

Zagreb 21-CTT: Novi sustav pričvršćenja tramvajskog kolosijeka

Stjepan Lakušić¹, Ivo Haladin, Katarina Vranešić

¹ član suradnik HATZ-a u Odjelu građevinarstva i geodezije

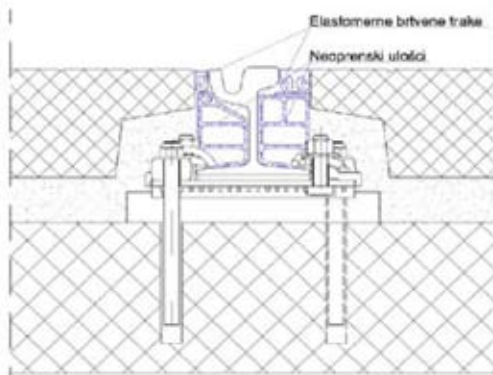
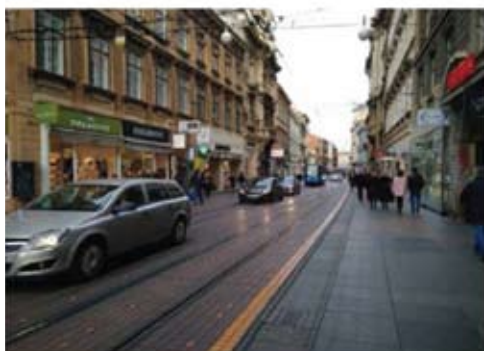
Sažetak: Tramvajski kolosijeci u Gradu Zagrebu izloženi su iznimnom prometnom opterećenju koje je jedno od najvećih u Europi. Kako bi se produžio životni vijek tramvajskih kolosiječnih konstrukcija te kako bi se odgovorilo zahtjevima za jednostavnom i ekonomičnom ugradnjom, smanjenjem širenja buke i vibracija te povećanjem otpornosti na lutajuće struje, na Građevinskom fakultetu u Zagrebu razvijen je novi sustavi pričvršćenja tramvajskog kolosijeka pod nazivom Zagreb 21-CTT. Navedeni sustav bazira se na dosadašnjim tehnologijama ugradnje uz primjenu vulkaniziranih čeličnih komponenti pričvršćenja čime je postignuta izolacija između pojedinih elemenata. Kako bi se u cijelosti provjerile sve performanse novo razvijenog sustava pričvršćenja, tijekom 2014. godine provedena je ugradnja na ispitnoj dionici u Savskoj cesti u Zagrebu. Za potrebe praćenja ponašanja i stanja kolosijeka izvedenog s novim sustavom pričvršćenja, ispitna dionica je opremljena uređajima za provedbu monitoringa. U radu je dan prikaz sustava pričvršćenja Zagreb 1-CTT te njegove glavne karakteristike na temelju rezultata ispitivanja. Navedeni sustav pričvršćenja je na međunarodnoj izložbi inovacija ARCA 2015 nagrađen srebrnom medaljom

Ključne riječi: tramvajski kolosijek, infrastruktura, buka, vibracije, lutajuće struje

1. Uvod

Širenjem urbanih sredina potreba za gradskim prijevozom postaje sve veća, a tračnički sustavi, zbog mogućnosti prijevoza velikog broja putnika, postaju sve češći oblik javnog prijevoza u urbanim sredinama. Do kraja 2018. godine laka gradska željeznica i tramvajski promet glavni su oblik prijevoza u 389 gradova širom svijeta [1]. S obzirom na velika prometna opterećenja koja trpi tračnička infrastruktura, zahtjevi koji se postavljaju na kolosijek postaju sve veći, a kako bi se mogli zadovoljiti neizbježno je pribjegavati novim tehnologijama i rješenjima.

