

DOI: <https://doi.org/10.5592/CO/ZT.2021.06>

LABORATORIJSKA ISPITIVANJA KOLOSIJEČNOGA PRIBORA

LABORATORY TESTING OF THE FASTENING SYSTEM

Mate Ivančev¹, Ivo Haladin¹

(1) Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, R. Hrvatska, mate.ivancev@grad.unizg.hr; ivo.haladin@grad.unizg.hr

Sažetak

Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu surađuje s tvrtkom DIV d.o.o. na istraživačkome projektu *Razvoj DIV sustava elastičnog pričvršćivanja*. Radi razvoja novoga sustava pričvršćivanja ovaj rad predstavlja laboratorijska mjerenja svojstava sustava pričvršćivanja. Bitna procjena sustava pričvršćivanja tračnica zahtijeva razumijevanje njegove geometrije, materijala, mehaničkih svojstava i kompatibilnosti pritiskalice i podtračničke podloške. Ispitivanja na W-14 kolosiječnome priboru provela su se u Laboratoriju za tehničku mehaniku Građevinskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu prema normama iz seta 13481. Ispitne metode za W-14 pričvršni sustav primijenit će se za ispitivanja novoga DIV sustava pričvršćenja. Radi razvijanja novoga DIV sustava pričvršćenja te njegove optimizacije i povećane konkurentnosti na tržištu, kolosiječni pribor potrebno je testirati i na provodljivost električne energije te ispitati prigušivanje udarnoga opterećenja. U ovome radu predstavljene su norme koje definiraju ta ispitivanja kao i razvijanje potrebne mjerne opreme neophodne za proces ispitivanja.

Ključne riječi: željeznički kolosijek, sustav pričvršćenja, laboratorijska ispitivanja sustava pričvršćenja

Abstract

The Faculty of Civil Engineering of the University of Zagreb cooperates with the company DIV d.o.o. on the research project "Development of the DIV elastic fastening system". To develop a new fastening system, this paper presents laboratory measurements of the characteristics of fastening systems. Significant assessment of the rail fastening system requires an understanding of its geometry, material, mechanical properties, and compatibility of the clip and rail pad. Tests on W-14 track accessories were performed in the Laboratory for Technical Mechanics of the Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb, according to the standards from set 13481. Test methods for W-14 fastening system will be applied for testing the new "DIV" fastening system. To develop a new "DIV" fastening system and its optimization and increased market competitiveness, fastening system need to be tested for electrical conductivity and shock load damping. This paper presents the standards that define these tests and the development of the necessary measuring equipment.

Keywords: railway track, fastening system, laboratory tests of fastening system

1. Uvod

Dinamičke sile koje djeluju na kolosijek znatno su se povećale posljednjih desetljeća zbog povećanja brzina željezničkih vozila i razvoja brzih željeznica [1]. Slijeganje pojedinih slojeva i degradacija kolosiječne konstrukcije problemi su koji se javljaju na modernim željezničkim prugama. Kako bi se smanjile dinamičke sile i poboljšala kvaliteta kolosijeka, obično se ugrađuje elastični sustav pričvršćivanja za spajanje tračnica i pragova. Pričvršćenje tračnica podrazumijeva i uključuje sve komponente koje čine strukturnu povezanost između tračnice i praga. Diljem svijeta koristi se velik broj različitih pričvršćenja kojima se redovno dodaju novi tipovi kako bi se pratile potrebe i mišljenja ili zbog dostupnosti novih materijala. Izbor pričvršćenja također uvelike ovisi o vrsti i svojstvima pragova na koje se oni ugrađuju. Sustav pričvršćenja trebao bi biti dimenzioniran i izveden tako da sustav kolosijeka bude funkcionalan uslijed svih nepovoljnih dinamičkih opterećenja i vanjskih uvjeta.

Glavne funkcije sustava za pričvršćivanje su: prijenos sila s tračnica na prag, osiguravanje stalne sile pričvršćenja tijekom vremena, nepromjenjivo elastično ponašanje tijekom vremena te trajnost svih elemenata, niska cijena i jednostavnost ugradnje i održavanja [2]. Štoviše, sustav pričvršćivanja trebao bi osigurati i udobnost putnika, prigušivanje vibracija i udarnih opterećenja uzrokovanih željezničkim prometom, održavanje kolosijeka u određenim tolerancijama, pružanje električne izolacije između tračnica i pragova, torzijski otpor prevrtanju tračnica, ograničenje protiv uzdužnih pomicanja tračnica [3].

