

UDK 625.11.002.2

Primljeno 23. 12. 2002.

# Utjecaj zakrivljenosti krajeva tračnica na geometriju kolosijeka

Ante Goran Bajić

## Ključne riječi

promet,  
željeznice,  
kolosijek,  
tračnica,  
zakrivljenost krajeva  
užlijebljenih tračnica,  
zavar

## Key words

traffic,  
railways,  
track, rail,  
end curvature  
of grooved rails,  
weld

## Mots clés

circulation,  
chemin de fer,  
voie, rail,  
courbure des extrémités  
des rails à ornière,  
soudure

## Ключевые слова

движение,  
железные дороги,  
коля,  
рельс,  
кривизна кромок рельсов  
с желобами,  
сварное соединение

## Schlüsselworte:

Verkehr,  
Eisenbahnen,  
Geleise,  
Schiene,  
Krümmung der Enden  
der gerillten Schienen,  
Schweissnaht

A. G. Bajić

Stručni rad

## Utjecaj zakrivljenosti krajeva tračnica na geometriju kolosijeka

Prikazano je koji problemi i pogreške u geometriji kolosijeka u zoni zavora nastaju zbog zakrivljenosti krajeva užlijebljenih tračnica. Na stvarnom primjeru prikazano je kako se mjeri i kako se mogu uspoređivati rezultati mjerenja prema različitim normama. Pokazan je utjecaj zakrivljenosti krajeva užlijebljenih tračnica na povećanje sila, ubrzanja i deformacija koji nastaju u trenutku nailaska vozila na deformiranu tračnicu u zoni zavora u horizontalnoj i vertikalnoj ravni.

A. G. Bajić

Professional paper

## Influence of rail-end curvature on track geometry

Track geometry problems and errors in welding zones, due to curvature at grooved rail ends, are presented. The measurement and comparison of measurement results according to different standards are presented on an actual example. The influence of curvature of grooved rail ends on the increase in force, acceleration and deformation, occurring at the moment a vehicle passes over a deformed rail in welding zone, is shown in horizontal and vertical plane.

A. G. Bajić

Ouvrage professionnel

## Influence de la courbure des extrémités des rails sur la géométrie de la voie

L'article présente les problèmes et les erreurs dans la géométrie de la voie, dans la zone de la soudure, dus à la courbure des extrémités des rails à ornière. Un exemple réel a été pris pour démontrer comment on peut mesurer et comparer les résultats des mesures selon différentes normes. On décrit l'influence de la courbure des extrémités des rails à ornière sur l'augmentation des forces, de l'accélération et des déformations créées au moment du passage du véhicule sur le rail déformé dans la zone de la soudure sur le plan horizontal et vertical.

Г. А. Баич

Отраслевая работа

## Влияние кривизны кромок рельсов на геометрию колес

В работе показано, какие проблемы и ошибки в геометрии колес в зоне сварного соединения возникают из-за кривизны краёв рельсов с желобами. На действительном примере показано, как проводится измерение и как могут сравниваться результаты измерений согласно различным нормам. Показано влияние кривизны кромок рельсов с желобами на увеличение сил, ускорений и деформаций, возникающих в моменте вступления единицы подвижного состава на деформированный рельс в зоне сварного соединения в горизонтальной и вертикальной плоскости.

A. G. Bajić

Fachbericht

## Einfluss der Krümmung der Schienenenden auf die Gleisgeometrie

Es wird dargestellt welche Probleme und Fehler in der Gleisgeometrie im Schweissbereich wegen der Krümmung der Enden der gerillten Schienen auftreten. Am konkreten Beispiel ist dargestellt wie das gemessen wird und wie die Messergebnisse nach verschiedenen Normen verglichen werden können. Dargestellt ist der Einfluss der Krümmung der Enden der gerillten Schienen auf die Erhöhung der Kräfte, Beschleunigungen und Verformungen, der im Moment des Auftretens des Fahrzeugs auf die deformierte Schiene im Bereich der Schweissnaht in der wagrechten und lotrechten Ebene auftritt.

Autor: Mr. sc. Ante Goran Bajić, dipl. ing. građ., predavač, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26

## 1 Uvod

Pri zamjeni dotrajalih užlijebljenih tramvajskih tračnica ili pri izvedbi novoga tramvajskog kolosijeka, pojavio se čitav niz problema zbog zakrivljenosti krajeva tračnica.