Primjer tračničke infrastrukture s vrlo velikim prometnim opterećenjem jest i tramvajski kolosijek u gradu Zagrebu koji je, zbog velikih frekvencija tramvajskog prometa, izložen jednom od najvećih prometnih opterećenja u Europi [2]. Zbog velike frekvencije prometa, na tračničkoj infrastrukturi u Zagrebu sve češći problem predstavlja visoka razina buke i vibracija, kao i lutajućih struje uslijed prolaska tramvajskoga vozila, naročito kada se uzme u obzir da je 46% pruge smješteno u zoni cestovne prometnice, u neposrednoj blizini zgrada (udaljenost manja od 7 metara) [3][4]. Ukoliko se kolosijeci nalaze u zoni cestovne prometnice zatvoreni su asfaltom, armiranobetonskim pločama ili na neki drugi način te se nazivaju ugrađeni kolosijeci. U gradu Zagrebu kod ugrađenih kolosijeka izolacija tračnice ostvaruje se elastomernim ulošcima na vratu tračnice, a brtvljenje između tračnica i pokrovnih ploča upotrebom elastomernih traka za brtvljenje [5]. S obzirom da se po ugrađenim kolosijecima odvija i promet cestovnih vozila, tijekom eksploatacije dolazi do oštećenja armiranobetonskih ploča, propadanja neoprenskih uložaka uz vrat tračnice te ispadanja elastomernih brtvenih traka. Ovakva oštećenja rezultiraju povećanjem buke i vibracija te prodiranjem vode u kolosijek, čime se stvaraju pogodniji uvjeti za koroziju i lutajuće struje. Primjer tramvajskog kolosijeka u zoni cestovne prometnice, smještenog u neposrednoj blizini zgrade prikazan je na slici 1.

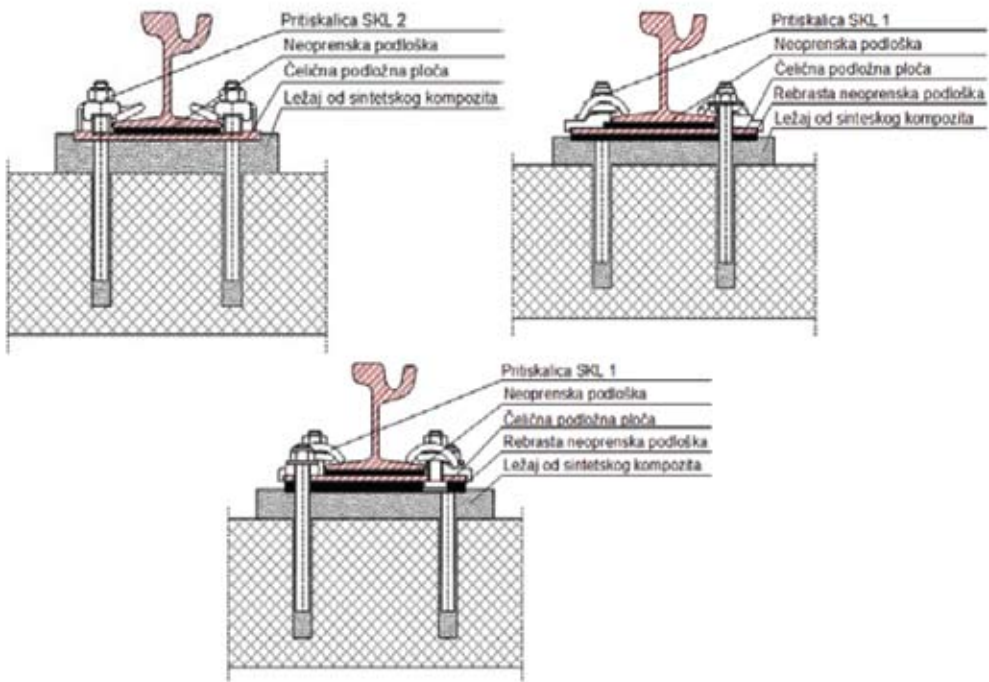


SI 1: Tramvajski kolosijek u zoni cestovne prometnice, smješten u neposrednoj blizini zgrada [5]

2. Postojeći sustavi pričvršćenja na tramvajskome kolosijeku u gradu Zagrebu

Primarna uloga sustava pričvršćenja tračnica jest pozicioniranje i fiksiranje tračnica te prijenos opterećenja na donji ustroj kolosijeka. Tip i karakteristike pričvrstnog pribora ovise o potrebnoj elastičnosti kolosijeka, planiranom prometnom opterećenju, kao i tipu tračnice. Na tramvajskoj infrastrukturi u gradu Zagrebu koriste se žljebaste tračnice koje su diskretno oslonjene i pričvršćene za podlogu [6]. Na svakih metar

