

VAŽNOST LOMNE ŽILAVOSTI ZA KVALITETU ŽELJEZNIČKIH TRAČNICA

IMPORTANCE OF FRACTURE TOUGHNESS FOR QUALITY OF RAILWAY RAILS

Dr.sc. Ivan Vitez, redoviti profesor
Dr.sc. Dragomir Krumes, redoviti profesor u tr.zv.
Dr.sc. Vlatko Marušić, izvanredni profesor
Strojarski fakultet, Slavonski Brod, Sveučilište u Osijeku
35000 Slavonski Brod, Hrvatska

Ključne riječi: lomna žilavost, kvaliteta, željezničke tračnice, standardi

REZIME

Lomna žilavost je vrlo važno svojstvo za prijam željezničkih tračnica. Prvi puta je naglašena potreba za određivanjem lomne žilavosti željezničkih tračnica u standardu Međunarodne željezničke unije UIC 860V od 1986. godine zbog osiguranja pouzdanosti prometa. Na području Europske unije tek su u prijedlogu standarda EN 13674-1 od 1999. precizno propisani novi zahtjevi kroz kvalifikacijske kriterije i prijamna ispitivanja svojstava kao što su lomna žilavost na sniženoj temperaturi, brzina rasta pukotine umaranja, metalografska ispitivanja, tvrdoća na kotrljajućoj površini itd.

U radu su uspoređeni zahtjevi norme UIC 860 V s posebnim naglaskom na propisana svojstva u novom europskom standardu EN 13674-1 od 2004. godine i vlastite rezultate ispitivanja.

Key words: fracture toughness, quality, railway rails, standards

ABSTRACT

Fracture toughness is a very important material property for acceptance railway rails. In standard of the International Railway Union UIC 860 V from 1986. was emphasized necessity for determination fracture toughness of railway rails due to improvements of assurance the reliability of traffic. Within the European Community are in draft pr EN 13674-1 from 1999. precise prescribed new requirements through qualifying criteria and acceptance properties tests as fracture toughness on lower temperature, fatigue crack growth rate, metalographical tests, hardness values on running surface etc.

In this work are compared the requirements Codex UIC 860 V with special accent on prescribed properties in new European standard EN 13674-1 from 2004. and own results of examination railway rails.

1. UVOD

Željezničke tračnice su vrlo važan element kolosijeka čiji su temeljni zadaci da sigurno nose i vode željeznička vozila, te da što dulje traju u eksploataciji bez oštećenja. U suvremenim uvjetima eksploatacije željezničke tračnice su izložene kako porastu brzina i osovinskog

opterećenja, tako i porastu naprezanja od zavarenih kolosijeka. Zbog tih povećanih zahtjeva glede uvjeta eksploatacije morali su se postaviti i u normama za proizvodnju i isporuku tračnica veći zahtjevi na kvalitetu čelika za tračnice. Zbog toga je još norma Međunarodne željezničke unije Codex UIC 860 V/1986. obvezala proizvođače tračnica da se moraju potruditi da proizvedu tračnice s što boljim svojstvima u pogledu:

- zaostalih naprezanja,
- sadržaja nemetalnih uključaka i
- lomne žilavosti.

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

- porastom mase tračnica po dužnom metru s 45 do 77 kg/m;
- 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 s čvrstoćom većom od 900 MPa kroz smanjivanje dopuštenih sadržaja štetnih primjesa fosfora i sumpora (na max. 0,025-0,030 %);
- proizvodnjom sve duljih tračnica s 12 do 120 m.

Povećanje mase tračnica po duljinskom metru i čvrstoće omogućilo je veće momente otpornosti, a time i podnošenje većih osovinskih opterećenja uz umanjeno trošenje materijala. Porast vlačne čvrstoće čelika za tračnice, a time i njegove dinamičke izdržljivosti, ostvaren je uglavnom izmjenom kemijskog sastava i čistoće čelika. Potrebna sigurnost od krhkog loma ostvarena je kroz propisana svojstva deformabilnosti (istezanje, otpornost na udar), lomnu žilavost, mikrostrukturu i čistoću metala.

