

Primljen / Received: 18.12.2012.

Ispravljen / Corrected: 13.3.2013.

Prihvaćen / Accepted: 21.3.2013.

Dostupno online / Available online: 10.4.2013.

# Analiza napuknuća na voznoj površini tračnica

## Autori:



Prof.dr.sc. **Zdenka Popović**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište u Beogradu  
Građevinski fakultet  
[zdenka@grf.bg.ac.rs](mailto:zdenka@grf.bg.ac.rs)



Mr.sc. **Vlatko Radović**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište Crne Gore  
Građevinski fakultet  
[vlanko.r@ac.me](mailto:vlanko.r@ac.me)

Stručni rad

**Zdenka Popović, Vlatko Radović**

## Analiza napuknuća na voznoj površini tračnica

U radu se obrađuje problematika pojave napuknuća na voznoj površini tračnice. Ovakva oštećenja vozne površine tračnica, poznata pod nazivom squat, mogu dovesti do raspadanja glave tračnice na duljini 1 m i više. U okviru istraživanja provedena je detaljna vizualna kontrola napuknuća tračnica na mreži crnogorskih željeznica, dionica Vrbnica – Bar, s ciljem smanjenja opasnosti od pojave napuknuća na voznoj površini tračnica uslijed umora materijala. Dobiveni rezultati mogu poslužiti kao podloga za izradu tehničkih propisa za održavanje željezničkog gornjeg ustroja na mreži crnogorskih željeznica.

### Ključne riječi:

međudjelovanje kotača i tračnice, oštećenja tračnica, zamor materijala, napuknuća tračnica

Professional paper

**Zdenka Popović, Vlatko Radović**

## Analysis of cracking on running surface of rails

The problem of cracking at the rolling surface of rails is considered in the paper. This damage to the rolling surface of rails, known as "squat", may lead to disintegration of rail head in the length of 1 m or more. In the scope of this research, a detailed visual control of rail damage at the Vrbnica – Bar Section of the Montenegrin railway network was conducted in order to alleviate danger of rolling contact fatigue cracking in rails. Results obtained can be used as basis for preparation of technical regulations for railway track maintenance along the Montenegrin railway network.

### Key words:

wheel and rail interaction, rail damage, fatigue of material, rail cracking

Fachbericht

**Zdenka Popović, Vlatko Radović**

## Analyse von Rissbildungen auf der Schienenfahrfläche

In dieser Arbeit wird das Problem von Rissbildungen auf der Schienenfahrfläche bearbeitet. Diese Art von Beschädigung, auch als Squat bekannt, kann zum Zerfall des Schienenkopfes auf einer Länge von über 1.0 m führen. Im Rahmen der gegebenen Studie ist eine detaillierte visuelle Kontrolle der Risse auf dem Gleisnetz der montenegrinischen Eisenbahn zwischen Vrbnica und Bar durchgeführt worden, um die Gefahr der durch Ermüdung des Materials bedingten Rissbildungen auf der Schienenfahrfläche zu vermindern. Die erlangten Ergebnisse können als Grundlage für den Entwurf technischer Vorschriften für die Wartung der Gleisanlagen des montenegrinischen Eisenbahnnetzes angewandt werden.

### Schlüsselwörter:

Rad-Gleis Wechselwirkung, Gleisbeschädigungen, Materialermüdung, Schienenrissbildung

## 1. Uvod

Ostvarenje međudjelovanja europskog željezničkog sustava zahtijeva od upravitelja željezničke infrastrukture da posjeduje planove održavanja infrastrukturnog podsustava za svaku konvencionalnu prugu [1]. Između ostalog, ovaj plan treba sadržavati pregled kolosijeka te strategiju sprječavanja umora materijala uslijed kotrljanja kotača po tračnici (eng. rolling contact fatigue - RCF). Puknuća tračnica ili određena njihova oštećenja, obično su posljedica umora materijala, a imaju utjecaj na smanjenje uporabnog vijeka tračnica, povećanje troškova održavanja te mogu prouzročiti i isključive vlaka iz kolosijeka [2]. Povećana frekvencija prometa, osovinskog opterećenja i brzine doprinose umoru materijala i ugrožavaju sigurnost željezničkog prometa. Nasuprot tome, ispravna geometrija kolosijeka, povoljan odnos na kontaktu kotača i tračnice te poboljšana strategija održavanja mogu smanjiti pojavu *kontaktnog umora materijala pri kotrljanju*. Adekvatna strategija održavanja osigurava dulju uporabljivost tračnica, manje ukupne troškove održavanja te poboljšava sigurnost željezničkog prometa.

Širom svijeta postoje dva glavna tipa tračničkih oštećenja uslijed umora materijala: napuknuća na voznoj površini tračnice (eng. squat) i napuknuća na voznom rubu tračnice (eng. head checking). Studija [3] predlaže jedinstveni naziv ovih oštećenja kako bi se izbjegla trenutačna zabuna u terminologiji. Iz tog razloga, termini "head checking" i "squat" su u službenoj upotrebi gotovo na svim jezicima svijeta u znanstvenoj i stručnoj literaturi.

