

Mate Pezer, dipl. ing. građ.

RAZLIKE IZMEĐU ŽELJEZNIČKIH I CESTOVNIH MOSTOVA

1. Uvod

U Hrvatskoj je u zadnjih stotinu godina, a pogotovo u zadnjih 15 godina, izgrađeno vrlo malo željezničkih pruga, a višestruko više autocesta. Može se reći i to da je zanemarivo malo željezničkih mostova u odnosu na broj cestovnih mostova. U tome smislu znanje i iskustvo projektanata u projektiranju mostova nisu na onoj razini na kojoj bi trebali biti s obzirom na to da se kreće u pojačanu gradnju i projektiranje. Most je most, no u ovome članku pokazat će se da je razlika između željezničkih i cestovnih mostova u nekim elementima drastična te da željeznički mostovi zahtijevaju drugačiji pristup od cestovnih mostova.

Riječ „most“ koristi se kao zajednički naziv za sve vrste inženjerskih objekata kojima se premošćuje neku prepreku. Ista se riječ koristi i za jednu posebnu vrstu mosta uz čiju se pomoć prelaze vodni tokovi. Riječ „most“ u ovome se članku koristi kao zajednički naziv za sve prometne objekte kojima se premošćuju neke prepreke.

Mostovi se dijele prema:

- vrsti prepreke koju premošćuju: mostovi, vijadukti, nadvožnjaci, podvožnjaci, propusti...
- vrsti rasponskog sklopa: okvirni, gredni, lučni, ovješeni, viseći...
- gradivu: metalni, betonski, drveni, kameni, spregnuti (kombinacija dvaju ili više različitih gradiva)
- namjeni: željeznički, cestovni, pješački, opskrbni (npr. akvadukti)...



Slika 1. Budući željeznički most Podsused

- vrsti prometnog opterećenja: željeznički, cestovni, pješački...

U ovome članku mostovi će biti obrađeni i uspoređeni prema vrsti opterećenja, i to prema prihvaćenim i važećim hrvatskim normama HRN EN 1991-2 i HRN EN 1990, a usporedit će se željeznički i cestovni mostovi. Također će biti uspoređeni zahtjevi u projektiranju željezničkih i cestovnih mostova kao i rezultati koji proizlaze iz toga.

2. Djelovanja na mostove

Djelovanja, opterećenja, utjecaji na sve vrste konstrukcija, pa tako i na mostove, zadani su, određeni i opisani u normama i nacionalnim dodacima HRN EN 1990 te u svim nizovima od HRN 1991-1-1 do 1991-4 i HRN EN 1998

1. HRN EN 1991-1-1:2008 Eurokod 1 -- Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-1: Opća djelovanja -- Prostorne težine, vlastita težina i uporabna opterećenja za zgrade + HRN EN 1991-1-1:NA 2012
2. HRN EN 1991-1-2:2008 Eurokod 1 -- Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-2: Opća djelovanja -- Djelovanja na konstrukcije izložene požaru + HRN EN 1991-1-2:NA 2012
3. HRN EN 1991-1-3:2008 Eurokod 1 -- Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-3: Opća djelovanja -- Opterećenje snijegom + HRN EN 1991-1-3:NA 2012
4. HRN EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1 -- Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-4: Opća djelovanja -- Djelovanja vjetra + HRN EN 1991-1-4:NA 2012
5. HRN EN 1991-1-5:2008 Eurokod 1 -- Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-5: Opća djelovanja -- Toplinska djelovanja + HRN EN 1991-1-5:NA 2012
6. HRN EN 1991-1-6:2008 Eurokod 1 -- Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-6: Opća djelovanja -- Djelovanja tijekom izvedbe + HRN EN 1991-1-6:NA 2012



Slika 2. Varijanta cestovnog mosta Jarun

7. HRN EN 1991-1-7:2008 Eurokod 1 -- Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-7: Opća djelovanja -- Izvanredna djelovanja + HRN EN 1991-1-7:NA 2012
8. HRN EN 1991-2:2008 Eurokod 1 -- Djelovanja na konstrukcije -- 2. dio: Prometna opterećenja mostova + HRN EN 1991-2:NA 2012
9. HRN EN 1991-3:2008 Eurokod 1 -- Djelovanja na konstrukcije -- 3. dio: Djelovanja prouzročena kranovima i strojevima + HRN EN 1991-3:NA 2012
10. HRN EN 1991-4:2008 Eurokod 1 -- Djelovanja na konstrukcije -- 4. dio: Silosi i spremnici tekućina + HRN EN 1991-4:NA 2012
11. HRN EN 1998-1:2008 Eurokod 8 -- Projektiranje konstrukcija otpornih na potres -- 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade + HRN EN 1998-1:NA 2011
12. HRN EN 1998-2:2008 Eurokod 8 -- Projektiranje konstrukcija otpornih na potres -- 2. dio: Mostovi + HRN EN 1998-2:NA 2011

Sva ta djelovanja, osim djelovanja navedenih u normi HRN 1991-4, s većim ili manjim utjecajem uvijek ili ponekad djeluju na mostove.

