

# Trajnost armiranobetonskih željezničkih pragova

---

**Zovkić, Ivan; Lakušić, Stjepan**

*Source / Izvornik:* **5. simpozij doktorskog studija građevinarstva, 2019, 151 - 162**

**Conference paper / Rad u zborniku**

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

<https://doi.org/10.5592/CO/PhDSym.2019>

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:805582>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-28**

*Repository / Repozitorij:*

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



## Trajnost armiranobetonskih željezničkih pragova

Ivan Zovkić<sup>1</sup>, prof. dr. sc. Stjepan Lakušić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>HŽ Infrastruktura d.o.o., Antuna Mihanovića 12, Zagreb, ivanzovkic@gmail.com

<sup>2</sup>Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, laki@grad.hr

### Sažetak

Prilikom redovitih pregleda kolosijeka u Republici Hrvatskoj na pojedinim pružnim dionicama uočene su pukotine na prednapetim armiranobetonskim kolosiječnim pragovima. Pragovi na kojima su uočena oštećenja ugrađeni su u periodu od 1990. do 2003. na različitim područjima, na različitoj podlozi te na prugama različitoga intenziteta i vrste prometa. Kako bi se odredio uzrok oštećenja i procijenio preostali vijek trajanja ugrađenih pragova, potrebno je provesti ispitivanja i analize oštećenih i neoštećenih betonskih pragova te rezultate usporediti s iskustvima drugih željezničkih uprava koje imaju sličan problem. Na temelju dobivenih rezultata mogao bi se odrediti vijek trajanja betonskih pragova u ovisnosti o uvjetima u kojima se nalaze prilikom eksploatacije te to koliko još dugo oštećeni pragovi mogu ostati ugrađeni u kolosijek.

*Ključne riječi: kolosijek, betonski pragovi, oštećenja betonskih pragova, uzdužne pukotine*

## Durability of reinforced-concrete track sleepers

### Abstract

During the regular track inspection of railway sections in different parts of the Republic of Croatia cracks have been spotted on prestressed reinforced-concrete track sleepers. These track sleepers were built-in between 1990 and 2003 in different parts of Croatia, on different surfaces, on railways of different intensity and used for various types of transport. In order to determine the cause of damage and to estimate the remaining service life of the built-in track sleepers, the concrete track sleepers, both damaged and intact, have to be inspected and analysed. The results have to be compared with the experience of different railway administrations which have similar problems. Based on the results obtained, the service life of concrete track sleepers can be estimated, depending on the conditions during the exploitation. It is also possible to estimated how long the damaged sleepers can function as a part of the railway.

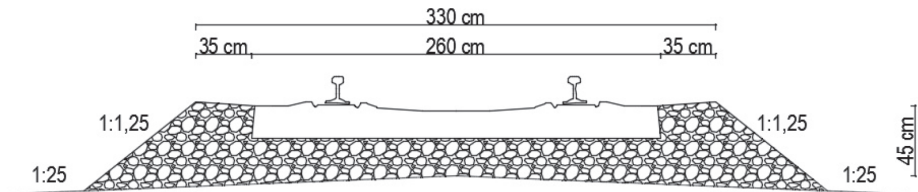
*Key words: railway track, concrete sleepers, damaged concrete sleepers, longitudinal crack*

## 1 Uvod

Prilikom održavanja pruga velika se pozornost posvećuje održavanju željezničkog kolosijeka koji se definira kao konstrukcija sastavljena od elemenata željezničkoga gornjeg ustroja [1]. U pruge kojima upravlja HŽ *Infrastruktura* dopuštena je ugradnja drvenih pragova (bukva, hrast), armiranobetonskih pragova te u iznimnim slučajevima čeličnih pragova [2]. Glavna zadaća kolosiječnih pragova jest:

- ravnomjerno prenošenje opterećenja koje nastaje sa željezničkih vozila preko tračnica na podlogu
- osiguravanje potpore i stabilnosti nožici željezničke tračnice i kolosiječnome priboru
- zadržavanje propisane širine kolosijeka i nagiba tračnice
- prigušenje vibracija tračnica i smanjenje razine buke koja nastaje prilikom kontakta kotača željezničkih vozila i tračnice [1].

