

## Sprječavanje štetnih posljedica lutajućih struja na kolosiječne konstrukcije

Katarina Vranešić<sup>1</sup>, prof.dr.sc. Stjepan Lakušić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, [kvranesic@grad.hr](mailto:kvranesic@grad.hr)

<sup>2</sup> Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb, [laki@grad.hr](mailto:laki@grad.hr)

### Sažetak

Korozija zbog lutajućih struja prisutna je na svim kolosijecima gdje tračnice i pričvrtni pribor nisu dovoljno izolirani od okoline te dolazi do istjecanja struje iz tračnice. Danas postoje različite metode smanjivanja lutajućih struja i daljnje monitoringa. Posebice su djelovanju lutajućih struja izloženi kolosijeci u urbanim sredinama. U ovom je radu obrađena problematika lutajućih struja na tramvajskoj mreži u Zagrebu, gdje lutajuće struje predstavljaju veliki problem, a korozija izaziva sve veće degradacije tračnica i pričvrtnog pribora. Unatoč velikom problemu u zadnjih 10 godina, Upravitelj tramvajske infrastrukture nije još izradio detaljnu analizu degradacije kolosijeka te određivanja najugroženijih dijelova (zona). Ovakva analiza svakako treba rezultirati akcijskim planom za smanjivanje istjecanja struje iz tračnica, odnosno uporabom sustava pričvršćenja koji će osigurati veću otpornost na djelovanje lutajućih struja

*Ključne riječi: kolosijek, lutajuće struje, korozija, monitoring, održavanje kolosijeka*

## Preventing damaging consequences of stray currents on track structure

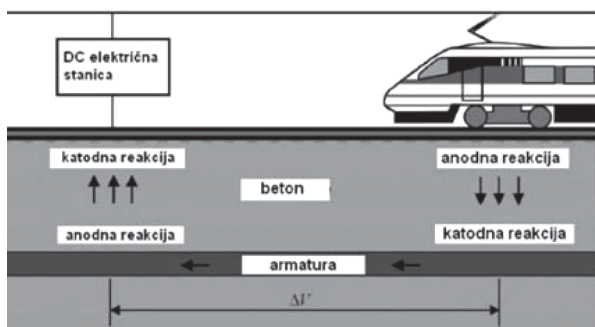
### Abstract

The stray current corrosion is present at all tracks where rails and fastening accessories are not sufficiently insulated, and so the current flows out of the rails. There are currently many methods for reducing stray currents and further monitoring. Tracks in urban areas are particularly susceptible to stray currents. This paper deals with stray current problems on tram tracks in Zagreb, where stray current corrosion is causing increasing damage to rails and fastening accessories. Despite the magnitude of the problem experienced over the past ten years, the tram infrastructure manager has still not conducted a detailed track degradation analysis to determine the most endangered parts (zones). This analysis would surely result in action plan for reducing current leakage from rails by making use of an appropriate rail fastening system that will ensure much greater resistance to stray current activity.

*Key words: track, stray current, corrosion, monitoring, track maintenance*

## 1 Uvod

U većini urbanih kolosijeka tračnice se upotrebljavaju kao povratni put struje do elektrovučne podstanice. Na mjestima oslabljene izolacije struja izlazi iz tračnice jer pronalazi put manjega otpora te ulazi u ukopane metalne konstrukcije položene neposredno uz tramvajsku infrastrukturu i postaje lutajuća struja [1]. U blizini podstanice struja napušta podzemnu konstrukciju i kroz tlo se vraća natrag u podstanicu. Na mjestima izlaska struje iz tračnice, kao i na mjestima izlaska iz ukopanih metalnih konstrukcija nastaje korozija (slika 1.) [2]. Intenzitet struje koja istječe iz tračnice ovisi o električnoj provodljivosti tračnice te o kvaliteti izolacijskoga materijala između tračnice i medija u kojemu se tračnica nalazi. Na intenzitet lutajuće struje također utječu i akceleracija tramvaja i deceleracija (usporevanje tramvaja zbog kočenja), atmosferski uvjeti te održavanje kolosijeka [3]. Da bi se djelovanje lutajućih struja smanjilo, provode se mjere sprječavanja istjecanja struja na izvoru te mjere zaštite ukopanih metalnih konstrukcija u blizini kolosijeka [3]. Razvijene su različite metode sprječavanja istjecanja struje iz tračnica, kao npr. smanjivanje otpora tečenju struje uporabom tračnica veće mase, bolja izolacija tračnice i pričvrsnoga pribora, smanjivanje razmaka između elektrovučnih podstanica [3]. Na ukopanim cjevovodima najučinkovitiju metodu zaštite konstrukcije predstavlja katodna zaštita, međutim ovaj način zaštite zahtijeva stalan nadzor i upravljanje te ne sprječava pojavu lutajućih struja [4]. Svakako je najučinkovitiji način zaštite sprječavanje lutajućih struja na izvoru.