tračnice su oslonjene na ležajeve koji su izvedeni na betonskoj podlozi. Na svakome ležajnom mjestu tračnica je preko neoprenskega podloška položena na čeličnu podložnu ploču koja se dalje oslanja na ležaj od sintetskoga kompozita, a tračnica je za podložnu ploču pričvršćena korištenjem direktnoga ili indirektnoga sustava pričvršćenja [7]. Kod direktnoga sustava tračnica je pričvršćena uz pomoć pritiskalice i sidrenoga vijka koji ujedno pričvršćuje čeličnu podložnu ploču za podlogu, a kod indirektnoga sustava pričvršćenje tračnice omogućeno je pritiskalicom i T-vijkom koji je donjim dijelom pričvršćen za podložnu ploču, a sidreni je vijak odvojen i pomoću njega se ostvaruje jedino pričvršćenje čelične ploče za podlogu [7]. Direktni sustavi pričvršćenja koji se koriste u Zagrebu su jednostruko elastični sustav pričvršćenja „ZG 3/2“ te sustav pričvršćenja povećane elastičnosti „PPE“. Indirektni sustav koji je u primjermi jest dvostruko elastični sustav pričvršćenja „DEPP“. Pojednostavljeni poprečni presjeci navedenih sustava prikazani su na slici 2.



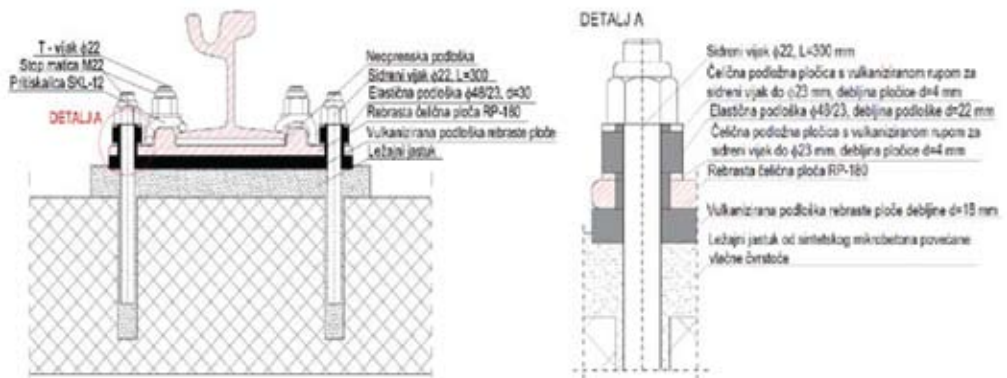
SI 2. Poprečni presjeci sustava pričvršćenja u gradu Zagrebu, a) ZG 3/2, b) PPE, c) DEPP [5]

S obzirom na visoke razine buke i vibracija koje su zabilježene na dionicama tramvajskog kolosijeka s opisanim sustavima pričvršćenja, kako bi se produžio životni vijek tramvajskih kolosiječnih konstrukcija i odgovorilo zahtjevima za jednostavnom i ekonomičnom ugradnjom, smanjilo širenje buke i vibracija te smanjilo štetno djelovanje lutajućih struja, na Građevinskom fakultetu u Zagrebu razvijen je novi sustav pričvršćenja pod nazivom Zagreb 21 – CTT.

3. Razvijanje novog sustava pričvršćenja na tramvajskome kolosijeku u gradu Zagrebu – Zagreb 21-CTT

3.1. Opis sustava pričvršćenja Zagreb 21-CTT

CTT je skraćeni naziv za “Classic Tram Track”, što znači da se po tradiciji odnosi na zagrebačko iskustvo jer je ovaj sustav pričvršćenja nastao kao nadogradnja postojećih sustava. Kod ovog je sustava, kao i kod sustava koji su u upotrebi u Zagrebu, tračnica diskretno oslonjena i pričvršćena na razmaku od jedan metar. Na svakom je ležajnome mjestu tračnica oslonjena preko neoprenske podloške debljine 10 mm na rebrastu čeličnu podložnu ploču. Čelična podložna ploča dobivena je od valjanog profila čelika, a na nju je s donje strane vulkanizirana elastična podloška kako bi se dobio dodatan stupanj elastičnosti pričvršćenja. Čelična podložna ploča je svojim elastičnim dijelom uronjena u ležajni jastuk koji je izrađen na betonskoj podlozi. Na taj je način ostvarena dvostruka elastičnost. Na čeličnoj su ploči vulkanizirani također i provrti za sidrene vijke. Pričvršćenje tračnica za podložnu ploču ostvareno je T-vijcima i SKL-12 pritiskalicama, a sidrenje ploče ostvaruje se neovisno preko dva sidrena vijka [8]. Elastične podloške za sidrene vijke posebno su projektirane za ovaj sustav, čime je, osim dodatne elastičnosti ostvarila potpuna izolacija sidrenoga vijka te je spriječen kontakt između vijka i čelične podložne ploče i osiguran veći električni otpor. Na slici 3 prikazan je poprečni presjek Zagreb 21-CTT sustava pričvršćenja.