Zakrivljenost krajeva tračnica stvara nam teškoće prilikom:

- polaganja i namještanja tračnica u kolosijeku
- zavarivanja tračnica
- dotjerivanja kolosijeka po smjeru
- dotjerivanja kolosijeka po visini
- dotjerivanja širine kolosijeka.

Mjerenjem na kolosijeku ustanovljeno je da se oko 85% pogrešaka u geometriji kolosijeka nalazi u zonama zavora (ako se izuzmu skretnice, križališta i kolosiječni sklopovi).

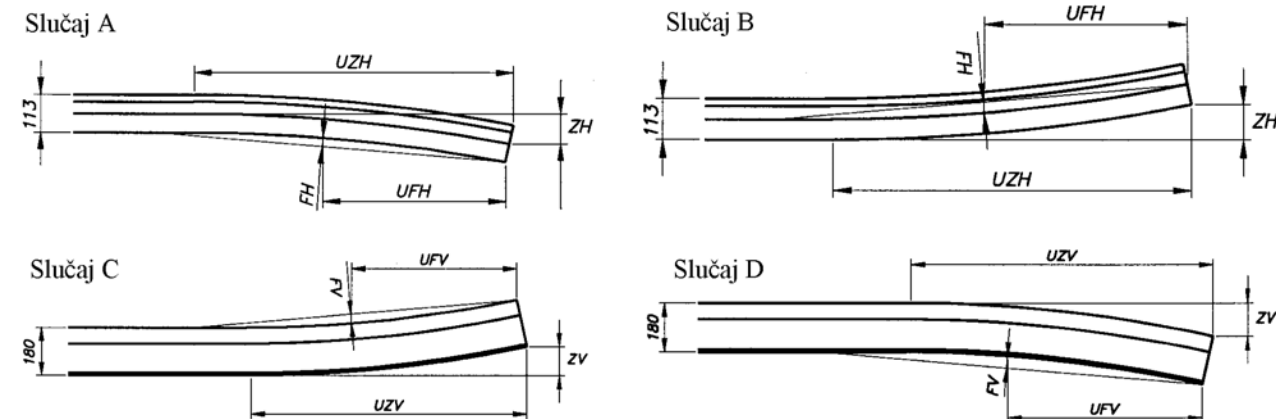
Ove pogreške utječu na povećanje sila, ubrzanja, deformacija i ostalih fizikalnih veličina koje nastaju u momentu nailaska vozila na tako deformiranu tračnicu u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini.

Proračunom su se pokušale definirati dodatne sile u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini koje nastaju zbog diskontinuiteta u geometriji kolosijeka.

Spomenute dodatne sile i povećana naprezanja u samom kolosijeku zasigurno imaju utjecaja na vijek trajanja svih konstrukcijskih elemenata kolosijeka.

## 2 Kontrola zakrivljenosti krajeva tračnica

Iz navedenih je razloga izvršena kontrola zakrivljenosti krajeva tračnica [1]. Na odlagalištu ZET-a bilo je 650 tračnica profila TB-60 koje su bile izrađene prema normi GOST 6544-53. Uzorkovana je 101 tračnica. Na tom uzorku izvršena je kontrola zakrivljenosti krajeva tračnica i glavnih dimenzija u poprečnom presjeku. Budući da ne postoje odgovarajući propisi za užlijebljene tračnice, sljedeća mjerenja i analize provedene su prema željezničkim normama za Vignolove tračnice.



Slika 1. Mogući slučajevi zakrivljenosti krajeva tračnica

Norma GOST 6544-53 dozvoljava veličinu strelice zakrivljenosti krajeva tračnice 0,5 mm u horizontalnoj ravnini, a u vertikalnoj ravnini 1,0 mm mjereno ravnalom dužine 500 mm, dok se prema HŽS, UIC i V• V normama veličina strelice mjeri ravnalom dužine 1500 mm.

Iz statističke obrade dužina zakrivljenosti u horizontalnoj ravnini dobila se srednja vrijednost 575 mm, uz standardno odstupanje od 260 mm. Iz ovog možemo zaključiti da kod više od 60% kontroliranih krajeva tračnica zakrivljenost počinje na većoj udaljenosti od 500 mm, koliko iznosi duljina ravnala prema GOST-u 6544-53. Dakle izmjerene strelice na 60% krajeva tračnice ne bi dale stvarnu veličinu strelice, odnosno zakrivljenosti kraja tračnice, pa zbog ove činjenice kontrola zakrivljenosti krajeva tračnica prema GOST-u 6544-53 nije izvršena.

