

Mate Pezer, dipl. ing. građ.
Ivan Markić, mag. ing. aedif.
Domagoj Majić, mag. ing. aedif.
Tea Juzbašić, mag. ing. aedif.

INTERAKCIJA KOLOSIJEKA I KONSTRUKCIJE PREMA HRN EN 1991-2 I UIC 774-3R

1. Uvod

Svjedoci smo toga da se u Hrvatskoj planiraju znatna ulaganja u obnovu i izgradnju željezničke infrastrukture. Za povrat tih ulaganja bitni su kvalitetni projekti. Projekti moraju biti optimalni u pogledu početnog ulaganja i održavanja tijekom upotrebe. Danas je standardni parametar za smanjenje troškova tijekom upotrebe željezničke pruge gradnja kolosijeka na način da se ispune zahtjevi dugoga tračničkog traka – DTT (*Continuous welded rail – CWR*). Velik postotak postojećih pruga u Europi i tzv. razvijenome svijetu izgrađen je s kontinuirano zavarenim tračnicama. Uvjeti za DTT sa sobom nose i određene zahtjeve koje treba ispuniti u fazi projektiranja. Kvaliteta tračnica, pragova, zastora, njihove dimenzije i razmaci moraju biti unutar određenih granica te moraju zadovoljavati određene kriterije i uvjete. Ti uvjeti i kriteriji dodatno se „pojačavaju“ kada kolosiječna konstrukcija prelazi preko pružnih građevina (mostova, vijadukata, podvožnjaka). Dodatni je problem i interakcija, odnosno kombinirani kolosiječni odziv, definiran normama HRN EN 1991-2 i UIC 774-3R.

U ovome članku obradit će se dodatni uvjeti i kriteriji koje treba zadovoljiti zbog interakcije kolosiječne rešetke i konstrukcija pružnih građevina.

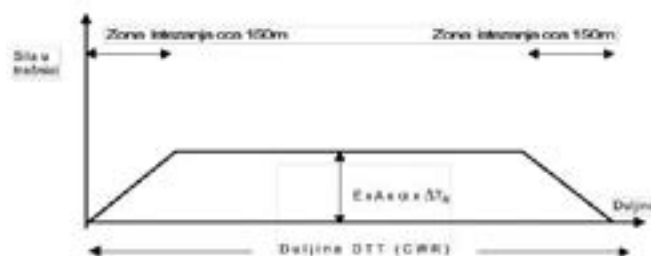
2. Dugi tračnički trak

Pod dugim tračničkim trakovima podrazumijevaju se tračnice zavarene u duljine veće od 60 m (Uputa 330). Prednosti DTT-a jesu:

- smanjenje troškova održavanja
- manje nepravilnosti i otkazivanja tračnica
- manja oštećenja na vozilima
- smanjenje buke i vibracija
- udobnija vožnja
- manja potrošnja energije za vuču
- lakša mehanizacija za ugradnju i održavanje kolosijeka.

Tračnice u dugačkome kontinuitetu, zavarene i bez dilatacija, pričvršćuju se na konstrukcije pružnih građevina (mostova) pri kontroliranoj, neutralnoj temperaturi (uobičajeno 10-15°C) jer su tada naprezanja u traku približno jednaka 0 N/mm². S promjenom temperature dolazi do širenja ili skupljanja tračnica, odnosno do naprezanja. Promjena temperature iz neutralne može biti i do 40-45°C i uzrokovati naprezanja do 100-120 N/mm² u tračnici UIC 60 [1]. DTT na građevinskim konstrukcijama treba postaviti tada kada je konstrukcija u neutralnome položaju, tako da se smanji utjecaj promjene njezine duljine na uzdužne sile u tračnicama [1].

Kontinuirano zavarene tračnice uključuju središnju zonu, u kojoj su u cijelosti spriječeni širenje i skupljanje, te dvije zone istezanja na svakome kraju, u duljini oko 150 m, u kojima je dopušteno širenje i skupljanje. Dilatacijska tračnička naprava koja se nalazi na krajevima DTT-a ima mogućnost uzdužnog pomicanja od ± 50 mm i omogućuje slobodno pomicanje krajeva.



Slika 1. Ponašanje DTT-a pri toplinskom djelovanju

- a = koeficijent toplinskog istezanja
 DT_R = razlika u temperaturi tračnica u odnosu na referentnu temperaturu
 E = Youngov modul za čelik (210 000 N/mm²)
 A = ukupna površina poprečnog presjeka dviju tračnica
 F = sila u tračnicama

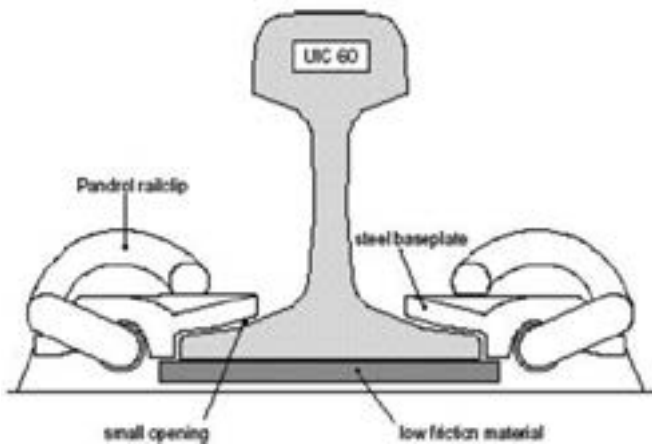
Glavna djelovanja koja tračnica mora izdržati jesu:

1. vertikalna i horizontalna djelovanja vlaka (maksimalna masa osovine vlaka, maksimalne horizontalne uzdužne sile kočenja i ubrzanja, maksimalne horizontalne bočne sile udara kotača i centrifugalnog djelovanja u zavojima i dr.)
2. naprezanja u tračnici zaostala od varenja, spajanja i sl.
3. toplinska djelovanja na prugu.

Riječ je o djelovanjima koja se uvijek javljaju na tračnicama kada su izvedene kao DTT, neovisno o tome nalaze li se na konstrukciji pružne građevine (mostu, propustu, vijaduktu, podvožnjaku) ili negdje drugdje (nasipu, usjeku i dr.).

3. Interakcija kolosijeka i konstrukcije

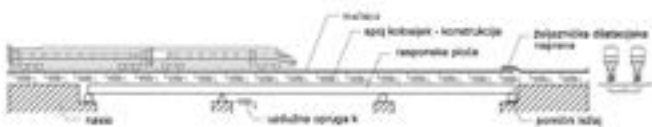
Kada je kolosijek na građevinskoj konstrukciji (mostu, vijaduktu, podvožnjaku), javljaju se dodatni utjecaji na tračnice koji se ne javljaju na dijelovima pruge na nasipu i u usjeku. To izaziva dodatna naprezanja u tračnicama koja su proizvod interakcije kolosijeka i konstrukcije. Interakcija kolosijeka i konstrukcije posljedica je njihove povezanosti, odnosno „spregnutosti“, što rezultira međusobnim utjecajem. Ta se veza ostvaruje preko zastora ili izravno preko pragova oslonjenih na konstrukciju.