Suvremena tehnologija proizvodnje željezničkih tračnica i zahtjevi za visokim brzinama na željeznicama traže stalno poboljšavanje osiguranja kvalitete, što uvjetuje i dopunu relevantnih normi s novim metodama ispitivanja radi utvrđivanja propisanih svojstava [1,2,3,4,5].

2. PROPISANA SVOJSTVA ČELIKA ZA ŽELJEZNIČKE TRAČNICE

2.1. Zahtjevi norme UIC 860V

Tehničke uvjete izradbe i isporuke željezničkih tračnica su propisala je normom UIC 860V Međunarodna željeznička unija.

U tablici 1. je pregled propisanih vrijednosti kemijskog sastava i vlačnih svojstava za četiri vrste prirodno tvrdih čelika za tračnice [2].

Iz tablice 1. slijedi da se porast vlačne čvrstoće kod čelika za tračnice ostvaruje povećanjem sadržaja ugljika, mangana, silicija i kroma, dok se potrebna čistoća čelika postiže smanjivanjem dopuštenog sadržaja fosfora i sumpora.

Tablica 1. Propisani kemijski sastav i vlačna svojstva čelika za tračnice po UIC 860v.

Vrsta čelika	Kemijski sastav, elementa u % mase						Vlačna čvrstoća R_m , MPa	Istezanje A_5 , min, %
	C	Mn	Si	Cr	P_{max}	S_{max}		
R0700	0,4-0,6	0,8-1,25	0,05-0,35	-	0,05	0,05	680-830	14
R0900 A	0,6-0,8	0,8-1,3	0,1-0,5	-	0,04	0,04	880-1030	10
R0900 B	0,55-0,75	1,3-1,7	0,1-0,5	-	0,04	0,04	880-1030	10
R1100 *	0,6-0,82	0,8-1,3	0,3-0,9	0,8-1,3	(0,025)	0,03	≥ 1080	9

* Drugi legirajući elementi kao V ili Mo, Nb mogu se upotrijebiti prema dogovoru između proizvođača i kupca

2.2. Zahtjevi vodećih normi u svijetu

U tablici 2 pregledno su dani kemijski sastavi i mehanička svojstva čelika za tračnice po vodećim normama u svijetu (uključivo i UIC 860V), koji su svrstani u tri grupe čelika i to:

- 1 – normalni ($R_m \geq 700$, 750 i 800, najviše do 830 MPa),
- 2 – otporni na trošenje ($R_m \geq 880$ do 1030 MPa) i
- 3 – vrlo otporni na trošenje ($R_m \geq 1080$ do 1400 MPa) [3, 10].

3. ZAHTJEVI PRIJEDLOGA NOVE EUROPSKE NORME PR. EN 13674-1, ODNOSNO EN 13674-1/2004.

Prijedlog nove europske norme za željezničke tračnice pr EN 13674-1 od lipnja 1999. – Dio 1 obuhvaća simetrične tračnice s širokom stopom s masom ≥ 46 kg/m. Nakon javne rasprave usvojen je 2004. kao prvi dio europskog standarda.

Moderna tehnologija proizvodnje željezničkih tračnica i zahtjevi za visokim brzinama na željeznicama dali su potpuno novi pogled na filozofiju i sadržaj ovog dijela EN. Gdje god 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.

Načelno je prijamni kriterij utemeljen na izmjenjenim vrijednostima tvrdoće, po kojima su uvedene i nove oznake vrsta čelika za željezničke tračnice [2].

U tablici 3. dane su vrste čelika za tračnice, raspon tvrdoća i lomne žilavosti, opis i izgled utisnute oznake na vratu tračnica.