SI 3. Zagreb 21-CTT sustav pričvršćenja kolosijeka

Bez obzira što ovaj sustav predstavlja svojevrsnu nadogradnju postojećih sustava, tijekom njegovog razvoja provedene su brojne varijante i preinake, a u cilju predviđanja detalja sustava, izrađeni su 3D modeli, kao i fizički modeli u stvarnome mjerilu.

3.2. Ugradnja sustava na pokusnoj dionici tramvajskog kolosijeka

U kolovozu 2014. godine, Zagreb 21-CTT sustav pričvršćenja ugrađen je na testnoj dionici tramvajskog kolosijeka u Savskoj cesti u gradu Zagrebu. Na duljini od 55 m izveden je referentni sustav pričvršćenja PPE, a zatim na duljini od 60 m novi sustav pričvršćenja Zagreb 21 – CTT. U svrhu praćenje ponašanja i stanja kolosijeka, ispitna dionica je opremljena i uređajima za provedbu monitoringa. Oni se sastoje od senzora za mjerenje naprezanja i deformacija, akcelerometara i mikrofona za mjerenje buke i vibracija, a omogućeno je i mjerenje lutajućih struja. Na slici 4 je prikazan izvedeni sustav na ispitnoj dionici.



SI 4. Zagreb 21-CTT pričvršno mjesto prije fiksiranja sidrenoga vijka u beton

Ispod nožice te na vrat tračnice postavljaju se neoprenski ulošci kao što je slučaj i kod ostalih sustava pričvršćenja. Također, zatvaranje kolosijeka sa sustavnom pričvršćenja Zagreb 21-CTT ostvaruje se jednako kao i kod ostalih sustava (armiranobetonske ploče, betonska ispuna sa završnim asfaltnim slojem i sl.). Na slici 5 prikazano je izvođenje opločenja kolosijeka na ispitnoj dionici s armiranobetonskim pločama.



SI 5. Izrada opločenja kolosijeka na ispitnoj dionici, Savska cesta

Nakon ugradnje armiranobetonskih ploča, reške između betonskih ploča i reške između ploča i rubnjaka popunjavaju se posebnim sitnozrnim mortom. Brtvljenje spoja betonskih ploča za opločenje kolosijeka i tračnice, umjesto traka za brtvljenje koje su inače u primjeni na kolosijeku u Zagrebu, izvodi se upotrebom materijala za zapunjavanje koji se s jedne strane veže na tračnicu, a s druge strane na armiranobetonsku ploču. Na taj se način sprječava prodiranje vode u kolosijek, zbog čega je djelovanje elektrokemijske korozije i lutajućih struja smanjeno.

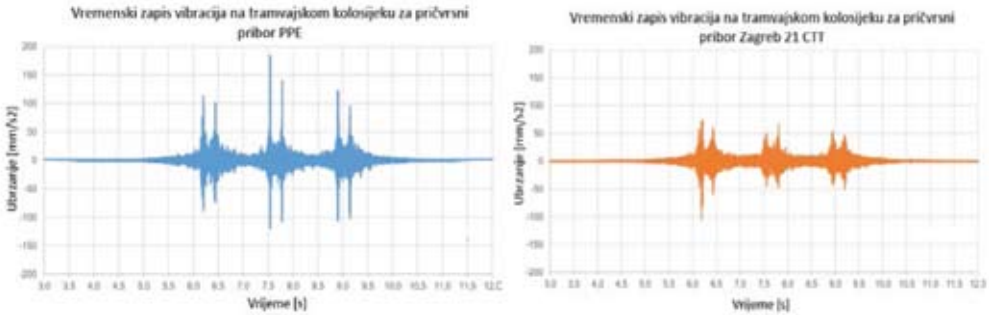
Kod ugradnje elastomernog materijala potrebno je voditi računa o tome da se smjesa ravnomjerno nanosi u predviđenu rešku kako bi se spriječilo procjeđivanje smjese u donje slojeve konstrukcije i zaštitili elementi konstrukcije na koje se sredstvo ne nanosi (vozna površina tračnica i gornja površina betonske ploča. Na slici 6 prikazana je ugradnja materijala za zapunjavanje.



