

## Tehnički zahtevi za izbor kvaliteta šinskog čelika

ZDENKA J. POPOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Građevinski fakultet, Beograd

MILICA S. MIČIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Građevinski fakultet, Beograd

LUKA M. LAZAREVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Građevinski fakultet, Beograd

Pregledni rad

UDC: 669.14

625.143

DOI: 10.5937/tehnika2202165P

*Najčešći tipovi šinskih defekata na savremenim železničkim prugama nastaju usled zamora šinskog čelika pri kotrljanju točkova železničkih vozila. Jedan od načina da se uspori njihov razvoj je primena novih tipova šinskog čelika povećane tvrdoće u krivinama većih radijusa i drugim karakterističnim deonicama koloseka. Srpski standard SRPS EN 13674-1:2017 – Primene na železnici – Kolosek – Šine – Deo 1: Vinjolove šine mase 46 kg/m i većih masa po dužnom metru, obuhvata devet vrsta perlitnog šinskog čelika tvrdoće od 200 do 440 HBW. Upravljači infrastrukture sve češće primenjuju tvrdoće šinskih čelika  $\geq 350$  HBW u cilju produženja životnog veka šina u koloseku. U radu su prikazane UIC preporuke u vezi primene kvaliteta šinskog čelika zasnovane na rezultatima najnovijih istraživanja i iskustava iz prakse, kao i preporuke za reprofilsanje glave vozničkih šina.*

**Ključne reči:** železnica, šine, zamor pri kotrljanju, tvrdoća čelika, kvalitet šinskog čelika

### 1. UVOD

Povećanje saobraćajnog i osovinskog opterećenja, uz povećanje brzina i razlika u brzinama na prugama za mešoviti železnički saobraćaj, kao i saobraćanje novih generacija železničkih vozila na savremenoj železničkoj mreži doprinelo je bržoj degradaciji vozničkih šina u koloseku. S obzirom na to da se u Srbiji intenzivno grade železničke pruge za brzine do 200 km/h, od izuzetnog značaja je da se na vreme usvoje i primene savremena znanja u oblasti upravljanja životnim vekom vozničkih šina u koloseku pod železničkim saobraćajem. Važan aspekt upravljanja životnim vekom šine je izbor odgovarajućeg kvaliteta šinskog čelika koji treba da uspori pojavu i razvoj šinskih defekata.

Najveći broj tipova šinskih defekata, koji doprinose skraćanju životnog veka šine u savremenom koloseku i koji mogu da ugroze bezbednost železničkog transporta, nastaju usled zamora šinskog čelika pri kotrljanju točkova železničkih vozila (eng. rolling contact fatigue –

RCF rail defects). RCF šinski defekti se javljaju u zonama velikih i složenih kontaktnih naprezanja na glavi vozničkih šina u dodiru sa točkovima vozila i izražena su pojava i otvoreno pitanje na železnicama širom sveta.

Ovaj fenomen se manifestuje na konvencionalnim prugama, kao i na prugama za velike brzine. Takođe, RCF defekti se uočavaju, kako na prugama za težak teretni saobraćaj, tako i na prugama za mešoviti i putnički saobraćaj, na šinama u kolosecima u zastoru od tucanika, kao i na šinama u kolosecima na čvrstoj podlozi.

Zamor šinskog čelika u dodiru točak/šina obuhvata složeni proces razaranja njegove strukture, koji je iniciran početnom mikro-prslinom koja se razvija u potpovršini glave šine i koja može da dovede do loma šine u koloseku pod dejstvom cikličnog opterećenja od točkova vozila, koje se prenosi na šinu preko male dodirne površine.

Primena većih radijusa kružnih krivina u uslovima većih brzina na savremenim prugama nije dovela do smanjenja degradacije šinskih čelika, uprkos poboljšanju kvaliteta šinskog čelika. Iskustva pokazuju da se RCF defekti javljaju u krivinama radijusa do 3000 m na konvencionalnim prugama, odnosno do 5000 m na prugama za velike brzine. Pored toga, u krivinama malih radijusa (do 400 m) i dalje ostaje izražen

---

Adresa autora: Zdenka Popović, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

e-mail: zdenka@grf.bg.ac.rs

Rad primljen: 11.10.2021.