Predmet istraživanja u ovom radu su tračnička oštećenja "squat" (napuknuća i lokalne depresije na voznoj površini glave tračnice - oštećenje tipa 227, u skladu s [4]) na mreži crnogorskih željeznica. Oštećenja tračnica tipa "squat" uslijed umora materijala postali su u posljednjih nekoliko godina važan problem za željezničke uprave. U radu se prikazuju problemi održavanja te iskustva crnogorskih željeznica uslijed pojave ovog tipa oštećenja. Nažalost, spomenuta tračnička oštećenja nisu obuhvaćena "Uputstvom 339 o jedinstvenim kriterijima za kontrolu stanja pruga na mreži JŽ", koje je još uvijek u službenoj upotrebi u Crnoj Gori. Cilj je ovog rada da se poboljša strategija održavanja tračnica te da se implementiraju suvremeni stavovi i znanja u novim tehničkim propisima za održavanje željezničke infrastrukture. Usklađivanje tehničkih propisa s UIC kodovima [4, 5] osiguralo bi jedinstvenu proceduru za utvrđivanje, registriranje i klasifikaciju tračničkih oštećenja te kreiranje statističkih parametara o tračničkim oštećenjima u okviru jedinstvene europske baze podataka. Svrha toga je razmjena iskustava i razvoj jedinstvenih metodologija upravljanja održavanjem infrastrukture na europskom nivou i šire. U radu se upućuje na potrebitost ranog otkrivanja napuknuća na voznoj površini tračnice primjenom odgovarajućih metoda za kontrolu tračnica, kao i preventivne aktivnosti

održavanja (njega tračnice), uklanjanje više ili manje ozbiljnih nedostataka (korektivne aktivnosti) i cikličke (kontrolirane) aktivnosti tijekom uporabnog vijeka tračnice [4 - 7]. Uspješno upravljanje tračničkim oštećenjima je čest problem širom svijeta. Osim toga, upravitelj infrastrukture treba prilagoditi strategiju održavanja lokalnim uvjetima kako bi se postigla poboljšanja sigurnosti prometa.

## 2. Mehanizam nastanka napuknuća na voznoj površini tračnica

Istraživanje je provedeno vizualnom kontrolom napuknuća na voznoj površini tračnica (oštećenja tipa "squat") na dionici željezničke pruge Vrbnica - Bar (grupa C4 za mješoviti promet u skladu s klasifikacijom prema objavi UIC700, jednokolosiječna pruga, maksimalna brzina 90 km/h), tijekom svibnja i lipnja 2012. godine [8] kada je upozoreno na pojavu velikih oštećenja tračnica uslijed umora materijala. Također, utvrđeno je da oštećenja "squat" i "belgrospl" nisu fenomen koji su karakteristični samo za velike brzine i željeznice za teški teretni promet. Nažalost, zbog izuzetno velike bočne istrošenosti vanjskih tračnica u krivinama, kao i zbog podmazivanja, oštećenja na voznom rubu tračnice "head checking" nisu registrirana tijekom ovog istraživanja. Postojanje oštećenja na voznom rubu tračnica na ovoj dionici pruge nije isključeno. Međutim, Željeznice Crne Gore još uvijek nemaju strategiju kako se suprotstaviti ovoj veoma opasnoj pojavi.

Pojam "kontaktni umor pri kotrljanju" je općeg karaktera i koristi se za opisivanje niza oštećenja koja nastaju uslijed pojave prekomjernog naprezanja smicanja na kontaktu kotača i tračnice. Kontaktno umaranje pri kotrljanju je proces postupnog razaranja zbog stvaranja i razvoja inicijalnog napuknuća, sve do loma tračnice pod utjecajem promjenljivog prometnog opterećenja, koje se prenosi na tračnicu preko male površine na kontaktu kotača i tračnice.

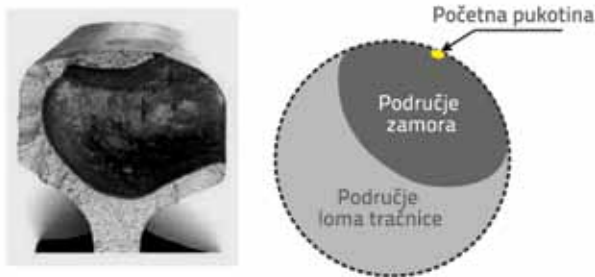
Napuknuća na voznoj površini tračnice prvi su put primijećene 1950. godine u Japanu i opisana su kao "crne točke" [9, 10, 11]. Na mreži britanskih željeznica 1970. godine identificirana je ta vrsta tračničkih oštećenja i nazvana "squat". U većini drugih europskih zemalja oštećenja tipa "squat" su primijećena i razmatrana kasnije. Željeznice Crne Gore ulažu napore da osmisle strategiju za upravljanje ovim fenomenom.

Oštećenja vozne površine tračnica u obliku napuknuća (squat), prema [4] kategoriziraju se kao "oštećenje tračnica tipa 227". Oštećenja squat su vidljiva na površini glave tračnice kao proširenja i lokalizirana depresija duž kontaktne zone kotača-tračnica, praćena tamnim mrljama koje sadrže napuknuća s kružnim lukom ili u obliku slova V, ali u svakom slučaju izgledaju poput dva plućna krila [9, 10] (slika 1.). Tijekom vremena napuknuća napreduju unutar glave tračnice. U početku napreduju unutar glave pod malim kutom u odnosu na površinu (maks. 20° - 30° u odnosu na horizontalu). Kada dostignu 3 do 5 mm dubine, napreduju poprečno prema dolje i

moгу uzrokovati lom tračnice. Općenito, površina loma uslijed kontaktnog umora pri kotrljanju ima karakterističan izgled. Mogu se izdvojiti dvije vizualno različite površine: područje umora i područje loma tračnice (slika 2.).



Slika 1. Tipičan oblik oštećenja squat (oblik "pluća"), željeznička pruga Vrbnica – Bar, dionica Podgorica – Golubovci



Slika 2. Karakteristični izgled površine čelika nakon loma izazvanog oštećenjem squat [6]

Smatra se da se oštećenje squat na voznoj površini glave tračnice aktivira termalnim vučnim efektom, koji je povezan s nekim oblikom mikroklizanja, odnosno klizanja kotača, i može se pojaviti bilo gdje (mjestimično) duž zone kontakta tračnice i kotača (slika 3.).