Prema [2], [4] sustav pričvršćenja tračnica također trebaju karakterizirati jednostavna montaža, održavanje i demontaža, sprječavanje abrazije među komponentama, odgovarajuća otpornost od korozije, razumna cijena, životni vijek trajanja kompatibilan s pragom te otpornost na vandalske radnje.

Elastične karakteristike pričvršćenja, osim u razdoblju montaže i eksploatacije, moraju biti održane čak i nakon operacija održavanja i demontaže. Provjera pričvršćne sile pribora mora biti uvijek jednostavno izvediva na kolosijeku bez demontaže [4].

Demontaža i zamjena pričvršćenja operacije su koje moraju biti učinjene brzo mehaničkim putem, eventualno automatski, što je posebno važno za oslobađanje naprezanja u kontinuirano zavarenim tračnicama. Brzina je prijeko potrebna jer promet mora biti zaustavljen. Međutim, alat za demontiranje potreban je kako bi se izbjegli eventualna sabotaža i neovlašteno uklanjanje pričvršćenog pribora.

Razvoj projekta „DIV“ elastičnoga sustava za pričvršćivanje sastoji se od dvije faze: industrijski razvoj pritiskalice i eksperimentalni razvoj. Industrijski razvoj podijeljen je na razvoj modela pritiskalice, razvoj alata za proizvodnju elemenata sustava za pričvršćivanje „DIV“, unutarnja ispitivanja eksperimentalnih serija, laboratorijska ispitivanja, razvoj postupaka i strojeva za montažu i demontažu kopče „DIV“, izrada pokusne dionice (glavni projekt duljine ispitne sekcije 200 m – referentna dionica 100 m sa sustavom učvršćenja W-14 i dionica od 100 m sa sustavom za pričvršćivanje „DIV“) i zaštitu intelektualnoga vlasništva. Koraci eksperimentalnoga razvoja su: izgradnja ispitnoga dijela i ugradnja mjerne opreme, ispitivanje elastične pritiskalice „DIV“ na ispitnome dijelu i priprema za komercijalizaciju

Jedan od najvažnijih elemenata razvoja novoga sustava pričvršćenja jest njegovo laboratorijsko ispitivanje prema prihvaćenim normama. Kako bi se mogla provesti ispitivanja na novome sustavu, potrebno je na sustavima koji su već u primjeni razviti metode ispitivanja koje su u skladu s normama.

Tablica 1. Ispitivanja kolosiječnoga pribora prema CEN-u i AREMA-i [5]

<i>Ispitivanje</i>	<i>CEN</i>	<i>AREMA</i>	<i>Ispitivanje</i>	<i>CEN</i>	<i>AREMA</i>	<i>Ispitivanje</i>	<i>CEN</i>	<i>AREMA</i>
<i>Uzdužni otpor tračnice</i>	DA	DA	<i>Mokri i abrazivni okoliš</i>	NE	DA	<i>Lateralni otpor</i>	NE	DA
<i>Torzija</i>	DA	DA	<i>Pričvrсна sila</i>	DA	DA	<i>Odizanje tračnice</i>	NE	DA
<i>Prigušenje udarnoga opterećenja</i>	DA	DA	<i>Izvlačenje podloške</i>	DA	DA	<i>Procjena dimenzija</i>	DA	NE
<i>Električni otpor</i>	DA	DA	<i>Dinamička krutost podtračničke podloške</i>	DA	NE			
<i>Utjecaj nepovoljnog okoliša</i>	DA	NE	<i>Vertikalna krutost</i>	DA	DA			

Prema [5] postoje razlike u ispitivanjima kolosiječnoga pribora u Europi i SAD-u. U Tablici 1 prikazana su potrebna ispitivanja prema europskome setu normi koje su definirali CEN (Europa) i AREMA (Sjedinjene Američke Države).