Na slici 1. prikazan je propisani poprečni presjek zastorne prizme kolosijeka na betonskim pragovima [2].



Slika 1. Poprečni presjek zastorne prizme kolosijeka na betonskim pragovima [2]

Betonski pragovi ugrađeni su na oko 18 % kolosijeka na prugama u Republici Hrvatskoj. Najčešće ugrađeni tip jednodijelnoga prednapetog betonskog praga jest B70 s elastičnim kolosiječnim priborom. Armiranobetonski pragovi se ne smiju ugrađivati na nestabilnome donjem ustroju, na sastavima tračnica, 30 m ispred i iza mostova s otvorenom konstrukcijom, na skretnicama i križištima te na mostovima bez zastora. Zabranjeno je mješovito ugrađivanje drvenih i betonskih pragova [2]. Prednosti i nedostaci armiranobetonskih pragova prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Prednosti i nedostaci armiranobetonskih pragova [1]

<p><b>Prednosti betonskih pragova:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– velika masa</li> <li>– tipska i brza proizvodnja</li> <li>– velika čvrstoća</li> <li>– dug vijek trajanja</li> <li>– otpornost na atmosferilije</li> <li>– ekološki prihvatljivi</li> </ul>	<p><b>Nedostaci betonskih pragova:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– manja elastičnost u odnosu na drvene pragove</li> <li>– osjetljivost na mehanička oštećenja prilikom iskliznuća željezničkih vozila</li> <li>– veliko dinamičko opterećenje na tucanički zastor</li> <li>– zahtjevnije održavanje za koje je potrebna pružna mehanizacija</li> </ul>
---	--

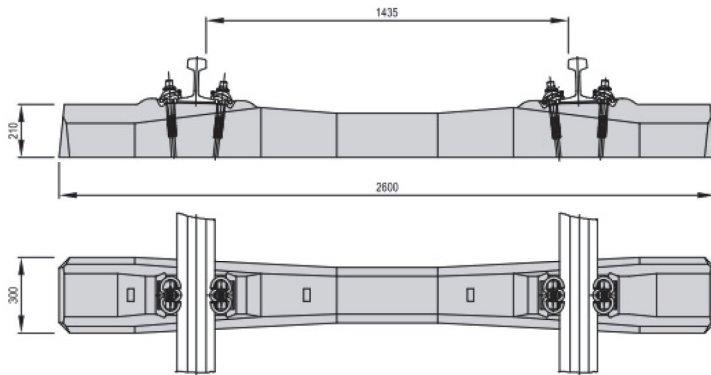
Prilikom stalnoga nadzora koji provode radnici *HŽ Infrastrukture* uočeno je to da su se na pojedinim dionicama željezničkih pruga u eksploataciji pojavile uzdužne pukotine na betonskim pragovima. Važno je otkriti uzroke nastanka pukotina te otkriti koliko još dugo ti pragovi mogu izdržati u kolosijeku s obzirom na okoliš i s obzirom na vrstu i opseg željezničkoga prometa, a da pritom nije ugrožena sigurnost prometovanja. Nakon što je problem sagledan, običen je teren te su prikupljeni osnovni podaci o ugrađenim pragovima i pružnim dionicama na kojima su se pojavile pukotine. Prilikom odabira dionica za promatranje vodilo se računa o tome da se nalaze na terenu različite konfiguracije, da su izložene različitim klimatskim uvjetima i da njima teku različite vrste željezničkoga prometa različitog opsega. U tablici 2. navedene su promatrane željezničke pruge s dionicama na kojima su uočene uzdužne pukotine na pragovima.

