

PREGLED OŠTEĆENJA ŽELJEZNIČKIH TRAČNICA OD GREŠAKA ZAVARIVANJA I NAVARIVANJA

SURVEY DAMAGES RAILWAY RAILS BY WELDING AND RESURFACING DEFECTS

Ivan VITEZ ¹⁾, Vladimir PECIĆ ¹⁾, Branimir VUJČIĆ ²⁾

Ključne riječi: greške zavarivanja i navarivanja, željezničke tračnice, norme i preporuke, tretman kod oštećenja

Key words: welding and resurfacing defects, railway rails, standards and recommendations, treatment by damages

Sažetak: U radu je dan popis novih europskih normi i preporuka za željezničke tračnice i kratki izvod iz Kataloga oštećenja tračnica UIC 712R. Posebno su opisane greške zavarivanja i navarivanja, kao i tretman za njihovo saniranje prema UIC preporuci 725R. Također su obrađeni i rezultati ispitivanja greške Code 481 sa pruge HŽ.

Abstract: This article contain a list of new european standards and reccomendations for railway rails and short survey from Code UIC 712R. Especially for welding and resurfacing defects is given a description and treatment for their repair from Draft UIC 725R. Also are given and results of testing a damage Code 481 from Croatian Railway (HR).

¹⁾ ĐĐ Montaža d.d., Dr. M. Budaka 1, 35000 Slavonski Brod

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 kvalifikacijske kriterije i prijamna ispitivanja s nizom novih složenih kriterija i ispitivanja, kao što su: lomna žilavost, brzina rasta pukotine umaranja, ispitivanje umaranjem, ispitivanje zaostalih naprezanja, mikrostrukture, dekarbonizacije, oksidne čistoće, tvrdoće itd. [1].

Rastućim opterećenjima kolosijeka i povećanim zahtjevima na kvalitetu proizvođači su uspješno odgovorili sa:

- porastom mase tračnica po dužnom metru s 45 do 77 kg/m. U novije vrijeme se u Europi koriste sve više tračnice tipa 60E1 (stara oznaka UIC 60) umjesto tipova 46E1 do 56E1 iz raznih vrsta čelika za tračnice. Ukupno ima 21 profil tračnica u standardu EN 13674-1 [2];
- porastom vlačne čvrstoće čelika za tračnice s 700 do 1300 MPa kod prirodno-tvrdih tračnica (bez toplinske obradbe) s izmjenom sadržaja legirnih elemenata;
- povećanom čistoćom čelika za tračnice kroz smanjivanje dopuštenih sadržaja štetnih primjesa fosfora i sumpora i sl.;
- proizvodnjom sve duljih tračnica s 12 do 120 m, zbog manjeg broja zavara.

Puni nazivi novih europskih standarda, prijedloga standarda i preporuka na engleskom jeziku su:

1. EN 13674-1/2004 – Part 1: Flat bottom symmetrical railway rails 46 kg/m and above (Vignole rails);
2. Draft pr EN 13674-2/April 2003 – Part 2: Switch and crossing rails used in conjunction with Vignole railway rails 46 kg/m and above;
3. Draft pr EN 13674-3/April 2003 – Part 3: Check rails;
4. Draft pr EN 13674-4/April 2003 – Part 4: Vignole railway rails from 27 kg/m to < 46 kg/m.

As we have seen the series EN 13674 Railway applications – Track – Rail consists on four parts mentioned above;

5. Draft pr EN 14587-1/October 2002 – Railway applications – Track – Flash butt welding of rails – Part 1: New 220 and 260 grade rails in a fixed plant.

EN 14587 will comprise five parts. First is mentioned above and other parts will be following:

- Part 2: New 260 Mn and 350 HT grade rails in a fixed plant; Part 3: Welding of rails by mobile welding machines at sites other than a fixed plant; Part 4: Welding of reusable rails and Part 5: Welding in association with crossing construction;
6. CEN/TC 256/SC 1/October 2000 – Railway applications – Track – Aluminothermic welding of rails – Part 1: Approval of welding processes.

The second part of this EN will be denominated as – Part 2: Requirements for Approval of Welding Contractors and Operatives [1-5].