Slika 3. Zona pojave squat oštećenja s velikim naprezanjima na kontaktu kotača i tračnice

Direktan povod za rast squat oštećenja je prekomjerna dinamička sila na kontaktu kotača i tračnice zbog vertikalne nepravilnosti površine glave tračnice po kojoj se kotrlja kotač. Slika 4 pokazuje zonu lokacije squat oštećenja: površina kotrljanja s radijusom zaobljenja ( $R$ ) i voznim rubom.

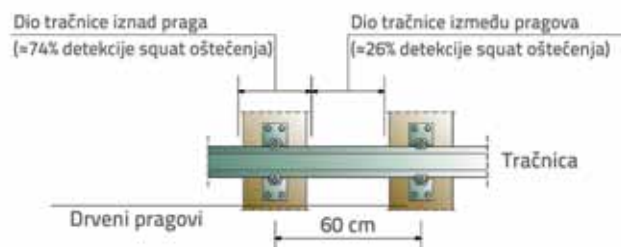
Iskustva upravitelja željezničke infrastrukture pokazuju da se squat oštećenja pojavljuju kod kolosijeka u pravcu te kod krivina s velikim polumjerima (800 – 1600 m) uglavnom na vanjskoj tračnici. Također, se mogu javiti u prijelaznoj

krivini malih polumjera. Mogućnost pojavljivanja je na svim tipovima kolosiječnih konstrukcija (kolosijek na čvrstoj podlozi, kolosijek sa zastornom prizmom, kolosijek s drvenim ili betonskim pragovima, na prugama za teretni, putnički ili mješoviti promet, na kolosijecima u rubnim sredinama te na konvencionalnim prugama i prugama za velike brzine), na prugama koje su elektrificirane i neelektrificirane, na tračnicama sa standardnim udjelom ugljika te na tračnicama s povećanom tvrdoćom glave (engl. HH - head hardened).



Slika 4. Zona lokacije oštećenja squat na glavi tračnice: površina kotrljanja

Vizualnim pregledom na dionici pruge Vrbnica - Bar [8] potvrđena je korelacija lokacije squat oštećenja i karakteristika krutosti podloge tračnica. Oko 75% oštećenja je uočeno na polovini dužine tračnice u zoni iznad praga dok su ostali uočeni na drugoj polovini dužine tračnice u sredini između dva praga (slika 5.).



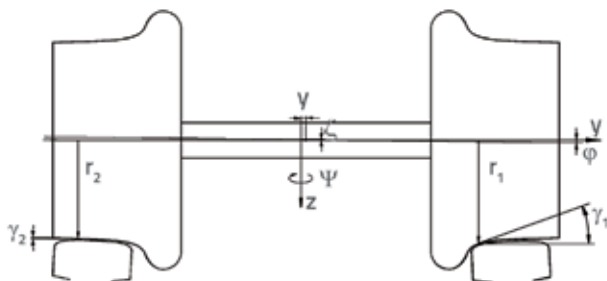
Slika 5. Zona lokacije oštećenja squat u kolosijeku

Neravnomjernost krutosti podloge tračnica duž kolosijeka utječe na povećanje dinamičkog opterećenja od vozila. Francuski autor Prud'Homme je prvi upozorio na važnost krutosti podloge tračnica i njen utjecaj na dinamičko opterećenje [12, 13, 14]. Stručna literatura samo upućuje na postojanje veze između degradacije vertikalne geometrije kolosijeka i krutosti podloge tračnica bez bliže, praktično primjenjive kvantifikacije. Optimalna krutost je uvjetovana pojedinačnim krutostima svih elemenata konstrukcije gornjeg i donjeg ustroja, kao i njihovom međusobnom usklađenošću [14]. Nažalost, uvjeti za krutost podloge tračnica i dalje su otvoreno pitanje [1].

Numeričke analize, prema [10] pokazuju da rast oštećenja *squat* prati i pojačava dinamička sila zbog međudjelovanja kotač-tračnica, na koju utječe i samo oštećenje *squat* čija

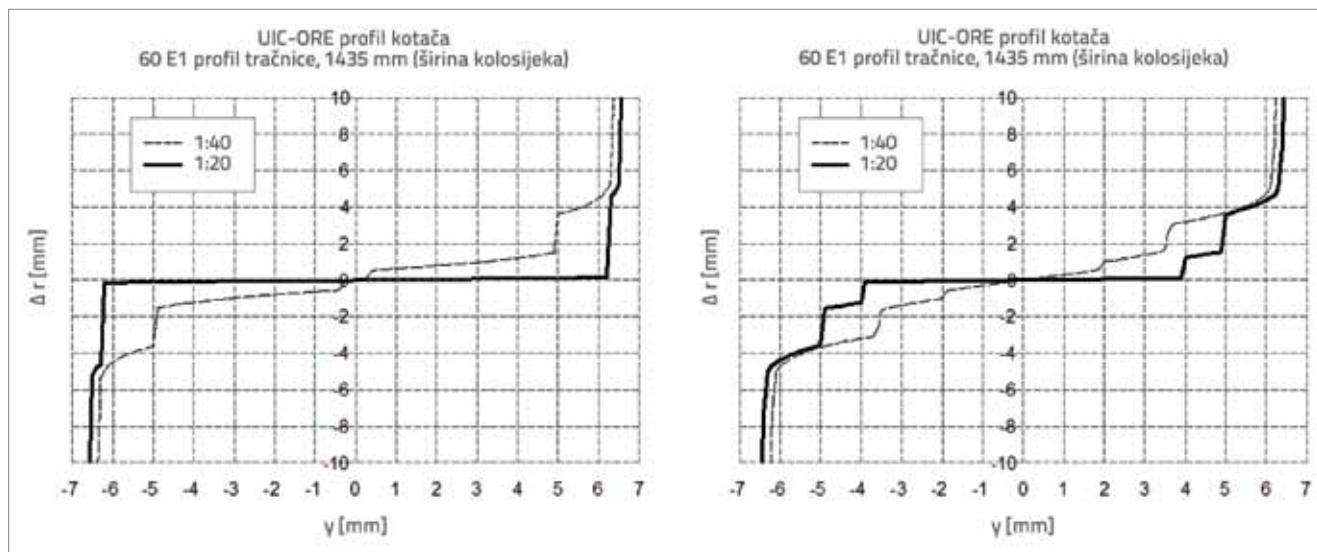
valna duljina odgovara naboranosti kratkog vala (valne duljine u rasponu od 2 do 6 cm). Kako se navodi u literaturi [9], to pokazuje da naboranost površine glave tračnice koja se uočava u 72 % slučajeva u okolini oštećenja *squat* ne bi zaista morala biti naboranost u smislu tračničkog oštećenja, već bi to mogao biti vizualni obrazac valnog pojavljivanja jednolike plastične deformacije ili istrošenja uslijed dinamičkih kontaktnih sila.