2. Dosadašnja laboratorijska ispitivanja kolosiječnoga pribora

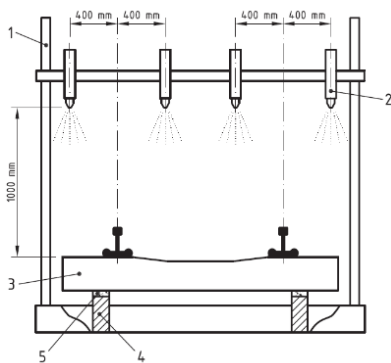
Laboratorij za tehničku mehaniku Građevinskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu do sada je za postojeći W-14 sustav pričvršćenja radio na određivanju pričvršne sile kolosiječnoga pribora, određivanju otpora uzdužnomu pomicanju tračnice, određivanju statičke krutosti, utjecaju ponavljanja opterećenja te određivanju otpora zakretanju tračnica. Također je proveo ispitivanje pod opterećenjem otpora na izvlačenje te se istražio utjecaj nepovoljnih uvjeta okoliša. Ispitivani pričvršni pribor spada u kategoriju C s maksimalnim projektiranim osovinskim opterećenjem od 260 kN i minimalnim radijusom zakrivljenosti kolosijeka od 150 m te je u primjeni na pragovima tipa B70. Ispitivanja na kolosiječnome pričvršnom priboru za jednodijelne prednapete betonske pragove provedena su prema zahtjevima CEN-ovih europskih normi [6] i [7].

3. Buduća ispitivanja kolosiječnoga pribora

U sklopu potvrde laboratorijskih svojstava kolosiječnoga pribora prema [6] i [7] za novi „DIV“ sustav pričvršćenja potrebno je napraviti i ispitivanje električnoga otpora kolosiječnoga pričvršnog pribora te ispitivanje prigušivanja udarnoga opterećenja kolosiječnoga pribora.

3.1. Ispitivanje električnoga otpora

Za ispitivanje električnoga otpora potreban je uređaj prema normi HRN EN 13146-5:2012 koji mjeri električni otpor u pričvršnome priboru prilikom puštanja električne energije kroz tračnicu. U nastavku je prikazan pregled izrađene tehničke specifikacije za izradu i montažu opreme za mjerenje električnoga otpora koja se sastoji od opreme za prskanje, izvora električne energije te instrumenta za mjerenje napona i rezultante izmjenične struje.



Slika 1. Skica opreme za prskanje

Oprema za prskanje

Okrvir koji je napravljen prema Slici 1 potrebno je montirati na „kadu“, to jest spremnik za vodu (kao na Slici 2). Slika 3 drukčija je inačica traženoga okvira (nedostaje spremnik za vodu u koji bi se voda mogla skupljati), ali je dobar primjer kako bi prskalice trebale izgledati. Radi lakšega manevriranja spremnik treba biti na kotačima. Treba uzeti u obzir kako će se u „kadi“, tj. spremniku za vodu, nalaziti betonski prag od otprilike 250 kg zbog čega taj spremnik mora biti odgovarajuće nosivosti.

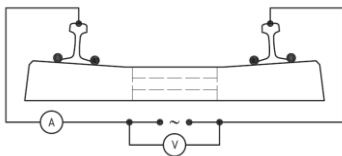
Na okvir je potrebno montirati četiri prskalice. Vrh prskalice treba biti udaljen 100 cm od vrha praga (Slika 1). Prskalice promjera 3,6 mm udaljene su 40 cm na lijevu i desnu stranu od svake osi tračnice. Kut je prskanja $100^{\circ} - 125^{\circ}$, a protok vode kroz svaku prskalicu mora biti 7 ± 1 litara/min. Svaka prskalica treba biti postavljena tako da se može pomicati po nosaču (lijevo/desno, usporedno s betonskim pragom).



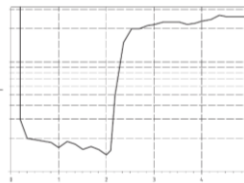
Slika 2. Oprema za prskanje s okvirom, spremnikom i pumpom za vodu



Slika 3. Oprema za prskanje s okvirom i instrumentima za napajanje/mjerenje



Slika 4. Strujni krug



Slika 5. Rezultati mjerenja prikazani kao krivulja otpor – vrijeme

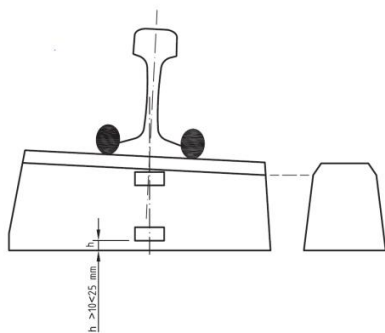
Oprema mora uključivati sredstva za kontrolu i mjerenje protoka vode u svakoj prskalici (pumpa za vodu sa satovima za svaku prskalicu).