2. ZAHTJEV EUROPSKOG STANDARDA EN 13674-1

Gdjegod je to moguće koristi se standard 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. Načelno je prijamni kriterij utemeljen na izmjeranim vrijednostima tvrdoće, po kojima su uvedene i nove oznake vrsta čelika za željezničke tračnice [1, 2].

U tablici 1 dane su vrste čelika za tračnice, raspon tvrdoća, lomne žilavosti, oznake i vlačna svojstva.

Tablica 1. Vrste čelika, rasponi tvrdoća, lomne žilavosti, oznake i vlačna svojstva

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

¹⁾ s toplinskom obradom

3. PODACI IZ KATALOGA OŠTEĆENJA UIC 712 R

Klasifikacija lomova i oštećenja na željezničkim tračnicama provedena je po katalogu UIC 712R/2002 sa brojem od najviše četiri znamenke, kod kojeg označava:

Prva znamenka

1. greške na krajevima tračnica,
2. greške u sredini tračnice,
3. greške izazvane opterećenjima,
4. greške zavarivanja i navarivanja.

Treća znamenka

1. orijentacija greške u slučaju loma,
2. vrsta greške u slučaju oštećenja,
3. uzrok greške u slučaju oštećenja tračnice,

Druga znamenka

1. prvobitni položaj greške u presjeku tračnice,
2. vrstu zavara, ako se radi o greškama zavarivanja i navarivanja.

Četvrta znamenka

Ova znamenka prema potrebi dozvoljava dodatnu klasifikaciju prema tipovima greški.

Tablica 2. Skraćena podjela grešaka željezničkih tračnica

	Oznaka (UIC) i naziv greške
Greške na krajevima tračnica	112 Horizontalne pukotine 113 Vertikalne uzdužne pukotine 121 Površinske greške 122 Ljuštenje vozne površine 123 Nagnjene greške 124 Mjestimično udubljenje 125 Oštećenje klizanjem

U tablici 2 dana je skraćena podjela grešaka željezničkih tračnica [6].

Tablica 2. Skraćena podjela grešaka željezničkih tračnica (nastavak)

	Oznaka (UIC) i naziv greške
<i>Greške na sredini tračnice</i>	211 Postupno stvaranje poprečne pukotine (ovalna pjega) 212 Horizontalne pukotine 213 Vertikalne uzdužne pukotine 220 HABANJE 2201 Valovito habanje sa kratkim valovima 2202 Valovito habanje sa dugim valovima 2203 Abnormalno bočno habanje 2204 Abnormalno habanje vozne površine 221 POVRŠINSKE GREŠKE 2211 Otisak uvaljanosti 2212 Žlijeb ili brazda 2213 Fina uzdužna pukotina 222 LJUŠTENJE 2221 Ljuštenje vozne površine 2222 Ljuštenje rubova vozne površine 2223 Head checking/Ljuskanje vozne površine 223 Gnječenje sa ili bez hraptavosti 224 Mjestimično udubljenje vozne površine 225 OŠTEĆENJE KLIZANJEM 2251 Oštećenje samo uzrokovano jednim klizanjem 2252 Oštećenje ponavljanog klizanja 227 Zadebljanje/Pukotine i lokalna udubljenja vozne površine
<i>Greške nastale oštećenjem tračnice</i>	301 Razna oštećenja
<i>Greške zavarivanja i navarivanja</i>	411 Poprečne pukotine (kod električnog tupog zavarivanja) 421 Poprečna pukotina (aluminotermijsko zavarivanje) 471 Poprečna pukotina u glavi tračnice (navarivanje) 472 Odvajanje ili ljuštenje navarenog dijela 481 Poprečna pukotina u glavi tračnice na mjestu zavarivanja električnog tračničkog prespoja (različita zavarivanja)

3.1. Greške ljuštenja i head checks

Kraći opisi grešaka ljuštenja (Code 222) i "head checks" (Code 2223) slijede:

Ljuštenje je oštećenje tračnice koje se javlja u sljedećim oblicima:

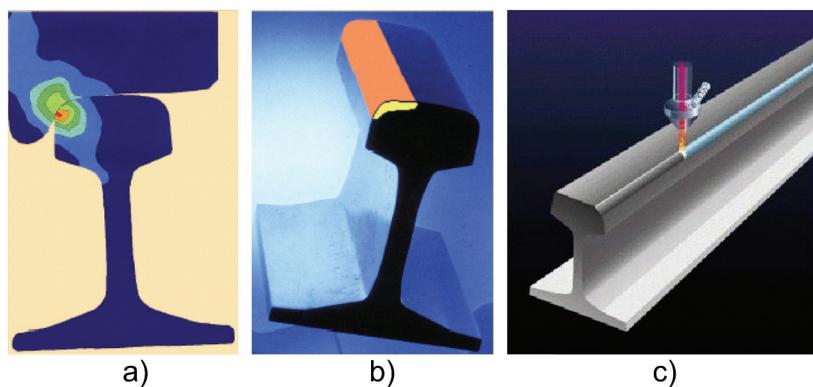
- *Ljuštenje vozne površine* može dostići dubinu od nekoliko milimetara, a predhodi mu pseudo-valovita deformacija vozne površine. Ljuske mogu biti različitih oblika a najčešće su trokutastog ili trapezoidnog oblika. Ove greške otkrivaju se vizualnim promatranjem i sa ultrazvučnim ispitivanjem vozne površine,
- *Ljuštenje rubova vozne površine (iskrzanost)* je oštećenje koje se javlja na voznom rubu tračnice. Prvo nastaju uzdužne pukotine i nepravilno raspoređene duguljaste crne mrlje, a pucanjem ovih mrlja nastaju ljuske koje se odvajaju. Na mjestima gdje pukotine dođu do površine tračnice nastaje iskrzanost. Ova greška javlja se na tračnicama u krivinama koje se podmazuju radi sprečavanja bočnog trošenja. Također se otkrivaju vizualnim i ultrazvučnim ispitivanjem.
- *Head checks* su ljuskave vrlo tanke površinske pukotine koje se primjećuju pretežno na tračnicama u krivinama. Razmak između pukotina može varirati ovisno o lokalnim uvjetima i vrsti čelika tračnice, a obično se kreće od 2 do 7 mm. Nastaju uslijed fenomena

kontaktnog umaranja pri kotrljanju (rolling contact fatigue – RCF).

Head checks oštećenja javljaju se u sljedećem obliku:

- *Head checks s ljkuskama* su pukotine unutar glave tračnice koje napreduju pod kutom od 10° do 15° do maksimalne dubine koja u nekim slučajevima iznosi nekoliko milimetara. Ove pukotine napreduju paralelno sa voznom površinom tračnice, a završavaju na voznom rubu tračnice uzrokujući ljkuskanje,
- *Head checks u obliku dugačke uzdužne pukotine* koja završava na vrhu uzdužne osi tračnice. Uz ovakav oblik *head checks* oštećenja javljaju se male jamice tamnog izgleda, a često dolazi do proširenja vozne površine. Ako se ove pukotine pojavljuju periodično može doći do višestrukih lomova uslijed kontaktnog umaranja. Vrlo ih je teško otkriti u ranoj fazi i predvidjeti njihovu propagaciju,
- Ova oštećenja se otkrivaju vizualnim promatranjem i ultrazvučnim ispitivanjem, a u novije vrijeme sve češće se koristi ispitivanje vrtložnim strujama [6-8].

Zbog sve izraženijeg razvoja *head checks* oštećenja u krivinama, skretnicama i na pružnim prijelazima a koja su uzrokvana prevelikim opterećenjem kontaktnog područja Europska unija je pokrenula projekt "InfraStar". Zadatak ovoga projekta je razviti tračnicu sa jednim dodatnim slojem na voznoj ivici glave tračnice, te na taj način otkloniti preopterećenje kontaktne zone tj. spriječiti nastanak *head checks* oštećenja. U ovaj projekt uključeni su Sveučilište iz Sheffielda te tvrtke Duroc iz Švedske, Corus iz Francuske i mnogi drugi. Nakon mnogobrojnih analiza inženjeri Duroca usredotočili su se na laserskoj tehnologiji "oklopjavanja" tj. nanošenja dodatnog sloja na vozni rub (slika 1) te su za ispitivanja pripremili dva prototipa materijala (Duroc 222 i Duroc 508) koji su uspješno testirani u laboratorijima Sveučilišta u Sheffieldu.