**Tablica 2. Promatrane pruge i pružne dionice**

Naziv pruge:	Promatrana pružna dionica
M104 Novska – Tovarnik – DG	Strizivojna – Vrpolje – Vinkovci
M304 DG – Metković – Ploče	Metković – Ploče
M604 Oštarije – Knin – Split	Oštarije (Krpelj) – Ličke Jasenice
	Rudopolje – Vrhovine
	Ličko Lešće – Perušić
	Gračac – Malovan

## 2 Tehničke karakteristike jednodijelnoga betonskog praga

Armiranobetonski pragovi ugrađuju se u željezničke pruge od sredine 20. stoljeća. Trenutačno se na području EU-a proizvode tri vrste armiranobetonskih pragova: jednodijelni (HRN EN 13230-2), dvodijelni (HRN EN 13230-3) i pragovi za skretnice i križišta (HRN EN 13230-4). Ako se promatra njihova primjena u svijetu, posebno u Japanu, važno je istaknuti i primjenu okvirnih armiranobetonskih pragova. Proces proizvodnje betonskoga praga obuhvaća više koraka i vrlo je važno da se prilikom proizvodnje vodi stroga kontrola tvorničke proizvodnje. Riječ je o sljedećim koracima: priprema kalupa, postavljanje armature, prednapinjanje, ugradnja betona, vađenje pragova iz kalupa, montaža elastičnoga pribora i skladištenje. Zahtjevi za prednapeti betonski jednodijelni prag tipa B70 ovise o tipu tračnice za koji se proizvodi. Za tračnicu tipa 60E1 i 49E1, zahtjevi za prednapeti betonski jednodijelni prag tipa B70 jesu: širina kolosijeka 1435 mm, najveća dopuštena masa željezničkih vozila 250 kN/osovini, najveća dopuštena brzina 160 km/h, duljina 260 cm, širina najviše 30 cm, širina ležišta za tračnicu najmanje 16 cm, površina donje plohe 6804 cm<sup>2</sup>, masa praga približno 300 kg, nagib u području nalijeganja tračnica 1:40 i elastični kolosiječni pričvrtni pribor s izvedbom na zavrtnje.



Slika 2. Jednodijelni betonski prag tipa B70 [3]

Komplet elastičnoga kolosiječnog pričvrsnog pribora za jedan prednapeti armirano-betonski prag čine vijci za betonski prag (tirfoni) s prstenastim podloškom (4 kom.), elastične pritiskalice (4 kom.), sintetičke kutne pločice (4 kom.), sintetički podtračni podlošci (2 kom.) i plastična vijčana tipla (2 kom.).



Slika 3. Komplet elastičnoga kolosiječnog pričvrsnog pribora (Vossloh) za jedno ležajno mjesto [4]

### 3 Analiza vrsta pukotina

Uzdužne pukotine na betonskim pragovima sve su češća pojava kako na prugama HŽ Infrastrukture tako i na prugama mnogih željezničkih uprava Europe i svijeta. Pukotine se protežu paralelno s uzdužnom osi praga između dvaju pričvrsnih mjesta. Nastaju na poziciji plastične tiplje. Pragove na kojima su se u RH pojavile pukotine proizveo je isti proizvođač u periodu od 1990. do 2003. te se, prema dostupnim informacijama, tehnologija u to vrijeme nije mijenjala. Prilikom obilaska pružnih

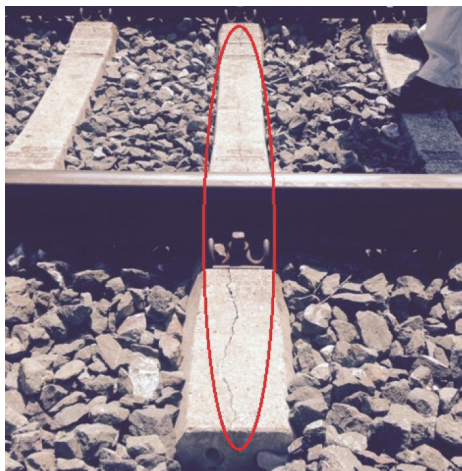
dionica na mreži HŽ Infrastrukture na kojima su se pojavile pukotine utvrđena su dva tipa pukotina:

- tip 1: uzdužne pukotine uz tiple (spoj tračnice i praga), maksimalne. dužine 30 cm sa svake strane tračnice, širine  $\leq 0,5$  mm, neravnomjerne i nepravocrtne
- tip 2: uzdužne pukotine po cijeloj duljini praga, širine pukotine  $\geq 1$  mm, neravnomjerne i nepravocrtne.

Pukotine tipa 1 (slika 4.) primijećene su na pruzi M304 DG – Metković – Ploče, dok su pukotine tipa 2 (slika 5.) primijećene na prugama M104 Novska – Tovarnik – DG i M604 Oštarije – Knin – Split.