Da bi se utvrdila sila koja djeluje u dodirnoj površini kotač-tračnica, nužno je poznavati sljedeće geometrijske parametre: položaj dodirnih točaka na lijevom i desnom kotaču, položaj dodirnih točaka na lijevoj i desnoj tračnici, trenutačni polumjer kotača u dodirnim točkama ( $r_1, r_2$ ) i njihova razlika ( $\Delta r$ ), ekvivalentna koničnost, kut profila u dodirnim točkama ( $\gamma_1, \gamma_2$ ), polumjer profila kotača i zakrivljenost površine glave tračnice u dodirnoj točki, koeficijent kontaktnog naprezanja u dodirnoj točki, kut naginjanja osovine u odnosu na horizontalu ( $\varphi$ ) i vertikalno pomicanje njenog težišta ( $\zeta$ ) (slika 6.).



Slika 6. Parametri za određivanje sila na konatktu kotač-tračnica [15]

Dakle, sile na kontaktu kotač-tračnica ovise o: profilu kotača i njegovoj trenutačnoj geometriji, profilu tračnice i njenoj trenutačnoj geometriji, nagibu tračnice u poprečnoj ravni (1:20, 1:40, 1:∞), o trenutačnoj širini kolosijeka i trenutačnoj širini osovinskog sklopa (slika 7.).



Slika 7. Funkcija  $\Delta r$  (razlika trenutačnih polumjera u dodirnim točkama kotača i tračnice) [15]

Tijekom vizualnog pregleda dionice željezničke pruge Vrbnica – Bar [8], oštećenja *squat* su često uočavana u zonama naboranosti površine glave tračnice.

Istraživanje na željeznicama u Velikoj Britaniji pokazalo je da je 75 % *squat* oštećenja povezano s naboranošću, zavarenim spojevima tračnica i periodičnim udubljenjima na površini kotrljanja na glavi tračnice uslijed utiskivanja čvrstih tijela pod kotačem [18].

Pojava oštećenja *squat* u zoni zavarenih spojeva (oko 10 – 15 % od ukupnog broja) na dionici pruge Vrbnica – Bar [8] može se objasniti nehomogenošću materijala u zoni koja je izložena visokim temperaturama tijekom procesa zavarivanja i greškama u geometriji poprečnog presjeka zavarenog spoja [9, 10].

Nema pravila vezana za lokaciju pojavljivanja oštećenja *squat* i pojavljuju se u velikom broju (slika 8.), što je opasno jer postoji rizik od višestrukih lomova i pojave značajnih zazora.

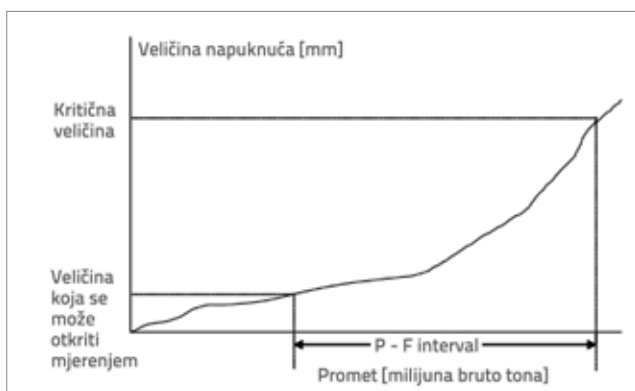


Slika 8. Višestruko *squat* oštećenje (tipičan oblik "pluća")

Diferencijalno istrošenje i plastična deformacija, kao i mala lokalna odstupanja geometrija na površini glave tračnice mogu povećati dinamičku silu. Nepravilnosti na površini glave tračnice koja nastaju bilo zbog diferencijalnog istrošenja ili plastične deformacije, ili zbog utiskivanja čvrstih tijela pod kotačem itd, mogu prerasti u *squat* oštećenje [11]. Ta opasnost je izraženija na željeznici bez adekvatne strategije održavanja.

