

PRINCIPI DIJAGNOSTICIRANJA I ELIMINACIJE OŠTEĆENJA TRAČNICA

THE PRINCIPLES OF DIAGNOSIS AND ELIMINATION OF RAIL DEFECTS

Dr.sc. Ivan Vitez,
Dr.sc. Dragomir Krumes,
Vladimir Pecić,
Andrijana Penava,
Strojarski fakultet, Slavonski Brod, Sveučilište u Osijeku
35000 Slavonski Brod, Hrvatska

REZIME

Suvremeni uvjeti eksploatacije željezničkih tračnica sa većim brzinama i osovinskim opterećenjima doveli su do potpuno novog pogleda na filozofiju i sadržaj novih europskih normi za proizvodnju i isporuku željezničkih tračnica u zadnjih desetak godina. Slično tomu doneseni su i modernizirani propisi međunarodne željezničke unije kroz preporuke za uporabu vrsta čelika za željezničke tračnice (UIC 721R : 2003), kao i principi tretmana oštećenja tračnica (UIC 725R : 2006). U ovom radu su opisani principi praćenja i eliminacije oštećenja na željezničkim tračnicama posebice površinskih oštećenja glava tračnica kontaktnim umaranjem pri kotrljanju RCF (rolling contact fatigue).

Ključne riječi: oštećenja tračnica, dijagnosticanje oštećenja tračnica, eliminacija oštećenja tračnica, principi

ABSTRACT

Contemporary conditions of railway rails exploitation with higher speeds and greater axleloads carried out a completely new look at the philosophy and content of the new European standards for manufacture and delivery railway rails in last decade. Be similar to are introduced and modern proposals of the International Railway Union through Recommendations for the use of rail steel grades (UIC 721R : 2003), and rules of Treatment of the rail defects (UIC 725R : 2006). This paper elaborate the principles of monitoring and elimination of defects on railway rails especially surface damages to rail head with rolling contact fatigue (RCF).

Key words: rail defects, diagnosis rail defects, elimination rail defects, principles

1. UVOD

U suvremenim uvjetima eksploatacije željezničke tračnice su izložene kako porastu brzina i osovinskog opterećenja, tako i porastu zaostalih naprezanja od zavarenih kolosijeka. Zato su moderna tehnologija proizvodnje željezničkih tračnica i navedeni zahtjevi u okviru Europske unije dali sasvim novi pogled na filozofiju i sadržaj novih europskih standarda za proizvodnju i isporuku željezničkih tračnica (serija EN 13674 i druge preporuke). Novi zahtjevi na tračnice su specificirani uglavnom u novom europskom standardu EN 13674-1/2004. kroz ispitivanja s nizom novih složenih kriterija i ispitivanja, kao što su: lomna žilavost, brzina

rasta pukotine umaranja, ispitivanje umaranjem, ispitivanje zaostalih napreznja, mikrostrukture, dekarbonizacije, oksidne čistoće, tvrdoće itd. [1].

Gdjegod je to moguće koristi se norma za osiguranje kvalitete EN ISO 9001 i zadnja dokazana tehnologija proizvođača. Dva glavna dijela prijedloga EN su: kvalifikacijska i prijamna ispitivanja. Kvalifikacijska ispitivanja traže i neka svojstva kojih nije bilo u prethodnim nacionalnim ili internacionalnim normama (kao npr. lomna žilavost K_{IC}). Prijamna ispitivanja kontroliraju propisana svojstva koja osiguravaju proizvodnju željezničkih tračnica visoke kvalitete i zahtjeve željezničkih uprava [1 do 3].

Načelno je prijamni kriterij utemeljen na izmjerenim vrijednostima tvrdoće, po kojima su uvedene i nove oznake vrsta čelika za željezničke tračnice (tablica 1.).

Tablica 1. Vrste čelika, rasponi tvrdoća, lomne žilavosti i drugo.

