

## Klimatski uticaji na napone u kontinualno zavarenim šinama u kolosecima na mostovima u Srbiji

ZDENKA J. POPOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Građevinski fakultet, Beograd

NIKOLA B. MIRKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Građevinski fakultet, Beograd

LUKA M. LAZAREVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Građevinski fakultet, Beograd

MILICA S. MIĆIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Građevinski fakultet, Beograd

Stručni rad

UDC: 624.21.095:625.1

DOI: 10.5937/tehnika1901039P

*Interakcija vozilo/kolosek/most dovodi do dodatnog naprezanja u kontinualno zavarenim šinama na mostu, što uključuje napone u šinama usled temperature promene u konstrukciji gornjeg stroja mosta, napone u šinama usled savijanja konstrukcije gornjeg stroja mosta u vertikalnoj ravni pod saobraćajnim opterećenjem, kao i napone u šinama usled pokretanja/kočenja železničkih vozila na mostu. U radu je predstavljena kritička analiza dodatnih napona zatezanja u kontinualno zavarenim šinama na mostu pomoću Smitovog dijagrama. Osim toga, predstavljeni su rezultati merenja temperature na nekoliko mernih mesta na železničkoj mreži u Srbiji. Analiziran je uticaj lokalnih klimatskih uslova i neutralne temperature u šini na napone od temperature promene u kontinualno zavarenim šinama. U radu se ističe da propisane vrednosti dodatnih napona u kontinualno zavarenim šinama moraju uključiti uticaj stvarnih lokalnih klimatskih uslova sa aspekta stabilnosti koloseka na mostu.*

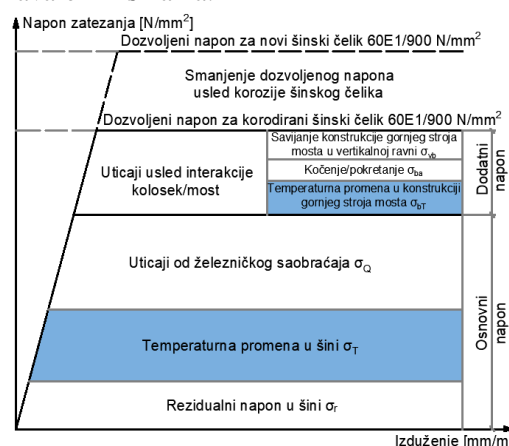
**Ključne reči:** železnica, most, interakcija vozilo/kolosek/most, temperatura, napon

### 1. UVOD

Povećanje napona pritiska u kontinualno zavarenim šinama tokom leta može da dovede do izbacivanja koloseka u horizontalnoj ravni. Sa druge strane, povećanje napona zatezanja u kontinualno zavarenim šinama tokom zime može da dovede do loma šine. Obe pomenute pojave mogu da dovedu do iskliznuća železničkih vozila iz koloseka i ugrožavanja bezbednosti železničkog saobraćaja. Moguće posledice iskliznuća železničkog vozila su povrede, gubitak ljudskih života i materijalna šteta, uključujući eksploatacione troškove usled prekida saobraćaja, kao i ekološka zagađenja. Ozbiljnost posledica iskliznuća vozila na deonicama železničke pruge na mostovima zahteva posebno razmatranje, kako bi se ova pojava predupredila. U tom smislu, razmatranje interakcije vozilo/kolosek/most u

fazi projektovanja i održavanja mora uzeti u obzir sve uticaje na funkcionalnost i bezbednost železničkog saobraćaja.

Dalja razmatranja u ovom radu su prevashodno usmerena na analizu uticaja temperaturnih promena u šinama i konstrukciji mosta na naprezanja u kontinualno zavarenim šinama.



Slika 1 - Udeo temperaturnih promena u ukupnom naponu zatezanja u šini na mostu

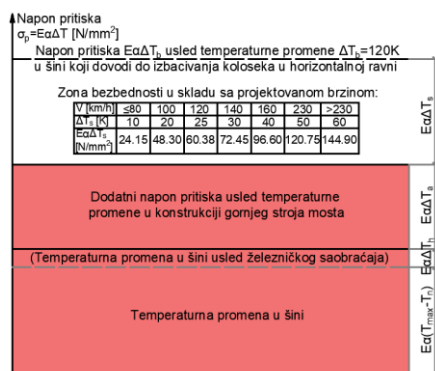
Adresa autora: Zdenka Popović, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

e-mail: [zdenka@grf.bg.ac.rs](mailto:zdenka@grf.bg.ac.rs)

Rad primljen: 17.09.2018.