3.1. Kvalifikacijski kriteriji

Sva kvalifikacijska ispitivanja trebaju se izvršiti najmanje jednom svakih pet godina i kod znatnih promjena u proizvodnom procesu kod svih vrsta čelika za tračnice. Dopunska ispitivanja zaostalih naprezanja trebaju se obaviti na raspoloživim vrstama čelika svake dvije godine, a najveća podužna zaostala naprezanja u stopi su do 250 MPa.

Tablica 2. Kemijski sastav i mehanička svojstva čelika za tračnice po vodećim normama.

Čelici za tračnice	Kemijski sastav elemenata u %						Vlačna čvrstoća R _m , MPa	Istezanje, min.vr. A ₅ , %	Vrijednosti tvrdoće HB
	C	Mn	Si	P _{max}	S _{max}	Cr			
Normalni:									Približne:
R0700 UIC 860V/86	0,40-0,60	0,80-1,25	0,05-0,35	0,05	0,05	-	680-830	14	200-245
R0700 BS 11/78	0,45-0,60	0,95-1,25	0,05-0,35	0,05	0,05	-	min. 710	9	≥ 210
R0700 JIS E 1101/74	0,55-0,70	0,60-0,95	0,07-0,35	0,045	0,05	-	min. 687 ¹⁾	9	≥ 203
R0750 i JRS 01104	0,60-0,75	0,60-0,95	0,07-0,35	0,045	0,05	-	min. 736 ²⁾	9	≥ 218
R0800 i JRS 01104	0,60-0,75	0,70-1,10	0,10-0,30	0,035	0,04	-	min. 785 ³⁾	8	≥ 233
R0800 i JRS 01104	0,60-0,75	0,70-1,10	0,13-0,30	0,035	0,04	-	min. 785	10 ⁴⁾	≥ 233
Otporni na trošenje:									
R0900A UIC 860V/86	0,60-0,80	0,80-1,30	0,10-0,50	0,04	0,04	-	880-1030	10	262-304
R0900B UIC 860V/86	0,55-0,75	1,30-1,70	0,10-0,50	0,04	0,04	-	880-1030	10	262-304
A BS 11/78 (R0900A)	0,65-0,78	0,80-1,30	0,05-0,50	0,05	0,05	-	min. 880	8	≥ 262
B BS 11/78 (R0900B)	0,50-0,70	1,30-1,70	0,05-0,50	0,05	0,05	-	min. 880	8	≥ 262
									Propisane:
90-114 1b/yd AREA/84*	0,67-0,80	0,70-1,00	0,10-0,50	0,035	0,037	max.0,25	-	-	min. 248
≥115 1b/yd AREA/84**	0,72-0,82	0,80-1,10 ⁵⁾	0,10-0,50	0,035	0,037	max.0,25	-	-	min. 269 ili 286 gg
									Približne:
M71 GOST ili TU	0,64-0,77 ⁶⁾	0,60-0,90	0,13-0,28	0,040	0,050	-	-	-	-
M74 GOST 24182/80	0,69-0,80 ⁷⁾	0,75-1,05	0,18-0,40	0,035	0,045	-	min. 863	5 (A ₁₀)	≥ 256
M76 GOST 24182/80	0,71-0,82 ⁸⁾	0,75-1,05	0,18-0,40	0,035	0,045	-	min. 883	4 (A ₁₀)	≥ 263
Vrlo otporni na trošenje:									Približne:
R1100 UIC 860 V/86 ⁹⁾	0,60-0,82	0,90-1,30	0,30-0,90	0,03	0,030	0,80-1,30	min. 1080	9	≥ 319
									Propisane:
ASTM A1-84	bez podataka								321-388 (TO)
M74 i M76 GOST 18267-82	sastava kao kod GOST 24182 (bez TO)						min. 1166	6 (A ₁₀)	341-388 (TO)
THS11 Thyssen ¹⁰⁾ (R1100)	0,60-0,80	0,80-1,30	max. 0,90	0,030	0,030	0,70-1,20	min. 1080 i min. 1140 gg	9	min. 340 (TO)
THS12 Thyssen ¹⁰⁾ (R1200)	0,70-0,80	0,80-1,30	0,80-1,20	0,030	0,030	0,80-1,20	min. 1200	8	min. 360 (TO)
Mn-Si Voest-Alpine (R1000)	0,71 ¹¹⁾	1,35	0,70	0,030	0,030		980	10	-
Cr-Mn Voest-Alpine (R1100)	0,68 ¹²⁾	1,25	0,55	0,030	0,030	1,05	1080	10	-