### 3. Otkrivanje napuknuća na voznoj površini tračnice

Napuknuće ima određenu veličinu koja omogućuje njeno otkrivanje (P - potencijal razvoja napuknuća prije njegovog otkrivanja). Učinkovitost otkrivanja zavisi od učinkovitosti i točnosti opreme za kontrolu. Ona također zavisi od vještine i iskustva onoga tko provodi kontrolu. Počevši od veličine potrebne za uočavanje moguće je pratiti napredovanje napuknuća sve dok ne dostigne kritičnu veličinu, pri kojoj se može očekivati lom tračnice (F – nastupanje loma tračnice). Vrijeme ili prometno opterećenje (izraženo u milijunima bruto tona) između otkrivanja napuknuća i loma može poslužiti za definiranje "P - F" intervala (slika 9.).



Slika 9. Odnos napuknuća i prometnog opterećenja [19]

Optimalna metoda za otkrivanje oštećenja *squat* treba osigurati rano otkrivanje oštećenja tračnice i pouzdane podatke o izmjerenoj dužini, dubini i prostornog položaja napuknuća u glavi tračnice. Ta vrsta metode za nedestruktivno testiranje (NDT) tračnice zasad ne postoji, ali nedavni napredak u ranom otkrivanju pokazala je metoda zasnovana na mjerenju ubrzanja osovine vozila, vidi [16, 17].

Nažalost, mikrografski pregled tračnice nije prikladan za upotrebu u kolosijeku. U praksi se kombinira nekoliko metoda za otkrivanje kako bi se povećala mogućnost ranog otkrivanja oštećenja. Stručna literatura [5] preporučuje vizualnu kontrolu, optički sustav pomoću kamera, ultrazvučno ispitivanje korištenjem vozila i ručnu ultrazvučnu provjeru.

Željeznička mreža mora biti predmet vizualne kontrole dva puta godišnje (svakih šest mjeseci), uz pomoć fotografija i videosnimaka. Za takav način provjere potrebno je mnogo radnih sati i podrazumijeva subjektivnost. Međutim, vizualni pregled je važna preliminarna aktivnost kontrole tračnica. Ljudsko oko ima izvanredne mogućnosti percepcije blagih promjena boje i teksture materijala na velikom području, ali ova metoda ne može osigurati rano otkrivanje oštećenja tračnica. Također, ova metoda trebala bi biti poboljšana primjenom detekcije s fluorescentnim penetratima,

naročito pod lošim uvjetima vidljivosti u tunelima, ali samo kada je površina tračnice čista.

Posebnu pažnju treba obratiti na tračnice u glavnim staničnim kolosijecima, na velikim usponima (oko 10% i više), u skretnicama [23], križalištima, dilatacijskim spravama i zonama zavarenih spojeva. Osim toga, dionice s nepravilnom geometrijom kolosijeka treba pažljivo ispitati.

Tijekom vizualnog pregleda na dionici pruge Vrbnica - Bar vodilo se računa o tome da bi umjerena do ozbiljna *squat* oštećenja mogla biti pomiješana s oštećenjima koja nastaju proklizavanjem kotača (eng. "wheel burn"). Ovo oštećenje nastaje uslijed trenja između kotača i tračnice pri proklizavanju kotača u odnosu na tračnicu što dovodi do promjena u metalurškoj strukturi površine tračnice. Metalurške promjene dovode do pojave napuknuća. Postoje karakteristične razlike između *squat* oštećenja i tragova proklizavanja kotača. *Squat* oštećenja se razvijaju postupno tijekom nekoliko mjeseci ili godina, dok se oštećenja tračnice od kotača vozila javljaju odmah nakon incidenta proklizavanja. Tragovi proklizavanja kotača uočavaju se na obje tračnice u kolosijeku, a ako je posrijedi oštećenje *squat*, ono se obično ne događa na suprotnoj tračnici u kolosijeku. Pri vizualnom pregledu kod ovog istraživanja posebno se pazilo na to da treba znati razlikovati ta dva oštećenja. Tračnice se na cijeloj dužini između susjednih pragova vizualno pregledaju. Informacije o oštećenjima se unose u formular u skladu s [4] i nakon toga se čuvaju u bazi podataka.

Tablica 1. prikazuje glavni formular s informacijama. Drugi potrebni detalji i fotografije se prilažu uz formular. Tablica 2. prikazuje prilog uz glavni formular.

Ultrazvučna provjera nije primjenljiva za uočavanje površinskih pukotina na malom međusobnom razmaku i pod malim kutom u odnosu na gornju površinu glave tračnice. Ovom metodom se može pronaći napuknuće dublje od sedam milimetara. Ipak, metoda ne daje precizne rezultate u uskoj zoni voznog ruba tračnice. Kombinacija ultrazvučne kontrole i metode ispitivanja pomoću vrtložnih struja poboljšava vjerojatnost otkrivanja oštećenja "squat" i "head checking" [20]. Prednosti kontrole tračničkog čelika pomoću vrtložnih struja su sljedeće: otkrivanje početnih napuknuća (0,2 mm dubine), otkrivanje napuknuća ispod površine glave tračnice, prenosivost uređaja za kontrolu, moguća integracija uređaja u inspeksijsko vozilo i brusilicu, bez upotrebe potrošnih materijala, trenutačno čitanje mjernih rezultata [21].

### 4. Postupanje s napuknućima na voznoj površini tračnica

Kao dio projekta [19], provedena je analiza osjetljivosti rasta napuknuća u odnosu na različite uvjete prometa i uvjete u kolosijeku. Rezultati provedenih analiza prikazani su na slici 3 [19]. Različiti faktori su rangirani prema utjecaju na rast napuknuća tijekom uporabnog vijeka tračnice.