Slika 1. Prikaz istjecanja lutajućih struja iz tračnice [2]

Djelovanje lutajućih struja smanjuje se povećavanjem udaljenosti od mjesta izvora struje. Smatra se da taj utjecaj postaje zanemariv na udaljenosti od 30 do 60 metara [5]. Problem lutajućih struja interdisciplinarno je područje i predstavlja opasnost svim metalnim konstrukcijama u blizini kolosijeka, kao i samomu kolosijeku. Danas postoje mnoge smjernice i priručnici za projektiranje tračničkih infrastruktura koje upozoravaju da je korozija uzrokovana lutajućim strujama prepoznat problem (u literaturi navedene smjernice i priručnici [6-9]). Međutim, na tramvajskoj mreži

u gradu Zagrebu ne provode se nikakve metode sprječavanja istjecanja struje te monitoringa potencijalno opasnih mjesta, što predstavlja velike probleme cijeloj infrastrukturi i rezultira ubrzanom degradacijom kolosijeka i metalnih konstrukcija položenih u blizini tramvajske infrastrukture.

## 2 Korozija uzrokovana lutajućim strujama

Korozija je degradacija metala zbog kemijske ili elektrokemijske reakcije metala s okolišem [10]. Korozija zbog lutajućih struja događa se na mjestima gdje struja izlazi iz metala i ulazi u elektrolit [1]. Na mjestu izlaska struje događa se anodna reakcija (oksidacija), odnosno dolazi do oslobađanja elektrona prema izrazu (1) [1]:



Tijekom anodne reakcije ioni željeza se oslobađaju u elektrolit i spajaju s hidroksilnim skupinama prilikom čega nastaje željezov (II) hidroksid  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ . Daljnjom reakcijom nastaje željezov (III) hidroksid  $\text{Fe}_2(\text{OH})_3$ , odnosno hrđa [11]. Može se zaključiti da se anodna reakcija, nakon nekog vremena, manifestira korozijom metala [3]. Količina korodiranoga metala može se odrediti primjenom Faradayeva zakona. U korozijskoj ćeliji odnos između količine metala koji reagira te konstantne jakosti struje u određenom periodu vremena može se odrediti izrazom (2) [12]:

$$m = k \cdot I \cdot t \quad (2)$$

pri čemu su:

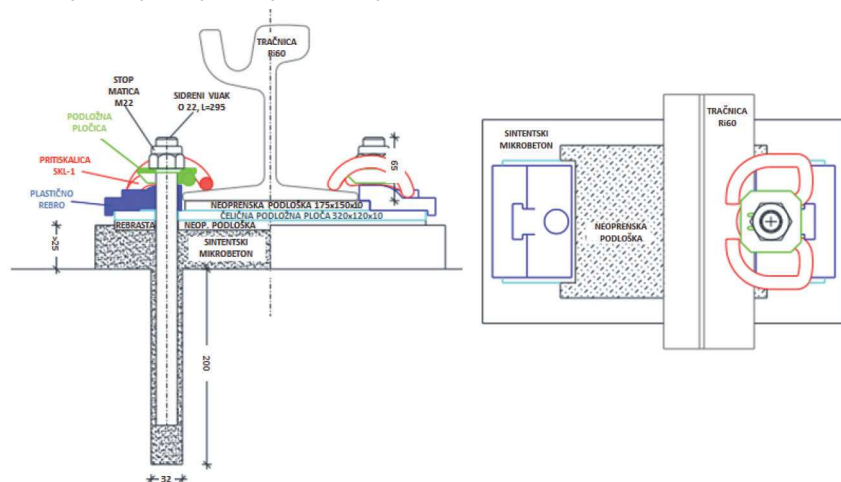
- m – masa korodiranog metala [kg]
- k – elektrokemijski ekvivalent [kg/A\*godina]
- I – jakost struje [A]
- t – vrijeme [god].