Slika 1. Izgled tračnice sa laserski nanešenim slojem: a) vozna površina tračnice (mjesto kontakta); b) laserski nanešeni sloj (bijeli) na glavi tračnice; c) postupak laserskog nanošenja dodatnog sloja.

Durocova tehnologija laserskog nanošenja dodatnog sloja zasniva se na površinskom postupku sa kojim se legura sa keramičkim dodatcima nanosi na voznu ivicu. Ova tehnologija laserskog nanošenja sloja razvijena je prije više od 10 godina, a prvi puta se primjenjuje na čelike za tračnice. Debljina sloja je oko 3 mm, a širina 17-24 mm. Nakon 18 mjeseci uporabe boljim se pokazao sloj Duroc 222 širine 24 mm [9].

3.2. Greške zavarivanja i navarivanja

U katalogu oštećenja tračnica [6] postoji devet tipova grešaka kategoriranih po UIC kodizaciji i to su:

- poprečne pukotine 411, 421, 431, 471 i 481,
- uzdužne horizontalne pukotine 412, 422, 432 i 472.

Greška Code 411 – oštećenje u elektrootpornom varu (poprečno pucanje profila tračnice)

Ove pukotine se razvijaju kroz poprečni presjek ili od unutarnje greške u glavi varu tračnice ili od oštećenja u kraku stope tračnice. One dovode do pucanja cijelog profila tračnice. Prijelom često sadrži tamnu zonu u glavi ili na kraku stope tračnice.

Greška Code 412 – horizontalno pucanje vrata tračnice

Kod ovog oštećenja pukotina se širi kroz var u vratu tračnice i uglavnom ide krivolinijski, te neminovno izaziva lom tračnice u blizini vara. Popravak se obavlja zavarivanjem u tračnicu kraće dužine.

Greška Code 421 – poprečno pucanje profila tračnice

Oštećenje u aluminotermijskom varu (termitu) se razvija u blizini voznog brida glave tračnice i može dovesti do pucanja cijelog profila. Oštećenja tračnice Code 411 i Code 421 se saniraju zavarivanjem u tračnice kraće dužine oko 3 m ili se zamjenjuju originalnim varom ili širokim aluminotermijskim varom.

Greška Code 422 – horizontalno pucanje vrata tračnice

Oštećenje u aluminotermijskom varu se nalazi općenito u zavarenim tračnicama kod kojih krajevi nisu bili rezani prije zavarivanja. Pukotina obično polazi od rupe za vijke i može se razviti u vratu ili stopi tračnice i dovesti do loma. Ovo oštećenje se može naći i kod svježe zavarenih tračnica bez vezičnih rupa kod kojih nisu bile odstranjene male pukotine na rubu glave.

Greške Code 431 i Code 432 – su od elektrolučnog zavarivanja

Kod ovih grešaka se poprečne pukotine uglavnom razvijaju kroz zadebljanje stope tračnice, a na prijelomu se često javlja tamna mrlja zbog lošeg zavarivanja.

Greška Code 471 – poprečno pucanje glave tračnice

Poprečna pukotina umaranja obično nastaje u korijenu vara, a može biti inicirana od uključka koji izaziva lokalni diskontinuitet vara ili od ljkusice uslijed nepravilnog zagrijavanja. Kada se razvije oštećenje neminovno dovodi do loma tračnice i karakteristično je po tamnoj mrlji koja potječe od metala vara (depozita).

Greška Code 472 – odvajanje ili ljuštenje navarenog dijela (porcije)

Greška Code 481 – poprečno pucanje na mjestu zavarivanja električnog prespoja

Progresivno poprečno pucanje tračnica počinje od vanjskog dijela glave tračnice sa strane vrata ili od mjesta navarivanja električnog prespoja u stopi. Širenje ovakve pukotine umaranja može dovesti do loma cijelog profila tračnice.

