



D. Mitić, D. Milčić, D. Momčilović

## TEHNOLOGIJA NAVARIVANJA KANALA NA TRAMVAJSKIM SRCIMA TECHNOLOGY OF HARDFACING APPLIED TO THE TRAMWAYS SWITCH-HEARTS CHANNELS

**Stručni rad / Professional paper**

**UDK / UDC:** 621.791:621.926

**Rad primljen / Paper received:**

Mart 2008.

**Ključne reči:** Tramvajska srca, navarivanje, samozaštitna punjena žica.

### Izvod

Reparatura oštećenih delova šina i skretničkih srca postupkom navarivanja je standardna metoda održavanja šina u svetu. Beograd je jedini grad u Srbiji u kome postoji tramvajski saobraćaj. Zbog konfiguracije terena po kome su postavljene tramvajske šine i zbog točkova tramvaja nove generacije od austenitnog materijala, sa povišenom tvrdoćom, pojavio se problem habanja skretničkih srca. Na zahtev Vossloh-a iz Niša urađena je tehnologiju navarivanja kanala šina na tramvajskim srcima u Nemanjinoj ulici u Beogradu, a firma Vossloh izvršila navarivanje. U radu je dat pregled tehnologije navarivanja, kao i rezultati ispitivanja tvrdoće, makro i mikro ispitivanja na probnom uzorku, na osnovu koga bi bilo moguće praćenje eksploatacionog veka ovako navarenih kanala skretničkih srca.

\* Rad je izlagan na Savetovanju sa međunarodnim učešćem "ZAVARIVANJE 2008" - Subotica

**Adresa autora / Author's address:**

Dragan Mitić, Dragan Milčić,  
Mašinski fakultet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, Niš,  
Srbija, E-mail: milcic@masfak.ni.ac.yu

Dejan Momčilović,  
Institut za ispitivanje materijala, Vojvode Mišića 43,  
Beograd, Srbija

**Keywords:** Railwayswitch-Hearts, hardfacing, inner shield wire.

### Abstract

Reparation of damaged tramway tracks and tramway switch-hearts by hardfacing method is standard procedure of tramway tracks maintenance in the world. Belgrade is single one city in Serbia with tram traffic. Regarding on terrene configuration, where tramway tracks are laid on, and regarding on new-generation-tram-wheels, made of austenite hardened steel, problem of tramwayswitch-hearts wearing has appeared. Requested by Vossloh, hardfacing technology has been applied on tramwayswitch-hearts in Nemanjina Street, Belgrade, by Vossloh. This paper gives overview on hardfacing technology and result of hardness testing, micro and macroprobe testing, which enable exploiting work rate investigation for tramwayswitch-hearts.

### UVOD

Odnos točak/šina je jedan od najsloženijih problema u železničkom mašinstvu. Ova dva ključna konstrukciona elementa, koji su stalno u međusobnom dodiru, utiču jedan na drugog u eksploataciji šinskih vozila. Između točkova vozila i šina koloseka uvek je prisutno trenje, koje se ne može izbeći. Rezultat ovog trenja je pre svega habanje profila točka i unutrašnje strane šina. Beograd je jedini grad u Srbiji u kome funkcioniše tramvajski saobraćaj. Kratko vreme nakon rekonstrukcije Nemanjine ulice, pojavio se problem velikog habanja kanala skretničkih srca zbog toga što su točkovi tramvaja nove generacije od austenitnog materijala, sa povišenom tvrdoćom, i zbog konfiguracije terena po kome su postavljene tramvajske šine.

Ekonomski opravdan način za ponovno postizanje radnih karakteristika skretničkih srca tramvajskih šina je reparatura navarivanjem - repaturno navarivanje. Navarivanje je proces nanošenja površinskog sloja na metalni deo da bi se povećala njegova otpornost prema abraziji, eroziji, udarcima ili nekom drugom obliku

habanja. Proces navarivanja je praktično isti kao zavarivanje, s tim da je namena drugačija. Navarivanje može da se primeni na nove delove ili za već pohabane delove u cilju vraćanja u upotrebljivo stanje.