1) Tračnice tipa 37 kg/m, 2) Tračnice tipa 50 kg/m, 3) Tračnice tipova 40N i 50N, 4) Tračnice tipa 60 kg/m, 5) Gornja granica (gg) mangana može biti do 1,25%, 6) Tračnice tipova R38 i R43, 7) Tračnice tipa R50, 8) Tračnice tipova R65 i R75, 9) Drugi legirajući elementi kao npr. V ili Mo dogovaraju se između proizvođača i kupca, 10) Sadržaj vanadija ≤ 0,20%, 11) Srednje vrijednosti rezultata ispitivanja, 12) Orijentacijske vrijednosti s specijalnom dezoksidacijom,
* Tračnice tipova 44,6 do 56,6 kg/m, ** Tračnice tipova ≥57,0 kg/m

Tablica 3. Vrste čelika, rasponi tvrdoća, lomne žilavosti i drugo

Vrste čelika	Rasponi tvrdoća, HBW	Lomna žilavost, K_{IC} (MPa m ^{1/2}) minimalne vrijednosti		Opis	Oznaka na vratu	R_m min. MPa	Istezanje min. A_5 , %
		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

Propisana su slijedeća kvalifikacijska ispitivanja:

- lomna žilavost, K_{IC} (vidi tablicu 3, s pet ispitnih uzoraka savijanjem u 3 točke na -20 °C),
- brzina rasta pukotine umaranja (17 m/Gc pri $\Delta K=10$ MPa m^{1/2} i 55 m/Gc pri $\Delta K=13,5$ MPa m^{1/2} izuzev za vrste 200 i 320 Cr),
- ispitivanje umaranjem (vijek svakog ispitnog uzorka mora biti $\geq 5 \times 10^6$ ciklusa pri $\epsilon_{uk} = 0,00135$),
- zaostala naprezanja u stopi tračnice,
- variranje tvrdoće toplinski tretiranih tračnica od centra linije površine kotrljanja (do ± 15 HBW od srednje vrijednosti rezultata),
- vlačna čvrstoća i istezljivost (R_m i A_5), uglavnom se računaju pomoću višestruke regresijske analize,
- segregacije (Bauman-ov sumporni otisak po ISO 4968),
- ostali kvalifikacijski zahtjevi.

3.2. Prijamna ispitivanja

U okviru prijamnih ispitivanja vrši se niz laboratorijskih ispitivanja:

- kemijski sastav (opći, maks. dopušteni % H, O, Al, V, N, te oligoelemenata),
- mikrostruktura (pri povećanju x500),
- dekarbonizacija (maks. do 0,25 mm),
- oksidna čistoća ($K_3 < 10$ na min. 95% uzoraka),
- sumporni otisak (postoji 13 referentnih prihvatljivih ili neprihvatljivih otisaka),
- tvrdoća (HBW 2,5 mm/1,839 kN, 15 s; maksimalno dopuštena varijacija do 30 HBW),
- vlačno ispitivanje ($d_0=10$ mm, $L_0=5 d_0$ za vrste 350 HT i 350 LHT; R_m i A_5 većinom se računaju pomoću predvidljivih jednadžbi iz 100 do 200 šarži s dopuštenim rasipanjem do 12,5 MPa kod R_m odnosno do 1% kod A_5).

Ostala prijamna ispitivanja tračnica su: dimenzijske tolerancije; mjerila (kontrolni kalibri); inspekcijски zahtjevi / tolerancije za unutarnju i površinsku kvalitetu.