Rad prihvaćen: 23.01.2019.

Na slici 1 prikazan je uticaj temperaturne promene u šinama i konstrukciji gornjeg stroja mosta na napone zatezanja u kontinualno zavarenim šinama u koloseku na mostu. Slično tome, slika 2 prikazuje uticaj promene temperature u šinama i konstrukciji gornjeg stroja mosta na napone pritiska u kontinualno zavarenim šinama u koloseku na mostu.



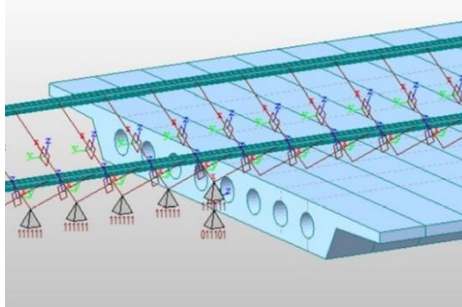
Slika 2 - Udeo temperaturnih promena u ukupnom naponu pritiska u šini na mostu

U radu je posebno analiziran uticaj lokalnih klimatskih uslova u Srbiji na neutralnu temperaturu i temperaturne napone u kontinualno zavarenim šinama u koloseku na mostu.

U skladu sa tehničkim zatevima za kontinualno zavarene šine na mostu i na krajnjim stubovima mosta [1], dozvoljene dodatne napone u šini usled interakcije vozilo/kolosek/most treba ograničiti na sledeće vrednosti:

- 72 N/mm<sup>2</sup> za dodatne napone pritiska, za kolosek u zastoru od tucanika,
- 92 N/mm<sup>2</sup> za dodatne napone zatezanja, za kolosek u zastoru od tucanika,
- 92 N/mm<sup>2</sup> za dodatne napone pritiska i zatezanja, za kolosek na čvrstoj podlozi.

Detaljnu strukturu osnovnih i dodatnih napona u kontinualno zavarenim šinama u koloseku na mostu autori su prikazali i analizirali u [2]. U svakom slučaju, proračunski model interakcije vozilo/kolosek/most treba da sadrži vertikalna i horizontalna opterećenja prema slikama 1 i 2.



Slika 3 - Proračunski model interakcije vozilo/kolosek/most

Na slici 3 prikazan je primer proračunskog modela interakcije za most na deonici Stalać - Đunis, km 189 + 190.60, na Koridoru X.

Ovaj rad ukazuje da propisane vrednosti dodatnih napona u kontinualno zavarenim šinama na mostu moraju da uključe uticaj stvarnih klimatskih uslova na stabilnost koloseka na mostu.

## 2. UTICAJ LOKALNIH KLIMATSKIH USLOVA NA NEUTRALNU TEMPERATURU U ŠINI

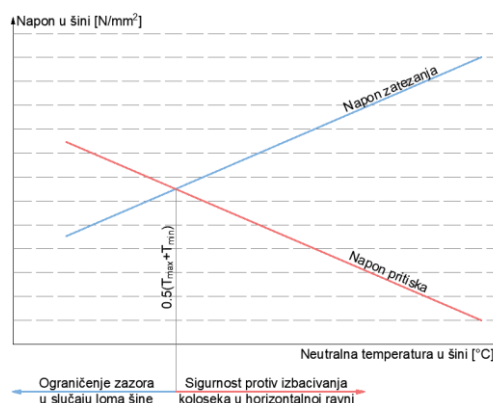
Neutralnu temperaturu u kontinualno zavarenim šinama treba da definiše Upravljač železničke infrastrukture, tako da osigura bezbednost železničkog saobraćaja [3-7]. U tom smislu, neophodno je izvršiti kontrolu:

- napona pritiska u šini da bi se sprečilo izbacivanje koloseka u horizontalnoj ravni tokom leta,
- napona zatezanja da bi se sprečilo lom šine ili ograničio zazor pri pucanju šine tokom zime.