Osnovna razlika u odnosu na metalizaciju je topljenje površine osnovnog metala i njegovo mešanje sa dodatnim materijalom. Udeli osnovnog i dodatnog materijala definisani su stepenom mešanja koji predstavlja količnik udela mase osnovnog metala i ukupne mase navarenog sloja. Stepenu mešanja po pravilu treba da bude što manji, jer je uticaj osnovnog metala na tražena svojstva navarenog sloja (prvenstveno tvrdoću) nepovoljan. Ova pojava se zove još i razblaživanje i predstavlja ozbiljan problem u primeni navarivanja. Da bi se ovaj problem rešio često se koristi navarivanje u više prolaza, od kojih tek u pokrivenom sloju nema uticaja osnovnog metala.

Drugi važan problem pri navarivanju je njegov termički uticaj na osnovni metal, posebno ukoliko dodatni materijal ima različit koeficijent termičkog širenja. Da bi termički naponi i deformacije u osnovnom metalu bili



što manji treba voditi računa o redosledu polaganja slojeva.

Prema ASM (American Society for Metals) legure za navarivanje su klasifikovane u pet glavnih grupa, u zavisnosti od sastava. Legure za navarivanje najčešće se proizvode kao odlivci ili cevi, obložene elektrode, pune i punjene žice ili u obliku praha. Legure koje ne mogu ekonomično da se proizvedu u nekom od navedenih oblika, najčešće se kao prah utiskuju u čelične cevi. Odlivci i cevi se koriste za navarivanje TIG postupkom, obložene elektrode za navarivanje E postupkom, pune žice za EPP postupak, pune i punjene žice za MIG/MAG postupak, a prah za navarivanje plazmom.

### TEHNOLOGIJA NAVARIVANJA KANALA SKRETNIČKIH SRCA TRAMVAJSKIH ŠINA

Beograd je jedini grad u Srbiji u kome postoji tramvajski saobraćaj. Zbog konfiguracije terena po kome su postavljene tramvajske šine i zbog točkova tramvaja nove generacije od austenitnog materijala, sa

povišenom tvrdoćom, pojavio se problem habanja skretničkih srca, koji je bio najizraženiji u Nemanjinoj ulici u Beogradu. Reparatura skretničkih srca je rađena tehnologijom navarivanja.

Kako nije postojao originalni atest šina, za relevantni podatak o kvalitetu šina poslužio je dokument Zavoda za zavarivanja Beograd - ocena usaglašenosti kvaliteta materijala šina sa atestnom dokumentacijom. U tom dokumentu je konstatovano da je materijal šine oznake RO 800, dimenzije D 180/105 i da su:

- vrednosti tvrdoće i čvrstoće u granicama propisanim za materijal šine oznake RO 800 s tim što su vrednosti čvrstoće iz atesta veće za 4% od ispitivanjem utvrđenih vrednosti.
- razlike u hemijskom sastavu u sadržaju ugljenika, mangana, fosfora i sumpora: sadržaj ugljenika i mangana je niži, a sadržaj sumpora i fosfora viši u ispitanom uzorku, nego u atestu proizvođača. Niži sadržaj ugljenika i mangana uslovljava nižu vrednost zatezne čvrstoće.