Slika 4. Pukotina TIP 1



Slika 5. Pukotina TIP 2

### 3.1 Pruga M104 Novska – Tovarnik – DG (dionica: Strizivojna – Vrpolje – Vinkovci)

Dvokolosiječna pruga M104 Novska – Tovarnik – DG po cijeloj duljini ima uzdužni nagib do 6 ‰ i vodoravnu geometriju koja omogućuje brzine do 160 km/h. Iznimka su pojedinačni lukovi, uglavnom na ulazu u kolodvoru i na izlazu iz njega, na kojima je brzina ograničena na od 80 km/h do 140 km/h. Prugom teče mješoviti prijevoz. Na promatranoj dionici 1990. ugrađene su nove tračnice tipa 60E1 i novi kolosiječni pragovi s pripadajućim elastičnim priborom na zastor od tucanika debljine 45 cm i tamponski sloj debljine 40 cm. Kolosijek na promatranoj dionici Strizivojna – Vrpolje – Vinkovci dug je 63,9 km. Na promatranoj dionici uočena su 2803 puknuta praga, što iznosi 2,6 % ukupnog broja ugrađenih pragova. U tablici 3. prikazan je opseg prometa na promatranoj pružnoj dionici.

**Tablica 3. Godišnji opseg željezničkog prometa na pruzi M104, Novska – Tovarnik – DG, dionica: Strizivojna – Vrpolje – Vinkovci**

Naziv kolodvora	Elektrifikacija DA/NE	Vlak kilometri PUTNIČKI TERETNI	Brutotonski kilometri PUTNIČKI TERETNI	Broj vlakova PUTNIČKI TERETNI	Bruto tone [brtkm/km] PUTNIČKI TERETNI
STRIZIVOJNA – VRPOLJE	DA	391.622	81.353.643	16.692	2.547.316
VINKOVCI		174.376	147.984.090	7186	4.633.625

### 3.2 Pruga M304 DG – Metković – Ploče (dionica: Metković – Ploče)

Jednokolosiječna pruga M304 DG – Metković – Ploče po cijeloj duljini ima uzdužni nagib do 3 ‰ i vodoravnu geometriju koja omogućuje brzine od 80 km/h do 110 km/h. Prugom teče teretni prijevoz. Godine 2003. na promatranoj su dionici ugrađene nove tračnice tipa 60E1 i novi kolosiječni pragovi s pripadajućim elastičnim priborom na zastor od tucanika debljine 45 cm i bez tamponskoga sloja. Dužina kolosijeka na promatranoj dionici Metković – Ploče iznosi 21,85 km. Na promatranoj dionici uočena su 344 puknuta praga, što iznosi 0,9 ‰ ukupnog broja ugrađenih praga. U tablici 4. prikazan je opseg prometa na promatranoj pruzi dionici.

**Tablica 4. Godišnji opseg željezničkoga prometa na pruzi M304, DG – Metković – Ploče, dionica: Metković – Ploče**

Naziv kolodvora	Elektrifikacija DA/NE	Vlak kilometri PUTNIČKI TERETNI	Brutotonski kilometri PUTNIČKI TERETNI	Broj vlakova PUTNIČKI TERETNI	Bruto tone [brtkm/km] PUTNIČKI TERETNI
METKOVIĆ	DA	0	0	0	0
PLOČE		69 090	74 243 223	4 451	3 397 239

### 3.3 Pruga M604 Oštarije – Knin – Split (dionice: Oštarije/Krpej – Lička Jasenica, Rudopolje – Vrhovine, Ličko Lešće – Perušić, Gračac – Malovan)