Rezultati mjerenja zakrivljenosti krajeva tračnica uspoređeni su s dozvoljenim odstupanjima prema danas (još uvijek) valjanim propisima HŽS-norme, UIC-propis i V• V-norme, a ne prema normi - EN - 13674-1 koji je još u postupku usvajanja.

### 2.1 Način mjerenja i usklađivanje s postojećim propisima

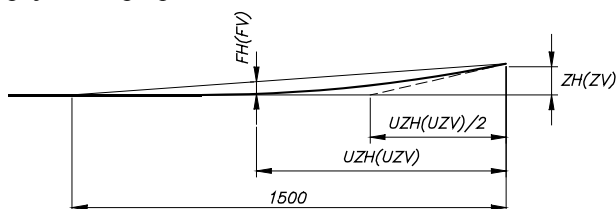
Kontrola zakrivljenosti krajeva tračnica izvršena je u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini čeličnim ravnalom dužine 1500 mm. Mogući slučajevi zakrivljenosti krajeva tračnica prikazani su na slici 1.

Slučajevi A i B odnose se na zakrivljenost krajeva tračnica u ravnini paralelnoj s ravninom nožice (horizontalnoj ravnini), dok se slučajevi C i D odnose na zakrivljenost u ravnini okomitoj na ravninu nožice tračnice (vertikalnoj ravnini).

Izmjerene veličine zakrivljenosti krajeva tračnica komparirane su s dozvoljenim odstupanjima prema sljedećim propisima :

- Norma HŽ-a dozvoljava veličinu strelice 0,75 između ravnala i zamišljene idealne osi ravnosti krajeva tračnica u obje ravnine, mjereno ravnalom dužine 1500 mm. Početak odstupanja od idealne osi tračnice mora biti što je moguće dalje od kraja tračnice.
- Propis UIC CDU: 625.143-860/0 dozvoljava veličinu strelice 0,70 mm između ravnala i zamišljene idealne osi ravnosti tračnice u obje ravnine, mjereno ravnalom 1500 mm. U vertikalnoj ravnini dozvoljeno je samo izdizanje krajeva tračnica. U horizontalnoj ravnini dozvoljena je zakrivljenost u oba smjera. Također je propisano "U svim slučajevima, najveća deformacija mora se nalaziti što je moguće dalje od kraja tračnice".
- U UIC propisima navedeno je slijedeće " Za tračnice koje se spajaju zavarivanjem dozvoljeno odstupanje ravnosti krajeva tračnica može se smanjiti posebnim ugovorom između željezničke uprave i proizvođača tračnica".
- Norma V• V 3150 (Austrija) dozvoljava veličinu strelice 1.0 mm u horizontalnoj ravnini, a u vertikalnoj ravnini 2,0 mm, ali samo ako se krajevi izdižu. Veličina strelice mjeri se između ravnala dužine 1500 mm i zamišljene idealne osi ravnosti tračnice u obje ravnine.

Izmjereni se podatci ne mogu uvijek direktno usporediti s dozvoljenim odstupanjima prema propisima. U tim slučajevima izvršeno je usklađivanje s dozvoljenim odstupanjima prema načinu mjerenja, kako je definirano u pojedinim propisima, što se vidi na slici 2.



Napomena: Oznake u zagradi odnose se na odstupanja u vertikalnoj ravnini

Slika 2. Usklađivanje s dopuštenim odstupanjima prema načinu mjerenja

Kada je u horizontalnoj ravnini mjeran slučaj B, vrijednost strelice FH izračunana je prema izrazu:

$$FH = \frac{ZH \cdot (1500 - UZH)}{1500}$$

dok je u vertikalnoj ravnini u slučaju D vrijednost FV izračunana prema izrazu:

$$FV = \frac{ZV \cdot (1500 - UZV)}{1500}$$

## 2.2 Rezultati mjerenja i usporedba s propisima

### 2.2.1 Horizontalna ravnina

Iz tablice 1. vidimo koliko je krajeva tračnica zadovoljilo dozvoljenu zakrivljenost prema propisima koji se razmatraju.

Tablica 1. Pojedinačna zakrivljenost krajeva tračnica u horizontalnoj ravnini

Norma	HŽS	UIC	V• V
Zadovoljava	91	87	120
Ne zadovoljava (krajevi)	111	115	82
Ne zadovoljava [%]	55	57	41

Tablica 2. pokazuje na kolikom broju tračnica oba kraja iste tračnice zadovoljavaju horizontalnu zakrivljenost prema propisima.