Vrste čelika	Rasponi tvrdoća, HBW	Lomna žilavost, K_{IC} (MPa m ^{1/2}) minimalne vrijednosti		Opis (stara oznaka)	Oznaka na vratu	R_m min. MPa	Istezljivost min. A_5 , %
		pojedinačna	srednja				
R200	200-240	30	35	C-Mn (R0700)	=====	680	14
R220	220-260	30	35	C-Mn	=====	770	12
R260	260-300	26	29	C-Mn (R0900A)	=====	880	10
R260 Mn	260-300	26	29	C-Mn (R0900B)	=====	880	10
R320 Cr	320-360	24	26	1 %Cr (R1100)	=====	1080	9
R350 HT	350-390	30	32	C-Mn s TO ¹⁾	=====	1175	9
R350 LHT	350-390	26	29	niskolegirano s TO ¹⁾	=====	1175	9

¹⁾ s toplinskom obradom

I pored moderniziranih propisa UIC i nove norme EN 13674-1 u suvremenim uvjetima eksploatacije željezničkih tračnica nastaju problemi s nizom površinskih oštećenja glava tračnica kao što su ljuštenja, pukotine i sl. [4, 5].

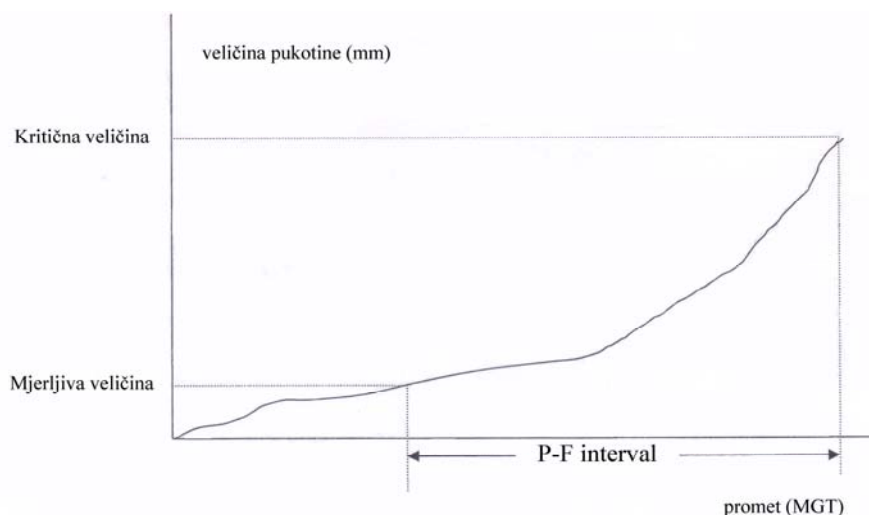
2. POJEDNOSTAVLJENI ZAKONI RASTA PUKOTINE

Rast pukotine ovisi o mnogim faktorima, od kojih su najvažniji:

- statičko opterećenje osovina,
- dinamičko opterećenje kotača,
- karakteristike vagona i lokomotiva,
- sekcija tračnice,
- vrste čelika tračnice,
- vrste pogreške,
- temperaturna razlika,
- zaostala napreznja u tračnici,
- trošenje glave tračnice,
- krutost kolosijeka i
- geometrija kolosijeka.

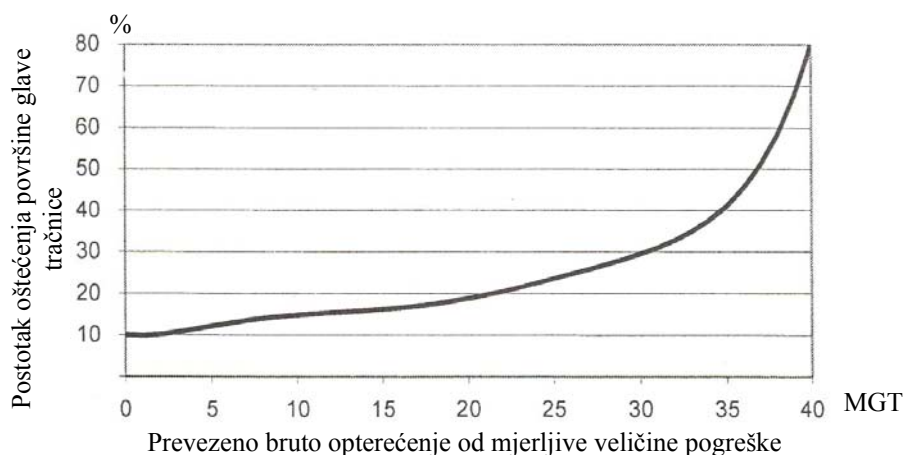
Rast pukotine se može izraziti kao povećanje veličine pukotine po bruto prevezenom teretu (MGT). Veličina pukotine se može prikazati u mm ili kao postotak obuhvaćenog poprečnog presjeka glave željezničke tračnice [6].