Slika 2. Tračnica s pričvršnicama

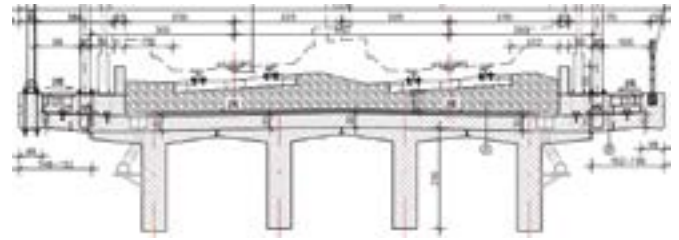
Tračnice su pričvršćene za pragove elastičnim pričvršnicama (kolosiječnim pričvršnim priborom) čija krutost i maksimalna nosivost iznosi 60 kN po metru za svaki kolosijek [2]. Pragovi su položeni u kamenu zastor minimalne debljine 30 cm između praga i konstrukcije te su na taj način povezani prag i zastor.

Zastor ima svoju krutost i sposobnost preuzimanja uzdužne sile u rasponu 20-60 kN po metru, ovisno o tome radi li se o ljetu ili zimi, novome, zablacenome ili smrznutom zastoru te o tome je li opterećen prometnim opterećenjem ili nije. Na kraju sprezanje između zastora i konstrukcije ostvaruje se trenjem između zastora i dodirne plohe konstrukcije kao konačne veze između tračnice i rasponskog sklopa.



Slika 3. Statička shema kolosijeka na mostu i nasipu [5]

Zbog svega navedenoga interakcija kolosijeka i konstrukcije uzrokuje dodatne sile u tračnicama i konstrukciji, tj. njezinim nosivim elementima (rasponski



Slika 4. Poprečni presjek kolosijeka na mostu

sklop, ležajevi, stupovi i drugo). Posljedice dodatnih sila i pomaka mogu biti pucanje tračnice (prekoračenja dopuštene sile u tračnici) ili smanjenje stabilnosti kolosijeka (prekoračenja dopuštenih pomaka). Interakcija konstrukcije promatra se po graničnome stanju uporabivosti, a interakcija tračnice po graničnome stanju nosivosti. Sile i pomaci računaju se pomoću parcijalnih faktora sigurnosti za kombinacije opterećenja koja se mogu javiti na željezničkoj konstrukciji.

Međudjelovanje proizvodi sile u tračnicama i njezinim spojnim elementima kao i u svim elementima mostova. Ako je interakcija kontrolirana, most će ispunjavati svoju funkciju i neće izazivati nedopuštene anomalije na tračnicama. Postoje dvije vrste anomalija: prijelom (pucanje) tračnice ili prekid veze između kolosijeka i mosta. Tračnica se prekida zbog prekoračenja čvrstoće tračnice, a veza između kolosijeka i konstrukcije prekida se kada zastor olabavi zbog znatnih pomaka rasponskog sklopa pa više nije zajamčena dostatna otpornost na bočno izvijanje na krajevima mosta.

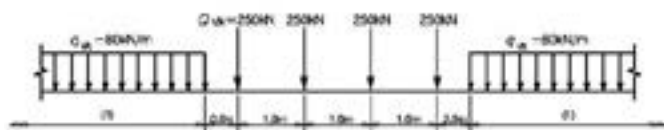
Primjena DTT-a na građevinskim konstrukcijama koje se mogu deformirati i pomicati u odnosu na kontinuirano zavareni kolosijek rezultira diskontinuitetom u karakteristikama kolosiječnog zastora, zbog čega se ograničavaju dopušteni pomaci. Taj diskontinuitet odgovoran je za relativno pomicanje kolosiječnog zastora i tračnica kao i konstrukcije koja se širi i skuplja.

Pritom postoje dodatna djelovanja na mostovima u odnosu na ona na nasipu, na primjer zbog toplinskih djelovanja. Pod utjecajem tih dodatnih djelovanja, ali i pod djelovanjem konstrukcija, tračnice se mogu širiti ili skupljati. No, konstrukcija u središnjoj zoni DTT-a uvijek može izazvati veća skupljanja ili širenja u odnosu na tračnicu, što stvara dodatna naprezanja u tračnici: tlačna i vlačna. Pod utjecajem tlačnih naprezanja javlja se i izvijanje tračnice. Zbog takvih dodatnih utjecaja na tračnicu konstrukcija mora ispuniti određene uvjete da bi se omogućio siguran promet.

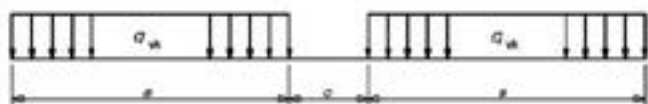
3.1. Dodatni utjecaji koji izazivaju naprezanja u tračnici

Dodatni utjecaji koji izazivaju naprezanja u tračnici jesu:

1. vertikalne deformacije rasponskog sklopa zbog:
 - a. prometnog opterećenja (osovinskog djelovanja) [2] i [3]



Slika 5. Vertikalna opterećenja na most LM71



Slika 6. Vertikalna opterećenja na most SW/0 i SW/2

- b. toplinskog djelovanja DT_M (promjenjive temperature po visini presjeka)
 - c. puzanja ili skupljanja (ako ekscentrično djeluju na rasponski sklop betonskih ili spregnutih konstrukcija).
2. uzdužni horizontalni pomaci rasponskog sklopa zbog:

- a. prometnog djelovanja (kočno i vučno djelovanje) [2] i [3]

Vučna sila: $Q_{iak} = 33 \text{ [kN/m]} L_{a,b} \text{ [m]} \leq 1\,000 \text{ [kN]}$, za LM71, SW/0 i HSLM

Kočna sila: $Q_{ibk} = 20 \text{ [kN/m]} L_{a,b} \text{ [m]} \leq 6\,000 \text{ [kN]}$, za LM71, SW/0 i HSLM

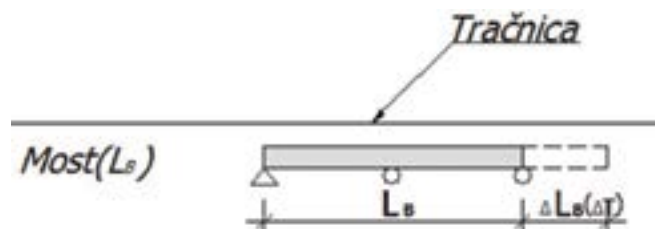
$Q_{ibk} = 35 \text{ [kN/m]} L_{a,b} \text{ [m]}$, za SW/2

- b. toplinskog djelovanja DT_N (jednolike temperature po visini presjeka)
 - c. skupljanja i puzanja u slučaju betonske ili spregnute konstrukcije.
3. poprečni horizontalni pomaci rasponskog sklopa zbog:
 - a. prometnog djelovanja (bočni udari i centrifugalne sile)
4. uzdužni horizontalni pomaci stupišta zbog:
 - a. prometnog djelovanja (kočne i vučne sile) koje na stupu izaziva:
 - savijanje stupa
 - zaokretanje temelja
 - pomake temelja.
5. poprečni horizontalni pomaci stupišta zbog:
 - a. prometnog djelovanja (bočni udari i centrifugalne sile) koje na stupu izaziva:
 - savijanje stupa
 - zaokretanje temelja
 - pomake temelja.
6. vertikalni pomak stupišta zbog:
 - a. prometnog opterećenja (osovinskog opterećenja)
 - b. diferencijalnog slijeganja stupišta.