Tablica 2. Zakrivljenost u horizontalnoj ravnini oba kraja na istoj tračnici

Norma	HŽS	UIC	V• V
Zadovoljava	24	21	40
Zadovoljava [%]	24	21	40

Iz tablice 2. vidimo da u horizontalnoj ravnini sve propise zadovoljava svega 21 % tračnica.

### 2.2.2 Vertikalna ravnina

Iz tablice 3. vidimo koliko je krajeva tračnica zadovoljilo dozvoljenu zakrivljenost prema propisima koji se razmatraju.

Tablica 3. Pojedinačna zakrivljenost krajeva tračnica u vertikalnoj ravnini

Norma	HŽS	UIC	V• V
Zadovoljava	82	71	199
Ne zadovoljava (krajevi)	120	131	3
Ne zadovoljava [%]	60	65	1.5

Tablica 4. pokazuje na kolikom broju tračnica oba kraja zadovoljavaju vertikalnu zakrivljenost krajeva prema propisima.

Tablica 4. Zakrivljenost u vertikalnoj ravnini oba kraja na istoj tračnici

Standard	HŽS	UIC	V• V
Zadovoljava	24	20	98
Zadovoljava [%]	24	20	98

Iz tablice 4. vidimo da u vertikalnoj ravnini sve propise zadovoljava samo 20% kontroliranih tračnica.

U tablici 5. sumarno je prikazano koliko od svih izmjerenih tračnica u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini zadovoljava propise.

Tablica 5. Zakrivljenost krajeva tračnica u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini

Norma	HŽS	UIC	V• V
Zadovoljava	9	8	39
Zadovoljava [%]	9	8	39

Na kraju ove analize možemo zaključiti da od ukupnog broja ispitanih tračnica zakrivljenost krajeva tračnica zadovoljava sve propise u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini samo 8 tračnica. Taj broj čini samo 8% od ukupnog broja izmjerenih tračnica.

### 3 Dinamički utjecaj zakrivljenosti krajeva užlijebjenih tračnica na kolosijek u horizontalnoj ravnini

Zakrivljenost krajeva tračnica u ravnini kolosijeka utječe na veličinu sila, ubrzanja, deformacija i ostalih fizikalnih veličina koje nastaju u momentu nailaska vozila na tako deformiranu tračnicu. To su dodatne veličine koje se u eksploataciji zbrajaju s veličinama koje nastaju od ostalih utjecaja. Ove dodatne veličine možemo definirati ako nailazak vozila na tako definiranu tračnicu simuliramo matematičkim modelom naleta vozila na deformirani kolosijek.

Sistem jednadžbi rješavao se programom TRNAL [1] koji kao rezultat daje sljedeće veličine:

- ubrzanje u sanduku vozila (u visini težišta)
- silu vođenja na prvom osovinskom sklopu
- deformaciju tračnica
- kut naleta na deformirani kolosijek
- ubrzanje na prvom osovinskom sklopu
- koeficijent trošenja (izražen kao umnožak sile i kuta naleta).

Matematički model simulacije naleta vozila na deformirani kolosijek [1] izražen je na bazi nekih pretpostavki od kojih navodimo glavne:

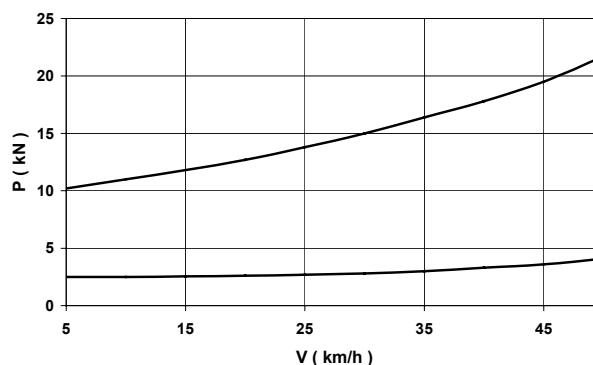
- u procesu naleta vozilo se kreće jednolikom brzinom bez ubrzanja i usporavanja
- na deformirani kolosijek nalijeće samo prvi osovinski sklop
- u procesu naleta vozila drugo okretno postolje kreće se u pravcu nadolazećeg kolosijeka
- elastičnosti na vozilu i kolosijeku predviđene su samo tamo gdje se i konstruktivno nalaze
- svi kotači vozila imaju jednako opterećenje (statičko).