Najveći udio djelovanja posljedica je vlastite mase i prometnog opterećenja. Ako se radi o višim mostovima ili mostovima većeg raspona, vrlo je važno i seizmičko djelovanje. Utjecaj vjetra nije toliko važan kod mostova standardnih veličina, no od iznimne je važnosti za viseće i ovješene mostove.

Nešto manje, ali ne manje važne utjecaje na mostove imaju toplinska djelovanja, reološka svojstva (za betonske mostove), diferencijalna slijeganja, djelovanja tijekom gradnje te izvanredna djelovanja (za nadvožnjake i mostove na plovnim vodotocima i morima).

Vrlo male utjecaje na mostove imaju djelovanja snijega, požara i sličnih pojava.

Sve vrste djelovanja na mostove navedena su zato da se vidi koliko ih ima i kakvog su karaktera. Bez obzira na to što neka djelovanja pojedinačno imaju mali utjecaj, kada se zbroje, imaju veliki utjecaj, što se često zanemaruje. Također, neka se djelovanja često ispuštaju iz proračuna jer su „zanemariva“.

Sve vrste djelovanja, iako neovisna, imaju neizravnu interakciju kao što je to povećanje prometnog opterećenja.

Kada se prometno opterećenje poveća, mora se „pojačati“ rasponski sklop mosta, što znači da treba povećati poprečni presjek rasponske konstrukcije. „Pojačanje“ nosive konstrukcije dovodi do povećanja



Slika 3. Željeznički most Sava zeleni u Zagrebu

mase rasponskog sklopa, a povećanje mase do većih reznih sila zbog vlastite mase i seizmičkog djelovanja. To dovodi do toga da treba pojačati/povećati rasponsku konstrukciju toliko da se zadovolji i prirast sila od povećane vlastite mase i seizmičke sile te od povećanoga prometnog opterećenja.

Pojačanjem konstrukcije povećava se i njezina krutost, a time zbog toplinskih i reoloških djelovanja kao i zbog diferencijalnog slijeganja rastu rezne sile. Analogno tomu, a da bi se zadovoljila sva navedena djelovanja, pojačava se konstrukcija.

Dakle, kao što se može vidjeti iz jednostavnog primjera, pojačanje konstrukcije radi većeg prometnog djelovanja ne povećava konstrukciju proporcionalno, odnosno samo onoliko koliko je naraslo prometno opterećenje, nego se ona mora pojačati i radi svih drugih djelovanja koja se povećavaju uslijed toga. To je neizravno međudjelovanje svih utjecaja na most.

3. Stalno opterećenje na mostove zbog opreme mostova

Na slikama 4. i 5. prikazani su tipični poprečni presjeci željezničkog i cestovnog mosta. Na prvi pogled jasno je to da je vlastita masa željezničkih mostova znatno veća u odnosu na vlastitu masu cestovnih mostova zbog dodatnog tereta (opreme mosta).

U radu usporedit će se dvokolosiječni željeznički most i cestovni most s tri traka. Svaki će imati servisne staze s obje strane mosta, s ukupnim širinama poprečnog presjeka obaju mostova od oko 13,5 m.

Koristit će se vrijednosti detaljno izračunane u projektima takvih objekata te ovdje neće biti detaljno prikazani i objašnjeni.

Preuzete vrijednosti opterećenja ukupnog tereta opreme pretvorit će se u opterećenja po dužnome metru da ih se može jednostavnije uspoređivati i valorizirati.

Željeznički most:



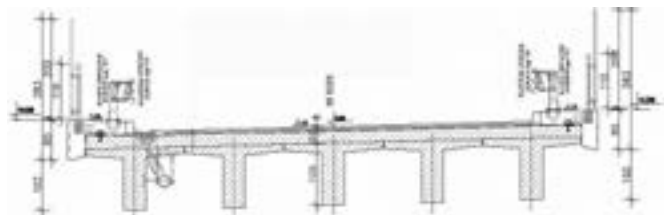
Slika 4. Poprečni presjek željezničkog mosta

Opterećenje betonskog vijenca, servisnih staza, stupova kontaktne mreže i drugog na svakoj strani mosta iznosi 31 kN/m.

Zastor kolosijeka između betonskih hodnika s betonskim pragovima, tračnicama, hidroizolacijom i njezinom zaštitom iznosi 139 kN/m.

Sva oprema željezničkog mosta iznosi 201 kN/m.

Cestovni most:



Slika 5. Poprečni presjek cestovnog mosta

Opterećenje betonskog vijenca i servisnih staza, ograda i drugog na svakoj strani mosta iznosi po 14 kN/m.

Asfaltni slojevi s hidroizolacijom iznose 20 kN/m.

Sva oprema cestovnog mosta iznosi 48 kN/m.