3.2. Parametri konstrukcije i kolosijeka koji utječu na interakciju kolosijeka i konstrukcije

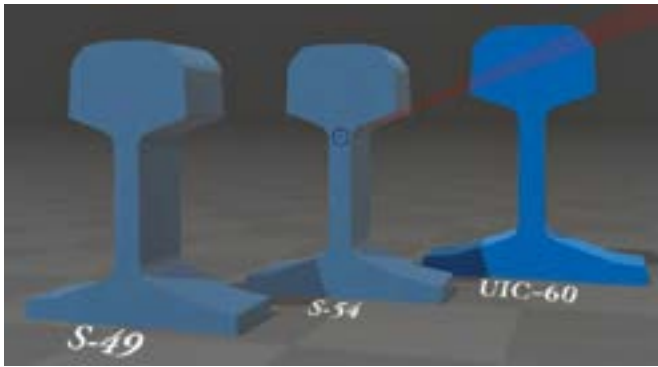
Parametri konstrukcije (mosta, vijadukta, podvožnjaka i drugog) i kolosijeka (tračnice, sustavi i drugo) koji utječu na interakciju kolosijeka i konstrukcije jesu:

- a. duljina temperaturnog širenja: udaljenost temperaturno nepomične točke od kraja ploče [2]. Položaj temperaturno nepomične točke ovisi o poziciji i izboru konstrukcije (položaj uzdužno nepomičnog ležaja). Također, ako se radi o čeličnome mostu, kod njega su sve deformacije veće nego kod betonskog mosta ($a_{T,b} = 1 \times 10^{-5}$, $a_{T,\delta} = 1.2 \times 10^{-5}$).



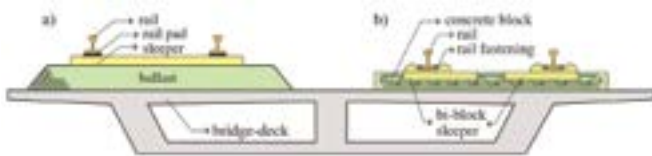
Slika 7. Temperaturno širenje

- b. duljina i tip rasponske konstrukcije: vertikalno opterećenje uzrokuje pomak kraja ploče te o veličini raspona ovisi utjecaj pomaka konstrukcije na kolosijek. Što je veći raspon, i progib će biti veći, a time i pomak kraja te će se kao posljedica dobivati veća sila u tračnici.
 - c. vertikalna krutost rasponskog sklopa: utječe na horizontalni pomak ruba nosača. Manje kruti imaju veći progib, a time i veći horizontalni pomak.
 - d. visina ploče: udaljenost vrha nosača od neutralne osi nosača i udaljenost neutralne osi nosača od centra rotacije ležaja utječe na interakciju pri savijanju
 - e. krutost stupišta: otpor konstrukcije na horizontalne pomake ključni je parametar koji utječe na sve uvjete interakcije. Ukupna krutost uzima u obzir krutost ležajeva, stupova ili upornjaka, temelja i tla (statičku i dinamičku).
 - f. uzdužna krutost kolosijeka: otpornost na pomak sila je po jedinici duljine kolosijeka koja djeluje suprotno od smjera pomaka kao funkcija relativnog pomaka između tračnice i rasponskog sklopa ili nasipa. Odnos između otpornosti i uzdužnog pomaka jest krutost kolosijeka koja je jako važan parametar u interakciji. Taj parametar ovisi o velikome boju faktora. Važno je imati pouzdane vrijednosti tih parametara.
 - g. poprečni presjek tračnice: ovisi o tipu tračnice koji se upotrebljava (UIC 60, UIC 54...) te utječe na stanje naprezanja u tračnici



Slika 8. Tračnice

h. sustav kolosijeka: ovisno o tome je li kolosijek sa zastorom ili bez njega mijenja se uzdužna krutost kolosijeka



Slika 9. Kolosijek sa zastorom i bez zastora [5]

i. tračničke dilatacijske naprave: o tome je li kolosijek neprekinut na konstrukciji ili je postavljena tračnička dilatacijska naprava (jedna, dvije ili više) ovisi i sile u tračnici, konstrukciji i ležaju kao i dopuštena naprezanja

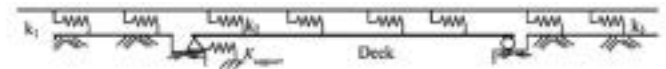


Slika 10.a i 10.b Tračnička dilatacijska naprava

Sva navedena djelovanja, događaji te parametri konstrukcije od temeljnog tla do vrha tračnice izazivaju dodatna naprezanja i pomake koji su ograničeni prema normama HRN EN 1991-2 i UIC 774-3R. Nacionalni dodatak HRN EN 1991-2/NA upućuje i na primjenu norme UIC 774-3R za vrijednost uzdužne otpornosti između kolosijeka i rasponskog sklopa, dio kočne sile koji preuzima konstrukcija mosta. Da bi se izračunalo kolika su naprezanja u tračnici i koliki su pomaci gornjeg ustroja mosta, potrebno je napraviti proračun interakcije kolosijeka i konstrukcije. To se može napraviti na dva načina:

1. pomoću dodatka G prema HRN EN 1991-2 ili pomoću dodatka A i B prema UIC 774-3R

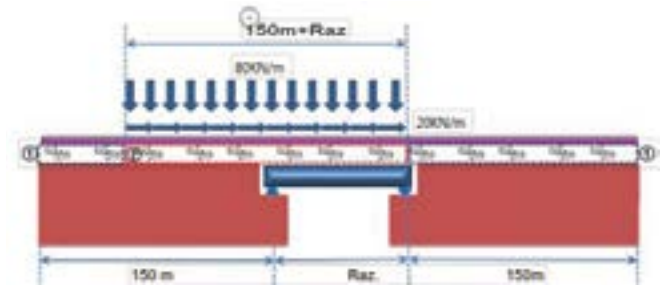
2. pomoću statičkog modela konstrukcije u nekom od softvera koji može provoditi nelinearnu analizu te gdje se mogu izrađivati realni, 3D modeli mosta sa svim njegovim dijelovima (raspon, ležaj, stup, temelj i drugo). Tlo se definira kao opruge koje odgovaraju krutosti tla. Spoj tračnice i rasponskog sklopa povezuje se preko nelinearnih opruga koje predstavljaju krutost zastora i spojnih sredstava s točno definiranim krutostima kao i maksimalnom silom koju može primiti. Tračnice se također modeliraju realno, na poziciji udaljenoj od težišta rasponskog sklopa kao i u stvarnosti.