Elektrokemijski ekvivalent za željezo iznosi 9,1 kg/A\*godini, što znači da će unutar jedne godine struja jakosti 1A izazvati gubitak metala od 9,1 kg [13].

### 2.1 Primjeri korozije na tramvajskoj infrastrukturi u gradu Zagrebu

Tramvajski su kolosijeci u gradu Zagrebu izvedeni na armiranobetonskoj podlozi, a pričvršćenje tračnica ostvaruje se pomoću elastičnoga pričvrsnog pribora (sustav ZG-3/2), pričvrsnoga pribora povećane elastičnosti (sustav PPE) te dvostruko elastičnoga pričvrsnog pribora (sustav DEPP) [14]. Ove sustave karakterizira pričvršćenje tračnice pomoću elastičnih pritiskalica, i to: SKL-2 (kod sustava ZG-3/2) te SKL-1 (kod

sustava PPE i DEPP). Pozicioniranje kolosijeka po smjeru i visini ostvaruje se pomoću sidrenih vijaka. Na slici 2. [14] prikazan je poprečni presjek sustava PPE, gdje se može vidjeti da između čelične ploče i sidrenoga vijka nema izolacije, što uzrokuje značajno istjecanje lutajućih struja [15].



Slika 2. Presjek i tlocrt PPE sustava pričvršćenja [14]

Vozni je park Zagrebačkog električnog tramvaja (ZET-a) nakon 2005. godine obnavljan nabavkom 140 novih niskopodnih tramvaja TMK 2200 te 30 TMK 2300 tramvaja (kraća varijanta tramvaja TMK 2200) [12]. Tek su nekoliko godina nakon upotrebe prvih novih tramvaja uočene netipične degradacije kolosijeka kakve do tada nisu bile primjećivane na tračničkoj infrastrukturi (slika 3.) [15].



Slika 3. Stanje kolosijeka prije demontaže, Ilica, 2012. godina [15]

Oko 10 godina nakon puštanja u promet prvih tramvaja TMK 2200, bez održavanja pričvrsnoga pribora u međuvremenu, kolosijek je na nekoliko lokacija otvoren i uočen je gubitak materijala na čeličnoj podložnoj ploči ležajnoga mjesta te gubitak materijala nožice tračnice na pričvrstnomu mjestu, slika 4. Površina mjesta na kojoj je zabilježen gubitak materijala odgovara dimenziji ležajnoga mjesta [15].



Slika 4. Uobičajena degradacija tračnica uzrokovana gubitkom materijala na poziciji pričvrsnoga mjesta [17]