Tabela 1: Hemijski sastav materijala šine, mas. %

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
Vrednosti utvrđene ispitivanjem	0.51	1.01	0.24	0.027	0.018	0.044	0.027	0.035
Atest br.205324 Hem laboratorija Livnica Kikinda	0.58	1.04-1.07	0.24-0.27	0.017-0.02	0.013-0.017	-	-	-

Tabela 2: Mehaničke karakteristike šine

Vrednosti utvrđene ispitivanjem	Ispitivanje zatezanjem		Ispitivanje tvrdoće HB	
	Rm	830-835 N/mm <sup>2</sup>	površina	presek
Atest br.205324 Hem. laboratorija Livnica Kikinda	Rm	855-865 N/mm <sup>2</sup>	-	-
	A	15.6-16.9%		

### Izbor postupka zavarivanja

Pri izboru postupka reparaturnog navarivanja kanala srca tramvajskih šina, vodi se računa o:

- energetskim mogućnostima pojedinih postupaka zavarivanja,
- geometrijskoj složenosti šina, kao i samog kanala, koji treba da bude navaren,
- ekonomskoj isplativosti postupaka zavarivanja, kao i o garanciji za kvalitetno urađenu tehnologiju navarivanja i zajedničku garanciju za kvalitetno urađenu reparaturu srca šina.

Imajući sve ovo u vidu, a posebno uslovnu zavarljivost osnovnog materijala šina, kao i veoma komplikovani proces sanacije srca šina (radi se noću, kratak vremenski rok za sanaciju, predgrevanje šina na terenu, energetski dovodi struje i gasova itd.) odabran je postupak navarivanja punjenom samozaštitnom žicom. Glavni razlog za odabir ovog postupka je brzina

navarivanja, kao i nanošenje veće količine depozita dodatnog materijala u jedinici vremena.

### Izbor dodatnog materijala

Na osnovu hemijskog sastava i mehaničkih karakteristika osnovnog materijala šine, a uzimajući u obzir odabrani postupak navarivanja, kao i zahtevanu tvrdoću od minimalno 35 HRC navara kanala, izabran je sledeći dodatni materijal: Lincore 33 Ø2.0 mm DIN 8555:MF1-G2-350 GPS.

Lincore 33 je samozaštitna punjena žica, koja može da radi sa otvorenim lukom. Ona je prevashodno namenjena za nadgradnju čeličnih delova ili kao prelazni "pufer" sloj kod tvrdog navarivanja. Karakteristike luka su odlične, ima meki luk sa malom penetracijom, nema pucni, a šljaka se sama odvaja, ako su odabrani dobri parametri navarivanja.

Navar izrađen ovom žicom otporan je na pritisak, udar i abraziju, a njena namena je za navarivanje šina,



točkova, valjaka, osovina itd. tvrdoća navara na visokougleničnom čeliku iznosi za I sloj 28 do 34 HRC, za dva sloja 32 do 36 HRC, a za tri sloja 35 do 38 HRC.

Hemijski sastav Lincore 33 je: C=0.15%, Mn=2%, Si=0.65%, Cr=2.4%, Al=1.7%. Metal navara je mešavina ferita i beinita.

### Pripreme za navarivanje

Pre početka navarivanja, treba izvršiti brušenje kanala šina, kako bi se odstranio zamoreni (otvrdnuti) sloj usled eksploatacije i stvorio uslov za nesmetano nanošenje navara. Nakon toga potrebno je izvršiti ispitivanje penetrantima kanala šina, u cilju otkrivanja prslina, koja su kod ove vrste čelika česta pojava. Potrebno je obezbediti:

- električni priključak za uređaj za zavarivanje 380V,
- priključak za osvetljenje, kao i priključak za brusilicu,
- boce za acetilen i kiseonik sa crevima i gorionikom za predgrevanje,
- beskontaktni merač temperature predgrevanja,
- azbestno platno za pokrivanje šina,
- šablone za kontrolu mera visine navara u kanalima,
- šablone za kontrolu mera navara posle brušenja,
- dva zavarivača, jednog brusaača, jednog autogenog zavarivača za predgrevanje, jednog ispitivača tvrdoće sa prenosnim uređajem za merenje tvrdoće, kao i za ispitivanje penetrantima.
- sve mere protivpožarne zaštite.