Rad prihvaćen: 28.01.2022.

problem bočnog habanja spoljne šine i vertikalnog talasastog habanja unutrašnje šine, naročito na prugama za mešoviti saobraćaj zbog problema manjka nadvišenja za putnička vozila i viška nadvišenja za teretna vozila. Ovaj problem je izraženiji ukoliko su razlike najbržih i najsporijih vozila veće.

U Srbiji je prihvaćen evropski standard EN 13674-1:2017 [1] kao srpski standard. Ovim evropskim standardom definisano je 23 tipa Vinjolovih šina sa masom po dužnom metru koja je veća ili jednaka 46 kg/m, koji mogu da se koriste na konvencionalnim prugama i prugama za velike brzine. Standard obuhvata devet vrsta perlitnog šinskog čelika tvrdoće 200 – 440 HBW.

Takođe, standard se odnosi na termički netretiran nelegirani čelik, termički netretiran legirani čelik, termički tretiran nelegirani čelik i termički tretiran legirani čelik. S obzirom na to da se na ovaj standard pozivaju Tehničke specifikacije interoperabilnosti koje se odnose na sistem železničke infrastrukture [2], njegova primena je obavezna na prugama u Republici Srbiji u skladu sa Zakonom o interoperabilnosti železničkog sistema [3].

Pravilnik o tehničkim uslovima i održavanju gornjeg stroja železničkih pruga iz 2016. godine [4], koji je donesen od strane Direkcije za železnice, ne daje direktne smernice za izbor kvaliteta šinskog čelika, već definiše minimalne zahteve (član 4) na sledeći način:

- u koloseke pruga Republike Srbije ugrađuju se šine u skladu sa SRPS EN 13674-1,
- kod obnavljanja i unapređenja magistralnih pruga, kao i izgradnje novih magistralnih pruga ugrađuju se šine 60E1 najmanjeg kvaliteta čelika R260,
- na regionalnim i lokalnim prugama mogu se ugrađivati i šine tipa 49E1 najmanjeg kvaliteta čelika R200.

Međunarodna železnička unija (UIC) donela je preporuke za primenu različitih kvaliteta šinskog čelika [5] 2015. godine. Stupanjem na snagu ovih preporuka prestala je primena UIC Code 721 iz 2005. godine. UIC preporuke [5] su bazirane na harmonizaciji UIC Code 721 iz 2005. godine sa CEN standardima, kao i na rezultatima istraživanja EU projekta INNTRACK [6].

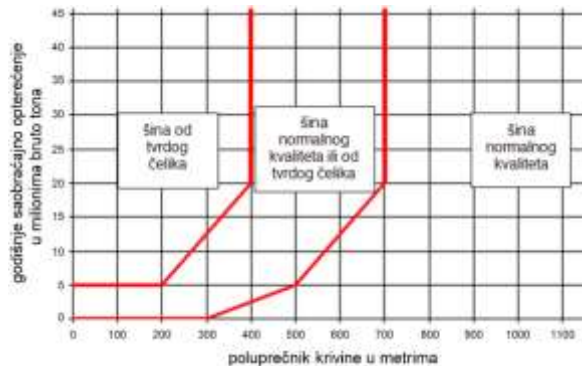
Cilj ovog rada je upoznavanje stručne javnosti sa preporukama i zaključcima istraživanja u oblasti primene savremenih šinskih čelika u cilju podrške Upravljačima železničke infrastrukture (UI) u Republici Srbiji za donošenje odluke o izboru kvaliteta šinskog čelika na mreži kojom upravljaju (Infrastruktura železnice Srbije a.d. Beograd koja upravlja javnom mrežom železničkih pruga Republike Srbije, JP „Elektroprivreda Srbije“ Ogranak TENT Beograd –

Obrenovac i „HBIS Group Serbia Iron & Steel” d.o.o. Beograd).