Usporedba: 201 kN/m >> 48 kN/m

Vidi se da je dodatno stalno opterećenje na željezničkim mostovima četiri puta veće nego na cestovnim mostovima iste širine. U tome smislu za iste raspone mostova rezne sile također su četiri puta veće na glavne nosače, ležajeve, stupove, temelje i ostatak mosta. Vidi slike 4. i 5.

Dakle, može se uočiti to da se ovdje ne govori o opterećenju većem za 10, 20 ili 30 posto, čak ni za 100 posto, nego o dodatnome stalnom teretu na željezničkim mostovima većemu za više od 330 posto. To je prva od znatnijih razlika između željezničkih i cestovnih mostova.

Na gornjim slikama može se vidjeti to da se mostovi razlikuju „iznutra“ i izgledom i oblikom.



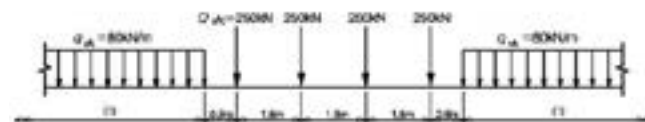
Slika 6. Željeznički most



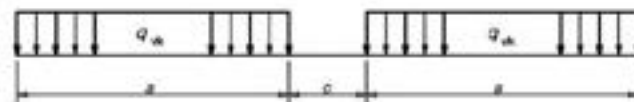
Slika 7. Cestovni most

4. Prometna opterećenja na mostove prema HRN 1991-2

1. Vertikalna prometna opterećenja na željezničke mostove:



Slika 8. Vertikalna opterećenja na most LM71



Slika 9. Vertikalna opterećenja na most SW/2 (150 kN/m)

Ukupna vertikalna sila za most s rasponom od 25 m s dva kolosijeka iznosi:

1. kolosijek $4 \times 250 + (25 - 6,4) \times 80 = 2488 \text{ kN}$ (M71)
2. kolosijek $25 \times 150 = 3750 \text{ kN}$ (SW/2)

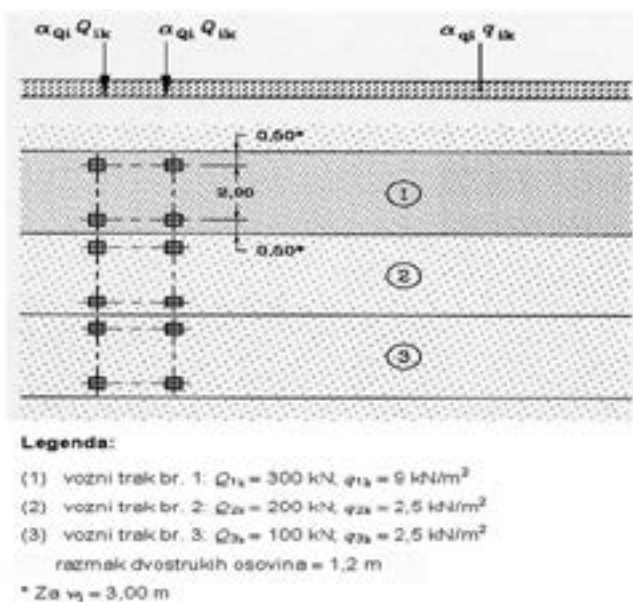
Dinamički koeficijent za raspon od 25 m iznosi:

$$\Phi_3 = 2,16 / (\sqrt{L\phi} - 0,2) + 0,73 = 1,19$$

- koeficijent a „razvrstana vertikalna opterećenja“ jest 1,21 (NA)
- koeficijent sigurnosti prema GSN (ULS) za m71 iznosi 1,45
- koeficijent sigurnosti prema GSN (ULS) za SW/2 iznosi 1,20
- $V_{M71,GSN} = 2488 \times 1,19 \times 1,21 \times 1,45 = 5195 \text{ kN}$
- $V_{SW/2,GSN} = 3750 \times 1,19 \times 1,0 \times 1,20 = 5356 \text{ kN}$
- $V_{uk,GSN,želj} = 5195 + 5356 = 10\,551 \text{ kN}$

Ukupno vertikalno prometno opterećenje za željeznički dvokolosiječni most iznosi 10 551 kN.

2. Vertikalna opterećenja na cestovne mostove:



Slika 10. Vertikalna opterećenja na most LM71

Ukupna vertikalna sila za raspon od 25 m iznosi:

- osovinska opterećenja
 $2 \times 300 + 2 \times 200 + 2 \times 100 = 1200 \text{ kN (TS)}$
 $3 \times 25 \times 9 + 6 \times 25 \times 2,5 = 1050 \text{ kN (UDL)}$
- dinamičkog koeficijenta nema
- koeficijent sigurnosti prema GSN (ULS) je 1,35
 $V_{uk,GSN,cest} = (1200 + 1050) \times 1,35 = 3037 \text{ kN}$

Ukupno vertikalno prometno opterećenje za cestovni most iznosi 3037 kN.