Slika 11. Statička shema tračnice i stupišta

Na takvim modelima provjerava se interakcija kolosijeka i konstrukcije, tj. dopuštena naprezanja i pomaci, uspoređuje ih se s dopuštenim vrijednostima iz normi i pokazuje zadovoljavaju li ih ili ne. U stvari pomoću nelinearne analize provjerava se nosivost i uporabivost još jednog mosta (tračnica na rasponskome sklopu).

4. Interakcija prema HRN EN 1991-2 i HRN EN 1991-2:2012/NA



Slika 12. Shematski prikaz modela za DTT

4.1. Proračunske metode

Za gornji ustroj nije potrebno provjeravati međudjelovanje konstrukcije i kolosijeka ako je:

- okvirna konstrukcija preko jednog ili više polja ukupne duljine do 40 m i s polumjerom $r \geq 1500$ m
- okvirna konstrukcija preko jednog polja duljine do 15 m i konstrukcija preko jednog polja raspona do 10 m i $r \leq 1500$ m s drugim tipovima tračnica.

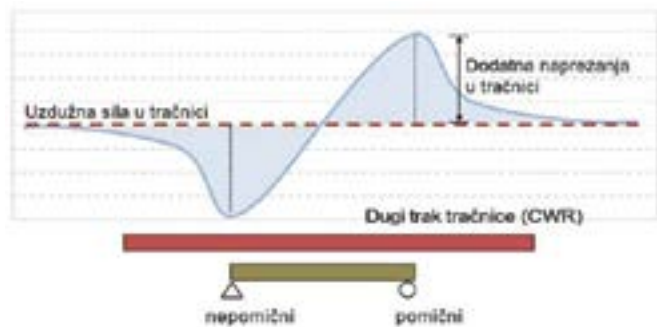
Pojednostavljena proračunska metoda prema normi HRN EN 1991-2:2012 iz točke 6.5.4.6.1 za jedan rasponski sklop može se koristiti za:

- konstrukcije preko jednog polja raspona do 25 m
- konstrukcije preko više polja ukupne duljine do 40 m (osim ako se radi o slobodno oslonjenim gredama) i $r \geq 1500$ m.

Za konstrukcije koje ne udovoljavaju zahtjevima iz točke 6.5.4.6.1. u Dodatku G dana je metoda za određivanje kombiniranog odziva konstrukcije i kolosijeka za:

- slobodno oslonjene i kontinuirane konstrukcije koje se sastoje od jednoga rasponskog sklopa
- konstrukcije koje se sastoje od niza slobodno oslonjenih rasponskih sklopova
- konstrukcije koje se sastoje od niza jednodijelnih kontinuiranih rasponskih sklopova, uz zadovoljenje svih ostalih uvjeta navedenih u Dodatku G.

Za konstrukcije koje ne udovoljavaju ni zahtjevima iz Dodatka G navedene norme potrebno je izraditi statičke modele kolosijeka i mosta u računalnim statičkim programima u kojima se mostovi i kolosijeci zadaju prema toj normi, a podržavaju nelinearne statičke proračune.

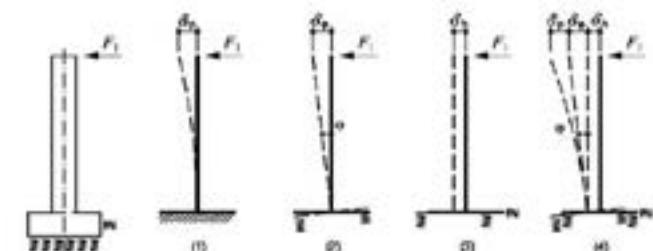


Slika 13. Naprezanja u DTT-u

4.2. Detalji glavnih parametara kolosijeka i konstrukcije koji utječu na interakciju

1. Krutost stupa: otpor konstrukcije na horizontalne pomake jest ključni parametar koji utječe na sve uvjete interakcije. Ukupna krutost uzima u obzir krutost ležajeva, stupa, temelja i tla (statičku i dinamičku) [2] i [3].

$$K = \frac{F [\text{kN}]}{\sum \delta_i [\text{cm}]}$$



- Legenda
- (1) slobodni stup
 - (2) završetak temelja
 - (3) pilon na pile
 - (4) sklop pomak vrha stupa

Slika 14. Primjer određivanja uzdužne krutosti stupa

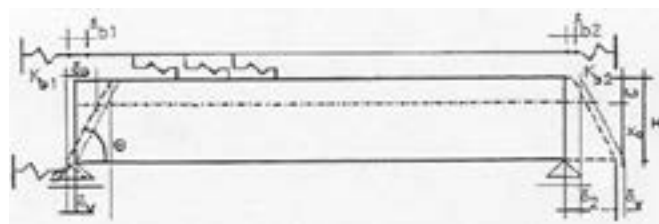
$$\delta_i = \delta_p + \delta_\phi + \delta_h + \delta_a,$$

gdje su:

- δ_p pomak vrha potpore od elastične deformacije
- δ_ϕ pomak vrha potpore od rotacije temeljne ploče
- δ_h pomak vrha potpore od horizontalnog pomaka temelja
- δ_a relativni pomak između gornjeg i donjeg dijela ležaja.

U ovome slučaju osobito je jako važno dobro odrediti krutost tla, koja se prikazuje poput elastičnih opruga. Zbog „malih“ pomaka koji su dopušteni u vrhu stupišta može se dogoditi to da se veličina temelja mora povećati neovisno o nosivosti kako bi pomaci na vrhu stupa bili u dopuštenim granicama.

2. Krutost rasponskog sklopa: vertikalno opterećenje uzrokuje pomak kraja ploče te utjecaj pomaka konstrukcije na kolosijek ovisi o duljini raspona. Što je raspon veći, to će biti veća vertikalna deformacija, a s njom i horizontalni pomak.



Slika 15. Savijanje nosača

Vertikalna krutost rasponskog sklopa također utječe na horizontalni pomak ruba nosača. Što je manja krutost, to je veća vertikalna deformacija, a s njom i horizontalni pomak. Visina ploče odnosno udaljenost vrha nosača od neutralne osi nosača i udaljenost neutralne osi nosača od centra rotacije ležaja utječu na interakciju pri savijanju. Posebno treba obratiti pozornost na čeličnu grednu konstrukciju, pogotovo jer u pravilu ima manju krutost od betonske, ako su zadovoljeni svi uvjeti nosivosti i zamora.

3. Uzdužna krutost kolosijeka: otpornost na pomak jest sila po jedinici duljine kolosijeka koja djeluje suprotno od smjera pomaka konstrukcije kao funkcija relativnog pomaka između tračnice i rasponskog sklopa ili nasipa. Odnos između otpornosti k i uzdužnog pomaka u jest krutost kolosijeka koja je jako važan parametar u interakciji. Taj parametar ovisi o velikome boju faktora.