Unutarnja kvaliteta se kontrolira ultrazvučno u kontinuiranom procesu proizvodnje, a obuhvaća najmanje 70% glave i najmanje 60% vrata tračnice. Površinska kvaliteta obuhvaća kontrolu: izbočenosti, oštećenja od valjanja kao šavovi, ogrebotine, krhotine, i sl.; oštećenja u

hladnom stanju, površinska oštećenja mikrostrukture (martenzit ili bijela faza), automatsku kontrolu stope na površinska oštećenja (pukotine) [7].

Profili tračnica, dimenzije, svojstva i linearna masa moraju biti u skladu s propisom u prijedlogu ove norme. Prijedlog norme sadrži 21 različiti profil željezničkih tračnica s masama od 46 do 60 kg/m.

3.3. Važnost lomne žilavosti

Lomna žilavost K_{IC} određuje otpornost materijala prema lomu u neutralnoj sredini za slučaj kada u materijalu izloženom vlačnom opterećenju postoji grješka tipa pukotine tako da se u njezinoj okolini uspostavlja stanje ravne deformacije napona koje ograničava razvoj deformacije na dva pravca, a plastična zona na vrhu pukotine ostaje mala u odnosu na veličinu pukotine i dimenzije epruvete u pravcu djelovanja opterećenja. K_{IC} predstavlja u stvari donju granicu vrijednosti lomne žilavosti i koristi se za određivanje odnosa između napona loma i veličine grješke materijala u uporabi. Vrijednost K_{IC} ovisi o brzini ispitivanja, temperaturi i agresivnosti sredine. Ispitivanje K_{IC} je neuobičajeno po tome što se ne može sa sigurnošću unaprijed tvrditi hoće li rezultati pojedinačnih opita biti mjerodavni ili ne. Vrlo je važno da budu pri tome strogo primjenjivani svi kriteriji propisani u standardu ASTM E399.

Mehanika loma daje za tehničku primjenu slijedeće:

- a – mjeru žilavosti materijala pri izboru i razvoju materijala,
- b – kriterij za ocjenu kritične veličine dopuštene pukotine ili grješke u strojnim dijelovima,
- c – mogućnost praćenja širenja pukotina otkrivenih u strojnim dijelovima metodama ispitivanja bez razaranja,
- d – analize oštećenja, mogućnost proračuna ili kritične veličine grješke ili kritičnog opterećenja ili proračuna stvarnog ponašanja materijala strojnog dijela pri lomu,
- e – mogućnost određivanja broja ciklusa opterećenja do postizanja kritične dužine pukotine iz poznavanja brzine širenja pukotine u materijalu i time određivanja intervala za inspekcije,
- f – mogućnost ocjene pogodnosti materijala za danu primjenu,
- g – dopunu za kontrolu kvalitete u proizvodnji.

Mehanika loma se koristi za ispitivanje svojstava slijedećih materijala: metali, keramika, staklo, beton, stijene, plastika i sl. Pri ispitivanjima metodama mehanike loma vrši se mnogo izračunavanja, te je nužna uporaba računala ili strojeva za ispitivanje snabdjevenih sa standardnim programskim paketima mehanike loma.

Pregled standarda i preporuka mehanike loma sa primjenom dan je u tablici 4.

Standard UIC 860 V iz 1986., poradi značaja željezničkih tračnica osobito kod velikih brzina i tereta u sadašnjim uvjetima, prvi je propisao da proizvođač mora proizvesti tračnice pored ostalih važnih svojstava i sa što boljom lomnom žilavosti (bez preciziranja vrijednosti).

Standard NR Kine: Technical Specification of China 50 kg/m. Ordinary Strength Rails, Peking, 1988., dvije godine nakon UIC, propisuje već za željezničke tračnice sa minimalnom vlačnom čvrstoćom od 912 MPa (tzv. tračnice otporne na trošenje) najmanje vrijednosti za žilavost loma:

$$K_{IC} \text{ (prosječna)} = \min. 43 \text{ MPam}^{1/2} \text{ i}$$
$$K_{IC} \text{ (pojed.in.vr.)} = \min. 40 \text{ MPam}^{1/2}.$$

Pored toga citirani standard je pooštrio i uvjete za čistoću čelika (max. dopušteni sadržaj fosfora, sumpora, vodika) i sl., što ukazuje na sve oštrije zahtjeve kupaca i za željezničke tračnice.