Usporedba: 10 551 kN >> 3037 kN

Vidljivo je to da je vertikalno prometno opterećenje na željezničkim mostovima oko 3,5 puta veće nego na cestovnim mostovima iste širine. U tome su smislu za iste raspone rezne sile 3,5 puta veće na glavne nosače, ležajeve, stupove, temelje i ostatak mosta (vidi slike 8. i 9.). Dakle, govori se o prometnome opterećenju većemu 250 posto.

3. Horizontalno prometno opterećenje za željezničke mostove:

Vučna sila: $Q_{lk} = 33 \text{ [kN/m]} L_{a,b} \text{ [m]} \leq 1000 \text{ [kN]}$,
za LM71, SW/0 i HSLM

Kočna sila: $Q_{bk} = 20 \text{ [kN/m]} L_{a,b} \text{ [m]} \leq 6000 \text{ [kN]}$,
za LM71, SW/0 i HSLM

$$H_{max,GSN,želj} = (1000 + 6000) \times 1,45 = 10\,150 \text{ kN}$$

Ukupno horizontalno prometno opterećenje za željeznički dvokolosiječni most iznosi 10 150 kN.

4. Horizontalno prometno opterećenja za cestovne mostove:

$$Q_{1k} = 0,60 \cdot \alpha_{Q1} (2Q_{k1}) + 0,1 \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L$$

$$180 \cdot \alpha_{Q1} \text{ [kN]} \leq Q_{1k} \leq 900 \text{ [kN]}$$

$$H_{max,želj} = 900 \times 1,35 = 1215 \text{ kN}$$

Ukupno horizontalno prometno opterećenje za cestovni most iznosi 1215 kN.

Usporedba: 10 150 kN >> 1215 kN

Vidljivo je to da je horizontalno prometno opterećenje na željezničkim mostovima oko 8,5 puta veće nego na cestovnim mostovima iste širine. U tome su smislu za iste raspone rezne sile 8,5 puta veće na glavne nosače, ležajeve i ostatak donjeg ustroja. Dakle, govori se o prometnome opterećenju većemu 750 posto. Zbog toliko velike uzdužne horizontalne sile posebna pozornost mora se posvetiti nepomičnim ležajevima i njihovom rasporedu.

5. Stalno opterećenje zbog vlastite mase rasponskog sklopa

Da bi se zadovoljili svi prikazani i navedeni utjecaji, u članku će biti prikazana vertikalna sila vlastite mase rasponskog sklopa koju mora imati navedeni tip gradnje s montažnim prednapetim AB nosačima.

1. Vertikalna opterećenja na željezničke mostove:
 $(1,6 \times 4 + 0,30 \times 13,5) \times 25 = 282 \text{ kN/m}$

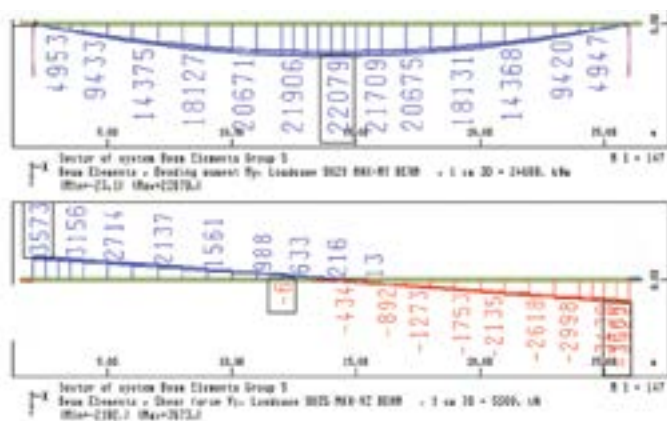
2. Vertikalna opterećenja na cestovne mostove:
 $(5 \times 0,75 + 0,25 \times 12,8) \times 25 = 173 \text{ kN/m}$

Usporedba: 282 kN/m >> 173 kN/m

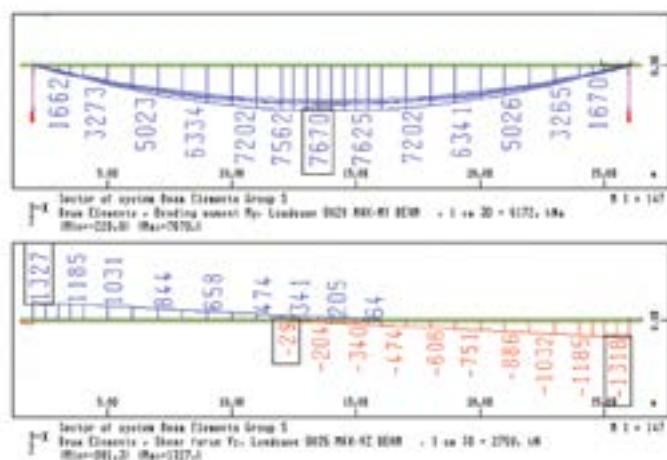
Vidljivo je to da je vlastita masa rasponskog sklopa na željezničkim mostovima gotovo dva (1,64) puta veća nego na cestovnim mostovima iste širine. Visina nosača na željezničkim objektima gotovo je dva (1,7) puta veća nego na cestovnim objektima. Na temelju toga može se odrediti približna ukupna količina materijala, a potom i cijene koje su veće na željezničkim mostovima nego na cestovnim (oko 60 – 80 posto). Vidi slike 10. i 11.