Jednokolosiječna pruga M604 Oštarije – Knin – Split na dionici Oštarije – Plaški ima uzdužni nagib do 10 ‰, na dionici Plaški – Vrhovine do 23 ‰, na dionici Vrhovine – Perušić do 13 ‰, na dionici Perušić – Gračac do 7 ‰, a na dionici Gračac – Knin do 24 ‰ te vodoravnu geometriju koja omogućuje sljedeće brzine: na dionici Oštarije – Studenci od 70 km/h do 80 km/h, na dionici Studenci – Perušić od 100 km/h do 160 km/h, na dionici Perušić – Gračac 160 km/h te na dionici Gračac – Žitnić od 70

km/h do 80 km/h. Pruga je osposobljena za promet vlakova s nagibnom tehnikom koji u lukovima mogu postizati brzine veće od onih navedenih za konvencionalne vlakove. Prugom teče mješoviti prijevoz. Od 1999. do 2001. na promatranim dionicama ugrađene su nove tračnice tipa 49E1 i novi kolosiječni pragovi s pripadajućim elastičnim priborom na zastor od tucanika debljine 45 cm i bez tamponskoga sloja. Ukupna dužina kolosijeka na dionicama Oštarije/Krpelj – Lička Jasenica, Rudopolje – Vrhovine, Ličko Lešće – Perušić i Gračac – Malovan je 81,89 km. Na promatranim dionicama uočena su 17.803 puknuta praga, što iznosi 13 % ukupnog broja ugrađenih pragova. U tablici 5. prikazan je opseg prometa na promatranjoj pružnoj dionici.

**Tablica 5. Godišnji opseg željezničkog prometa na pruzi M604 Oštarije – Knin – Split, dionice: Oštarije/Krpelj – Lička Jasenica, Rudopolje – Vrhovine, Ličko Lešće – Perušić i Gračac – Malovan**

Naziv kolodvora	Elektrifikacija DA/NE	Vlak kilometri PUTNIČKI TERETNI	Brutotonski kilometri PUTNIČKI TERETNI	Broj vlakova PUTNIČKI TERETNI	Bruto tone [brtkm/km] PUTNIČKI TERETNI
OŠTARIJE (Krpelj)	NE	172 843	23 649 059	5 942	378 736
VRHOVINE		152 525	120 537 845	4 131	1 930 397
VRHOVINE	NE	199 501	32 223 869	3 690	354 108
GRACAC		179 953	152 990 156	3 634	1 681 211
GRACAC	NE	140 424	21 574 571	3 072	336 787
MALOVAN		101 469	91 103 984	2 169	1 422 166

### 3.4 Iskustva Grčkih željeznica

Tijekom izvođenja radova na rekonstrukciji dionice Korint – Tripolis – Klamata 2007. na betonskim pragovima uočene su uzdužne pukotine te se pristupilo analizi navedene pojave i provedena su ispitivanja oštećenih pragova. Pukotine su uočene tijekom radova na osposobljavanju kolosijeka za privremeni promet. Većina je pukotina uznapredovala cijelom visinom praga, nastala je na mjestu pričvršćenja te se širila prema krajevima praga [5]. Na slici 6. prikazan je primjer uzdužne pukotine na betonskome pragu, po cijeloj visini presjeka.

Nakon što je problem pojave uzdužnih pukotina tijekom izvođenja radova na Grčkim željeznicama razmotren, pristupilo se analizi koja se sastojala od tri faze. Prva je faza obuhvatila prikupljanje podataka s terena, gdje je nadzor nad izvođenjem radova prikupljao podatke o vremenu proizvodnje te o momentima pritezanja vijaka na pragovima. Druga je faza obuhvatila prikupljanje podataka iz tvorničke proizvodnje



te rezultate tvorničkih ispitivanja. Treća je faza obuhvatila analizu svih dostupnih podataka. Nakon analize zaključeno je to da je razlog pojave pukotina visoka vrijednost momenta pritezanja vijaka (tirfona). Dokazano je to da momenti pritezanja veći od 450 Nm u kombinaciji s postojećim naprezanjima od prednapinjanja mogu uzrokovati pucanje betonskih pragova i pojavu uzdužnih pukotina [5]. Iako autori ne navode razloge pritezanja tirfona momentom dvostruko većim od potrebnog, pretpostavlja se da je do toga došlo zbog kvara uređaja za mjerenje momenta pritezanja.