Inicijalna pukotina će vremenom svojim rastom postići veličinu koja se može mjeriti (P – potencijal). P – potencijal ovisi od korištene tehnike za ispitivanje. Od te veličine pukotine propagacija se može pratiti sve dok ne dostigne kritičnu veličinu kod koje se može očekivati lom tračnice (F – oštećenje). Vrijeme ili prevezeni teret između te dvije veličine definira se kao P – F interval (slika 1).



Slika 1. Definicija P – F intervala. [6]

Američke studije obavljene tijekom zadnjih 20 godina pokazuju da poprečne pukotine rastu od mjerljive veličine do 80% površine glave tračnice pri 10 do 50 MGT prevezenog tereta. Slika 2. pokazuje model pri akumuliranom opterećenju od 40 MGT od mjerljive veličine (P) do kritične veličine pukotine (F – intervala P – F) [6].



Slika 2. Model rasta pogreške od mjerljive veličine (P) do kritične veličine (F). [6]

2.1. RCF – oštećenja kod željezničkih tračnica

Oštećenja tračnica kontaktnim umaranjem pri kotrljanju RCF (rolling contact fatigue) su jedan od glavnih ograničenja produktivnosti željezničke infrastrukture u suvremenim uvjetima eksploatacije tračnica. Nagnječenja, bubrežasti lom, ljuštenje i head checks oštećenja su oblici RCF-a. Ova oštećenja mogu postepeno dovesti do pucanja tračnica s teškim posljedicama. Uz to povećava se razina buke (100–110 dB) zbog neravnina na mjestu kontakta kotač – tračnica, što je jedan od glavnih problema očuvanja okoliša u Europi.

Koncentracija naprezanja uzrokuje pojavljivanje RCF–oštećenja na mjestu kontakta između kotača i tračnice. Uvjeti u kojima nastaje kontakt dovodi da naprezanje u čeliku tračnice stalno raste, makar i vrlo malo, zbog površinske hrapavosti kotača i tračnice. Ta pojava se odvija sa prolaskom svakog kotača preko tračnice. Svaki prolazak kotača izaziva trošenje i umaranje, a očekivani vijek trajanja tračnice ovisi o baš ta dva procesa. Naprezanja koja

nastaju tim kontaktom su kompleksna i upravljana su oblikom geometrije kotač-tračnica na mjestu kontakta, a mjesto kontakta je određeno oblikom zavoja, ponašanjem vagona u zavoju, karakteristika njegovih ovjesa i naravno postojećim stanjem kotača i tračnice. Mnoga promatranja su potvrdila da se oštećenja RCF-pukotine razvijaju u smjeru gibanja vlaka, u početku pod kutom od 15° prema glavi tračnice. Kada oštećenje dostigne tipičnu dubinu od 10 mm, kut raste koso na oko 70° i pukotine se šire kroz tračnicu sve do loma. Tijekom porasta kuta pukotine moguća su otkidanja komadića materijala od glave tračnice, ali opasnost od puknuća tračnice je rezultat napredovanja pukotine, a tu fazu treba izbjeći ako je moguće [7, 8].

2.2. Metode održavanja tračnica

Metode održavanja tračnica (podmazivanje i brušenje) pomažu u smanjivanju trošenja i RCF-oštećenja. Prikladnom primjenom ovih metoda mogu se smanjiti troškovi održavanja tračnica.

Podmazivanje voznog ruba tračnice je najbolji način smanjivanja bočnog trošenja više tračnice u krivinama. Upotreba tvrdog čelika za tračnice ne rješava problem bočnog trošenja ako se tračnica ne podmazuje. A ako se materijal manje snosi (manje troši), može se ubrzati razvoj RCF-oštećenja većom brzinom. Isto tako se mora voditi računa o vremenskim utjecajima na rezultate podmazivanja (tj. temperatura, vlažnost zraka itd.).

Brušenje tračnica produljuje radni vijek tračnica i sprječava iniciranje i razvoj RCF-oštećenja. Postoje dvije vrste brušenja: preventivno i korektivno brušenje.

Preventivno brušenje se izvodi da bi se poboljšala kvaliteta vozne površine novopostavljenih tračnica. Ako se provodi sustavno kao mjera održavanja sigurno pomaže u sprječavanju nastanka površinskih oštećenja tračnica.