### 2.1.1 Mjerenje lutajućih struja u gradu Zagrebu

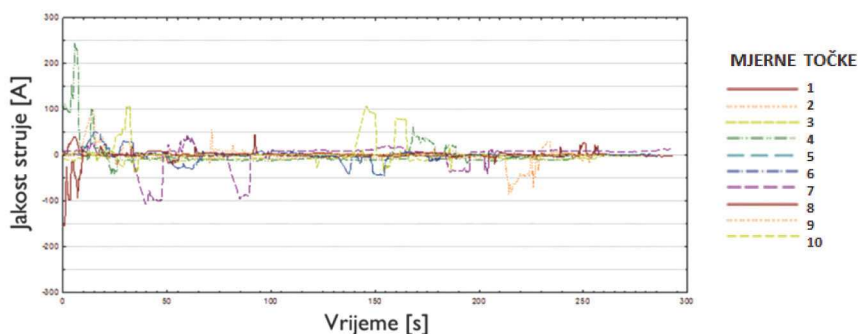
Preliminarno istraživanje utjecaja lutajućih struja na komunalnu infrastrukturu u gradu Zagrebu, u okviru diplomskoga rada, proveli su M. Serdar i suradnici s Građevinskog fakulteta u Zagrebu. Vodeći se spoznajom da struja izlazi iz tračnica jer pronalazi put manjega otpora, te ulazi u obližnje metalne konstrukcije, izvršeno je mjerenje pomoću uređaja Stray Current Mapper (SCM) na ukopanim cjevovodima u blizini kolosijeka [18]. SCM se postavlja na površini, iznad cjevovoda (slika 5.) i pomiče cijelom duljinom cjevovoda te se na temelju izmjerenih podataka veličine struje i polariteta određuje postojanje lutajućih struja, gdje je struja ušla, odnosno gdje je izašla iz cijevi. Uređaj je spojen na računalu na kojemu se pohranjuju snimljeni podaci [19].



Slika 5. Mjerenje SCM uređajem [18]

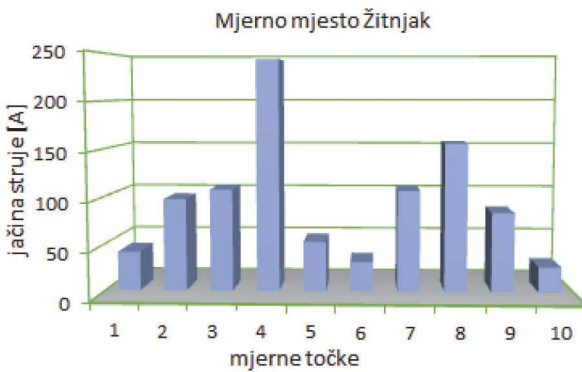
Za precizno mjerenje dinamičkih lutajućih struja (lutajućih struja nastalih istjecanjem iz tračnica) potrebne su minimalno dvije SCM senzor šipke. Jednu treba postaviti na površini tla, iznad cijevi, na mjestu za koje se pretpostavlja da je mjesto ulaska struje u metalni cjevovod, te se rabi kao referentna šipka, a druga se šipka pomiče uzduž cjevovoda. Na taj se način može odrediti smjer i magnituda struje [20].

Ovo je mjerenje provedeno pomoću jedne SCM senzor šipke, zbog čega nije bilo moguće provesti detaljniju analizu dinamičkih lutajućih struja, već je jedino bilo moguće na mjernom mjestu zabilježiti da prolaskom tramvaja dolazi do znatnoga povećanja struje u cjevovodu. Mjerenje je provedeno na nekoliko mjernih točaka na tri lokacije u gradu Zagrebu (Ilica, Kvaternikov trg, Žitnjak) i na svim su lokacijama zabilježene veće vrijednosti lutajućih struja nakon prolaska tramvajskoga vozila [18]. Na slici 6. prikazani su rezultati svih mjerenja na lokaciji Žitnjak. Uski, šiljasti vrhovi ("pikovi") predstavljaju vrijednosti struja koje su zabilježene prolaskom tramvaja [18].



Slika 6. Mjerenja provedena na lokaciji Žitnjak [18]

Budući da struja izlazi iz tračnica jer pronalazi put manjega otpora i kroz tlo ulazi u metalne konstrukcije u blizini kolosijeka te se preko njih vraća u elektrovrhnu podstanicu [21], možemo pretpostaviti da se u blizini mjesta gdje su zabilježene veće vrijednosti lutajućih struja nalazi potencijalno mjesto izlaska struje iz tračnice te ono odgovara mjestu ulaska struje u cjevovod. Na lokaciji Žitnjak to bi bio slučaj u blizini mjernih mjesta 4 i 8 (slika 7.).