Slika 16. Uzdužni otpor kolosijeka koji je ovisan o uzdužnome pomaku

To je li kolosijek opterećen ili nije, je li smrznut ili nije i maksimalnu otpornost kolosijeka određuje otpornost pričvrstnog pribora tračnice. To su „moždanici“ koji ostvaruju „sprezanje“ kolosijeka i konstrukcije. S obzirom na to da su to parametri koji izravno određuju iznos dodatnih sila u tračnici, odnosno u DTT-u, važno je imati pouzdane vrijednosti tih parametara.

Prema normama HRN EN 1991-2:2012 i UIC 774-3R, vrijednosti k u plastičnoj zoni jesu:

- $k = 12 \text{ kN/m}$ – otpornost praga u zastoru, neopterećena tračnica, umjereno održavana
- $k = 20 \text{ kN/m}$ – otpornost praga u zastoru, neopterećena tračnica, dobro održavana
- $k = 20\text{-}40 \text{ kN/m}$ – otpornost praga u zastoru, neopterećena tračnica, zablaceni ili smrznuti zastor
- $k = 40 \text{ kN/m}$ – otpornost tračnice na pragu, bez zastora, neopterećena tračnica
- $k = 60 \text{ kN/m}$ – otpornost praga u zastoru, opterećena tračnica, smrznuti zastor ili tračnica bez zastora.

Prema normi UIC 774-3R, vrijednosti pomaka u_0 u elastičnoj zoni (do plastične zone) jesu:

- $u_0 = 2,0 \text{ mm}$ – pomak za otpornost dobro održavanog praga u zastoru
- $u_0 = 2,0\text{-}0,5 \text{ mm}$ – pomak za otpornost praga u smrznutom ili zablacenom zastoru
- $u_0 = 0,5 \text{ mm}$ – pomak za otpornost tračnice na pragu bez zastora.

4.3. Proračunski kriteriji koje interakcija (odziv) kolosijeka i konstrukcije treba zadovoljiti prema UIC 774-3R i HRN EN 1991-2

4.3.1. Zajednički kriteriji prema normama UIC 774-3R i HRN EN 1991-2

a. Dopuštena dodatna naprezanja u tračnici:

- dopuštena naprezanja za tlak: 72 N/mm^2

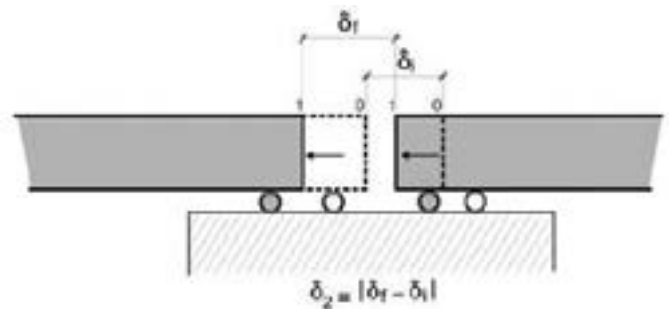
- dopuštena naprezanja za vlak: 92 N/mm^2
- dopuštena naprezanja vrijede za:
 - UIC 60 tračnicu s vlačnom čvrstoćom 900 N/mm^2
 - ravne kolosijeke ili kolosijeke s $r \geq 1500 \text{ m}$
 - kolosijeke sa zastorom i teškim betonskim pragovima s najvećim razmakom od 60 cm ili za kolosijeke slične izvedbe
 - kolosijeke sa zastorom s najmanje 30 cm zbijenog zastora ispod pragova.

U slučaju da se koristi drugi tip tračnice odgovorna institucija treba utvrditi nove dopuštene vrijednosti.

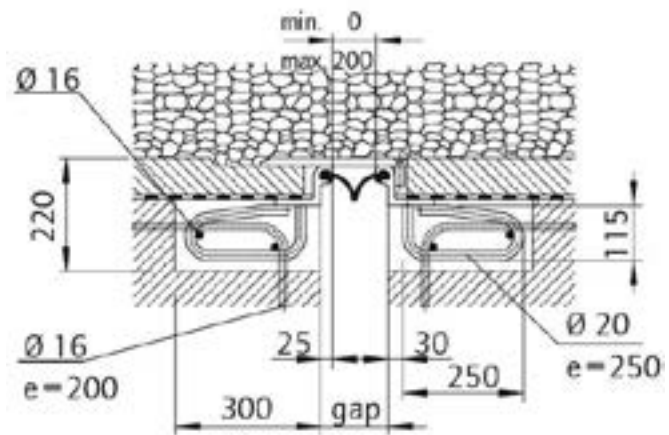
b. Dopuštena deformiranja konstrukcije

Ograničenja u pomacima postavljaju se radi toga da ne bi došlo do prevelikog smanjenja krutosti (rastresitosti) zastora. Ako do tih deformacija dođe, uvjeti iz prethodnog poglavlja više neće biti ispunjeni. Ograničenja također neizravno ograničavaju dodatne uzdužne sile u tračnici.

c. Horizontalni pomaci pod utjecajem vučnih i kočnih sila



Slika 17. Horizontalni relativni pomak pod utjecajem vučnih i kočnih sila



Railway joint DB 200

Slika 18. Prijelazna naprava za neprekinuti zastor (pomaci < 30 mm)

U slučaju da se na mostu nalazi tračnička prijelazna naprava maksimalni dopušteni pomak iznosi 30 mm. Horizontalni pomaci nastaju zbog rotacije ploče pod utjecajem vertikalnih sila (potrebno je uzeti u obzir i dinamičke utjecaje i udobnost putnika). U slučaju DTT-a na mostu maksimalni pomak iznosi 8 mm.

4.3.2. Razlike u kriterijima prema normama UIC 774-3R i HRN EN 1991-2

Iako obrađuju istu materiju, postoje određene razlike u nedefiniranju pojedinih kriterija, tj. neki parametri definirani su u jednoj normi, no u drugoj nisu, što stvara određene zabune kojih ne bi smjelo biti. Zbog toga ih treba obraditi jer su neki ključni za izradu proračuna, na primjer vrijednosti pomaka za otpornost tračnice i praga u zastoru.

a. Parametri definirani u normi UIC 774-3R

Horizontalni pomaci pod utjecajem vučnih i kočnih sila:

- maksimalni dopušteni pomak između tračnice i nosača iznosi ± 4 mm
- maksimalni dopušteni, *apsolutni* horizontalni pomak konstrukcije iznosi ± 5 mm.

Vertikalni pomak nije definiran nego je samo navedeno to da maksimalni vertikalni pomak treba odrediti nadležna institucija.