6. Ukupno opterećenje obrađenih djelovanja na rasponski sklop

U nastavku zbrojit će se i usporediti obrađena djelovanja. Priloženi dijagrami prikazuju rezne sile za granično stanje nosivosti GSN (ULS) za željezničke mostove.



Slika 11. Dijagrami momenata i poprečnih sila na željezničkome mostu (GSN)



Slika 12. Dijagrami momenata i poprečnih sila na cestovnome mostu (GSN)

Ukupno vertikalno opterećenje za željezničke raspone do 25 m iznosi:

$$201 \times 25 + 10 \ 551 + 282 \times 25 = 22 \ 626 \text{ kN}$$

Priloženi dijagrami prikazuju rezne sile za granično stanje nosivosti GSN (ULS) za cestovne mostove.

Ukupno vertikalno opterećenje za cestovne raspone do 25 m iznosi:

$$48 \times 25 + 3037 + 173 \times 25 = 8562 \text{ kN}$$

$$\text{Usporedba: } 22 \ 626 \text{ kN} \gg 8562 \text{ kN}$$

Vidljivo je to da je ukupno vertikalno opterećenje na željezničkim mostovima gotovo tri puta veće nego na cestovnim mostovima iste širine. Dakle, ukupna razlika u vertikalnome opterećenju željezničkih mostova veća je od 160 posto u odnosu na vertikalno opterećenje cestovnih mostova.

Na temelju usporedbe dijagrama reznih sila vidljivo je to da se dobivaju slični odnosno nešto veći rezultati. No može se zaključiti to da su razlike u veličini opterećenja višestruko veće zbog stalnih i prometnih djelovanja.

Važno je dodati i to da u članku nisu obrađena seizmička, toplinska i druga djelovanja koja također rastu iz već iznesenih razloga, ali analogija koja je ovdje prikazana vrijedi i za njih.

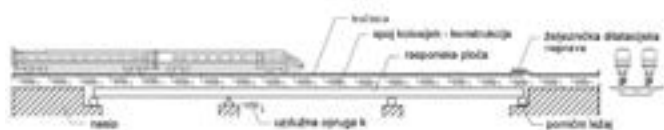
7. Interakcija (odziv) kolosijeka i konstrukcije prema HRN EN 1991-2 za željezničke mostove

Interakcija kolosijeka i konstrukcije još je jedan dodatni zahtjev koji treba zadovoljiti i provjeriti kod željezničkih mostova, a kojeg nema na cestovnim mostovima. On se javlja kod dugog traka tračnice DTT (CWR).

Interakcija između DTT-a i konstrukcije mosta ukratko je objašnjena u nastavku, a detaljnije je opisana u časopisu „Željeznice 21“ broj 1/2017. ili u normi HRN EN 1991-2.

Dugi trak tračnica jest sustav tračnica koje se uzdužno međusobno zavaruju i čine jednu vrlo dugu kontinuiranu tračnicu duljine i do nekoliko desetaka kilometara. DTT koristi se radi velikih brzina vlakova koje su jedino moguće na kontinuirano zavarenim tračnicama bez dilatacije. Dakle, radi se o provjeri nosivosti i uporabivosti željezničke tračnice. Ustvari, provjerava se još jedan „kontinuirani gredni most“ koji je oslonjen na promatrani most preko nelinearnih opruga.

Kada vlak vozi po pruži na nasipu, tračnica ima ujednačeni, gotovo nepomični oslonac ispod pružnih pragova. Kada vlak prelazi preko mosta, javljaju se dodatni utjecaji na tračnicu zbog vertikalnih i horizontalnih deformacija odnosno pomaka rasponske konstrukcije mosta, a koji ne postoje kada je pruga na nasipu. Takve deformacije/pomaci rasponske konstrukcije izazivaju dodatna naprezanja/sile u tračnicama zbog spregnutog međudjelovanja tračnice i rasponske konstrukcije.



Slika 13. Statička shema kolosijeka na mostu i nasipu

Posljedice tih dodatnih sila i pomaka mogu biti puca-nje tračnice (prekoračenja dopuštene sile u tračnici) ili smanjenje stabilnosti kolosijeka (prekoračenja dopu-štenih pomaka).

Interakcija kolosijeka i konstrukcije uzrokuje dodat-ne sile kako u tračnicama tako i u samoj konstrukciji (rasponski sklop, ležajevi, stupovi...).

Interakcija konstrukcije promatra se prema granično-me stanju uporabivosti, a tračnice prema graničnome stanju nosivosti.