Izvor električne energije

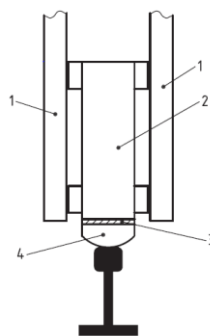
Izvor električne energije (izmjenična struja, AC) mora imati sljedeće karakteristike: napon (30 ± 3) RMS i frekvencije (50 ± 15) Hz. Izmjenična struja kreće se strujnim krugom od izvora električne energije do pričvrsnoga pribora na betonskome pragu (Slika 4). Instrumenti za mjerenje napona i rezultante izmjenične struje moraju imati točnost 1 %, dopuštati izračun otpora u rasponu od 1×10^2 do $1 \times 10^6 \Omega$, oprema mora imati mogućnost ispisa zapisa o izračunatom otporu u vremenu, kalibracija instrumenata mora biti obavljena prema EU standardima (SI jedinice).

3.2. Određivanje prigušivanja udarnoga opterećenja kolosiječnoga pribora

Norma HRN EN 13146-3:2012 definira ispitne metode za određivanje prigušivanja udarnoga opterećenja za kolosiječni pričvrсни pribor. Za takvo ispitivanje potrebno je modelirati uređaj prema parametrima ispitivanja definiranim u normi. Nakon određivanja parametara i samoga procesa modeliranja potrebno je izraditi modificirani uređaj koji će biti prilagođen propisanomu laboratorijskom ispitivanju definiranom normom. U nastavku je dan pregled izrade i montaže takva uređaja. Ispitivanje se provodi na betonskome pragu bez pukotina koji je u nemodificiranome stanju u odnosu na tvorničko stanje. Na dva mjesta širine od 100 mm do 120 mm na betonskome pragu mjerit će se naprezanja tijekom ispitivanja (Slika 6). Pozicije se nalaze paralelno bazi praga. Jedna je pozicija što bliže vrhu praga (na najvišoj točki na kojoj nema zaobljenja), dok se druga mjerna pozicija nalazi na udaljenosti od 10 mm do 25 mm poviše baze praga.



Slika 4. Pozicije na kojima se mjeri naprezanje praga prema HRN EN 13146-3:2012



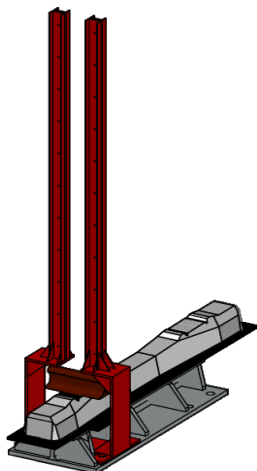
Slika 5. Tipična udarna masa (bat)

- 1 - vodiči
- 2 - bat,
- 3 - gumena podloška,
- 4 - glava bata

Postoje dvije metode mjerenja naprezanja na pragovima radi definiranja prigušenja udarnoga opterećenja kolosiječnoga pribora: referentna metoda i alternativna metoda. Primjena referentne metode zahtijeva zastornu prizmu koja se sastoji od kamena drobljenca granulometrijskoga sastava od 5 mm do 15 mm. Zastor mora biti kontinuiran na cijeloj duljini praga. Podloga mora dopustiti vertikalnu deformaciju praga ($0,1 \leq d \leq 0,5$ mm) kada se poveća statičko opterećenje s 50 kN na 60 kN na ležajnome tračničkom mjestu. Alternativna metoda zahtijeva gumenu podlogu na čvrstoj podlozi. Kada se statičko opterećenje poveća s 50 kN na 60 kN, treba biti dopuštena vertikalna deformacija raspona od 0,1 mm do 0,5 mm. Potrebna duljina tračnice za ispitivanje udarnoga prigušenja jest od 0,3 m do 1,0 m. Udarna masa (bat) mora biti takva da kombinacijom mase i visine ispuštanja na svakoj mjernoj poziciji naprezanja praga budu manja od 80 % izračunate točke pucanja betonskoga praga. Vremenski interval inicijalnoga impulsa treba biti od 1 ms do 5 ms. Za ispitivanje je potreban set opruga s ukupnom totalnom krutošću manjom od 2 MN/m i s mogućnošću primjene vertikalnoga predopterećenja na tračnicu od 50 kN (Slika 7).