Sanacije oštećenja provode se zavarivanjem tračnice u kraće dužine kod grešaka Code: 412, 422, 471 i 481. Kod grešaka Code: 411, 421, 431 i 471 može se prvo mjesto loma osigurati vezičnim pločama.

Metode otkrivanja grešaka su vizualne, ultrazvučne ili druge (tablica 3). Iskustva UIC pokazuju da su najzastupljenija oštećenja od aluminotermijskih varova i to greška Code 421 na koju dolazi 65 do 97 % od svih oštećenja tračnica. Također iskustva UIC su pokazala da se više od 80 % oštećenja tračnica otkriva ultrazvučnom kontrolom.

Tablica 3. Metode otkrivanja oštećenja uslijed grešaka zavarivanja i navarivanja [8]

Oznaka greške po UIC	Metoda otkrivanja oštećenja				Primjedbe ili mjesto
	Vizualna	Ultrazvučna		Ostale	
		vozilo	ručno		
411	C	A	A	ne	profil
412	B	A	A	ne	vrat
421	C	B	A	ručna ultrazvučna	profil
422	B	A	A	ne	vrat
431	C	A	A	ne	profil
432	B	A	A	ne	vrat
471	C	A	A	ne	glava
472	B	C	B	ispitiv. geom. kolosijeka	električni prespoj
481	A	B	B	ne	odvojeno

A – u većini slučajeva se otkrivaju glavna oštećenja

B – oštećenje se potencijalno može otkriti

C – ovo oštećenje se može otkriti samo povremeno (slučajno)

4. REZULTATI ISPITIVANJA GREŠKE CODE 481

Za ispitivanja uzroka oštećenja izrezan je uzorak s mjesta na kojima je nastao lom tračnice. Tračnica je profila UIC 60 ugrađena u magistralni kolosijek Slavonski Brod – Nova Gradiška. Na slikama 2, 3 i 4 dan je izgled uzorka tračnice s lomom, izgled prijelomne površine i detalja loma umaranjem, koji je iniciran navarivanjem električnog prespoja u stopi tračnice [10].



Slika 2. Uzorak loma tračnice s HŽ pruge



Slika 3. Lomna površina uzorka tračnice



Slika 4. Dio lomne površine nastao umaranjem

Na lomnoj površini zapaža se uznapredovali oksidacijski proces eliptičnog oblika, zagasit koji obuhvata oko četvrtine stope tračnice. Tamno polje započinje ispod navarenog sloja depozita i prostire se u dubinu tračnice. To je dio trajnog loma uslijed umaranja, a prikazan je povećano na slici 4.

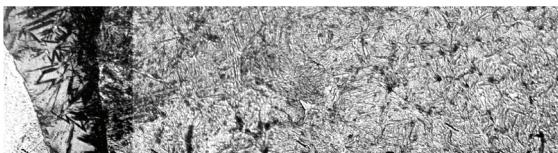
Na slici 5 dan je izgled mikrostrukturi lomne površine s otkrivenom većom pukotinom, a na slici 6 izgled mikrostrukturi u blizini lomne površine.

Laboratorijsko ispitivanje mikrotvrdoča provedeno je Vickersovom metodom HV 0,1 (opterećenja 0,981 N) na istom mjestu gdje je snimljena mikrostruktura (slika 6), a rezultati ispitivanja prikazani su dijagramom na slici 7.