Tablica 4. Pregled standarda mehanike loma.

Oznaka standarda (ili preporuke)	Karakteristika materijala, primjena
ASTM E399-91 BS 5447-1977 GOST 25.506-85 MSZ 4927-76 ČSN 42 0347 JUS C.A4.084.	Žilavost loma K_{IC} ($MPa m^{1/2}$) (fracture toughness) Kratka definicija: K_{IC} je kritična vrijednost koncentracija naprezanja na vrhu pukotine pri kojoj nastupa nestabilnost pukotine pod uvjetima stanja ravne deformacije.
ASTM E 813-89 JSM ES 001-1981	Kritični – J –integral, J_{IC} (critical J integral)
BS 5762-1979 MSZ 4928-76 ČSN 42 0348	Otvaranje pukotine, COD (crack opening displacement)
ASTM E 647-83 GOST RD 50.345-82	Brzina stabilnog rasta pukotine, da/dN (crack propagation rate at constant amplitude)
ASTM E 561-81	Krivulja otpornosti pukotini, R-krivulja (R-crack resistance curve)
ASTM E 616-82	Standardna terminologija za ispitivanje loma
JUS C.A4.035 JUS C.A4.083	Ispitivanje zamaranjem Osnovni pojmovi i veličine i mehanici loma

4. REZULTATI ISPITIVANJA

Ispitivanje vlačnih svojstava i lomne žilavosti izvršeno je na uzorcima iz 9 različitih šarži čelika za tračnice iz 3 vrste čelika i to:

- 6 uzoraka iz 4 šarže od vrste čelika R0700 (profil 49 kg/m),
- 5 uzoraka iz 4 šarže od vrste čelika R0900A (profil 49 kg/m) i
- 2 uzorka iz 1 šarže od vrste čelika R0900B (profil UIC 60, tj. 60 kg/m).

Sumarni pregled rezultata navedenih ispitivanja dan je u tablici 5.

Tablica 5. Oznake čelika, vlačna svojstva i lomna žilavost [5,6].

Oznaka		Granica razvlačenja, MPa	Vlačna čvrstoća, MPa	Istezljivost A_5 , %	Lomna žilavost, K_{IC} , $MPa m^{1/2}$
čelik za tračnice	vrijednosti				
R 0700	raspon	410-484	733-802	18-21,2	39,87-58,81
	srednja	463	758	19,9	48,25
R 0900A	raspon	534-570	963-980	10-12,4	34,56-46,73
	srednja	549	972	11	41,20
R 0900B	raspon	594	935	13,2	28,84-28,96
	srednja	-	-	-	28,90

* - 6 uzoraka iz 4 šarže, ** - 5 uzoraka iz 4 šarže, *** - 2 uzorka iz 1 šarže

Ispitivanje lomne žilavosti izvršeno je na ispitnim uzorcima savijanja u 3 točke iz glava tračnica dimenzija 28x56x240 mm (BxWxL) sa zarezom. Kriterij minimalne potrebne debljine uzorka: $B, a \geq 2,5 (K_Q/K_C)^2$ za izračunavanje vrijednosti lomne žilavosti K_{IC} bio je ispunjen kod uzoraka iz čelika R0900A i R0900B, a kod R0700 djelomično (ovisno o vlačnoj čvrstoći šarže). Broj uzoraka iz čelika R0900B nije bio dovoljan za ocjenu lomne žilavosti i trebalo bi ponoviti ispitivanje na većem broju ispitnih uzoraka (iz više šarži). Inače novi europski standard propisuje određivanje lomne žilavosti samo na tračnicama s profilom veće mase od 60 kg/m, tj. od UIC 60 pa na više.