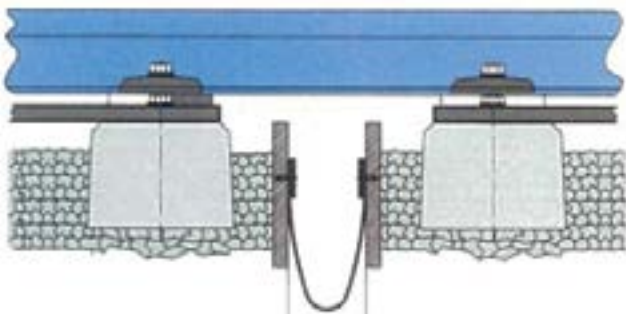
b. Kriteriji definirani u normi HRN EN 1991-2

Horizontalni pomaci pod utjecajem vučnih i kočnih sila:

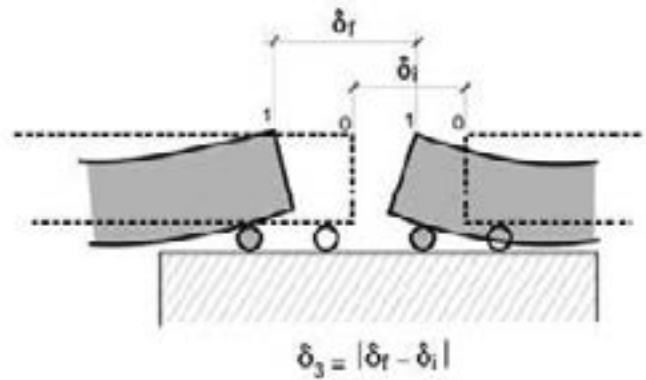
- maksimalni relativni horizontalni pomak nosača iznosi ± 5 mm ako je preko mosta postavljen DTT (EN).

Za vertikalna djelovanja pod djelovanjem prometa relativni horizontalni pomak gornje površine rasponskog sklopa zbog deformiranja rasponskog sklopa δ_H ne smije biti veći od:

- 10 mm ako je zanemarena interakcija konstrukcije i kolosijeka.



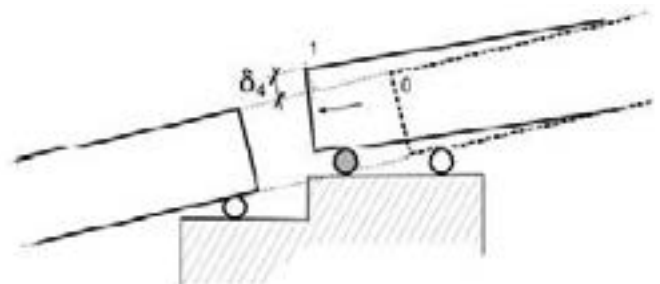
Slika 19. Prijelazna naprava za prekinuti zastor (pomaci > 30mm)



Slika 20. Horizontalni pomak prilikom savijanja ploče [6]

Vertikalni relativni pomak gornje površine rasponske konstrukcije u odnosu na susjednu konstrukciju (upornjak ili drugi raspon) d_v [mm] od promjenjivih djelovanja ne smije biti veći od:

- 3 mm za najveću brzinu do 160 km/h na promatranome mjestu pružnog pravca
- 2 mm za najveću brzinu veću od 160 km/h na promatranome mjestu pružnog pravca.



Slika 21. Vertikalni pomak prilikom savijanja ploče

Za izravno pričvršćene tračnice moraju se provjeriti sile odizanja od vertikalnih opterećenja na sustavima oslonaca tračnica i sustavima za pričvršćenje za odgovarajuće granično stanje (uključujući zamor) ponašanja oslonaca tračnica i sustava za pričvršćenje.

4.3.3. Kriteriji i parametri koji nisu definirani u HRN EN 1991-2 i UIC 774-3R

Kao što se može vidjeti, neki neophodni parametri definirani su u UIC-774-3R, a neki u HRN EN 1991-2. U tome smislu potrebno je koristiti obje norme da bi se mogao napraviti kompletan proračun i provjera kombiniranog odziva konstrukcije i kolosijeka na promjenjiva djelovanja, i to ako most ne spada u objekte iz točke 6.5.4.6.1 ili Dodatka G.

Također, neki kriteriji nisu nigdje definirani, nego ih treba tumačiti na temelju postojeće literature. U slučaju da su željezničke dilatacijske naprave na oba kraja mosta, postavlja se pitanje za koliko se podižu

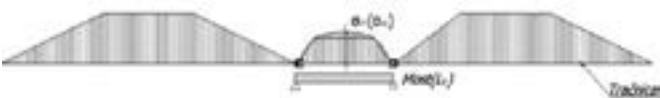
dopuštena naprezanja $-72/+92 \text{ N/mm}^2$. Jasno je da se utjecaj naprezanja od DTT-a s nasipa gubi, no nigdje se ne navodi to koliko je dodatno oslobođeno naprezanja, odnosno koliko se te granice mogu uvećati, jer ne može biti dopušteno maksimalno naprezanje od 470 N/mm^2 . To je kriterij koji bi trebalo definirati u nacionalnome dodatku.



Slika 22. Ukupna naprezanja od DTT-a bez naprave



Slika 23. Ukupna naprezanja od DTT-a s jednom napravom



Slika 24. Ukupna naprezanja od DTT-a s dvije naprave

Nije jasno precizirano ni to na što se zadaje prometno opterećenje, na tračnice ili na konstrukciju. U obje norme definira se odziv konstrukcije i kolosijeka, i to na način da su to oni utjecaji koji postoje na mostu, a nema ih na nasipu. Dakle, osovinsko opterećenje, odnosno vertikalno, horizontalno kočno opterećenje kao i bočni udari, postoje jednako u nasipu kao i mostu. Također, temperaturni utjecaji na tračnicu postoje i na mostu i u nasipu. Razlike između nasipa i objekta su te da se nasip vertikalno ne deformira pod utjecajem osovinskog opterećenja, a raspon mosta da, da se raspon pomiče uzdužno sa stupaštem pod utjecajem kočnih sila, a nasip ne te da se raspon deformira zbog temperaturnih djelovanja, a nasip ne. Iz svega navedenog proizlazi da bi sva djelovanja osovina trebalo zadavati na konstrukciju mosta, a onda preko pomaka i spregnutog djelovanja kolosijek-konstrukcija dobivati dodatna naprezanja u tračnici.

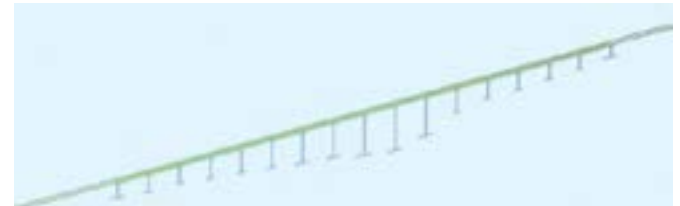
To naravno ne vrijedi za temperaturu gdje temperaturnu razliku treba zadavati u tračnici. No iz dijagrama riješenih primjera, kao i druge literature koja obrađuje to područje, jasno je da sve navedeno vrijedi, osim za kočne sile koje se moraju zadavati na tračnicu, inače se ne dobivaju isti rezultati.