Provjera se može izbjeći ako se radi o malim mostovi-ma raspona < 15 m ili o mostovima raspona do 25 m koji zadovoljavaju kriterije navedene u dodatku norme G. U svim ostalim slučajevima potrebno je izraditi sta-tički model konstrukcije u nekoj od programskih podrški koja može raditi nelinearnu analizu te gdje se mogu izrađivati „realni 3D modeli“ mosta sa svim njegovim dijelovima (raspon, ležaj, stup, temelj...).

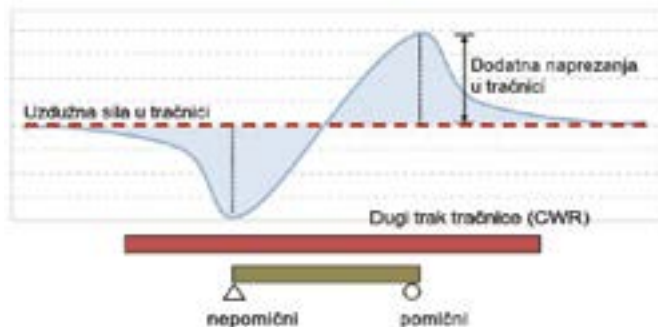
Tlo se definira kao opruge koje odgovaraju krutosti tla. Spoj tračnica-rasponski sklop povezuje se preko nelinearnih opruga koje predstavljaju krutost zastora i spojnih sredstava s točno definiranim krutostima kao i maksimalnom silom koju može primiti. Tračnice se također modeliraju realno na poziciji koja je jednako udaljena od težišta rasponskog sklopa kao u stvarnosti.

Na takvim modelima provjerava se interakcija kolosi-jeka i konstrukcije, odnosno provjeravaju se dopuštena naprezanja i pomaci te ih se uspoređuje s dopuštenim vrijednostima iz normi, što pokazuje zadovoljavaju li ih ili ne.

Dakle, kao što je već rečeno, provjerava se još jedan most oslonjen na „pravi“ most. Na taj „efekt“ znatno utječu pravilno odabran raspored pomičnih nepomičnih ležajeva, to je li riječ o kontinuiranoj konstrukciji pravog mosta ili niza prostih greda, to jesu li stupovi i rasponski sklop kruti ili elastični i drugo.

Ako uvjeti traženi u normi nisu zadovoljeni, treba oja-čati konstrukciju „pravog“ mosta, u cijelosti promijeniti koncepciju mosta ili upotrijebiti dilatacijske tračničke naprave za samu prugu.

To je jedan od najsloženijih postupaka koji treba provesti na željezničkome mostu, a ništa slično ne po-stoji na cestovnome mostu. Ta provjera stvara najveće probleme pri samome projektiranju jer projektanti često nemaju dovoljno iskustva.



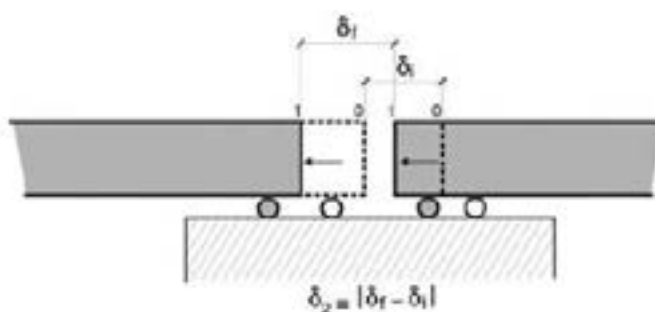
Slika 14. Naprezanja u DTT tračnici

Proračunski kriteriji koje interakcija (odziv) ko-losijeka i konstrukcije treba zadovoljiti prema 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 od 900 N/mm^2
 - ravne kolosijeke ili kolosijeke s $r \geq 1500 \text{ m}$
 - kolosijeke sa zastorom i teškim betonskim pra-govima s najvećim razmakom od 60 cm ili za kolosijeke slične izvedbe
 - kolosijeke sa zastorom s najmanje 30 cm zbijenog zastora ispod pragova.

- b) Dopuštene deformacije konstrukcije

Horizontalni pomaci zbog vučnih i kočnih sila:



Slika 15. Horizontalni pomak zbog vučnih i kočnih sila

Maksimalni relativni horizontalni pomak nosača je $\pm 5 \text{ mm}$ ako je preko mosta postavljen DTT (EN).

U slučaju da se na mostu nalazi tračnička prijelazna naprava maksimalni dopušteni pomak je 30 mm .

Za vertikalna djelovanja tijekom prometa relativni horizontalni pomak gornje površine rasponskog sklopa zbog deformiranja rasponskog sklopa δ_H ne smije biti veći od 10 mm kada je zanemarena interakcija konstrukcije i kolosijeka. U slučaju DTT-a na mostu maksimalni pomak je 8 mm .