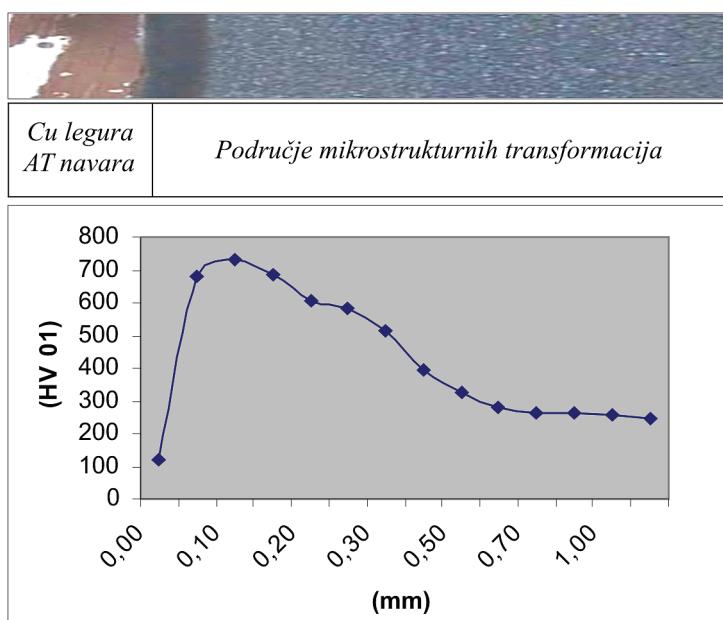
Iz dijagrama tvrdoča zapaža se veliki porast tvrdoće sloja ispod navara (do 750 HV 0,1) u odnosu na osnovni materijal stope tračnice. Na slikama 5 i 6 vidljive su znatne promjene mikrostrukture (pojava igličastog martenzita) kao posljedice lokalnog unosa topline navarivanja električnog prespoja u stopi.



Slika 5. Izgled mikrostrukture lomne površine s pukotinom uz pov. 120:1, nagriženo 2 % nitalom



Slika 6. Izgled mikrostrukture u blizini lomne površine uz pov. 400:1, nagriženo 2 % nitalom



Slika 7. Rezultati ispitivanja mikrotvrdoća HV 0,1

5. ZAKLJUČAK

Suvremeni uvjeti eksploatacije željezničkih tračnica s povećanim brzinama i osovinskim opterećenjima dovode do porasta zaostalih naprezanja i različitih površinskih oštećenja na glavama tračnica. Iako su znatno pooštreni uvjeti prijama i isporuke tračnica u EN 13674-1 u eksploataciji nastaju razna oštećenja.

U radu su dani nazivi novih standarda i prijedloga europskih standarda za željezničke tračnice. Dani su osnovni zahtjevi na svojstva, podaci iz Kataloga oštećenja UIC, te opis grešaka ljuštenja i head checks, te posebice devet grešaka zavarivanja i navarivanja. Također su obrađeni i rezultati laboratorijskog ispitivanja greške Code 481 sa pruge HŽ, kod koje je lom umaranjem bio iniciran navarivanjem električnog prespoja u stopi tračnice.

U Europi se već godinama radi na otkrivanju i sanaciji takvih oštećenja na željezničkim tračnicama, a u RH je problematika također otkrivena prije nekoliko godina i na HŽ se poduzimaju potrebite mjere za saniranje problema i osiguranje pouzdanosti željezničkog prometa.

6. LITERATURA

- [1] Vitez I., Krumes D., Kladarić I., "The Comparison of the properties of railway rail steels by codex UIC 860V and draft new European standard", Tehnički vjesnik 10 (2003) (3, 4), 35-41.
- [2] Vitez I., Oruč M., Krumes D., Kladarić I., "Damage to railway rails caused by exploitation", Metalurgija 46 (2007) 2, 123-128.
- [3] Vitez I., Kladarić I., Aračić S., "The principles of treatment of railway rails defects", 17th International DAAAM Symposium, B. Katalinić, Vienna (Austrija), 08.-11.11.2006, 433-434.
- [4] Vitez I., Hozjan T., Građevinar 55 (2003) 5, 279-284.
- [5] Vitez I., Kladarić I., Pecić V., Hozjan T., "Površinska oštećenja glave željezničkih tračnica u eksploataciji", International Conference MATRIB 2006 Abstracts book + CD, K. Grilec, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Vela Luka, 22.-24.06.2006., 250-255.
- [6] *** Code UIC 712 R, 4th edition, Catalogue of Rail defects, February 2002.
- [7] *** UIC Leaflet 721 R: Draft of 09.07.2003.
- [8] *** UIC Leaflet 725 R: Draft of 11.07.2006.
- [9] 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>,
- [10] Pecić V. "Utvrđivanje uzroka loma tračnice sa HŽ pruge", Diplomski rad., Slavonski Brod, Strojarski fakultet, 2005.