## 2. KRITERIJUMI ZA IZBOR KVALITETA ŠINSKOG ČELIKA

Tehnički kriterijumi koje većina UI uvažava pri donošenju odluke o izboru kvaliteta šinskog čelika su radijus krivine i obim saobraćaja iskazan u prevezenim bruto tonama po koloseku na godišnjem nivou.

Slika 1 prikazuje preporuke za izbor kvaliteta šinskog čelika na osnovu UIC Code 721 koje su važile do 01. januara 2015. godine, kada su na snagu stupile preporuke [5]. Kriterijumi prikazani na slici 1 pokazuju da se do nedavno smatralo da je za izbor šinskog čelika od presudnog značaja ekstremno habanje koje se uobičajeno javlja u krivinama radijusa do 400 m, gde je sugerisana primena šina od tvrdog čelika (350 HT, 350 LHT, 320 Cr). UI je samostalno donosio odluku o primeni šina normalnog kvaliteta (260 i 260 Mn) ili šina od tvrdog čelika u skladu sa ostalim specifičnostima (uspon, velika dužina krute baze obrtnih postolja vozila [7] i slično). Jasno je da su znanja i iskustva pretočena u preporuke UIC iz 2005. godine ukazivala da vozne šine u krivinama radijusa preko 700 m nisu izložene dodatnim uticajima koji bi uticali na povećanje troškova njihovog održavanja i skraćenje životnog veka.



Slika 1 – Preporuke prema UIC Code iz 2005. godine

Nažalost, preporuke u vezi primene kvaliteta šinskih čelika nisu uključile negativna iskustva u vezi pojave RCF defekata na voznim šinama na kolosecima u pravcu, kao i na kolosecima u krivinama velikih radijusa. Velika nesreća u Britaniji usled iskliznuća putničkog voza pri brzini 160 km/h u krivini na izlazu iz stanice Hatfield [8] 2000. godine, koja se desila usled sukcesivnog loma voznih šina izazvanog RCF defektima, uticala je na uvođenje RCF defekata u Priručnik za defekte 2002. godine prema preporukama UIC Code 712 [9].

Priručnik za šinske defekte iz 2018. godine [10] dao je još veći značaj RCF defektima i unapredio je klasifikaciju i kodiranje defekata na površini glave

šine. Sve ovo ukazuje na veliki problem upravljanja RCF šinskim defektima na kolosecima savremenih pruga širom sveta.

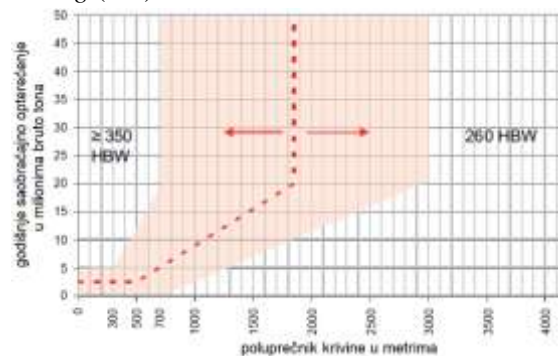
Nažalost, intenzivna istraživanja uticaja kvaliteta šinskog čelika na odlaganje pojave i usporavanje rasta RCF šinskih defekata rezultirala su zaključcima [6] koji su tek 2015. godine uključeni u preporuke za izbor šinskog čelika UIC Code 721 [5], kao i u nove preporuke za identifikaciju i klasifikaciju šinskih defekata IRS 70712 [10], koje su pripremljene od strane UIC-a 2018. godine.

Slika 2 daje generalne preporuke na osnovu [5], koje su takođe zasnovane na radijusu krivine i prevezenim bruto tonama u toku godine. Kriterijumi prikazani na slici 2 ukazuju na uobičajenu primenu šinskog čelika u rasponu tvrdoće od 260 HBW do 350 HBW na savremenim železničkim prugama. Obojeno područje na slici 2 predstavlja prelaznu zonu od tvrdoća 260 HBW do velikih tvrdoća  $\geq 350$  HBW koje se preporučuju za krivine sa radijusima do 700 m.