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

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

8. Provjera mostova prema kriterijima u HRN EN 1990

U HRN EN 1990 općenito su navedeni kriteriji za granična stanja uporabivosti za sve vrste mostova. Za cestovne mostove nije zadano ništa konkretno, nego je navedeno to da se po potrebi zahtjevi i kriteriji za cestovne mostove trebaju definirati s obzirom na odizanje, deformiranje, vibracije i drugo. U pravilu, ne traže se nikakve dodatne provjere.

Za željezničke mostove dosta je kriterija koje još treba zadovoljiti:

- provjere deformiranja i vibracija željezničkih mostova
- kriteriji sigurnosti prometa
- dopušteno uvijanje rasponskog sklopa na svaka tri metra duljine i razmaku tračnica (oko 1,5 m):

$V \leq 120$	$t \leq 4,5 \text{ mm}$
$120 < V \leq 200$	$t \leq 3,0 \text{ mm}$
$V > 200$	$t \leq 1,5 \text{ mm}$
- vertikalno deformiranje rasponskog sklopa - najveći ukupni vertikalni progib izmjeren uzduž bilo kojeg kolosijeka tijekom željezničkog prometa ne smije prijeći $L/600$ za sve oblike konstrukcija opterećenih klasificiranim opterećenjima
- poprečno deformiranje i vibracije rasponskog sklopa definirani su u normi A2.4.4.2.4 HRN EN 1990.
- granične vrijednosti najvećega vertikalnog progiba radi udobnosti putnika.

Tablica 1. Najveće horizontalne rotacije i najveća promjena polumjera zakrivljenosti

Raspon brzina v [km/h]	Najveća horizontalna rotacija (radijana)	Najveća promjena polumjera zakrivljenosti [m]	
		Pojedinačni rasponski sklop	Most s više rasponskih sklopova
$v \leq 120$	α_1	r_1	r_2
$120 < v \leq 200$	α_2	r_2	r_3
$v > 200$	α_3	r_3	r_4

NAPOMENA 1: Promjena polumjera zakrivljenosti ovisi se o veličini α (A2.7)
 $r = \frac{L^2}{8\alpha}$
 NAPOMENA 2: Površina deformacije struktura deformacije rasponske sklopove može i drugu veličinu uključujući stupnjeve, jerke i terenje.
 NAPOMENA 3: Vrijednosti za sklop α_1 i α_2 ovisi se o definiciji u nacionalnim standardima.
 Preporučene vrijednosti su:
 $\alpha_1 = 0,0015; \alpha_2 = 0,0020; \alpha_3 = 0,0025$
 $r_1 = 1700; r_2 = 6000; r_3 = 14000$
 $r_4 = 3000; r_5 = 6000; r_6 = 17000$

Kao što se može vidjeti, i u ovome slučaju postoji znatna razlika između željezničkih i cestovnih mostova s obzirom na broj provjera koje treba provesti na željezničkim mostovima.

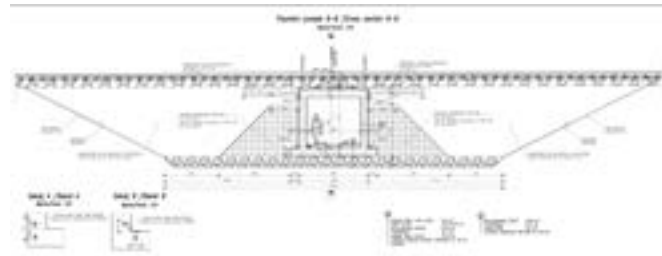
9. Prijelazne zone most – nasip, kruto – elastično

U smjernicama za projektiranje mostova definirane su i prijelazne zone mostova. Ispred i iza mostova, kao i svih drugih krutih objekata, predviđena je prijelazna zona prema smjernicama UIC CODE 719 (njemačka primjer DB AG: nove pruge $v \geq 160$ km/h). Ona služi za postupni prelazak s elastičnog (mekanog) nasipa na tvrdi objekt te ponovno s tvrdog objekta na elastični nasip.

U slučaju da takvog postupnog prijelaza nema, došlo bi do efekta „skoka“ kotača na tračnicama s nasipa na upornjak mosta, a u najgorem slučaju do „efekta stepenice“ neposredno ispred mosta.

Do „efekta stepenice“ dolazi zbog nedovoljno zbijenog i krutog nasipa uz upornjak koji se zbog toga previše stisne, a upornjak se ne može stisnuti. Posljedica toga jest pojava stepenice ispred/iza upornjaka.

Zbog takvih pojava može doći do pucanja tračnice.



Slika 16. Prijelazne zone na željeznici ispred mosta i iza njega

Do „efekta skoka“ dolazi ako je riješen problem postupnog stišnjavanja nasipa prije upornjaka, a pruga na samome mostu odnosno upornjaku nije „omekšana“. Dakle, upornjak je kruta podloga za prugu koja je apsolutno nedeformabilna za razliku od nasipa.