Slika 4 prikazuje uticaj izabrane neutralne temperature na napone u šinama tokom zime i leta. Apolutne vrednosti napona pritiska i zatezanja jednake su kada je neutralna temperatura jednaka srednjoj temperaturi, u skladu sa (1).

$$T_n = \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} = T_s \quad (1)$$

gde je  $T_n$  neutralna temperatura u šini,  $T_{max}$  je maksimalna temperatura u šini tokom leta,  $T_{min}$  je minimalna temperatura u šini tokom zime i  $T_s$  je srednja temperatura u šini.



Slika 4 - Uticaj izabrane neutralne temperature na napone u šinama

Očigledno je da neutralna temperatura zavisi od maksimalne i minimalne temperature u šinama i utiče na osnovne napone u kontinualno zavarenoj šini. Tabela 1 pokazuje izmerene vrednosti ekstremnih zimskih i letnjih temperatura u šinama na tri merne lokacije u Srbiji (Sremski Karlovci, Valjevo i Priboj) u periodu 2015-2017. godina. Slika 5 prikazuje lokacije mernih mesta.

Tabela 1. Ekstremne temperature u šinama

Godina	Merno mesto 1		Merno mesto 2		Merno mesto 3	
	T <sub>min</sub> [°C]	T <sub>max</sub> [°C]	T <sub>min</sub> [°C]	T <sub>max</sub> [°C]	T <sub>min</sub> [°C]	T <sub>max</sub> [°C]
2015.	-5	53	-2	59	-20	55
2016.	-8	50	-10	58	-12	58
2017.	-10	59	-15	60	-22	60

Srpski upravljач infrastrukture propisao je jedinstvene vrednosti temperature na sledeći naćin:

- T<sub>min</sub> = -30°C,
- T<sub>mak</sub> = +65°C i
- T<sub>n</sub> = T<sub>s</sub> + 5 = +22,5°C.

Prema [8], dopuštena je primena drugih vrednosti ukoliko se raspolaze rezultatima višegodišnjih merenja za uže klimatsko područje.

Ekstremne letnje temperature u šini prikazane u tabeli 1 uglavnom su ujednaćene i ne prelaze +60°C. Merna mesta Sremski Karlovci i Valjevo pokazale su vrednosti zimske temperature u šinama oko 50% manje od propisane minimalne vrednosti.

S druge strane, merno mesto Priboj pokazalo je minimalnu vrednost -22°C, što je oko 73% propisane minimalne vrednosti.

Propisane vrednosti T<sub>max</sub> = +65°C i T<sub>min</sub> = -30°C nalaze se u području sigurnosti na sva tri merna mesta.



Slika 5 - Analizirana merna mesta na železničkoj mreži Srbije

Na slici 6 prikazano je standardno merenje temperature u šinama na železničkoj mreži Srbije. Kvalifikovano osoblje vrši merenje temperature dva puta dnevno (u 7 i 14 sati).



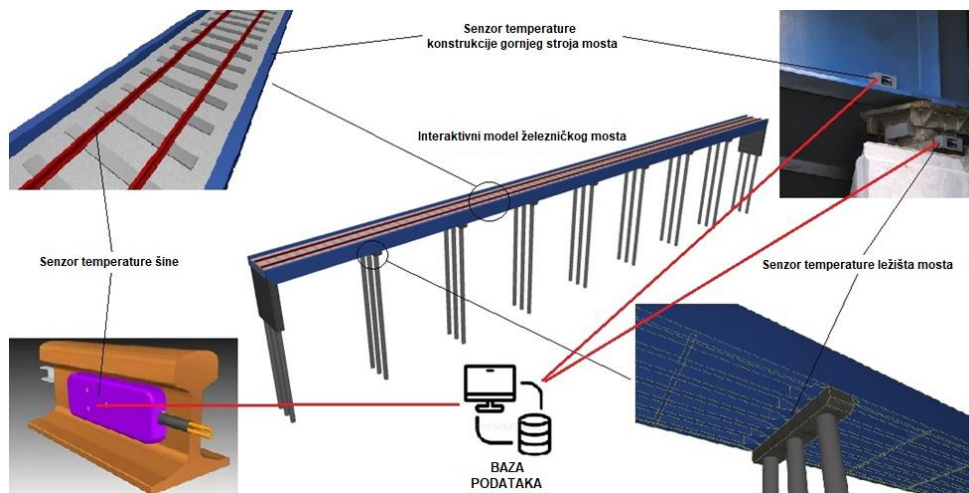
Slika 6 - Standardno merenje temperature (merna lokacija Topčider, juli 2017. godine)

Merenje temperature u šinama i konstrukciji gornjeg stroja mosta sprovodi Upravljać infrastrukture. Podaci o temperaturi postojećih železničkih mostova su korisni sa aspekta rekonstrukcije tih mostova, kao i za projektovanje novih železničkih mostova. Ipak, ne postoji procedura za zvanićno utvrđivanje neutralne temperature za uže klimatsko područje na koje se projekat odnosi. Uobićajena praksa je da projektanti primenjuju T<sub>max</sub> = +65°C i T<sub>min</sub> = -30°C, odnosno T<sub>n</sub> = +22,5°C.