Tvrđi šinski čelici sa termički obrađenom glavom imaju veću otpornost na habanje i pojavu defekata usled zamora šinskog čelika. Termičkom obradom šine postiže se veća zatezna čvrstoća i veća žilavost. Zato termički obrađene šine zamenjuju šine od legiranog čelika u kolosecima za teško osovinsko opterećenje i u

oštrim krivinama. Šine R350HT (heat treated – termički obrađene) imaju isti hemijski sastav kao R260 (900A), ali veću zateznu čvrstoću glave zbog njene termičke obrade. Niskolegirane termički obrađene šine R350LHT (low alloy, heat treated) imaju sadržaj hroma do 0,3% i mogu se čeonno zavariti bez termičke obrade nakon zavarivanja.

Za primenu preporuka [5] neophodno je da svaki UI za železničku mrežu kojom upravlja, odredi granični radijus krivine za izrazito habanje šinskog čelika, kao i granični radijus za pojavu šinskog defekta *head checking* (HC).



Slika 2 – Preporuke prema UIC Code iz 2015. godine

U tabeli 1 prikazane su tvrdoće šinskih čelika u skladu sa SRPS EN 13674–1 [1].

Tabela 1. Kvalitet šinskog čelika prema minimalnoj zateznoj čvrstoći i tvrdoći [1]

Kvalitet prema zateznoj čvrstoći	Minimalna zatezna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ]	Kvalitet čelika prema tvrdoći [HBW]	Raspon tvrdoće čelika po Brinelu [HBW]	Primerba
700	680	R200	200 – 240	(C–Mn)
800	780	R220	220 – 260	(C–Mn)
900 A	880	R260	260 – 399	(C–Mn)
900 B	880	R260Mn	260 – 300	(C–Mn)
1100	1080	R320Cr	320 – 360	Legirani čelik (1% Cr)
900 A (HH)	1175 glava 880 vrat i nožica	R350HT	350 – 390	(C–Mn) Termički obrađen
–	1175	R350LHT	350 – 390	Nisko legirani čelik termički obrađen
–	1280	R370CrHT	370 – 410	Legirani čelik, termički obrađen
–	1280	R400HT	400 – 440	Nelegirani čelik, termički obrađen

Svaki UI treba da razvije sopstvenu strategiju za upravljanje šinskim defektima koja uzima u obzir troškove nabavljanja materijala i polaganja koloseka, troškove održavanja i zamene voznih šina tokom celokupnog životnog veka koloseka.

U analizu treba uključiti i troškove koji nastaju zbog ometanja železničkog saobraćaja, kao i troškove nastale usled devastiranja ostalih elemenata konstrukcije gornjeg i donjeg stroja železničke pruge zbog povećanih dinamičkih sila na mestima pojave šinskih

defekata (oštećenje sistema pričvršćenja, loše oslanjanje pragova, lom zrna tucanika, prljanje zastorne prizme, formiranje zastornih vreća i sl.).

Tabela 2 pokazuje različite strategije koje su samostalno razvili UI postupajući prema zahtevima razvoja RCF šinskih defekata na železničkim mrežama kojima upravljaju. Sve ove strategije razvijane su do 2006. godine i očigledno je njihovo odstupanje u odnosu na strategiju preporučenu 2005. godine od strane UIC.

