda = 4$ cm), dok se kod kolosijeka većeg polumjera (MM 5, $R = 1025$ m) na tračnici pojavljuju isključivo dominantne valne duljine naboranosti oko 25 cm s amplitudom $a = 33.2$ dB. Kod kolosijeka u pravcu gotovo nijedna valna duljina nije dominantna na lokaciji L1 (MM 1), no na lokaciji L2 (MM6) vidljiv je razvoj naboranosti sličan onome u krivini velikog polumjera (MM5) s dodatno naglašenom valnom duljinom od 5 cm.



Slika 3. Usporedba ravnosti vozne površine vanjske tračnice kolosijeka u krivini i pravcu na lokaciji L1 (a) i L2 (b)

Zanimljivo je promotriti i razliku naboranosti vanjske i unutarnje tračnice na mjernim mjestima u krivini zbog različitog djelovanja opterećenja od vozila uslijed djelovanja centrifugalne sile koja je prisutna pri kružnom gibanju. Na slici 4. prikazane su ravnosti vozne površine unutarnje i vanjske tračnice na kolosijecima sa različitim polumjerima krivina ($R = 348$ m i $R = 1025$ m). Neovisno o veličini polumjera, na vanjskoj tračnici (MM 4, MM 5) dominiraju veće valne duljine naboranosti u frekventnim pojasevima 31.5 cm ($a = 23$ dB) i 25 cm ($a = 33.2$ dB), dok su na unutarnjoj tračnici (MM 7, MM 8) dominantne kraće valne duljine naboranosti u rasponu od 5 do 10 cm s amplitudama $a = 18.7$ dB (za $R = 1025$ m) i $a = 12.7$ dB (za $R = 348$ m). Veće amplitude javljaju se kod radijusa većeg

polumjera jer je kolosijek na lokaciji L2 (MM 5, MM 8) dulje vrijeme u eksploataciji od lokacije L1 (MM 4, MM 7) i parametar vremena eksploatacije više utječe na veličinu amplitude od veličine polumjera.



Slika 4. Ravnost vozne površine unutarne i vanjske tračnice u krivinama različitih polumjera na lokaciji L1 (a) i L2 (b)

5.1. Buduća istraživanja

Drugi dio istraživanja podrazumijeva pretvorbu vrijednosti valnih duljina (izmjenjenih direktnim mjerenjem ravnosti glave tračnice na kolosijeku) u frekvencijsku domenu kako bi vrijednosti bile usporedive sa signalom vibracija snimanih prilikom prolaska tramvajskog vozila po kolosijeku (indirektna metoda). Konačno, usporedba direktne i indirektna metode mjerenja predstavljala bi bazu za daljnja istraživanja i izradu modela procjene razvijanja naboranosti (s obzirom na amplitudu i valne duljine nabora) koji bi služio za razvoj optimalnog rasporeda održavanja (brušenja) kolosijeka. Dodatno, model bi se temeljio na indirektnim mjerenjima pomoću akcelerometara instaliranih na standardnom tramvajskom vozilu što bi predstavljalo veliko unapređenje i pojednostavljenje (nema potrebe za ručnim mjerenjem) i dodatna financijska rasterećenja pri održavanju tramvajске mreže kao i smanjenje razina buke i vibracija.

6. Zaključak

Promatrajući ovisnost naboranosti o vremenu eksploatacije, zaključeno je da će se količina dominantnih valnih duljina naboranosti povećavati na kolosijecima sa povećanjem vremena eksploatacije. Kod kolosijeka u krivini moguće je uočiti da je veličina radijusa obrnuto proporcionalna razvoju naboranosti te da je pri većim

radijusima razvoj naboranosti sličan onom zabilježenom u pravcu. Naboranosti vanjske tračnice su dominantne pri većim valnim duljinama od unutarne tračnice, a dominantne valne duljine naboranosti ne ovise o polumjeru krivine. Rezultati direktnih mjerenja provedenih u Zagrebu na 3 lokacije koji su proračunati u skladu s normom EN 15610 [8] poslužit će kao osnova za detekciju naboranosti indirektnim mjerenjem i daljnje istraživanje korelacije rezultata indirektnih i direktnih mjerenja naboranosti tračnica.

Literatura

- [1] Tanaka, H., Miwa, M.: Modeling the development of rail corrugation to schedule a more economical rail grinding, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F, Journal of Rail and Rapid Transit 2020,234,370–80, <https://doi.org/10.1177/0954409719894833>.
- [2] Ng, A.K., bin Alias, Z., Chassin, J.F., Yebra, J.H.: Managing rail corrugation through modelling, simulation, and instrumentation technologies. 2016 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation, ICIRT 2016, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016, 307–14, <https://doi.org/10.1109/ICIRT.2016.7588748>.
- [3] Tanaka, H., Shimizu, A., Sano, K.: Development and verification of monitoring tools for realizing effective maintenance of rail corrugation, 6th IET Conference on Railway Condition Monitoring (RCM 2014), 2014.
- [4] Tanaka, H., Shimizu, A.: Practical Application of Portable Trolley for the Continuous Measurement of Rail Surface Roughness for Rail Corrugation Maintenance. vol. 57, 2016.
- [5] Molodova, M., Li, Z., Dollevoet, R.: Axle box acceleration: Measurement and simulation for detection of short track defects, Wear, 2011, 271, 349–56, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2010.10.003>.
- [6] MaVico Project, Vibratec group, <https://www.vibratecgroup.com/en/blog/news/connected-maintenance-using-vibration-measurements/>, accessed: 29.08.2022.
- [7] Augez, R., Cloix, A., Clerc, C.: Autonomous Embedded Vibroacoustic Measurements: an efficient tool for railway monitoring
- [8] HRN EN 15610, Željeznički sustav – Akustika – Mjerenje hrapavosti tračnica i kotača u vezi stvaranja buke, 2019