5. ZAKLJUČAK

Po standardu UIC 860V/1986. bile su propisane četiri vrste perlitnih čelika s čvrstoćama 700 do 1100 MPa za željezničke tračnice (tablica 1), a u prijedlogu EN/1999. dano je sedam vrsta perlitnih čelika s rasponom tvrdoća između 200 do 390 HBW (tablica 3).

Prijedlog EN/1999. ima dvije glavne vrste ispitivanja: kvalifikacijska i prijamna. Kvalifikacijska ispitivanja uvode i neka svojstva kojih nije bilo u ranijim normama, a uključuje i tipične rezultate iz relevantnih prijamnih ispitivanja. Prijamna ispitivanja kontroliraju propisana svojstva koja osiguravaju proizvodnju tračnica visoke kvalitete i zahtjeve željezničkih uprava u skladu s normom EN ISO 9001 prema zadnjoj dokazanoj tehnologiji.

Prijamni kriterij je utemeljen na mjerenjima vrijednosti tvrdoće, a vrijednosti vlačnog ispitivanja su dio kvalifikacijskih ispitivanja.

Nova svojstva koja traže kvalifikacijska ispitivanja su: lomna žilavost, brzina rasta pukotine umaranja, ispitivanje umaranjem, zaostala naprezanja u stopi tračnice, kontinuirana ultrazvučna kontrola itd.

Prijedlog nove europske norme EN 13674-1:1999 povećao je broj propisanih vrsta čelika za željezničke tračnice s 4 na 7, što je usklađeno s propisima vodećih nacionalnih normi, uveo novi način označivanja čelika za tračnice prema tvrdoći i znatno je postrožio uvjete prijama željezničkih tračnica s nizom novih svojstava. To je vrlo važno za povećanje sigurnosti i pouzdanosti željezničkog prometa, a posebice u uvjetima većih brzina.

U radu su dani i rezultati ispitivanja čelika za željezničke tračnice željezare Zenica od 3 vrste čelika, a kriterije su ispunile vrste R0700 i R0900A.

Zahvalnost:

Ovaj rad je urađen u okviru projekta "Usvajanje tehničke dijagnostike i rješavanje problematike održavanja tračnica na prugama HŽ", a prikazani rezultati su nastali u okviru programa TEST – Tehnologijski istraživačko-razvojni projekti uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa RH.

6. LITERATURA

- [1] Bienzeisler, H., Schmedders, H., Wick, K.: Moderne Schienenerzeugung bei der Thyssen Stahl AG, Thyssen Technische Berichte, (1988.) H. 1, 147-159.
- [2] *** Different norms: UIC 860V/1986, ASTM A1-84, AREA 1984, GOST 24182-80, GOST 18267-82, BS 11/1985, JIS 1101-1980, JIS E 1120-1978, Draft pr EN 13674-1/1999.
- [3] *** ORE-Frage D156: Möglichkeiten zur Verbesserung der Gebrauchseigenschaften von Schienen durch metallurgische Massnahmen, Bericht 1, Utrecht, 1984.
- [4] Schweitzer, R., Flügge, J., Heller, W.: Einflüsse auf das Bruchverhalten von Schienen, Stahl und Eisen, 105 (1985.), Nr. 25-26, 1451-1456.
- [5] Vitez, I.: The fracture toughness and the fatigue strength of railway rails, Metalurgija 35(1996.)1, 49-51.
- [6] Vitez, I., Budić, I., Krumes, D.: The Correlations between Impact Energy and Fracture Toughness, Proceedings of the Charpy Centenary Conference, Poitiers, 2001, Vol. 1, 225-231.
- [7] Vitez, I., Hozjan, T.: Usporedba normi o svojstvima čelika za željezničke tračnice, Građevinar 55 (2003) 5, 279-284.
- [8] Vitez, I.: Uloga mehanike loma u osiguravanju kvalitete proizvoda, Zbornik radova 2nd TMT Zenica 1995, 501-510.