Slika 6. Uzdužna pukotina na betonskome pragu [5]

### 3.5 Iskustva Iranskih željeznica

Nakon zamjene veće količine prednapetih betonskih pragova 2011., na njima su uočene uzdužne pukotine. Pukotine su se pojavile u području vijka i širile su se prema sredini i krajevima praga, a pojedine su pukotine uočene i prije puštanja pruge u promet [6]. Na slici 7. prikazana je pukotina koja se pojavila na mjestu ležišta tračnice, odnosno koja je krenula iz tiple ugrađene u prag.

Nakon što je navedena pojava primijećena, provedeno je ispitivanje na prakovima, a paralelno s tim rađene su i numeričke simulacije. Cilj je istraživanja bio utvrditi učinak nepravilnoga i prekomjernoga tlaka unutar rupa za tiple na okolni beton (od prekomjernoga pritezanja) i njegovu ulogu u pojavi uzdužnih pukotina. Prilikom istraživanja koristili su se pragovi koji su se ugrađivali na Iranskim želje-

znicama i pragovi koji su ojačani sa šest poprečnih armaturnih šipki. Numeričkim i eksperimentalnim istraživanjima na neojačanim i ojačanim pragovima utvrđeno je to da sile prednapinjanja u betonskim pragovima izazivaju znatna naprezanja oko rupe za tiple u poprečnome smjeru. Dokazano je da smrzavanje vode unutar tiple, prisutnost čestica agregata tijekom pritezanja vijaka te naginjanje i uvijanje vijaka ili tipli dovode do povećanja poprečnoga vlačnog naprezanja i pojave uzdužnih pukotina u prednapetim betonskim pragovima. Utvrđeno je da ojačani pragovi pokazuju veći otpor na pojavu uzdužnih pukotina jer su pri injektiranju veće količine kemijskoga sredstva pokazale bolja svojstva od neojačanih. Također je utvrđeno da korištenje poprečnih armaturnih šipki uzrokuje odgovarajuću vlačnu čvrstoću pragova i time je postignuto to da su uzdužne pukotine pod kontrolom [6].



Slika 7. Uzdužna pukotina na betonskome pragu

#### 4 Razlozi degradacije betonskih pragova

Zbog degradacije pragova na pojedinim pružnim dionicama u Republici Hrvatskoj prije kraja njihova projektiranoga životnog vijeka, uskoro će trebati zamijeniti veću količinu betonskih pragova, a što je vrlo dug i skup proces [7]. U skladu s time potrebno je znati stupanj oštećenja pojedinih pragova i potencijalnu mogućnost njihove daljnje upotrebe. Postoje mnogi razlozi koji utječu na trajnost betonskih pragova, a najčešći su pogreške i dotrajalost pričvrsnoga pribora, loše stanje zastora i pojava pukotine zbog utjecaja dinamičkih opterećenja [8]. Uzdužne pukotine mogu uzrokovati i početno nepravilno otpuštanje zatega nakon unosa sile prednapinjanja koje izaziva određena početna naprezanja u betonu. U cilju minimiziranja velikih vlačnih naprezanja u betonu, izvana se u beton uz pomoć prednapetog čelika unosi tlačno naprezanje te je zbog toga vrijednost sile prednapinjanja jedan od najvažnijih pa-

rametara prilikom projektiranja pragova. U procesu proizvodnje prednapinjanje se obavlja prije stvrdnjavanja betona [9]. Zbog prednapinjanja je vrlo važno to da se za pragove koriste betoni visoke čvrstoće (min. 50 N/mm<sup>2</sup>) [10]. Dinamička opterećenja kojima su izloženi betonski pragovi rezultat su međudjelovanja kotača vozila i tračnica. U praksi ta opterećenja dostižu velike iznose u slučaju nepravilnosti kotača, tračnica, pričvršćenja i brzine vozila. Takvo se opterećenje prikazuje kao periodičko udarno opterećenje koje varira u vremenu [10]. S obzirom na to da je prag u kolosijeku u interakciji s ostalim elementima gornjega i donjega ustroja, znatan utjecaj na prag ima kolosiječni zastor koji ima svoje propisane dimenzije, a česta je pojava da je zastor onečišćen, da nema zadovoljavajuću granulometriju, da je nepropisno zbijen i da takav nepovoljno utječe na pojavu vibracija u pragu [11]. Velik utjecaj na oštećenja i skraćeni vijek trajanja betonskoga praga u eksploataciji ima i okoliš u kojemu se prag nalazi. Pritom se misli na utjecaje kao što su kiša, sunce, smrzavanje i odmrzavanje, promjena temperature te razni kemijski spojevi u tlu i zraku koji mogu oštetiti strukturu i armaturu betona, ali i ubrzati degradaciju pragova. Navedeni vanjski utjecaji imaju nepovoljan utjecaj i na ostale dijelove kolosijeka koji utječu na trajnost pragova [8].