### Predgrevanje

Pre početka navarivanja, treba izvršiti predgrevanje skretničkih šina u delu koji treba da se reparira. Predgrevanje se vrši gasnim postupkom, a kontrola temperature predgrevanja vrši se beskontaktnim meračem temperature.

Temperatura predgrevanja se određuje prema izrazu:

$$T_p = 350 \cdot (C_{uk} - 0,25)^{1/2}, \text{ gde je:}$$

$$C_{ekv} = \%C + \%Mn/6 + \%Ni/15 + \%Cr/5 + \%Cu/13 + \%Si/4 + \%P/2 = 0,704;$$

$$C_{uk} = C_{ekv}(1 + 0,005 \cdot d) = 0,704 \cdot (1 + 0,005 \cdot 40) = 0,845;$$

$$T_p = 350 \cdot (0,845 - 0,25)^{1/2} = 269,5^\circ\text{C};$$

Usvojena je temperatura predgrevanja  $T_p = 270^\circ\text{C}$ .

### Navarivanje kanala skretničkih srca tramvajskih šina

Navarivanje kanala skretničkih srca tramvajskih šina treba da se vrši na sledeći način: Najpre se izvrši navarivanje početnog dela kanala skretničkog srca šine, gde je za postizanje optimalne visine navara, potreban samo jedan sloj navara.

Navarivanje početi u spoljnjem desnom uglu kanala šine, a nakon toga u levom uglu kanala. Nakon toga navariti po sredini kanala šine spajajući predhodno navarene prolaze navara. Navarivanje početi od sredine šine ka kraju šine.

Priklon vođenja pištolja pri navarivanju uglova kanala šine, obavezno električni luk usmeriti više prema bočnoj strani kanala, kako bi omogućili bolje vezivanje osnovnog materijala šine i navara. Kada se završi sa nanošenjem prvog sloja navara, pristupa se čišćenju čeličnom četkom i vizuelnom pregledu navara. Nakon toga izvršiti proveru visine navara šablonima i eventualne greške u navarivanju otkloniti.

Sve radnje treba raditi brzo, jer se nakon toga vrši dogrevanje šina u trajanju od 10 do 20 min, a zatim se zaštićuje navareni deo šine azbestnim platnom. Nakon laganog hlađenja u trajanju od 1 sata, izvršiti brušenje navara, kao i kontrolu visine navara šablonom. Nakon toga se pristupa merenju tvrdoće navara prenosnim uređajem za merenje tvrdoće, pri čemu vrednost tvrdoće može da se izmeri samo po sredini kanala navara.

U međuvremenu, dok se vrši hlađenje šina, pristupa se navarivanju kanala šina, gde je potrebno navarivanje u dva sloja. Početak navarivanja polazi od sredine šine ka predhodno navarenom sloju. Završetak prvog sloja drugog navara prelazi preko predhodnog navarenog sloja.

Pre početka navarivanja drugog navara treba postići vrednost temperature predgrevanja, a zatim navarivati po istom redosledu polaganja navara, kao u predhodnom slučaju. Međuslojna temperatura iznosi  $250^\circ\text{C}$ . Po polaganju prvog sloja drugog navara obavezno očistiti navar čeličnom četkom i izvršiti vizuelni pregled navara, kao i kontrolu visine navara šablonom.

Ako je potrebno, to jest ako je vrednost izmerene temperature šine pala ispod vrednosti temperature predgrevanja, potrebno je izvršiti dogrevanje između polaganja dva sloja navara. Nakon završetka navarivanja drugog navara, izvršiti sve one radnje, koje su predviđene i kod nanošenja prvog navara (čišćenje, dogrevanje, zaštita azbestnim platnom, vizuelna i dimenzionalna kontrola navara kanala šine).

Ako je u nekom delu kanala skretnice potrebno, zbog dostizanja optimalne visine navara nanošenje još jednog sloja, sve napred navedene radnje treba ponoviti još jednom po istom redosledu.