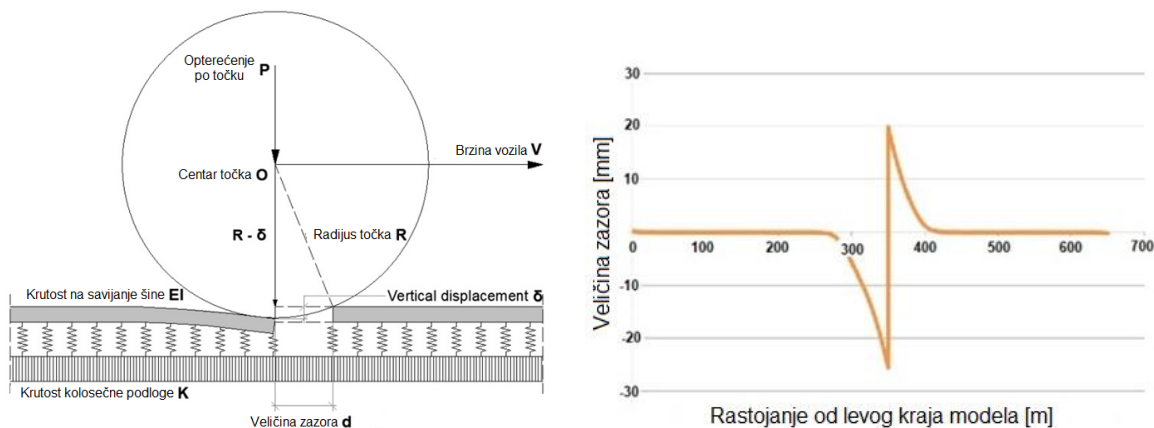
Na slici 7 prikazan je interaktivni model železnićkog mosta, koji je povezan sa bazom podataka o koloseku i mostu. Između ostalog, baza podataka o koloseku mora da sadrži podatke o izmerenim ekstremnim temperaturama u šinama. Slično tome, baza podataka o mostu mora da sadrži podatke o izmerenim temperaturama u konstrukciji gornjeg stroja mosta kao i ležištima mosta.

Savremeno merenje temperature u šinama, u konstrukciji gornjeg stroja mosta kao i ležištima mosta obavlja se pomoću senzora (slika 7).

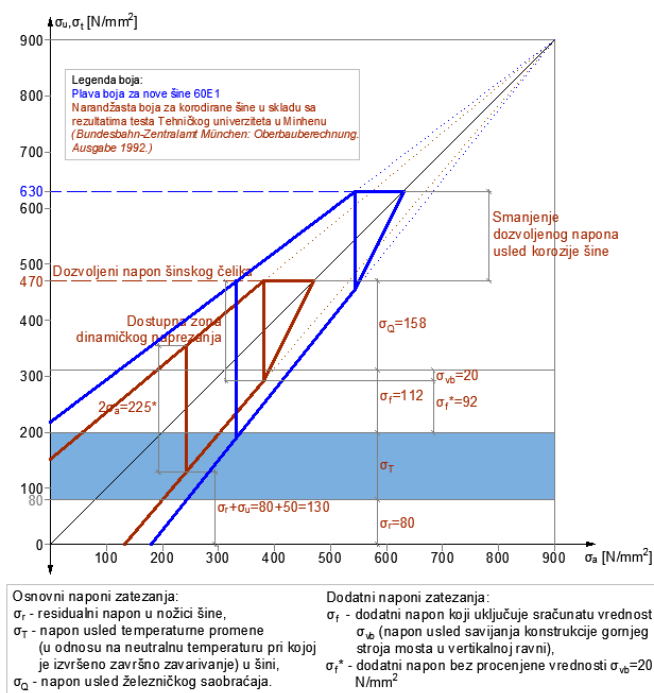
Osim toga, kada je neutralna temperatura T<sub>n</sub>, veća od srednje temperature T<sub>s</sub>, to je povoljno sa aspekta sigurnosti od izbacivanje koloseka u horizontalnoj ravni tokom leta. Suprotno tome, kada je neutralna temperatura manja od srednje temperature, to je povoljno sa aspekta sigurnosti od loma šine, odnosno ogranićavanja zazora pri lomu šine tokom zime (slika 8).