Slika 7. Najveće vrijednosti dinamičkih lutajućih struja izmjerene na mjernim točkama, lokacija: Žitnjak [18]

### 3 Monitoring lutajućih struje

#### 3.1 Mjere smanjivanja lutajućih struja

Da bi se učinkovito odredile mjere koje treba provesti radi smanjivanja utjecaja lutajućih struja i otkrivanja potencijalno opasnih mjesta, mora se provesti analiza cijeloga sustava. Dobro održavanje kolosijeka i planirana mjerenja lutajućih struja moraju biti ispravno provedena kako bi se održala visoka otpornost na lutajuće struje [22]. Krajnji je cilj zaštititi tračničke sustave te okolne metalne konstrukcije od korozije. Međutim, zbog dinamičke prirode lutajućih struja, ponekad je teško kontrolirati istjecanje struje iz tračnice, naročito nakon što je kolosijek već nekoliko godina u uporabi [23]. Zbog toga se najviše provode određene mjere radi smanjivanja lutajućih struja na izvoru, od kojih navodimo najučestalije, prema [24]:

- uporaba elastomernih podložaka ispod tračnica na mjestima pričvršćenja tračnice
- potpuna izolacija tračničkoga pričvrsnog pribora kako bi se spriječio dodir metala kod kolosijeka s pojedinačnim osloncima tračnica
- kontinuirano zavarivanje tračnica
- manji razmak između elektrovnih podstanica
- oblaganje tračnica elastomernim materijalima
- ugradnja homogene elastične smjese kojom se osigurava pričvršćenje i električna izolacija cijelom duljinom kolosijeka kod kolosijeka s kontinuiranim oslanjanjem tračnica
- uporaba sustava za prikupljanje lutajućih struja.

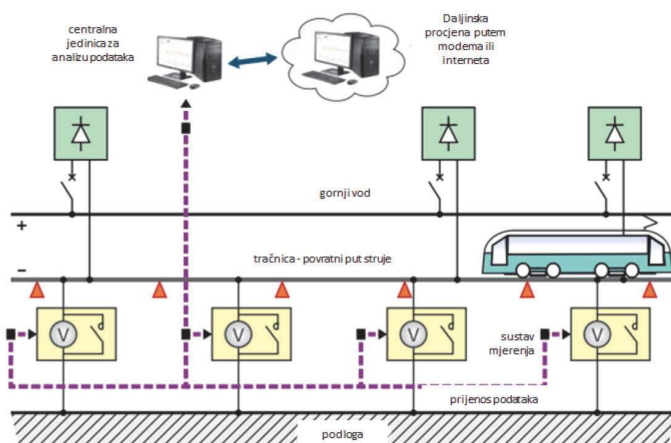
### 3.2 Održavanje dopuštene razine lutajućih struja

Električne karakteristike tračničkoga sustava trebale bi biti provjeravane na godišnjoj razini kako bi se utvrdile i ispravile sve eventualne nepravilnosti kolosijeka koje lutajuće struje mogu izazvati. Poželjno je uspostaviti monitoring, jer se na taj način može utvrditi otpornost tračnice prema tlu. Na taj se način detektira električna otpornost tračnice, tj. je li manja od potrebne, te ako jest, daljnjom se analizom utvrđuje zašto je došlo do smanjenja električne otpornosti [25]. Na klasičnim kolosijecima sa zastornom prizmom postoje određena iskustva u održavanju kolosijeka radi sprečavanja lutajućih struja, a temeljni su koraci koji se provode, prema [26]:

- vizualni pregled kako bi se otkrila mjesta na kojima dolazi do istjecanja lutajućih struja te omogućilo sprečavanje istjecanja,
- provjera stanja izolacije tračnice i pričvrsnoga pribora, što se može uočiti tijekom vizualnog pregleda,
- održavanje čistoga i suhog zastornog materijala, što se postiže kontroliranim održavanjem i pravilnom odvodnjom kolosijeka,
- provođenje redovitih ispitivanja u koordinaciji s konzultantima za koroziju kako bi se utvrdilo stanje kolosijeka.

#### 3.2.1 Sustav za monitoring lutajućih struja

Radi provođenja neprestanih kontrola lutajućih struja razvijeni su sustavi za monitoring lutajućih struja (eng. Stray current monitoring system – SCMS). Uzduž kolosijeka postavljaju se uređaji koji pomoću senzora mjere električni potencijal između tračnice te medija u kojemu se tračnica nalazi.