Tabela 2. Različite strategije za izbor kvaliteta šinskog čelika [6]

R [m]	≤ 300	≤ 400	≤ 500	≤ 600	≤ 700	≤ 800	≤ 1500	≤ 3000	>3000
Upravljač									
UIC	R350HT		R350HT/R260			R260			
DB	R350HT (≥ 30.000 t/d)					R260			
DB new	R350HT (≥ 50.000 t/d)							R260	
CH	R350LHT		R350LHT/R320Cr			R320Cr R350LHT	R260		
AT	R350HT	R260							
SWE	R350HT	R260							
SWE(HH)	R350HT								R260
NOR	R350HT					R260			
UK	R260								
BE LUX	R350HT					R260			
NL	R350HT R370CrHT	R370CrHT						R260	
DK	R350HT					R260			
PL	R350HT					R260			
H	R350HT					R260			
RO	R350HT					R260			

Već je istaknuto da se preporuke koje daje UIC zasnivaju na razmatranju uticaja zakrivljenosti voznih šina u koloseku  $1/R$  i prevezenih bruto tona na godišnjem nivou. Ovakav pristup je proizašao iz istraživanja [6] koje se bavilo HC defektom (slika 3), a nije razmatralo i neke druge izuzetno važne RCF šinske defekte koji mogu da ugroze bezbednost železničkog saobraćaja.



Slika 3 – Stanica Zemun, skretnica br. 7, međušina prave naležne šine, 2011. godina

Istraživanje [6] nije obuhvatilo izuzetno opasan šinski defekat tipa *squat* (slika 4) koji se, takođe, uočava na kolosecima u Srbiji, i to u zonama pokretanja i kočenja vozila (stanične zone i zone ispred signala). Ovaj tip defekta se pojavljuje na kolosecima u pravcu i krivinama izuzetno male zakrivljenosti  $1/R$  (veliki radijusi krivina). Zbog mogućnosti napredovanja *squat* defekta do spontanog poprečnog loma šine, defekat se smatra posebno opasnim za bezbednost saobraćaja i zahteva poseban monitoring [11]. Pored toga, moguće su kombinacije HC i *squat* defekata što povećava rizik

od loma ili odvajanja većih delova vozne ivice šine, što može da dovede do iskliznuća vozila iz koloseka.



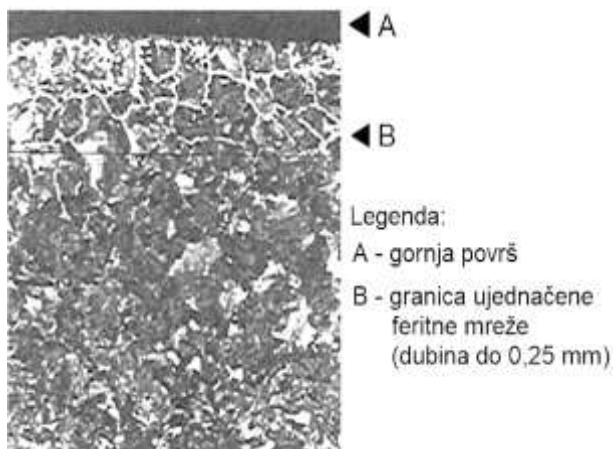
Slika 4 – Stanica Pančevo Varoš, kolosek br. 2, km 18+155,07, 2017. godina

Ipak, posebnu pažnju na pojavu RCF defekata UI treba da posveti pojavi defekata na deonicama sa nagibima preko 15%, uticajima vozila sa izraženim klizanjem u dodiru točak/šina, deonicama sa smanjenim koeficijentom trenja (npr. vlažni uslovi u tunelima), kao i na posebno osetljivim deonicama koloseka (skretnice, ukrštaji, dilatacione sprave, prelazne deonice koloseka i sl.).

### 3. ODRŽAVANJE ŠINA U KOLOSEKU

Savremeno održavanje šine u koloseku podrazumeva brušenje nove šine neposredno nakon njenog polaganja u kolosek, kako bi se uklonile početne neravnine površine glave šine usled superponiranja tolerancija pri uređenju nivelete koloseka i neravnomerno raspoređena tvrdoća čelika na površini glave šine.

Slika 5 prikazuje sloj neujednačene tvrdoće čelika na površini glave nove šine do dubine 0,25 mm, u skladu sa standardom EN 13674-1 [1].