Slika 7 - Interaktivni model mosta povezan sa bazama podataka o koloseku i mostu



Slika 8 - Zazor pri lomu šine: proračunski model (gore) i primer dijagrama za određivanje veličine zazora pri pucanju šine (dole)



Slika 9 - Smitov dijagram osnovnih i dodatnih napona zatezanja za novu i korodiranu šinu 60E1/900

Očigledno je da neutralna temperatura definisana od strane upravljača infrastrukture direktno utiče na sigurnost železničkog saobraćaja, troškove građenja i troškove održavanja. Razvoj interaktivnih modela za postojeće mostove obezbedio bi neophodne podatke o merodavnim temperaturama za klimatsko područje u kome se most nalazi. Na taj način bi se obezbedili ulazni podaci o merodavnim temperaturama na nove železničke mostove i rekonstrukciju postojećih.

Na slici 9 prikazan je dozvoljeni napon zatezanja u nožici šine u skladu sa Smitovim dijagramom za nove i korodirane šine od čelika sa zateznom čvrstoćom od 900 N/mm<sup>2</sup>.

Napon  $\sigma_T$  usled temperaturne promene u šini u odnosu na neutralnu temperaturu (područje označeno plavom bojom na slici 9) spada u osnovni napon zatezanja i utiče na dozvoljenu vrednost dodatnog napona zatezanja (propisana vrednost 92 N/mm<sup>2</sup> prema [1]) u kontinualno zavarenoj šini u koloseku na mostu. Napon usled temperaturne promene u šini  $\sigma_T$  mora biti u skladu sa izmerenim ekstremnim temperaturama i neutralnom temperaturom u šini u klimatskoj zoni u kojoj se nalazi most. Na taj način, za specifične klimatske uslove, dozvoljena vrednost dodatnih napona u šini na mostu može biti veća, jednaka, ili manja od propisane vrednosti prema [1].

### 3. ZAKLJUČAK

Razmatranja u ovom radu odnose se na kolosek sa kontinualno zavarenim šinama na mostu sa aspekta klimatskih uticaja na dodatne napone pritiska i zatezanja u šinama. Interakcija vozilo/kolosek/most ima ključnu ulogu u projektovanju i održavanju železničkih mostova u ovim razmatranjima. Pored toga, kritički je analizirana primena dozvoljenih vrednosti dodatnih napona pritiska i zatezanja propisanih važećim evropskim standardima.

Naponi koji se javljaju usled železničkog saobraćaja (vertikalno opterećenje od saobraćaja i podužno opterećenje usled kočenja/pokretanja vozila), kao i promena temperature i pomeranje konstrukcije mosta, utiču na gornji stroj železničke pruge, pre svega na kontinualno zavarene šine u koloseku na mostu.

Upravljanje interakcijom vozilo/kolosek/most podrazumeva odgovarajuće proračune, koji zavise od tipa konstrukcije i dilatacione dužine železničkog mosta, vertikalnog opterećenja od saobraćaja, podužnog opterećenja usled kočenja/pokretanja vozila i promene temperature u odnosu na temperaturu ugrađivanja u skladu sa lokalnim klimatskim uslovima [2, 6, 7].

U slučaju kada se primenjuje veća vrednost maksimalne temperature u šini u odnosu na realnu vrednost, nepotrebno se povećava vrednost neutralne temperature u cilju prevencije izbacivanja koloseka u

horizontalnoj ravni u letnjim uslovima. Štaviše, ovo rezultira nerealnim povećanjem izračunate vrednosti veličine zazora pri pucanju šine tokom zime.

Sa druge strane, potcenjena vrednost maksimalne temperature u odnosu na realnu smanjuje neutralnu temperaturu, daje nerealnu sigurnost protiv bočnog izbacivanja koloseka u vertikalnoj ravni i nerealno malu vrednost zazora pri pucanju šine.