Također, nisu definirani ni dopušteni horizontalni poprečni pomaci. Oni mogu nastati pod utjecajem bočnih udara i centrifugalne sile te potresnog djelovanja. Bočni

udari nisu relevantni, no centrifugalne sile definitivno mogu izazvati određene pomake. No, potresno djelovanje izaziva velike pomake. A problemi nastaju ako se most po važnosti definira u razred IV-C za koji se zahtijeva da nakon potresa mora biti u voznome stanju (HRN EN 1998-2/NA). Sve te elemente potrebno je jasno precizirati normama jer o njima znatno ovise rezultati dobiveni proračunima i koje treba dobiti.

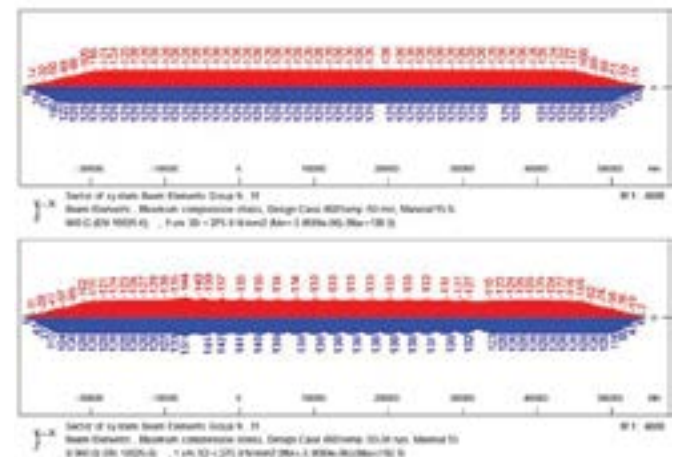
5. Rezultati naprezanja DTT-a na mostu i nasipu

U nastavku bit će prikazani pojedinačni rezultati naprezanja u tračnici pod utjecajem toplinskog, prometnog i reološkog djelovanja na nasip i vijadukt „Tounj“ na željezničkoj pruzi M202 Zagreb – Rijeka, dionici Goljak – Skradnik. Vijadukt „Tounj“ ima 16 raspona po 25 m koji su koncipirani kao niz prostih greda.



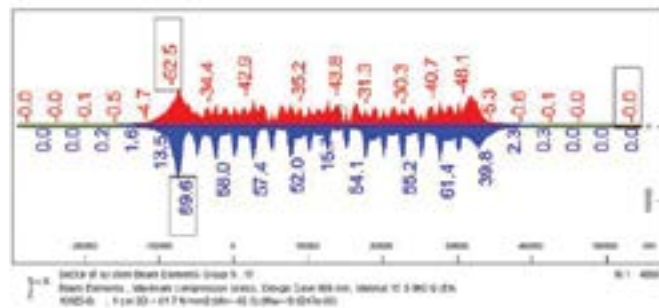
Slika 25. Statički model mosta „Tounj“ za provjeru DTT-a

Vijadukt se sastoji od četiri prednapeta AB nosača povezana monolitnom pločom (slika 3). Oslonjeni su na AB stupove preko sfernih ležajeva u naizmjeničnoj shemi pokretni – nepokretni ležaj. Statički model kolosijeka na nasipu napravljen je na istome modelu. Samo je gornji ustroj mosta potpuno „ukrućen“ te je na taj način dobiven nasip. Na taj način dobivena su potpuno ista djelovanja, ali jedan je na mostu, a drugi na nasipu.



Slika 26. Dijagram naprezanja pod utjecajem jednolikoga toplinskog djelovanja

Gornji dijagram na slici 26. prikazuje naprezanje u tračnicama na nasipu pod utjecajem jednolikog temperaturnog djelovanja $T_s = \pm 50^\circ\text{C}$ na tračnicu ($s = \pm 126\text{N/mm}^2$). Donji dijagram na slici 26. prikazuje naprezanje u tračnicama na nasipu pod utjecajem jednolikoga temperaturnog djelovanja $T_s = \pm 50^\circ\text{C}$ na tračnicu i $T_s = \pm 30^\circ\text{C}$ na rasponskome sklopu $s_{\min} = -144\text{N/mm}^2$ $s_{\max} = +151\text{N/mm}^2$. Razlika naprezanja pod utjecajem jednolikoga temperaturnog djelovanja na mostu i nasipu iznosi $Ds_{\max} = +25\text{N/mm}^2$.



Slika 29. Dijagram naprezanja ovojnice svih kombinacija prema GSN-u

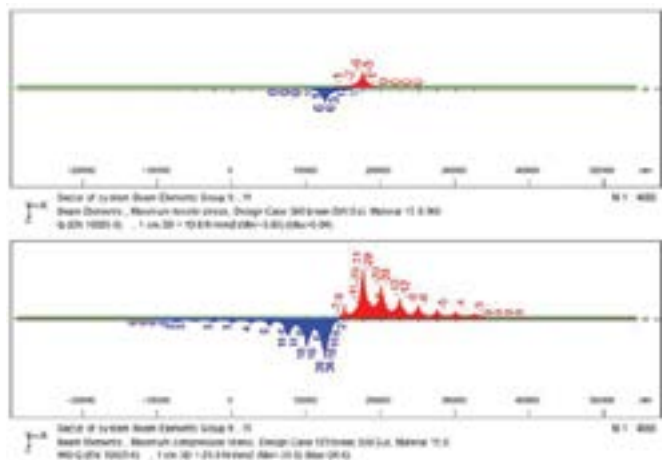
$$s_{\min} = -62,5\text{N/mm}^2 < s_{\text{dop}} = -72\text{N/mm}^2$$

$$s_{\max} = +89,6\text{N/mm}^2 < s_{\text{dop}} = +92\text{N/mm}^2$$

6. Zaključak

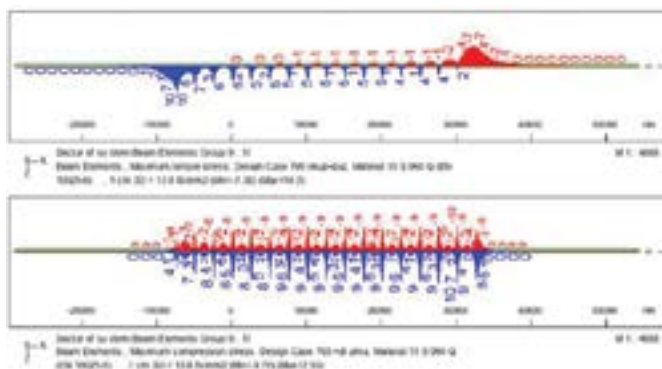
Interakcija kolosijeka i konstrukcije, ili kombinirani odziv konstrukcije i kolosijeka na promjenjiva djelovanja (*Track/bridge Interactions*), ili zadovoljavanje uvjeta za dugi tračnički trak (DTT) na konstrukciji, kako se ona naziva u pojedinim normama i literaturama, može se provjeriti približnim metodama navedenima u normama HRN EN 1991-2 i UIC 774-3R. No, ako se radi o dužim objektima, treba napraviti računalni proračun, za što treba koristiti parametre i kriterije iz obiju normi, a što je vrlo zbunjujuće. Zbog toga bi postojeći hrvatski dodatak službenoj normi HRN EN 1991-2:2012/NA trebalo nadopuniti parametrima i kriterijima iz UIC-ove norme. Također, trebalo bi nadopuniti i uvjete te kriterije koji nisu nigdje definirani i navesti kako se utjecaji primjenjuju na prugu.