Parametri navarivanja (struja, napon, brzina dodavanja žice i brzina navarivanja, kao i redosled polaganja prolaza i slojeva navara) dati su u WPS listama (tehnološkim listama).

### EKSPERIMENTALNA PROVERA NAVARIVANJA

Eksperimentalna provera navarivanja je urađena na uzorku tramvajskog skretničkog srca koji je obezbedila firma Vossloh. Probno navarivanje prema napred definisanoj tehnologiji je izvršeno sa jednim slojem, sa

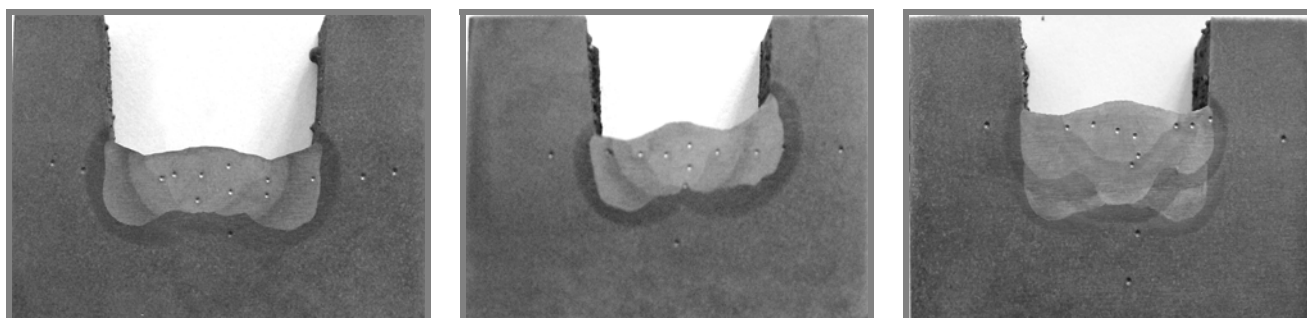


dva sloja i sa tri sloja navara. Zatim su napravljeni uzorci koji su ispitani u laboratoriji na Mašinskom fakultetu u Nišu.

### Rezultati ispitivanja

Izvedeno je ispitivanje makro i mikro strukture zavara na poprečnom preseku uzorka skretničkog srca. Izgled makrostrukture zavara dat je na slici 1, a mikrostrukture na slici 2.

Na osnovu pregleda mikrostrukture zavarenog sloja može se konstatovati da je mikrostruktura osnovnog materijala u osnovi perlitna sa manjim udelom ferita. Karakterističan je izduženi oblik feritnih zrna što može biti posledica plastične deformacije osnovnog materijala. Prelazna zona se karakteriše perlitno-feritnom strukturom u kojoj su prisutna globularna zrna ferita posledica delimičnog rastapanja metalne osnove. U zavaru je prisutna fina perlitna struktura sa vrlo malim udelom ferita globularnog oblika.



Sa jednim slojem navara

Sa dva sloja navara

Sa tri sloja navara

**Slika 1:** Prikaz makrostrukture navara



**Slika 2:** Prikaz mikrostrukture zavara, 250 x

Takođe je izvršeno ispitivanje tvrdoće osnovnog materijala, prelazne zone i zavara na poprečnom preseku uzorka, Rokvelovom metodom - postupak C. Položaj tačaka u kojima je izvedeno ispitivanje tvrdoće prikazan je na makro fotografiji poprečnog preseka uzorka posle nagrivanja, slika 3.