Slika 8. Shematski prikaz sustava za monitoring lutajućih struja [27]



Podaci se dostavljaju na računalo (slika 8.) na kojemu se vrši automatska analiza snimljenih vrijednosti te se uključuje alarm ako dođe do izmjerenih većih intenziteta lutajućih struja. Podaci se mogu prikazivati u različitim dijagramima (izmjerene vrijednosti u vremenu, po mjernim mjestima i sl). Sustav mora sadržavati dovoljno memorije kako bi se sačuvali svi trenutno izmjereni podaci barem 16 tjedana, a prosječne izmjerene vrijednosti 10 godina. Prije ugradnje ovakvoga sustava praćenja lutajućih struja mora se provesti nulto mjerenje na novom kolosijeku [27].

### 3.1.2 Postojeći pravilnici i smjernice

Prema priručniku za projektiranje metroa u SAD-u prije izgradnje novih linija željezničke infrastrukture treba izraditi Elaborat o utjecaju korozije zbog lutajućih struja kojim bi se utvrdio potencijalni štetni učinak korozije na željezničku infrastrukturu, kao i na okolne metalne konstrukcije. Radi izrade ovakvoga elaborata treba dobiti uvid u sve metalne konstrukcije u blizini planirane pruge i mjere sprječavanja korozije koje se na tim konstrukcijama provode [7]. Kontrolu lutajućih struja treba usmjeriti na sprječavanje istjecanja struja iz tračnica, a mjere sprječavanja ovise o tipu kolosijeka [7]:

Kod kolosijeka sa zastornom prizmom treba izolirati podložnu čeličnu ploču i pričvrtni pribor kako bi se osigurala dobra otpornost tračnice prema podlozi.

Kod kolosijeka na čvrstoj podlozi izolacija se ostvaruje između tračnice, odnosno pričvršćenja, i betonske podložne ploče ili između betonske podložne ploče i tla pomoću izolacijskih materijala. Također, može se izvoditi i oblaganje tračnice elasto-mernim materijalima.

Kada je riječ o direktnom pričvršćenju tračnice, lutajuće se struje sprječavaju izolacijom pričvrsnoga pribora. Izolaciju elemenata kolosijeka treba održavati tijekom cijeloga projektnog razdoblja konstrukcije. U nekim je smjernicama propisana vrijednost minimalne dopuštene električne otpornosti između tračnice i podloge – u tunelima ne smije biti manja od  $10 \Omega/\text{km}$ , odnosno od  $2 \Omega/\text{km}$  na otvorenoj pruzi. Treba osigurati da prosječna vrijednost lutajućih struja po jedinici duljine za jednokolosiječne pruge ne premašuje  $2,5 \text{ mA/m}$  [8].

## 4 Daljnja istraživanja

Preliminarnim mjerenjima lutajućih struja na cjevovodima položenima u neposrednoj blizini tramvajske mreže SCM uređajem [18] ustanovljeno je postojanje dinamičkih lutajućih struja na mreži tramvajske infrastrukture u gradu Zagrebu. Da bi se ove izmjerene vrijednosti smanjile, a posljedice djelovanja lutajućih struja svele na minimum, daljnjom analizom treba utvrditi najkritičnija mjesta na kojima se događaju degradacije kolosijeka uzrokovane ovim načinom korozije. Budući da se veći intenziteti lutajućih struja pojavljuju na mjestima ubrzavanja i usporavanja tramva-