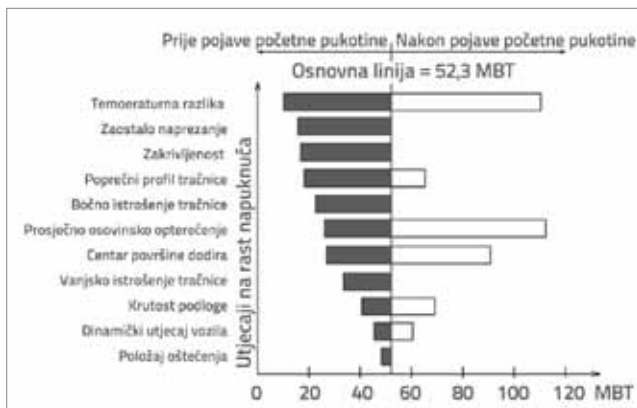


Tablica 1. Glavni formular za oštećenje tipa *squat*

1. Opće informacije o tračničkom oštećenju <i>squat</i> (tip oštećenja: 227)					
Oštećena tračnica <input type="checkbox"/> (Svaka tračnica koja nije ni napukla, ni slomljena, ali koja ima druge nedostatke, na površini glave tračnice)	Napuknuta tračnica <input type="checkbox"/> (Svaka tračnica koja ima, nezavisno od mjesta pojavljivanja u podužnom ili poprečnom smislu, jedan ili više zazora koji očigledno ne mogu dovesti do puknuća tračnice u bliskom trenutku vremena)	Puknuta tračnica <input type="checkbox"/> (Svaka tračnica razdvojena na dva ili više dijelova, ili s odvojenim metalnim dijelom čije izdvajanje uzrokuje zazor duži od 50 mm i dublji od 10 mm na voznoj površini glave tračnice)			
2. Precizna lokacija oštećenja u kolosijeku i datumi					
Pruga:					
Dionica:	od km .....+ ..... do km .....+ .....				
Kolosijek:	Lijevi kolosijek <input type="checkbox"/>	Desni kolosijek <input type="checkbox"/>	Jedan kolosijek <input type="checkbox"/>		
Tračnica:	Lijeva tračnica <input type="checkbox"/>	Desna tračnica <input type="checkbox"/>	Polovina dužine tračnice između dva praga <input type="checkbox"/>		
Stacionaža	Od km .....+ ..... do km .....+ .....				
Datum uočavanja oštećenja:	Datum popravka oštećenja:	Datum uklanjanja puknute tračnice:			
3. Metoda detekcije (kontrola)					
Vizualna kontrola <input type="checkbox"/>	Ultrazvučna kontrola <input type="checkbox"/>	Kontrola vrtložnim strujama <input type="checkbox"/>	Drugi načini kontrole <input type="checkbox"/>		
4. Karakteristike pruge					
Situacijski plan:	Pravac <input type="checkbox"/>	Krivina <input type="checkbox"/> , Radijus R = Vanjska tračnica u krivini <input type="checkbox"/> ; Unutarnja tračnica u krivini <input type="checkbox"/>	Skretnica <input type="checkbox"/> , Križište <input type="checkbox"/> , Dilatacijska sprava <input type="checkbox"/>		
UIC klasifikacija pruga, (UIC CODE 700):	A' <input type="checkbox"/> , A" <input type="checkbox"/> , A <input type="checkbox"/> , B1 <input type="checkbox"/> , B2 <input type="checkbox"/> , C2 <input type="checkbox"/> , C3 <input type="checkbox"/> , C4 <input type="checkbox"/> , D2 <input type="checkbox"/> , D3 <input type="checkbox"/> , D4 <input type="checkbox"/>				
Maks. brzina: V=	km/h	Privremeno smanjena brzina: V=	km/h	Datum: od	do
5. Karakteristike kolosijeka					
Godina polaganja kolosijeka:					
Metoda polaganja:	Standardna polja <input type="checkbox"/>		Kontinuirano zavarene tračnice <input type="checkbox"/>		
Tračničko pričvršćenje:	Tip:	S podložnom pločom <input type="checkbox"/>	Bez podložne ploče <input type="checkbox"/>		
Tip praga:	Drveni <input type="checkbox"/>	Betonski <input type="checkbox"/>	Čelični <input type="checkbox"/>	Kolosijek na čvrstoj podlozi <input type="checkbox"/>	
Lokacija:	Otvorena pruga <input type="checkbox"/>	Stanica <input type="checkbox"/>	Tunel <input type="checkbox"/>	Most <input type="checkbox"/>	
od km .....+ ..... do km .....+ .....	Ime:	Ime:	Ime:		
Tip sastava tračnica :	Mehanički <input type="checkbox"/>	Izolirani <input type="checkbox"/>	Lijepljeni <input type="checkbox"/>		
6. Karakteristike tračnice					
Stanje tračnice:	Nova tračnica <input type="checkbox"/>		Rabljena tračnica <input type="checkbox"/>		
Profil:	49 E1 <input type="checkbox"/>	60 E1 <input type="checkbox"/>	Drugi: <input type="checkbox"/>		
Dužina:	Dužina nove tračnice: .....m	Dužina rabljene tračnice: .....m	Dužina zamijenjene tračnice: .....m		
Kvaliteta čelika:	(700) R 200 <input type="checkbox"/>	(900) R 220 <input type="checkbox"/>	(900 A) R 260 <input type="checkbox"/>		
	(900 B) R 260 Mn <input type="checkbox"/>	(1100) R 320 Cr <input type="checkbox"/>	(900 A (HH)) R 350 HT <input type="checkbox"/>	R350 LHT <input type="checkbox"/>	
Reljefne oznake na tračnici:					
Proizvodni proces:	Ukupna masa u tonama:				
7. Karakteristike zavarivanja ili nadovarivanja					
Zavareni spoj uklonjen <input type="checkbox"/>	Zavareni spoj obnovljen <input type="checkbox"/>				
Dužina zamijenjene tračnice:					
Profili tračnica s obje strane zavarenog spoja:					
Kvaliteta čelika s obje strane zavarenog spoja:					
Nadovarivanje:	Na kraju <input type="checkbox"/>		Izvan kraja tračnice <input type="checkbox"/>		
8. Poduzete aktivnosti					
Nadzor <input type="checkbox"/>	Osiguranje vezicama ili stegom <input type="checkbox"/>	Reparacija zavora <input type="checkbox"/>			
Datum uklanjanja tračnice .....		Tračnica upućena na .....			