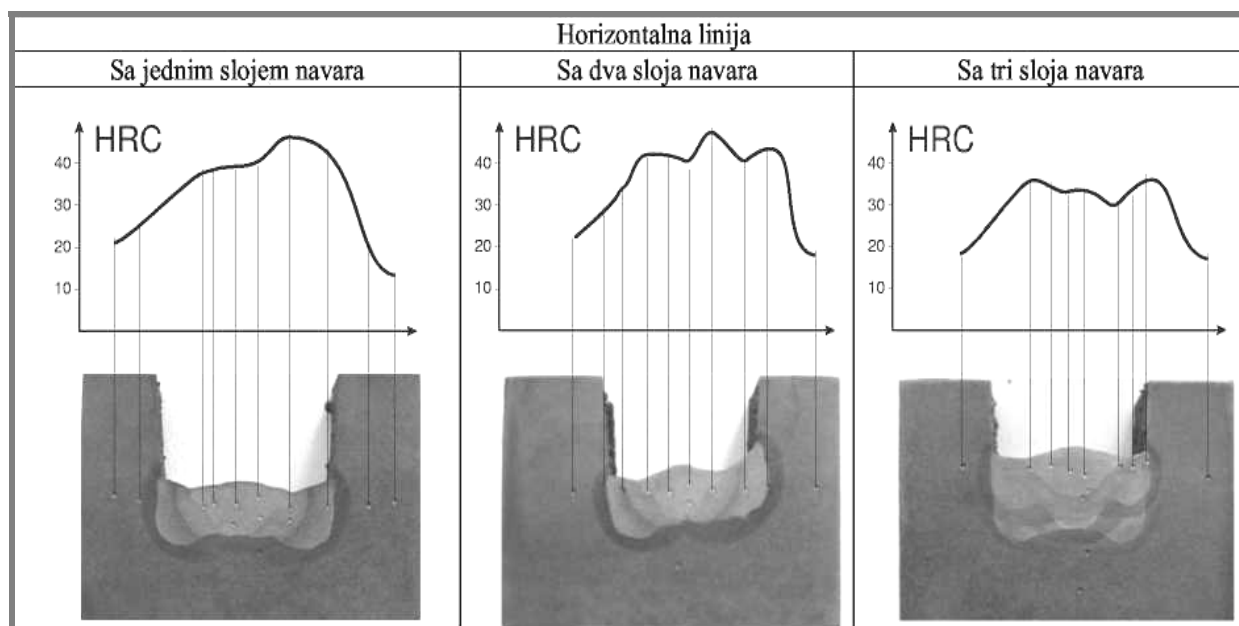
Rezultati merenja tvrdoće su prikazani na dijagramu (slika 3) i u tabeli 3. U tabeli 3 su navedene i vrednosti tvrdoće koje su manje od 20 do 25 HRC, što se smatra donjom granicom opsega merenja ovim postupkom, da bi lakše mogle da se međusobno upoređuju izmerene vrednosti tvrdoće.

### NAVARIVANJE SKRETNIČKIH SRCA TRAMVAJSKIH ŠINA

Pre izvođenja navarivanja izvršeno je:

- Brušenje kanala tramvajskog srca,
- Merenje dubine kanala,

- Vizuelno-dimenzionalna kontrola obrušene površine kanala šine,
- Kontrola penetrantima obrušene površine kanala šine,
- Merenje vrednosti tvrdoće kanala šine,
- Kontrola ispravnosti uređaja za zavarivanje,
- Pregled ispravnosti pribora za predgrevanje,
- Kontrola vrednosti temperature predgrevanja,
- Provera atesta zavarivača,
- Provera atesta dodatnog materijala za navarivanje,
- Provera atesta osnovnog materijala skretničke šine,
- Bezbednosti radnog mesta.