ja, pretpostavka je da će se najveće degradacije javljati upravo na najprometnijim mjestima, gdje prometuje najveći broj tramvajskih linija te gdje, zbog kombinacije tramvajskoga i cestovnog prometa, tramvaji konstantno ubrzavaju i usporavaju (npr. Ilica, Vlaška ulica, Savska cesta). Analizom gustoće tramvajskoga prometa te zadnjih provedenih rekonstrukcija tramvajske mreže možemo utvrditi koja su potencijalno opasna mjesta nastanka korozije te na temelju mjerenja lutajućih struja i utvrđivanjem stanja kolosijeka provjeriti točnost postavljene pretpostavke. Na tim mjestima, s obzirom na intenzitet izmjerene lutajuće struje i obližnjih podzemnih metalnih konstrukcija (vodovod, plinovod), treba predvidjeti (osigurati) najprikladniji način sprječavanja lutajućih struja te daljnji monitoring. Daljnja istraživanja temeljit će se na analizi korozije na najugroženijim mjestima pričvršćenja te kako modifikacijom svojstava izolacijskih materijala pričvrsnoga pribora spriječiti istjecanje lutajućih struja i zaustaviti njihove štetne posljedice na tramvajskim kolosijecima. Degradacije tračnica na mjestima pričvršćenja uzrokovane djelovanjem lutajućih struja imaju veliki utjecaj i na sigurnost odvijanja prometa.

## 5 Zaključak

U Zagrebačkom električnom tramvaju (ZET-u) prepoznat je problem korozije uzrokovane lutajućim strujama. Međutim, još se uvijek nije sustavno pristupilo pronalaženju učinkovitog rješenja. Budući da je tramvajska pruga u Zagrebu u najvećem dijelu zatvorena armiranobetonskim montažno-demontažnim pločama, takve se degradacije ne mogu uočiti sve dok se kolosijek ne otvori te vizualno izvrši pregled tračnica i pričvrsnoga pribora. Degradacija bi se mogla ustanoviti kad bi postojala mjerenja geometrije kolosijeka pod opterećenjem, jer bi se u tom slučaju detektirala oštećenja na mjestima pričvršćenja. Naime, na ovako oštećenim pozicijama bilo bi zabilježeno povećano proširenje kolosijeka. U Hrvatskoj ne postoje smjernice kojima bi se definirali načini monitoringa i spječavanja lutajućih struja, dok je u svijetu na taj problem stavljen veliki naglasak. Budući da su lutajuće struje interdisciplinarno područje i da ne predstavljaju opasnost samo tramvajskoj infrastrukturi već i svim metalnim konstrukcijama postavljenima u blizini kolosijeka, istraživanja provedena radi smanjivanja lutajućih struja na izvoru mogu predstavljati uvod u daljnje studije i projekte provođenja monitoringa i zaštite od korozije lutajućih struja na svim ugroženim konstrukcijama. Takve projekte treba provoditi u suradnji sa svim operatorima kojima lutajuće struje stvaraju velike troškove održavanja te inspektorima zaduženima za sigurnost odvijanja prometa.

## Literatura

- [1] Ogunsola, A., Mariscotti, A., Sandrolini, L.: Estimation of stray current from a DC-electrified railway and impressed potential on a buried pipe, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27 (2012) 4, pp. 2238–2246.
- [2] Bertolini, L., Carsana, M., Pedeferri, P.: Corrosion behaviour of steel in concrete in the presence of stray current, *Corrosion Science*, 49 (2007) 3, pp. 1056–1068.
- [3] Niasati, M., Gholami, A.: Overview of stray current control in dc railway systems, *Railway Engineering - Challenges for Railway Transportation in Information Age*, International Conference on Railway Engineering - Challenges for Railway Transportation in Information Age, pp. 237–242, 2008.
- [4] Oštrić, D., Cvitanović, I., Ferlak, B.: Daljilnsko vođenje sustava katodne zaštite Jadranskog naftovoda, 17. međunarodno savjetovanje HDO Održavanje 2011., pp. 196–202, 2011.
- [5] Predavanje: Serdar, M., Baričević, A.: Mehanizam korozije metala, 2017.
- [6] Office of Rail Regulation, *Tramway Technical Guidance Note 3: Design Standards Stray Current Management*
- [7] *Metro Design criteria manual*; Metro Light Rail Transti Projects, 2007.
- [8] RTA: *Dubai Rail Planning&Design Guidelines, Guidelines and Design Principles for Railway Projects undertaken by Developers in the Emirate of Dubai*, 2013.
- [9] Transport Asset Standards Authority, *Guide: Electrolysis from stray DC current*, 2014.
- [10] Revie W.R., Uhlig H.H.: *Corrosion and corrosion control*, Wiley-Interscience, 2008.
- [11] Shipley, W.R., Darwin, D., Locke, E.C.: *Stray current corrosion due to utility cathodic protection*, University of Kansas Center for Research, Technical Report, 1997.
- [12] Yu, J.G., Goodman, C.J.: *Stray Current Design Parameters for Dc Railways*, Railroad conference, Atlanta, USA, pp. 19–28, 1992.
- [13] Thomas, J.B., Zdunek, D.A.: *Stray Current Corrosion in Electrified Rail Systems - Final Report*, 1995.
- [14] Lakušić, S., Haladin, I., Škare, L.: Novi sustavi pričvršćenja kolosijeka na tramvajskim prugama u Zagrebu, *Kvalitea prometne infrastrukture - ključ razvoja gospodarstva*, ur. Stjepan Lakušić, Dani prometnica, Zagreb, Građevinski fakultet Zagreb, pp. 39-60, 2015.
- [15] Vranješević, M.: *ZET - Korozija tramvajskih tračnica i pričvrsnog pribora, radni materijal*, 2014.