Slika 5 – Dekarbonizovani sloj šinskog čelika (svi čelici sem R200 i R220) [1]

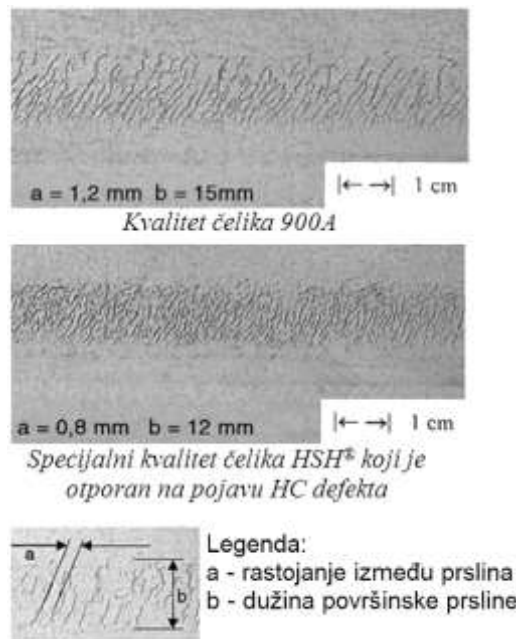
Pored toga, bez obzira ne primenjeni kvalitet šinskog čelika i dalje je neophodno podmazivanje bokova glave šine u krivinama malih radijusa.

Rezultati ispitivanja [12] su pokazali da čelik normalnog kvaliteta (slika 6) ima manji broj prslina po dužnom centimetru vozne ivice, kao i veću dužinu površinske prsline. Sa druge strane, specijalni kvalitet čelika HSH® (slika 6) ima za 1/3 gušći raspored prslina i za 20% manju dužinu površinske prsline. Shodno tome, specijalni čelici sa povećanom otpornošću na pojavu HC defekta zahtevaju, takođe, pravovremeno brušenje vozne ivice kako zbog gustine prslina ne bi došlo do ispadanja delova vozne ivice i ugrožavanja bezbednosti saobraćaja.

Primena čelika veće tvrdoće povećava otpornost na habanje i razvoj RCF defekata, tako da povećava dužinu ciklusa održavanja primenom brušenja zbog odlaganja razvoja RCF prslina.

Efikasna mera za odlaganje razvoja RCF defekata je reprofilisanje, odnosno korigovanje geometrije glave šine pomoću trenutno dostupnih tehnologija brušenja, glodanja i struganja u cilju uklanjanja slojeva čelika koji su zahvaćeni, ili za koje se očekuje da će biti zahvaćeni prslinama usled zamora šinskog čelika.

Veliki broj UI razvio je sopstvene tehnologije za reprofilisanje [13] koje se koriste u cilju relaksiranja vozne ivice na glavi spoljne šine izložene velikim kontaktnim naprezanjima i pojavi HC defekata. To su tzv. AHC (anti-headcheck) profili glave šine koji mogu da se primene na ograničenim dužinama u krivinama velikih radijusa, tamo gde se iskustveno očekuje pojava HC defekata. Standard [14] predviđa mogućnost primene AHC profila, ali ne definiše jedinstveni oblik reprofilisane glave za odlaganja pojave HC prslina.



Slika 6 – Zavisnost gustine i dužine HC prslina od kvaliteta čelika [12]

Pored toga, standard [14] preporučuje primenu asimetričnih reprofilisanih oblika glave unutrašnje i spoljašnje šine u krivini za smanjenje habanja (bočno habanje spoljašnje šine zbog manjka nadvišenja i vertikalno talasasto habanje unutrašnje šine zbog viška nadvišenja i proklizavanja točkova) na prugama za mešoviti saobraćaj (slika 7).

Ovakvom korekcijom oblika glave šine povećava se pređeni put spoljašnjeg točka (dodir po većem krugu kotrljanja) i smanjuje se pređeni put unutrašnjeg točka (dodir po manjem krugu kotrljanja) pri jednakoj brzini obrtanja osovine osovinskog sklopa.