U svakom slučaju, pogrešno procenjena minimalna i/ili maksimalna temperatura može dovesti do povećanih troškova građenja i/ili održavanja železničkog mosta. U najgorem slučaju, nerealna procena ekstremnih temperatura u šinama, konstrukciji gornjeg stroja mosta i ležištima mosta može ugroziti bezbednost železničkog saobraćaja.

S obzirom na to da su tokom proteklih godina u u Srbiji izmerene temperature vazduha iznad 42°C, potrebno je u takvim klimatskim zonama izvršiti posebnu analizu na osnovu podataka o realno izmerenim temperaturama u šinama i konstrukciji mosta i po potrebi smanjiti vrednost dozvoljenog dodatnog napona pritiska u šinama u odnosu na vrednost koju propisuje standard [1]. Vruća leta i hladne zime poslednjih godina ukazuju na neophodnost stalnog praćenja temperature u šinama i mostovima, kako bi se definisale stvarne vrednosti dopuštenih dodatnih napona u kontinualno zavarenim šinama u koloseku na mostu.

Ovaj rad je predstavio savremeni interaktivni model železničkog mosta, koji uključuje podatke o izmerenim temperaturama u šinama, konstrukciji gornjeg stroja mosta, kao i ležištima mosta.

U saradnji sa Upravljačem železničke infrastrukture, tehnički propisi za železničke mostove u Srbiji treba da definišu vrednosti dopuštenih dodatnih napona u kontinualno zavarenim šinama u skladu sa klimatskom zonom u kojoj se nalazi most, umesto nekritičke primene dopuštenih vrednosti propisanih u evropskom standardu [1].

### 4. ZAHVALNICA

Rad je rezultat istraživanja u okviru Tehnološkog projekta br. 36012 „Istraživanje tehničko-tehnološke, kadrovske i organizacione osposobljenosti Železnice Srbije sa aspekta sadašnjih i budućih zahteva Evropske unije“, koje je finansirano od strane Ministarstva za prosvetu i nauku Republike Srbije.

### LITERATURA

- [1] CEN/TC 250: EN 1991-2:2003, Eurocode 1: *Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges*, Brussel, 2003.
- [2] Mirković N, Popović Z, Pustovgar A, Lazarević L, Zhuravlev A, Management of Stresses in the Rails on

- Railway Bridges. *FME Transactions*. 46, s. 636-643, 2018.
- [3] Zakeri J. A, Barati M, Mohammadzadeh S. New Definition of Neutral Temperature in Continuous Welded Railway Track Curves. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 62, s.143-147, 2018.
- [4] UIC: Code 774-3: *Track/bridge Interaction – Recommendations for calculations*, Paris, 2001.
- [5] DIN: Fachtbericht 101, Einwirkungen auf Bruecken, Deutschland, 2003.
- [6] Freystein H. Interaktion Gleis/Brücke – Stand der Technik und Beispiele. *Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin Stahlbau* 79. 3, pp. 220-231, DOI: 10.1002/stab.201001299, 2010.
- [7] Wenner M, Lippert P, Plica S, Marx S, Längskraftabtragung auf Eisenbahnbrücken Teil 2: Hintergründe des Nachweises. *Bautechnik*. 93, pp. 470-481, 2016
- [8] Direkcija za železnice: *Pravilnik o tehničkim uslovima i održavanju gornjeg stroja železničkih pruga* ("Službeni glasnik RS", broj 39/2016)

## SUMMARY

### INFLUENCE OF CLIMATE CONDITIONS ON STRESSES IN CWR ON THE BRIDGES IN SERBIA

*Vehicle/track/bridge interaction causes additional stresses in CWR on the bridge, which include stress in rails due to temperature changes in the bridge deck, vertical bending of bridge deck, and braking/acceleration of railway vehicles on the bridge deck. Critical analysis of additional tensile stresses in CWR on the bridge using Smith diagram was performed and presented in this paper. Furthermore, results of rail temperature measuring at several monitoring locations in Serbia were presented. The influence of the local climate conditions and neutral rail temperature on the temperature stress in CWR was analysed. The paper points out that the prescribed values of additional stresses in CWR have to include influence of real local climate conditions on track stability on the bridge.*

**Key words:** railway, bridge, interaction vehicle/track/bridge, temperature, stress