Obrada podataka izvršena je za dva osnovna slučaja. Prvi je nalet vozila na tračnicu koje je kraj deformiran u obliku kružnog luka. Pri obradi podataka, dobile su se veličine čije su se najveće vrijednosti nalazile izvan dužine zakrivljenosti. To ukazuje na činjenicu da se u tom slučaju proces naleta vozila ne može razviti do kraja, već se prekida prije nastupa najvećih vrijednosti. Zbog toga je kao mjerodavan uzet nalet vozila na deformiranu tračnicu u obliku loma kolosijeka.

Kako bočna elastičnost kolosijeka ovisi o načinu pričvršćenja, a također i o vrsti zatvaranja kolosijeka, bočna elastičnost može se kretati u granicama od  $0,5 \cdot 10^6$  daN/m do  $2 \cdot 10^6$  daN/m. Ispitivanje je provedeno za slučaj naleta na lom  $2,28 \text{ mm/m}^2$  (1:439), što je srednja vrijednost kuta naleta, i za slučaj naleta na lom  $11,9 \text{ mm/m}^2$  (1:84), što odgovara najvećoj vrijednosti kuta naleta dobivenog mjerenjem. U oba slučaja račun je proveden za brzinu kretanja vozila do 50 km/h.

Ubrzanja u sanduku vozila uglavnom utječu na udobnost vožnje, no posebna pozornost posvećena je sili vođenja koja direktno utječe na sigurnost kretanja vozila i na stabilnost i trajnost kolosiječne konstrukcije.

Mogućnost da se u eksploataciji na istome mjestu nađu svi najnepovoljniji ulazni podaci jest mala. Zbog toga je daljnje razmatranje moguće dodatne sile vođenja od loma kolosijeka zbog zakrivljenosti krajeva tračnica provedeno s ograničenim vrijednostima ulaznih podataka. Prema [1] srednja je vrijednost tangensa kuta naleta 1:439 ( $2,28 \text{ mm/m}^2$ ). Standardno odstupanje za ovu vrijednost jest 247, što znači da se s približno 67% vjerojatnosti mogu očekivati vrijednosti u granicama od 1:192 ( $1,46 \text{ mm/m}^2$ ) do 1:686 ( $5,21 \text{ mm/m}^2$ ). S navedenim ograničenjima područje dodatne sile koja se pojavljuje na vodećoj osovini u ravnini kolosijeka od navedenih nepravilnosti na kolosijeku prikazana je na slici 3.

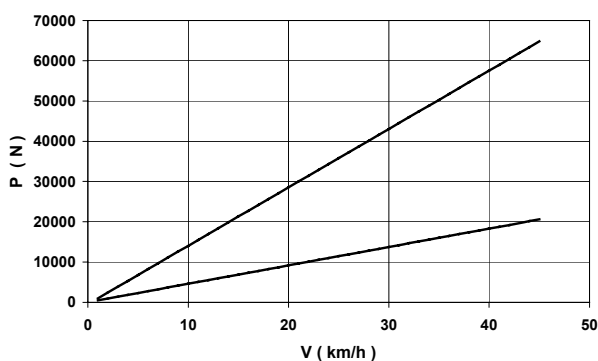


Slika 3. Dodatna sila na vodećoj osovini u horizontalnoj ravnini

### 4 Dinamički utjecaj zakrivljenosti krajeva tračnice na kolosijek u vertikalnoj ravnini

Vertikalna zakrivljenost kraja tračnice predstavlja diskontinuitet koji nužno uzrokuje porast pritiska vozila na kolosijek u vremenu nakon nailaska vozila na diskontinuitet. Da bi se stekao kvalitetan uvid u opisanu pojavu, postavljen je dinamički model dvoosovinskoga tramvajskog motornog vozila i varirana je brzina nailaska vozila na diskontinuitet [1].

Oblik diskontinuiteta odabran je na bazi izvršenih mjerenja i njihove statističke obrade te pretpostavke da je osnovni oblik kružni luk koji se tangencijalno priključuje na horizontalni pravac. Uz pretpostavku da se vozilo kreće jednolikom brzinom od  $V$  (km/h), prema [1] kod mogućih različitih koeficijenata elastičnosti kolosijeka, područje dodatnog pritiska od neravnina na kolosijeku u vertikalnoj ravnini ( $P$ ) prikazano je na slici 4.