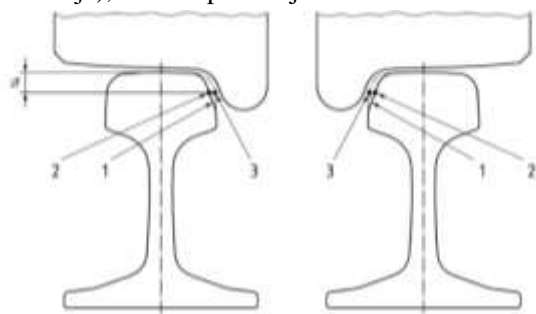


Napomena: primena reprofilisanih šina zahteva specijalnu pažnju u zonama prelaznih krivina

Slika 7 – Asimetrično reprofilisanje u krivinama malih radijusa za smanjenje habanja

Prema standardu [14] profili za proširenje koloseka mogu se primeniti tamo gde je stvarna širina koloseka manja od njene potrebne vrednosti. U ovom slučaju, nominalni profili obe vozne šine se obostrano obruse u zoni vozne ivice i unutrašnjih bokova glave

šina (npr. 2,5 mm na svakoj šini da bi se postiglo proširenje), kao što prikazuje slika 8.



Legenda  
1. 70° nagnuta faseta (obrušena površina)  
2. referentna tačka 14 milimetara ispod GŠ  
3. tačka u kojoj se meri maksimalno povećanje širine koloseka

Slika 8 – Profil za povećanje širine koloseka

#### 4. ZAKLJUČAK

Upravljanje održavanjem šina uključuje izbor optimalnog kvaliteta šinskog čelika. Tvrdi perlitne strukture čelika sa termički obrađenom glavom šine imaju veću otpornost na pojavu defekata usled zamora šinskog čelika i na habanje.

Pored perlitne strukture šinskog čelika postoji i beinitna struktura čelika koja ima najbolju otpornost na zamor usled kotrljanja u dodiru šine sa točkom vozila. Međutim, zbog složene i skupe tehnologije proizvodnje i variranja osobina čelika u zavisnosti od njegovog hemijskog sastava, šine sa beinitnom mikrostrukturom se za sada proizvode samo u svrhu ispitivanja i još uvek nemaju komercijalnu upotrebu [11].

Na magistralnim prugama evropske železničke mreže, u sklopu primene zahteva interoperabilnosti železničkog sistema, postoji obaveza primene kvaliteta šinskog čelika u skladu sa evropskim standardom [1].

Takođe, prema zakonskim odredbama [3] zahteva se primena tehničkih specifikacija interoperabilnosti za sve nove i rekonstruisane železničke pruge u Srbiji. Ovo je zakonski okvir u kome postoji sloboda izbora optimalnog tipa šinskog čelika od strane UI.

Na prugama Železnice Srbije (ŽS) ugrađene su šine čija je najmanja zatezna čvrstoća 700 MPa. Ugrađivanje šina veće zatezne čvrstoće vršilo se samo u oštrim krivinama, u tunnelima, na velikim nagibima, na mestima gde se vrši kočenje i zaustavljanje vozova, kod skretničkih elemenata i kod drugih specijalnih konstrukcija koloseka. Izbor kvaliteta čelika vršen je tako da se smanji vertikalno habanje glave šine, dok se odlaganje bočnog habanja postizalo podmazivanjem unutrašnjeg boka glave spoljne šine u krivini koji je u dodiru sa vencem točka. Ovakva strategija bila je samo delimično usklađena sa UIC preporukama iz 2005. godine (slika 1), bez vođenja računa o upravljanju RCF šinskim defektima. UIC Code 721 iz 2015. godine [5]

definisao je preporuke koje se u Srbiji još uvek ne primenjuju. Rezultat takve strategije za upravljanje životnim vekom šina u koloseku je veliki broj RCF defekata u razvijenoj fazi na voznim šinama naše železničke mreže.