Korektivno brušenje se provodi da bi se uklonile postojeće greške (valovitosti, head-checking itd.), preoblikovanjem vozne površine tračnice da se optimalno poboljša kontakt kotač – tračnica.

2.3. Preporuke za primjenu normalnih i tvrdih čelika za željezničke tračnice

Normalni čelici za tračnice su vrste čelika R260 ili R260 Mn, dok su tvrdi čelici za tračnice R320 Cr, R350 HT ili R350 LHT. Tračnice napravljene iz čelika R260 ili R350 HT se danas najčešće koriste.

Načelo održavanja tračnica (podmazivanje i brušenje) znatno utječe na njihov radni vijek bez obzira da li se radi o normalnim ili tvrdim vrstama čelika za tračnice. Radni vijek tračnica je temeljni faktor kod ekonomskih analiza, a načelo održavanja tračnica mora se uobziriti kod izbora vrste čelika za tračnice. Zbog toga se moraju razmotriti kod izbora tračnica oba kriterija i tehnički i ekonomski radi postizanja optimalnog radnog vijeka tračnica.

U krivinama sa malim i vrlo malim radijusom, uz visoku opterećenost, mnoge željeznice postižu duži (sa nižim troškovima) životni vijek tračnica koje su izrađene od čelika R350 HT, R350 LHT ili R320 Cr. Odgovarajuća tvrdoća ovih tračnica se dobiva toplinskom obradom ili legiranjem sa Cr, sa ili bez strukturnih promjena [5].

3. PRINCIPI TRETMANA KOD OŠTEĆENJA TRAČNICA U EKSPLOATACIJI

3.1. Ključni parametri za planiranje inspekcijskih ciklusa

Minimalni zahtjevi koje treba poznavati su:

- klasa kolosijeka – nacionalni zakoni, temeljeni na prometu i/ili brzini i
- opterećenost kolosijeka željezničkim prometom.

Preporučeni zahtjevi o kolosijeku koje treba poznavati su:

- kritičnost linije – je definirana kao umnožak frekvencije nesreća i ozbiljnosti nesreće, kao npr. nesreće u tunelima, na mostovima itd. Ovaj faktor se može izračunati na temelju statističke analize oštećenja tračnica. Kritičnost linije ovisi i o količini prometa, npr. linija sa jednim kolosijekom i sa većim brojem vlakova je opasnija nego linija sa dva kolosijeka.
- posebna područja – su područja na kojima se oštećenja pojavljuju češće u kraćim inspekcijskim ciklusima nego na drugim mjestima. Posebna oštećenja se otkrivaju specijaliziranim metodama u nekim slučajevima kao:
 1. postoji sumnja da postoji greška proizvodnje starim tehnologijama u tračnici (ingoti, nemetalni uključci, neodgovarajuća NDT – ispitivanja).
 2. postoji utjecaj okoliša (sol i ostale kemikalije u sprezi sa električnim strujama dovode do korozije tračnica)
 3. postoji sklonost kolosijeka na oštećenja tračnica zbog kontaktnog umaranja tračnica, i
 4. sve strojevima obrađene komponente kolosijeka kao skretnice, prijelazi, križanja i krajevi tračnica sa rupama za vezice.

Uz sve gore navedeno potrebno je koristiti sva nova znanja i pratiti razvoj oštećenja na tračnicama radi definiranja optimalnog inspekcijskog ciklusa za dane tračnice u kolosijeku [6].

3.2. Inspekcijski ciklusi tračnica

Nadziranje i kontroliranje tračnica je vitalni dio održavanja tračnica. To je način održavanja prihvatljive razine sigurnosti prometa uz prihvatljivu razinu održavanja kako tračnica tako i čitavog kolosijeka. To je zadatak menadžmenta oštećenja, koji propisuje tradicionalno metode ispitivanja u strog definiranim vremenskim intervalima. Različiti modeli mogu se koristiti za iznalaženje optimalnoga vremena ispitivanja ovisno od lokalnih i prometnih uvjeta. Neki modeli su bazirani na definiranoj razini rizika prema broju dopuštenih lomova po dužini kolosijeka u određenom vremenu. Drugi modeli koriste analize troškova radi iznalaženja najekonomičnijeg rješenja kod oštećenja tračnica, uključujući ispitivanje, popravke i havarije.