## 5 Ispitivanje betonskih pragova

Kako bi se došlo do pravoga uzroka nastajanja uzdužnih pukotina na betonskim pragovima, potrebno je provesti određena ispitivanja materijala od kojeg je izrađen prag te ispitati cijeli betonski prag kao sklop s kompletom pričvrsnoga pribora u skladu s normom HRN EN 13481-2 (Oprema za željeznice – Željeznički gornji ustroj – Zahtjevi za izvedbu kolosiječnog pričvrsnog pribora – 2. dio: Kolosiječni pričvrсни pribor za betonske pragove) i serijom normi HRN EN 13146 (Oprema za željeznice – Željeznički gornji ustroj – Ispitne metode za kolosiječni pričvrсни pribor). Također je potrebno provesti ispitivanje na pragovima koji su bili u eksploataciji, ali i na novim pragovima. U skladu s normom HRN EN 13230-2 (Oprema za željeznice – Željeznički gornji ustroj – Betonski pragovi i nosači – 2. dio: Prednapeti jednodijelni pragovi) pragovi se ispituju statički i dinamički na pozitivni moment savijanja na mjestu ležišta tračnice i na negativni moment savijanja u sredini praga. Navedena norma propisuje ispitivanje središnjega presjeka na pozitivni moment savijanja i ispitivanje na zamor na mjestu ležišta tračnice koje se sastoji od dva milijuna ciklusa opterećenja [11]. Ispitivanja novih armiranobetonskih pragova proteklih su se godina provodila u akreditiranome laboratoriju na Građevinskom fakultetu u Zagrebu. Opisani problem uzdužnih pukotina na armiranobetonskim pragovima u protekle su dvije godine razmatrali i predstavnici Građevinskog fakulteta u Zagrebu (Katedra za željeznice i Laboratorij za ispitivanje konstrukcija).

Kako bi se dobio cjelovit odgovor vezan uz uzroke oštećenja te kako bi se odredila preostala nosivost pragova, potrebno je provesti sljedeća ispitivanja:

- uzorkovanje bušenjem uzoraka iz elemenata prema HRN 12504-1 te ispitivanje tlačne čvrstoće prema HRN EN 12390-3
- uzorkovanje bušenjem uzoraka iz elemenata te ispitivanje na smrzavanje prema HRN CEN/TS 15199 u trajanju od 56 ciklusa
- bušenje uzoraka betonskoga praha i laboratorijsko ispitivanje pH vrijednosti betona po dubini
- bušenje uzoraka betonskoga praha i laboratorijsko ispitivanje sadržaja sumpora po dubini
- bušenje uzoraka iz elemenata te određivanje upijanja vode prema HRN EN 13230-1, prilog C
- uzorkovanje betona iz elemenata i ispitivanje ekspanzije betona prema Dugganu
- uzorkovanje betona, mikroskopska analiza skenirajućim elektronskim mikroskopom (SEM)
- statičko ispitivanje presjeka na mjestu ležišta tračnice prema HRN EN 13230-2
- statičko ispitivanje središnjega presjeka na negativni moment savijanja prema HRN EN 13230-2
- određivanje otpora na čupanje tirtfona prema HRN EN 13481-2 i HRN EN 13146-10
- dinamičko ispitivanje pričvrsnoga pribora prema HRN EN 13146-4
- vađenje valjaka u svrhu određivanja dubine prodiranja pukotina
- kemijska analiza betona.