SI 6. Ugradnja materijala za zapunjavanje umjesto traka za brtvljenje

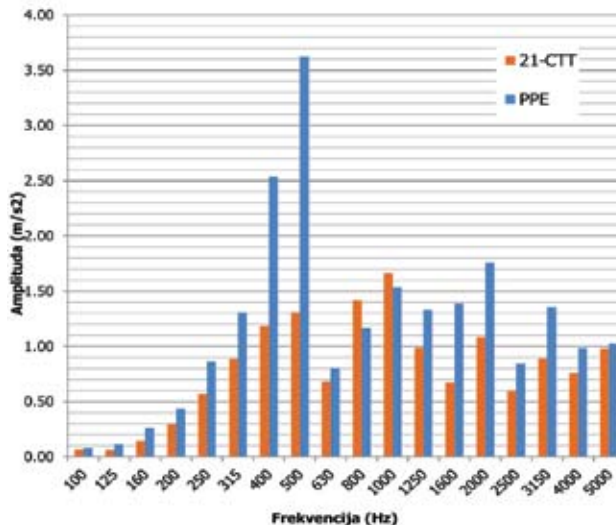
4. Provedba ispitivanja i diskusija

U prvoj fazi ispitivanja izvršena su mjerenja vibracija pri prolasku ispitnog vozila. Mjerenja su vršena u noćnim satima, uz korištenje određenog tramvaja TMK 2266 pri konstantnoj brzini kao izvora pobude, kako bi se eliminirali vanjski utjecaji. Pomoću akcelerometara mjereno je vertikalno i horizontalno ubrzanje tračnica. Pričvršćenje akcelerometara omogućeno je pomoću magneta, a pristup tračnici pomoću okna koje je prilikom rekonstrukcije ugrađeno uz tračnicu [9]. Vibracije je prouzrokovalo tramvajsko vozilo koje se kretalo konstantnom brzinom od 15 km/h i 30 km/h. Vremenski zapis vibracija na kolosijeku prikazan je na slici 8 za pričvrсни pribor PPE te na slici 7 za pričvrсни pribor Zagreb 21 CTT.



SI 7. Izmjerene vibracije - referentni sustav PPE (lijevo) i Zagreb 21 CTT (desno)[9]

Zabilježeni su znatno bolji rezultati u odnosu na standardni sustav pričvršćenja (PPE) koji je u uporabi na tramvajskoj infrastrukturi u Zagrebu. Kod standardnog PPE sustava pričvršćenja izmjerene su visoke razine vibracija koje je prouzročio tramvaj prilikom prometovanja, a novim je sustavom ostvareno smanjenje ekvivalentne razine vibracija od 3 dB u usporedbi sa PPE sustavom koje je uzrokovao tramvaj vozeći brzinom od 30 km/h. Usporedba izmjerenih razina vibracija u frekventnom području prikazana je na slici 8. Smanjenjem visokofrekventnih vibracija tračnica (u rasponu od 100 Hz do 5000 Hz), što je dokazano ovim ispitivanjima, smanjuje se emisija buke koju emitira kolosijek pri prolasku tramvajskih vozila.



SI 8. Razine vibracija u frekventnom području od 100 HZ do 5000 Hz koje utječu na stvaranje buke [9]

Kao što je već ranije navedeno, sustav pričvršćenja Zagreb 21 CTT, zbog bolje izoliranosti elemenata pričvršćenja odlikuje veća vrijednost električnog otpora, zbog

čega su smanjene vrijednosti lutajućih struja. Detaljna učinkovitost na djelovanje lutajućih struja i usporedba sa ZG 3/2, PPE i DEPP sustavima pričvršćenja trenutno je u fazi ispitivanja na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu dok su prethodna ispitivanja utjecaja lutajućih struja provedena na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.



SI 9. Provedba ispitivanja utjecaja lutajućih struja na sustav pričvršćenja tračnica

Inovativnost Zagreb 21-CTT sustava za pričvršćenje tramvajskog kolosijeka koji ima odlike smanjenja vibracija te povećanja otpornosti na lutajuće struje, potvrđena je na 14. međunarodnoj izložbi inovacija ARCA 2016, gdje je inovacija nagrađena zlatnom medaljom, sl. 10.