Slika 3: Prikaz dijagrama i mernih mesta za ispitivanje tvrdoće

Tabela 3: Tvrdoća ispitivanih uzoraka, HRC

Horizontalna linija					
Sa jednim slojem navara		Sa dva sloja navara		Sa tri sloja navara	
OM	22	OM	22	OM	18
OM	25	PZ	29	Z	39
Z	38	Z	33	Z	35.5
Z	38.5	Z	41	Z	35
Z	39	Z	41.5	Z	32
Z	39	Z	38	Z	34
Z	46.5	Z	48	Z	30
PZ	43	Z	40	Z	32
OM	19	PZ	43.5	PZ	37
		OM	19	OM	18
Vertikalna linija					
Z	39	Z	41	Z	36.5
Z	39	PZ	42.5	Z	42
PZ	24	OM	22	OM	22

OM - osnovni materijal; PZ - prelazna zona; Z – zavar

Za vreme navarivanja kanala šina izvršena je:

- Kontrola parametara navarivanja,
- Kontrola redosleda nanošenja prolaza-slojeva navara,
- Kontrola visine navara,
- Kontrola međuslojne temperature navara.

Nakon navarivanja kanala šina izvršena je:

- Kontrola visine navara šablonom,

- Vizuelna kontrola u smislu poroznosti navara,
- Kontrola tvrdoće navara.

Neke faze navarivanje skretničkog srca u Nemanjinoj ulici data su na slici 4.

Dubine kanala izmerene na tramvajskim srcima posle navarivanja date su u tabeli 4.

Rezultati merenja tvrdoće tramvajskih srca na 6 mernih mesta dati su u tabeli 5.



Slika 4: Faze navarivanja skretničkog srca u Nemanjinoj ulici

Tabela 4: Dubine kanala izmerene na tramvajskim srcima posle navarivanja

Udaljenost od početka srca		700	900	1100	1300	2500	2700	1900	2100	2300	2500	2700
KRIVINA	Dubina, mm	18.5	16.8	13	11.3	11.3	10	10	15	17	18	19.4
PRAVAC	Dubina, mm	17	15.5	13.5	13	11.6	13	13.6	15	17.4	18.6	20

Tabela 5: Rezultati merenja tvrdoće tramvajskih srca

Oznaka memog mesta	Izmerena vrednost tvrdoće HRC
1	43.5
2	45
3	45.8
4	50
5	42
6	38

## ZAKLJUČAK

Na osnovu izmerenih vrednosti tvrdoća navarenih tramvajskih srca, raspon tvrdoće se kreće od 38 HRC do 50 HRC, što u potpunosti zadovoljava zahtev investitora. Razlika između izmerenih vrednosti tvrdoće u radioničkom uslovima i na licu mestu, je od 8 HRC do 12 HRC, a njihove srednje vrednosti razlikuju se samo za 10%, što je i očekivano, zato što su šine u međuvremenu površinski ojačane habanjem u toku rada.

Pored toga dokazano je da reparaturno navarivanje šina i skretnica, poluautomatskim postupkom ima značajne tehnokonomske prednosti, u odnosu na zamenu novim delovima, pogotovo ako se radi samozaštitnom punjenom žicom. Za ovaj postupak potrebno je obezbediti posebne dodavače žica (za prečnik preko  $\phi 1.6\text{mm}$ ), kao i takozvane „innershield“ pištolje za zavarivanje. Prednost ovog postupka zavarivanja i navarivanja šina i tramvajskih srca, dokazana je već skoro 20 godina u Americi, tako da je problem samo u glavama onih koji odlučuju o načinu izvedbe u našoj zemlji.

## ZAHVALNICA

Rad je urađen u okviru projekta TR14033: Istraživanje metoda i pristupa povećanju radnog veka i pouzdanosti mašinskih sistema i finansiran je sredstvima Ministarstva nauke Republike Srbije.

## LITERATURA

- [1] Popović, O., Prokić-Cvetković, R., Grabulov, V., Odanović, Z., Izbor punjenih žica za navarivanje železničkih šina, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 4 (2006), str. 131-139.
- [2] Juraga, I., Živčić, M., Gracin, M., Reparaturno zavarivanje, Zagreb, 1994.
- [3] Rausch, W., Koch, M., Resurfacing tramway rails, Rheinische Bahngesellschaft AG.
- [4] Šanko, Z., Zavarivanje tračnica samozaštićujućim praškom punjenim žicama (SS FCAW).