Tablica 2. Prilog uz glavni formular (primjer pregleda dionice Podgorica - Golubovci, km 405+804.00)

 <p style="text-align: center;">Golubovci 405+804,00 Podgorica</p>	
 <p style="text-align: center;">L = 18 mm D = 2 mm</p>	<p>Napomene:                  Brzina: 90 km/h; Osovinsko opterećenje: 22,5 t; Profil tračnice: S49 (49E1);                  Kvaliteta čelika: R 260; Godina proizvodnje: 1980; Kolosijek: glavni;                  Tračnica: lijeva; Kolosijek u pravcu.</p>



Slika 10. Utjecaj promjenljivih faktora na rast napuknuća na voznoj površini tračnice [19]

Upravitelji Infrastrukture mogu održavanjem kolosijeka utjecati na pojavu i razvoj napuknuća na voznoj površini tračnica tj. squat oštećenja. Izuzetno je važno rano otkrivanje oštećenja, koja se mogu odstraniti brušenjem tračnica. Kako otkriti squat oštećenja u ranom stadiju razvoja mjerenjem

odgovarajućeg dinamičkog odziva pri prolazu kotača preko mjesta oštećenosti još uvijek je otvoreno pitanje, nedavni napredak je prikazan u [16, 17]. Autori preporučuju kombinaciju metoda za otkrivanje squat oštećenja: vizualnu kontrolu, optički sustav primjenom kamera, ultrazvučno ispitivanje pomoću vozila, manualnu ultrazvučnu provjeru, kao i ispitivanje pomoću vrtložnih struja svakih šest mjeseci. Osim toga, kontrola se sprovodi u skladu s potrebom (vidi tablicu 3). Ako se brušenje tračnica provede pravodobno, može se spriječiti daljnji razvoj napuknuća. Ovaj učinak nije trajan. Poslije određenog vremena, squat oštećenja se javljaju ponovo i potreban je novi ciklus brušenja tračnice. Suvremena strategija brušenja tračnice obuhvaća preventivne, korektivne i ciklične aktivnosti. Cilj je preventivnog brušenja ("njega" tračnice nakon postavljanja novih tračnica u kolosijek i prije preuzimanja prometa) da se osiguraju optimalni uvjeti na kontaktu kotač-tračnica već početkom uporabe, kao i da se uklone uobičajene nepravilnosti koje su se pojavile tijekom ugradnje tračnica (npr., neravnine na mjestima zavara tračnica). Ciklične (kontrolirane) aktivnosti se primjenjuju za uklanjanje tankog sloja (od 0,1 do 0,2 mm) s cijele površine glave

Tablica 3. Preporuke za intervencije protiv oštećenja squat [22]

Preporuke	Dužina	Dubina	Hitna akcija	Vremenski period
UIC	L > 200 mm	ili > 25 mm	Postaviti stege	2 tjedna
	50 < L < 200 mm	ili 10 < D < 25 mm		6 tjedana
	≤ 50 mm	ili < 10 mm	Izvršiti ponovnu vizualnu kontrolu	12 mjeseci
ProRail		> 50 % (>25 mm) visine glave	40 km/h	što prije je moguće
		20% (10 mm) < D < 50 % (25 mm) visine glave	Ili postaviti stege	3 mjeseca
		<20 % (10 mm) visine glave		4 tjedna
		Bez reakcije na ultrazvuk	Izvršiti ponovnu vizualnu kontrolu	3 mjeseca
				6 mjeseci

tračnice, i do 0,6 mm u zonama s oštećenjima. Karakteristike korektivnih aktivnosti su male ali intenzivne intervencije i dugi intervali između njihove primjene. Posljedice su dugi periodi s relativno lošim uvjetima na površini glave tračnice.

Optimalno vođenje održavanja gornjeg ustroja mora uključiti kontrolu i analizu geometrije kolosijeka i konstrukcije donjeg ustroja.

## 5. Zaključak

Vjeruje se da na pogoršanje situacije u smislu pojave oštećenja na voznoj površini tračnica tipa squat utječu: porast osovinskog opterećenja i frekvencije prometa, loša politika održavanja (pogoršanje geometrije kolosijeka), nova vozila s ABS i antispin uređajima, nove karakteristike materijala za izradu kotača i tračnica. Nažalost, u Crnoj Gori se primjenjuje povremeno i mjestimično održavanje gornjeg ustroja, često bez obzira na stanje konstrukcije donjeg ustroja željezničke pruge. Pogoršanje vertikalne geometrije kolosijeka ispravlja se dodavanjem tucaničkog materijala i podbijanjem kolosijeka, bez analize uzroka i efikasnosti primijenjenih mjera. Takva je strategija održavanja kratkoročno rješenje koje na kraju dovodi do visokih troškova održavanja.

Stanje konstrukcije donjeg ustroja je često loše. Zbog toga, upravljanje održavanjem gornjeg ustroja mora uključivati analizu stanja donjeg i gornjeg ustroja i vozničkih sredstava. Upravitelj infrastrukture mora definirati plan održavanja za infrastrukturu svake konvencionalne pruge. Uz ostalo, taj plan obuhvaća kontrolu i strategiju održavanja protiv oštećenja tračnica koja nastaju uslijed kontaktnog umora tračničkog čelika pri kotrljanju kotača vozila. Strategija održavanja treba omogućiti produženje životnog vijeka tračnica i smanjenje ukupnih troškova održavanja.