Za HŽ Infrastrukturu d.o.o. kao glavnog investitora na području željezničke infrastrukture korisno bi bilo optimizirati DTT s obzirom na konačne troškove koje stvara zadovoljavanje uvjeta DTT-a. To pogotovo vrijedi za duže objekte i objekte s velikim rasponima (željeznički su mostovi zbog karakteristika pruge znatno duži od cestovnih). Ako se uvjeti žele zadovoljiti na način da nema tračničke dilatacijske naprave, to znači jako puno mosnih dilatacijskih naprava i uobičajenih sfernih/lončastih ležajeva. Spomenute mosne naprave treba održavati i mijenjati relativno često, a sve se to radi ispod rasponskog sklopa mostova, na visini, što je nepraktično i skupo. Druga je opcija zadovoljiti DTT tračničkom dilatacijskom napravom, a mosne konstrukcije projektirati kao kontinuirane i sa što manje ležajnih i dilatacijskih naprava. Na taj način najčešći se servis mosta prilikom održavanja prebacuje na površinu mosta, tj. na željezničke naprave. U tome slučaju nema rada na visini, nema skela i sve je vrlo dostupno i vidljivo.



Slika 27. Dijagram naprezanja pod utjecajem vučne sile M71 i kočne sile SW/2

Gornji dijagram na slici 27. prikazuje naprezanje u tračnicama na nasipu pod utjecajem prometnog djelovanja $s_{\max} = \pm 6\text{N/mm}^2$. Donji dijagram na slici 27. prikazuje naprezanje u tračnicama na rasponskome sklopu $s_{\min} = -31\text{N/mm}^2$. Razlika u naprezanju na mostu i nasipu iznosi $Ds_{\max} = +25\text{N/mm}^2$.



Slika 28. Dijagrami naprezanja pod utjecajem reološkog i toplinskog djelovanja $DT = \pm 5^\circ\text{C}$

Gornji dijagram na slici 28. prikazuje naprezanje u tračnicama pod utjecajem skupljanja i puzanja na mostu ($s_{\max} = +10\text{N/mm}^2$ i $s_{\min} = -7\text{N/mm}^2$). Donji dijagram na slici 28. prikazuje naprezanje u tračnicama za linearno promjenjivu temperaturnu komponentu $DT = \pm 8^\circ\text{C}$ na rasponskome sklopu ($s = \pm 10\text{N/mm}^2$).

Također, potrebno je znatno ojačati stupišta objekata kao i njihove temelje tako da se smanji uzdužni pomak vrha stupišta na traženih 5 mm (ili 4 mm po UIC-u) pod utjecajem prometnog djelovanja. To je ojačanje znatno jer „traženi milimetri“ izuzetno su zahtjevan kriterij. Svi navedeni „problemi“ mogu se riješiti dvjema tračničkim dilatacijskim napravama, što se čini znatno jeftinije i jednostavnije rješenje za održavanja od brojnih mosnih dilatacijskih naprava i ležajeva.

Literatura:

- [1] Norma UIC 720 R 2005.
- [2] Norma UIC 774-3R 2001.
- [3] Norma HRN EN 1991-2 2012.
- [4] Norma HRN EN 1991-2:2012/NA
- [5] Widarda, D. R.: Longitudinal forces in continuously welded rails due to nonlinear track-bridge interaction for loading sequences, Dissertation, TU Dresden – Dina Rubiana Widarda, 2009.
- [6] Goicolea-Ruigómez, J. M.: Track-Bridge interaction on High-Speed Railways, Taylor&Francis, New York, 2008.

UDK: 625.12; 625.14

Adrese autora:

Mate Pezer, dipl. ing. građ.
mate.pezer@zg.t-com.hr

Ivan Markić, mag. ing. aedif.
ivan@prona-grad.hr

Domagoj Majić, mag. ing. aedif.
majicdomagoj@gmail.com

Tea Juzbašić, mag. ing. aedif.
tea.juzbasic@gmail.com

AECOM, Kovinska 4a, 10000 Zagreb

SAŽETAK

Interakcija kolosijeka i konstrukcije prema normama HRN EN 1991-2 i UIC 774-3R jest kombinirani odziv konstrukcije mosta na željezničku prugu zbog njihova spregnutog djelovanja. Detaljno je objašnjeno što je DTT (CWR) te kako do njega dolazi. Na jednome mjestu sažeto je koji su parametri i kriteriji neophodni za proračun te koji od tih elemenata nedostaju u jednoj od normi ili u obje norme. Navedeni su načini kako se računa DTT te su prikazani neki primjeri. Navedeno je kako bi trebalo nadopuniti važeće norme da se projektantima olakša shvaćanje i provjera samog DTT-a. Na kraju je dan prijedlog investitoru HŽ infrastrukturi kako bi trebalo donijeti odluku pri rješavanju DTT-a s obzirom na vrstu i duljinu mosta.

Ključne riječi: mostovi, željeznica, dugi tračnički trak – DTT

Kategorizacija: stručni članak

SUMMARY

INTERACTION TRACK - STRUCTURES ACCORDING TO EN 1991-2 AND UIC 774-3R

Interaction track - structures according to EN 1991-2 UIC 774-3R is the combined response of the structure of the bridge on the railway tracks because of their composite action. It was explained in detail what really is CWR as it occurs. We summarize in one place the parameters and criteria necessary for the calculation and which of those elements are missing in one of the standards or both of them. Listed are the ways how to calculate CWR and we have shown some examples. We stated how the existing norms should be supplemented to facilitate the understanding and checking the CWR for designers. At the end it is given our proposal to investor HŽI in order to make a decision how to deal with CWR according to the type and length of the bridge.

Key words: bridges, railway tracks, Continuous welded rail, CWR

Categorization: expert article

PODUPIRUĆE ČLANICE HDŽI-a

 HŽ PUTNIČKI PRIJEVOZ

 KONČAR

 SIEMENS

 HŽ INFRASTRUKTURA

 ERICSSON
Ericsson Nikola Tesla

 KING ICT

 ELEKTROKEM

 getzner
the good vibrations company

 THALES

 GEOBRUGG

 kapsch >>>

 Plasser & Theurer

 TEO - Belišće d.o.o.
TVORNICA ELEKTRO OPREME

 RŽV
RADIONICA ŽELJEZNIČKIH VOZILA - ČAKOVEC