SI 10. Zlatna medalja na izložbi inovacija ARCA 2016 za inovaciju Zagreb 21-CTT

5. Zaključak

U tablici 1 prikazana su svojstva novog sustava pričvršćenja Zagreb 21 CTT u usporedbi sa standardnim sustavom koji se sada primjenjuje u gradu Zagrebu. Pokazano je da su novim sustavom pričvršćenja, zbog korištenja standardnog željezničkog materijala koji postiže nisku tržišnu cijenu uslijed serijske proizvodnje, smanjeni troškovi proizvodnje. Također, zbog bolje izolacije, ostvarena je veća zaštita od lutajućih struja, smanjena je razina buke i vibracija, uz jednake mjere održavanje kakve su se i do sada provodile na tramvajskoj infrastrukturi.

Tablica 1. Usporedba svojstva dionice Zagreb 21 CTT obzirom na referentnu dionicu [10]

Svojstvo	Zagreb 21-CTT
Brzina ugradnje	=
Cijena	+
Zaštita od lutajućih struja	++
Održavanje	=
Trajnost	+
Širenje vibracija	+
Širenje buke	+
= svojstvo slično referentnoj dionici PPE + pozitivna promjena u odnosu na referentnu dionicu PPE	

U ovom radu je prikazan novi sustav pričvršćenja Zagreb 21 – CTT koji je ugrađen na probnoj dionici u Savskoj cesti u Zagrebu tokom 2014. godine. Nakon eksploatacije, usporedili su se rezultati s referentnim sustavom PPE. Novo razvijenim sustavom poboljšana je i trajnost kolosiječne konstrukcije te smanjeno širenje vibracija i buke. Ispitivanjima koja su trenutno u fazi provedbe dokazuje se znatno veća zaštita od lutajućih struja u odnosu na referentni sustav.

Sudeći po rezultatima, radi se o sustavu pričvršćenja koji će na tramvajskim kolosijecima u Zagrebu naći sve veću primjenu, što će rezultirati duljim životnim vijekom tramvajskih pruga, a samim time i manjim troškovima održavanja.

6. Literatura

- [1] UITP, “The Global Tram and Light Rail Landscape - Statistics Brief,” no. October, pp. 1–8, 2019, [Online]. Available: https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/09/Statistics-Brief-World-LRT_web.pdf.

- [2] Lakušić S., Haladin, I., Vranešić, K.: Zagreb 21-CTT: novi sustav pričvršćenja kolosijeka za smanjenje vibracija te povećanje otpornosti na lutajuće struje, *Automation in transportation*, Krapina, str. 1-4, 2016.
- [3] Unapređenje javnog prijevoza putnika u gradu Zagrebu s naglaskom na tramvajski i autobusni prijevoz, *Okrugli Stol, Zagreb*, 25.9.2013.
- [4] Lakušić, S., Haladin, I., Vranešić, K.: Tračnička infrastruktura u potresom pogođenim područjima, *Građevinar*, 72 (2020) 10, pp. 905–922, DOI: <https://doi.org/10.14256/JCE.2967.2020>
- [5] Vranešić, K., Lakušić, S., Serdar, M.: Korozija i lutajuće struje na tračničkoj infrastrukturi u urbanoj sredini, *Građevinar* 72 (2020) 7, pp. 593–606, 2020, DOI: <https://doi.org/10.14256/JCE.2909.2020>
- [6] Haladin, I., Lakušić, S., Ahac, M.: Vibro-acoustic performance of newly designed tram track structures, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, doi:10.1088/1757-899X/236/1/012046
- [7] Vranešić, K., Lakušić, S.: Smanjivanje djelovanja lutajućih struja na kolosiječne konstrukcije, *Peti skup mladih istraživača iz područja građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti - ZAJEDNIČKI TEMELJI 17*, Rijeka, 2017, pp. 47–53.
- [8] Lakušić, S., Haladin, I., Škare, L.: Novi sustavi pričvršćenja kolosijeka na tramvajskim prugama u Zagrebu, *Dani prometnica 2015 Kvaliteta prometne infrastrukture - ključ razvoja gospodarstva*, 2015, pp. 39-60.
- [9] Lakušić, S., Haladin, I., Koščak, J.: Izvještaj o kontroli stanja gornjeg ustroja kolosijeka na ispitnoj dionici tramvajske pruge na Savskoj ulici, Zagreb, 2015.