Ispitivanjima bi bili obuhvaćeni oštećeni pragovi sa svih promatranih dionica na prugama kojima upravlja HŽ *Infrastruktura* kao i pragovi iz istoga proizvodnog pogona proizvedeni u promatranome periodu, a koji nisu ugrađeni u kolosijek. Također je predloženo ispitivanje pragova iz kolosijeka ugrađenih u posljednjih pet godina te ispitivanje novih betonskih pragova. Na taj bi se način dobio relevantan uzorak te bi se dobiveni rezultati mogli usporediti i kvalitetnije analizirati, jer se radi o usporedbi pragova koji su dio svojega životnog vijeka bili u kolosijeku i pragova koji nisu bili ugrađeni u kolosijek, a proizvedeni su u razmaku od najmanje 20 godina.

## 6 Zaključak

Pojava uzdužnih pukotina jest oblik degradacije pragova koji se pojavljuje na velikom broju pruga pod upravljanjem brojnih željezničkih uprava diljem svijeta. Prilikom istraživanja toga problema u svijetu otkriveni su različiti mogući uzroci pojave uzdužnih pukotina. Utvrđeno je to da razlozi puknuća mogu biti razni: pogreške nastale prilikom proizvodnje i prijevoza, nepravilna ugradnja ili ugradnja na podlogu koja nije propisno pripremljena te neodgovarajuće održavanje kolosijeka ili ošteće-

nja koja nastaju od neispravnih željezničkih vozila. U ovome slučaju cilj je doći do saznanja o razlozima pojave pukotina, o tome kolika je preostala nosivost oštećenih pragova te o mogućnostima njihove sanacije jer zamjena nije uvijek najbolje rješenje. Do navedenoga cilja planira se doći tako da se provede statičko i dinamičko ispitivanje oštećenih i neoštećenih pragova te ispitivanje materijala od kojih su izrađeni pragovi. Svakako je važno izraditi numerički model koji bi služio za predviđanje pojave pukotina na betonskim pragovima u ovisnosti o djelovanjima različitih vanjskih utjecaja.

## Literatura

- [1] Stipetić, A.: Gornji ustroj željezničkog kolosijeka, Sveučilište u Zagrebu Fakultet prometnih znanosti, 2008.
- [2] Pravilnik o održavanju gornjeg ustroja pruga – HŽI 314, HŽ Infrastruktura d.o.o., Sl. glasnik ZJŽ br. 3/71, 5/71, 2/75, 5/76, 8/89 2/90 i 8-9/91; Sl. vjesnik br. 20/91, 5/04 i 8/04
- [3] Leonhard moll, <http://moll-betonwerke.de/en/>, pristupljeno 21.07.2019.
- [4] Agico Group, <http://www.rail-fastener.com/>, pristupljeno 21.07.2019.
- [5] Tsoukantas, S., Tzanakakis, K., Spyropoulou, D., Panopoulos, P., Mintzia, M.: Investigation on the Causes of Longitudinal Cracks on Prestressed Monoblock Railway Sleepers of Metric Gauge of the Greek Railway Network, International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Missouri, 2008.
- [6] Rezaie, F., Shiri, M., Farnam, S.: Experimental and numerical studies of longitudinal crack control for pre-stressed concrete sleepers, Engineering Failure Analysis, pp. 21-30, 2012.
- [7] Mikulić, I.: Analiza uzdužnih pukotina na armiranobetonskim željezničkim pragovima, Diplomski rad, mentor: Lakušić, S., Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2018.
- [8] Jokubaitis, A., Valivonis, J., Marciukaitis, G.: Analysis of strain state and cracking of concrete sleepers, Journal of Civil Engineering and Management, pp. 564-572, 2016.
- [9] Rezaie, F., Bayat, M., Farnam, S.: Sensitivity analysis of pre-stressed concrete sleepers for longitudinal crack prorogation effective factors, Engineering Failure Analysis, pp. 385-397, 2016.
- [10] Taherinezhad, J., Sofi, M., Mendisand, P.A., Ngo, T.: A review of Behaviour of Prestressed Concrete Sleepers, Special Issue: Electronic Journal of Structural Engineering, 2013.
- [11] Damjanović, D., Duvnjak, I., Bartolac, M., Frančić, M.: Statičko i dinamičko ispitivanje armiranobetonskih pragova, Dani prometnica 2013. – Mjerenja, ispitivanja i monitoring na prometnicama (ur. Lakušić, S.), Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, pp. 131-158.