Očigledna je potreba da se strategija upravljanja šinskim defektima, naročito RCF defektima, uskladi sa savremenim znanjima i UIC preporukama uz uzimanje u obzir lokalne osobenosti železničke mreže, voznog parka i saobraćaja [11].

Najefikasniji način za upravljanje pojavom i razvojem RCF šinskih defekata (potpovršinskih i površinskih) je pravilan izbor kvaliteta šinskih čelika, kao i sprovođenje reprofilisanja i podmazivanja šine.

Neophodno je izvršiti harmonizaciju Pravilnika [4] sa savremenim znanjima [6,11] i UIC preporukama [5] u oblasti izbora kvaliteta šinskog čelika [1].

#### 5. ZAHVALNICA

Rad je rezultat istraživanja br. 200092, koje je finansirano od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

#### LITERATURA

- [1] CEN: EN 13674–1:2017, Railway applications – Track – Rail – Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above, 2017.
- [2] EU: Uredba komisije EU broj 1299/2014 o tehničkim specifikacijama interoperabilnosti koje se odnose na podsistem „infrastrukture“ železničkog sistema u Evropskoj uniji, 2014.
- [3] Republika Srbija: Zakon o interoperabilnosti železničkog sistema, Službeni glasnik RS, broj 41/2018, pp. 108–119.
- [4] Direkcija za železnice: Pravilnik o tehničkim uslovima i održavanju gornjeg stroja železničkih pruga, Službeni glasnik RS, broj 74/2016, pp. 14–26.
- [5] International Union of Railways: UIC Code 721, Recommendation for the use of rail steel grades, 2015.
- [6] INNTRACK, Project No. TIP5–CT–2006–031415, Definitive guidelines on the use of different rail grades, Deliverable report D4.1.5GL, 2015.
- [7] Popović Z, Lazarević L, Vatin N. Railway gauge expansion in small radius curvature, Procedia engineering, Vol. 117, pp. 841–848, 2015.
- [8] Office of rail regulation: Train derailment at Hatfield – A final report by the independent investigation board, London, p. 245, 2006.

- [9] Dostupno na: [https://www.railwaysarchive.co.uk/-documents/HSE\\_HatfieldFinal2006.pdf](https://www.railwaysarchive.co.uk/-documents/HSE_HatfieldFinal2006.pdf) [citirano 01.02.2022.]
- [10] International Union of Railways: UIC Code 712, Rail Defects, 2002.
- [11] International Union of Railways: IRS 70712, Rail defects – Track & structure – Identification and classification of rail defects, 2018.
- [12] Mičić M. *Upravljanje neravninama malih talasnih dužina na glavi šine*, Doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Beograd, 2021.
- [13] Heyder R, Girsch G. Testing of HSH® rails in high-speed tracks to minimise rail damage, *Wear*, Vol. 258, No. 7-8, pp. 1014–1021, 2005.
- [14] Dollevoet R.P.B.J. Design of an Anti Head Check profile based on stress relief, PhD Thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 2010.
- [15] CEN: EN 13231–5:2018, Railway applications – Track – Acceptance of works – Part 5: Procedures for rail reprofiling in plain line, switches, crossings and expansion devices, 2018.

## SUMMARY

### TECHNICAL REQUIREMENTS FOR THE SELECTION OF RAIL GRADES

*The most common types of rail defects on modern railway lines occur due to the rolling contact fatigue of rail steel. One of the methods to slow down the development of these rail defects is the application of new steel grades with increased hardness in curves of the larger radii and other characteristic track sections. Serbian standard SRPS EN 13674-1:2017 - Railway applications - Track - Rails - Part 1: Vignole rails 46 kg/m and above - comprises nine types of perlite rail steel with hardness from 200 to 440 HBW. Infrastructure Managers were increasingly applying rail steel hardnesses  $\geq 350$  HBW in order to extend the life cycle of the rails in the track. The paper presents UIC recommendations regarding the application of rail steel quality based on the results of the latest research and practical experience.*

**Key Words:** railway, rails, rolling contact fatigue, steel hardness, steel grade