Modeli menadžmenta oštećenja obuhvaćaju slijedeće parametre:

- povijesni pregled lomova tračnica u jedinci vremena (lomova po godini),
- povijesni pregled oštećenja u jedinici vremena,
- sekcija tračnice, materijal tračnice i starost tračnice
- maksimalno dozvoljena veličina oštećenja,
- vrijeme sigurnosti između mjerljive i kritične veličine oštećenja,
- pouzdanost otkrivanja i
- podaci o prometu.

Kod modela baziranih na razini rizika, menadžer infrastrukture mora definirati razinu rizika, definiranog kao broj oštećenja po dužini kolosijeka u određenom vremenu. U slučaju modela troškova, infrastrukturni menadžer mora voditi računa o slijedećim troškovima:

- troškovi ispitivanja tračnica,

- troškovi popravljanja lomova tračnica,
- troškovi zbog prekida prometa uslijed lomova tračnica,
- troškovi popravljanja u servisu oštećenih tračnica,
- troškovi povezani sa saniranjem havarija kod lomova tračnica i
- vjerojatnost da se dogodi havarija uzrokovana lomom tračnice [6].

3.3. Klasifikacija oštećenja i minimalne mjere koje se poduzimaju

Minimalne mjere se poduzimaju za svaku vrstu pogreške (transverzalne pukotine, horizontalne dužinske pukotine, vertikalne dužinske pukotine, head checking, nagnječenja i kose pukotine oko provrta za vijke) prema veličini oštećenja podijeljena su u 4 skupine koje karakteriziraju vrste mjera koje se poduzimaju:

- **Kategorija 0:** *zabrana prometa i trenutna zamjena tračnica* – što znači da postoji slomljena tračnica i da se ne mogu primijeniti mjere improvizacije,
- **Kategorija I:** *trenutna zamjena tračnica* – primjenjuje se kod oštećenja koja mogu dovesti do pucanja tračnice u bilo koje doba, može se tolerirati odgađanje zamjene od 2 tjedna ili do 6 tjedana u posebnim uvjetima,
- **Kategorija II:** *zamjena tračnica* – primjenjuje se kod oštećenja koja ne predstavljaju trenutnu opasnost za promet, ali se može razviti u lom tračnice. Ova oštećenja se popravljaju unutar najkasnije 12 mjeseci.
- **Kategorija III:** *držati tračnicu pod nadzorom* – primjenjuje se kod oštećenja koja ne predstavljaju opasnost za promet. Ova oštećenja ne zahtijevaju popravak, ali trebaju biti zabilježena i ispitana tijekom normalnih inspeksijskih ciklusa i treba pratiti daljnji razvoj oštećenja [6].

4. ZAKLJUČAK

U radu su rezimirani suvremeni zahtjevi EN i UIC-a na željezničke tračnice, opisan je model rasta pukotine i principi tretmana kod oštećenja tračnica u eksploataciji. Također su opisani inspeksijski ciklusi za prihvatljivu razinu održavanja sigurnosti željezničkog prometa, a pokazana je i klasifikacija oštećenja opasnih pogreški u četiri kategorije prema veličini i potrebnim minimalnim mjerama koje se poduzimaju ovisno o kategoriji oštećenja tračnica.

5. LITERATURA

- [1] Vitez I., Kladarić I., Pecić V.: Novi zahtjevi na svojstva čelika za željezničke tračnice, 9. Savjetovanje MATRIB'04, Vela Luka 2004., 333-337.
- [2] Vitez I., Hozjan T.: Usporedba normi o svojstvima čelika za željezničke tračnice, Građevinar 55 (2003.)5, 279-284.
- [3] Vitez I., Krumes D., Marušić V.: Važnost lomne žilavosti za kvalitetu željezničkih tračnica, 4. Naučno-stručni skup "Quality 2005", Fojnica 2005., 413-420.
- [4] *** Code UIC 712 R:2002 / Catalogue of Rail Defects.
- [5] *** UIC Draft Leaflet 721R:2003 – Recommendation for the use of rail steel grades.
- [6] *** UIC Draft Leaflet 725R:2005 – Treatment of rail defects.
- [7] Hiensch M.: Two-material rail combats rolling contact fatigue, www.railwaygazette.com,
- [8] Hiensch M., Larsson P.-O., Nilsson O., Levy D., Kapoor A., Franklin F., Nielsen J., Ringsberg W.J., Josefson L.B.: Development of a Two-Material Rail for RCF and Noise Control, <http://infrastar.shet.ac.uk>.