Procedura ispitivanja prigušivanja udarnoga opterećenja

Ispitivanje se provodi na sobnoj temperaturi, 23 ± 5 °C. Sve korištene komponente drže se na toj temperaturi barem četiri sata prije ispitivanja. Pričvrсни sustav i tračnica povezani su referentnim podtračničkim podloškom debljine 5 mm, izrađenim od HDPE ili EVA materijala.



Slika 6. Model uređaja za ispitivanje udarnoga prigušenja kolosiječnoga pribora

Statička krutost referentne podloške prema normi HRN EN 13146-9:2020 ne smije biti manja od 500 MN/m. Udarno opterećenje nanosi se na tračnicu slobodnim padom bata te se mjeri naprezanje u razdoblju ne manjemu od 3 ms prije udara kontinuirano do barem 5 ms poslije udara. Za utvrđenu ispitnu opremu veličina i vremenski interval prvoga maksimuma naprezanja moraju biti u usporedbi s prosjekom od 10 prethodnih utjecaja. Kada pet uzastopnih mjerenja imaju vršnu veličinu i vremenske intervale u odnosu na prvo naprezanje unutar $\pm 10\%$ njihove srednje vrijednosti, priprema je završena. S postavljenim testnim podloškom izvodi se pet udaraca. Zatim se snima naprezanje za tri sljedeća udarca. Procedura ispitivanja za alternativnu metodu razlikuje se jer je za podlogu postavljena gumena podloška. Prigušivanje udara sustava pričvršćivanja procjenjuje se usporedbom naprezanja koja nastaju mjerenjem s referentnom podtračničkom podloškom i mjerenjem s testnom podtračničkom podloškom.

Model uređaja na kojem će se raditi ispitivanje prikazan je na Slici 8.

4. Daljnja rasprava

Buka i vibracije nastale prometovanjem željezničkih vozila prepoznate su kao problem u naseljenim područjima. Sustavno rješavanje toga problema započinje detekcijom izvora, određivanjem intenziteta i mehanizama širenja buke i vibracija. Uloga kolosijeka u emisiji buke i vibracija predmet je mnogih istraživanja, kao što je i utjecaj elastičnoga pričvršćenja na vibroakustička svojstva željezničkoga sustava.

Stoga je, osim potrebnih mehaničkih karakteristika koje novi „DIV“ sustav pričvršćenja treba imati, potrebno optimizirati njegova vibroakustička svojstva. Vibroakustički parametri definirat će se laboratorijskim i terenskim ispitivanjima prema standardima u svezi s ispitivanjem vibroakustičkih svojstava kolosiječnoga pribora.

Literatura

- [1] Lakušić, S., Bartoš, D., Bajić, G.: „Analiza elastičnih pritiskalica za pričvršćenje tračnica,“ // ŽELJEZNICE 21 7 (2008.), 3;7-12
- [2] Esveld, C.: Modern Railway Track, 2nd ed. Zaltbommel: MRT Productions, 2001.
- [3] Kraskiewicz, C., Oleksiewicz, W., Pładowska-Zagrajek, M., Lipko, C.: „Overview of vibroacoustic isolators used in railway tracks,“ MATEC Web Conf., vol. 219, no. October, 2018
- [4] V. A. Profillidis, Railway Management and Engineering, 3. Taylor & Francis Group, 2017.
- [5] Rhodes, D.,; Coats, B.: Laboratory test standards for assessment of rail fastening system performance
- [6] „Oprema za željeznice – Željeznički gornji ustroj – Ispitne metode za kolosiječni pričvrtni pribor - Dijelovi 1 - 9: (HRN EN 13146-1:2019; HRN EN 13146-2:2012; HRN EN 13146-3:2012; HRN EN 13146-4:2020; HRN EN 13146-5:2012/Ispr.1:2017; HRN EN 13146-6:2012; HRN EN 13146-7:2019; HRN EN 13146-8:2012; HRN EN 13146-9:2020)“
- [7] „Oprema za željeznice – Željeznički gornji ustroj – Zahtjevi za izradbu kolosiječnog pričvrstnog pribora - Dijelovi 1 - 7: (HRN EN 13481-1:2012; HRN EN 13481-2:2017; HRN EN 13481-3:2012; HRN EN 13481-4:2012; HRN EN 13481-5:2017; HRN EN 13481-7:2012)“