Usklađivanjem strategije održavanja željezničke infrastrukture s tehničkim propisima u Europskoj uniji osiguralo bi se jedinstvo procedura za identificiranje, izvještavanje i klasifikaciju oštećenja tračnica, kao i priprema statističkih pokazatelja oštećenja tračnica u jedinstvenoj europskoj bazi podataka s ciljem razmjene iskustava i razvoja jedinstvene metodologije za upravljanje održavanjem infrastrukture na europskom nivou i šire.

## Zahvala

Autori zahvaljuju Željeznicama Crne Gore na podršci tijekom ovih istraživanja.

## LITERATURA

- [1] European Commission: *Technical Specification for Interoperability – Subsystem Infrastructure*, Official Journal of the European Communities, 2011
- [2] ORR Office of Rail Regulation: *Train Derailment at Hatfield: A Final Report by Independent Investigation Board*, July 2006, pp. 245, London (www.rail-reg.gov.uk)
- [3] Cannon, D.F., Pradier, H.: *Rail rolling contact fatigue Research by the European Rail Research Institute*, Wear 191 (1996), pp. 1-13
- [4] UIC – International Union of Railways: *"UIC Code 712 Rail Defects"*, 4th edition, January 2002.
- [5] International Union of Railways: *"UIC Code 725 Treatment of rail defects"*, 2007
- [6] Popović, Z., Puzavac, L., Lazarević, L.: *"Tračnička oštećenja uslijed zamora materijala"*, Građevinski materijali i konstrukcije, vol. 54, br. 2, str. 17-29, 2011
- [7] Australian Rail Track Corporation: *Rail Defects Handbook, Engineering Practices Manual Civil Engineering*, 2006. CEN: EN 13674-1: 2003+A1: Railway applications – Track – Rail – Vignole railway rails 46 kg/m and above, 2007
- [8] Radović, V.: *Upravljanje oštećenjima uslijed zamora šinskog čelika*, magistarski rad, Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet u Podgorici, 2012.
- [9] Li, Z., Dollevoet, R., Molodova, M., Zhao, X.: *Squat growth – some observations and the validation of numerical predictions*, Wear 271 (2011), 148 – 157. (Annex 3 of INNTRACK D4.2.4)
- [10] Li, Z., Zhao, X., Esveld, C., Dollevoet, R., Molodova, M.: *An Investigation into the Causes of Squats – Correlation Analysis and Numerical Modeling*, Wear 265 (2008), 1349 – 1355. (Annex 1 of INNTRACK D4.2.4)
- [11] Li, Z., Zhao, X., Dollevoet, R., Molodova, M.: *Differential wear and plastic deformation as causes of squat at track local stiffness change combined with other track short defects*, Vehicle System Dynamics, 46 (2008), 237–246. (Annex 2 of INNTRACK D4.2.4)
- [12] Zerbst, U., Lunden, R., Edel, K.O., Smith, R.A.: *Introduction to the damage tolerance behaviour of railway rails*, Engineering Fracture Mechanics (2009) Elsevier
- [13] Fröhling, R. D.: *Deterioration of railway track due to dynamic vehicle loading and spatially varying track stiffness*, Ph.D. Thesis, University of Pretoria, The Republic of South Africa, 1997
- [14] Puzavac, L., Popović, Z., Lazarević, L.: *Influence of Track Stiffness on Track Behaviour under Vertical Load*, Traffic&Transportation, Vol. 24, 2012, No. 4, 387-394



- [15] Jovanović, R., Simić, G., Milutinović, D., Popović, Z., Puzavac, L.: *Studija odnosa točak-tračnica i osnove za izmjene i dopune regulative Željeznica BiH u toj oblasti*, 2010
- [16] Molodova, M., Li, Z., Dollevoet, R.: *Axle box acceleration: Measurement and simulation for detection of short track defects*, *Wear* 271 (2011), 349 – 356.
- [17] Li, Z., Molodova, M., Zhao, X., Dollevoet, R.: *Squat treatment by way of minimum action based on early detection to reduce life cycle costs*, ASME Joint Rail Conference 2010 (JRC2010). 1, pp. 305-311.
- [18] Rail Damages, the Blue Book of RailTrack, February, 2001, UK.
- [19] UIC/WEC Joint research project on Rail Defect Management: *Analytical Modelling of Rail Defects and Its Applications to Rail Defect Management*, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Volpe National Transportation Systems Center, Cambridge, Massachusetts, 2003
- [20] Dey, A., Caspersen, R., Pohl, R., Thomas, H.M.: *Die Klassifizierung von Oberflächenfehlern in Schienen mit der Wirbelstromprüfung*, DGZfP-Jahrestagung, Münster, 2009, S. 94
- De Ruvo, P., De Ruvo, G., Distanti, A., Nitti, M., Stella, E., Marino, F., *A Visual Inspection System for Rail Detection & Tracking in Real Time Railway Maintenance*, 2008
- [21] Popović Z., Lazarević L., Brajović Lj., Puzavac L.: *Rail defect head checking – phenomenon and treatment*, EURO – ZEL 2012, 20th International Symposium 5th – 6th, June 2012, Žilina, Slovak Republic
- [22] INNTRACK D7.1.5, *Identification of relevant codes and correlation to INNTRACK results*
- [23] Pollak, B., Bajić, G.A.: *Posebna oštećenja tračnica na skretnicama*, *Građevinar* 54 (2002) 8, 465-471.