Slika 4. Dodatna sila u vertikalnoj ravnini

Dodatni pritisak vozila na kolosijek (okomito na ravninu kolosijeka) zbog postojanja diskontinuiteta formiranog kao savinuti kraj tračnice raste s porastom brzine kretanja vozila.

Ovisnost između horizontalne brzine i dodatnoga pritiska gotovo je linearna i nalazi se u području definiranom sljedećim pravcima (slika 4.):

$$P_{min} = 464 \bullet V - 280$$

$$P_{max} = 1448 \bullet V - 360$$

Dodatni pritisak može dostići veličinu i do 50% veličine opterećenja jedne osovine vozila u uvjetima normalne eksploatacije kolosijeka.

## 5 Zaključak

Tračnice profila TB-60 izrađene su prema normi GOST 6544-53. Na deponiji ZET-a bilo je 650 tračnica. Uzokovano je 101 tračnica, na kojima je izvršena kontrola zakrivljenosti krajeva tračnica i glavnih dimenzija u presjeku.

Prilikom izvođenja radova s gore spomenutim tračnicama (polaganje, namještanje, zavarivanje, dotjerivanje

smjera i širine kolosijeka i dotjerivanje visinskog odnosa tračnica) pojavio se čitav niz problema zbog prevelike zakrivljenosti krajeva tračnica i neujednačenosti glavnih dimenzija poprečnog presjeka tračnice.

Rezultate mjerenja zakrivljenosti krajeva tračnica komparirane su s dozvoljenim odstupanjima prema HŽ normi, UIC propisu i  $V \bullet V$  normi.

Iz tablice 4. vidimo da u vertikalnoj ravnini sve propise zadovoljava 20% kontroliranih tračnica.

I konačno iz tablice 5. možemo vidjeti da od ukupno 101 ispitane tračnice zakrivljenost krajeva tračnica zadovoljava samo 8% tračnica sve propise u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini.

Zakrivljenost krajeva tračnica utječe na povećanje sila ubrzanja, deformacija i ostalih fizikalnih veličina koje nastaju u momentu nailaska vozila na tako deformiranu tračnicu i u horizontalnoj i u vertikalnoj ravnini.

Iz analize dinamičkog utjecaja zakrivljenosti krajeva tračnica u vertikalnoj ravnini, vidimo da je ovisnost između brzine kretanja vozila i dodatnog pritiska gotovo linearna i da dodatni pritisak može postići veličinu i do 50% veličine opterećenja jedne osovine vozila u uvjetima normalne eksploatacije kolosijeka.

Nakon analize dinamičkog utjecaja zakrivljenosti krajeva tračnica u horizontalnoj ravnini, vidimo da dodatna sila u slučaju naleta vozila na deformirani kraj tračnica može iznositi i do 50 kN, a vrijednost 20 kN postići će sa 67% vjerojatnosti.

Iz teoretskih postavki i proračuna, definirane su dodatne sile zbog zakrivljenosti krajeva tračnica. Spomenute dodatne sile i povećana naprezanja u samom kolosijeku svakako bi trebalo ispitati i izmjeriti u kolosijeku u uvjetima eksploatacije pod punim opterećenjem.

Da bismo vidjeli stvarni učinak gore definiranih dodatnih sila zbog prevelike zakrivljenosti krajeva tračnica, bilo bi nužno pratiti kolosijek u uvjetima eksploatacije u dužem vremenskom razdoblju.

Posebno treba pratiti stabilnost kolosijeka, stanje pričvršnih mjesta i silu u pričvršnom priboru, širinu kolosijeka u zoni zavara, te stanje elemenata zatvaranja kolosijeka u slučaju kada po istoj prometnoj površini teče i cestovni i tramvajski promet.

## LITERATURA

- [1] Bajić, A. G.; Bašić, Z.; Cvrle, G.; Pollak, B.: *Izveštaj o ispitivanju kvalitete i geometrije užljebljenih tračnica*, Građevinski Institut, Zagreb, 1989.
- [2] Norme HŽ – C.K1.020 i C.K1.021
- [3] Propis UIC CDU 625.143 – 860/0
  
- [4] Normen V• V - OR. 13 Technische Lieferbedingungen für Rillenschienen, July 1997.
- [5] Norma GOST 6544-53 – Grupa 42
- [6] Norme EN - 13674-1 – prijedlog
- [7] P – 314 – Pravilnik o gornjem ustroju – Hrvatske željeznice