- [16] Lakušić, S., Haladin, I., Koščak, J.: Izvještaj o kontroli stanja gornjeg ustroja kolosijeka na ispitnoj dionici tramvajske pruge na Savskoj ulici, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2015.
- [17] Lakušić, S., Haladin, I., Vranešić, K.: Zagreb 21-CTT: novi sustav pričvršćenja kolosijeka za smanjenje vibracija te povećanje otpornosti na lutajuće struje, Automatizacija u prometu 2016, ur. Željko Šakić, Krapina, KoREMA, pp. 1–4, 2016.
- [18] Serdar, M., Vidov, V., Bjegović, D.: Analiza lutajućih struja i utjecaj na koroziju metala u zoni prometne infrastrukture, Mjerenja, ispitivanja i monitoring na prometnicama, ur. Stjepan Lakušić, Dani prometnica, Zagreb, Građevinski fakultet Zagreb, pp. 453–513., 2013-
- [19] Ivanković, A., Martinez, S., Kekez, K.: Detekcija štetnih učinaka statičkih i dinamičkih lutajućih struja SCM uređajem, International conference Exchanging experiences in the fields of corrosion, materials and environmental protection, (ur. Lačnjevac, Č.), pp. 107-114.
- [20] Radiodetection Ltd Western Drive Bristol BS14 OAZ, UK, Stray Current Mapper User Manual, 2011.
- [21] Zakowski, K., Darowicki, K.: Stray Currents and Pollution of the Environment,” Polish Journal of Environmental Studies, 8 (1999) 4, pp. 209–212-
- [22] Memon, S.: Understanding stray current mitigation, testing and maintenance on DC powered rail transit systems, Joint Rail Conference, Knoxville, Tennessee, USA, pp. 1–7, 2013-
- [23] Memon, S., Clarner, G., Fromme, P.: Stray Current Mitigation and Collection Techniques Adopted by a DC Transit Agency and Its Effectiveness in Controlling Stray Currents, International Conference on Transportation and Development, Houston, Texas, Transportation & Development Institute, pp. 640–650, 2016
- [24] Memon, S., Fromme, P.: Stray Current Corrosion and Mitigation: A synopsis of the technical methods used in DC transit systems, IEEE Electrofication Magazine, 2 (2014) 3, pp. 22–31-
- [25] Zan, K., Mawley, V., Ramos, M., Singh, S.: Recommended Maintenance Practices for Stray Current Corrosion on DC Electrified Systems, Joint Rail Conference, Colorado Springs, Colorado, USA , 2014.
- [26] Memon, S.A., Fromme, P.: Stray Current Corrosion Mitigation, Testing and Maintenance in dc Transit System, International Journal of Transport Development and Integration, 1 (2017) 3, pp. 511-519-
- [27] Brošura; Secheron: SCMS Stray Current Monitoring System