Kada kotač vlaka s elastične podloge nasipa prijeđe na krutu podlogu upornjaka, javlja se „horizontalni udar“ u tračnicu koji se očituje kao da je vlak naišao na grbu na tračnici. To može dovesti do iskanjanja vlaka iz tračnica ili do pucanja tračnice zbog prevelikih dinamičkih udara kotača u tračnicu. Zbog toga se ispod pružnog zastora ili ispod pragova tračnice na mostu postavljaju elastični podlošci. Oni omogućuju takvu elastičnost pruge na mostu kakvu pruga ima na nasipu uz upornjak.

Za željezničke mostove nije eksplicitno postavljen uvjet koliko je dopušteno diferencijalno uvijanje trač-

nica, ali ono je općenito definirano u normi HRN EN 1990 ovisno o brzini vlaka ($x = 4,5 \text{ mm}, 3 \text{ mm}, 1,5 \text{ mm}$). To je uvjet koji mora zadovoljiti prijelazna pružna zona ispred mostovnih upornjaka i iza njih.

To se provjerava, a elastičnost/tvrdoća podloge ispod pruge ujednačava se pomoću klasičnog postupka za deformiranje/slijeganje:

$$x = \frac{F}{k} = \frac{F}{k_1} + \frac{F}{k_2} + \frac{F}{k_3} + \dots$$

Vrijednosti k_1, k_2, k_3 i druge predstavljaju krutost različitih slojeva ispod pružnih pragova.

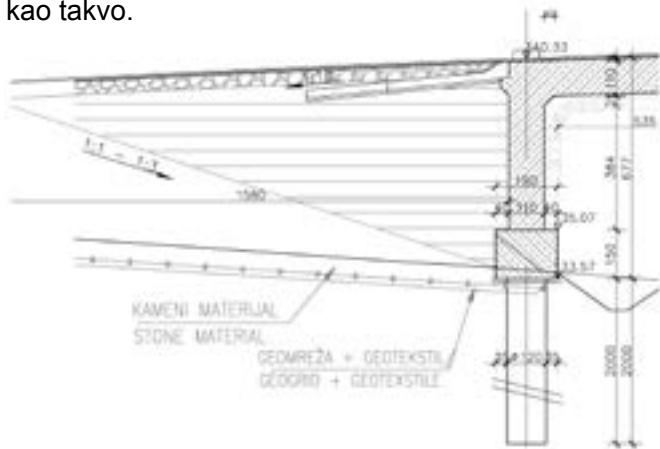
Prvi sloj od 40 do 50 cm kamenog zastora ispod pragova na mostu i nasipu iste je krutosti zbog istog materijala i debljine. Krutost tla ispod temelja objekta i ispod nasipa više-manje je ista. Krutost betonskog upornjaka „beskonačna“ je u odnosu na nasip i izraz $1/k$ jednak je 0.

Krutosti raznih slojeva nasipa/prijelaznih zona jesu krutosti k_2, k_3, k_4 i dalje, ovisno o tome koliko ih ima. Njihov zbroj k mora biti jednak krutosti elastičnih podložaka kojima se „omekšava“ i izjednačava elastičnost pruge iznad upornjaka s onom iznad nasipa.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots$$

Prijelazne zone na prugama mogu biti od 20 do 70 m.

Kod cestovnih mostova primjenjuje se puno kraće i jednostavnije rješenje. Ono se sastoji od prijelazne AB ploče duljine od 3 do 8 m, ovisno o visini nasipa, te „upornjačkog klina“ kvalitetnije zbijenog kamenog materijala od upornjaka prema nasipu u nagibu od 1:1 do 1:3. Nema dodatnih zahtjeva krutosti. Ukupna duljina takve prijelazne zone je između 7 i 24 m. Dakle, i na cestovnim mostovima rješenja su puno jednostavnija, kraća i jeftinija. Riječ je o rješenju koje ne zahtijeva nikakve posebne provjere, nego se samo primjenjuje kao takvo.

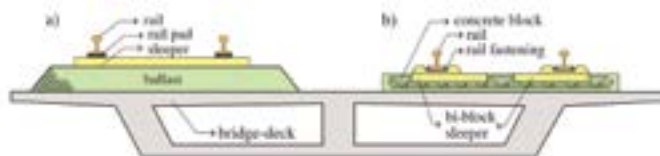


Slika 17. Prijelazne zone na cesti ispred mosta i iza njega

10. Zaključak

Razlike između željezničkih i cestovnih mostova višestruke su:

- Prometna opterećenja znatno su veća na željezničkim mostovima nego na cestovnim mostovima, točnije veća su oko tri puta. Iz toga proizlazi da se moraju projektirati znatno jači rasponski sklopovi, ležajevi i temelji.
- Stalna dodatna opterećenja znatno su veća na željezničkim mostovima nego na cestovnim mostovima, i to oko četiri puta. Iz toga također proizlazi to da se moraju projektirati znatno jači rasponski sklopovi, ležajevi i temelji.
- Zbog gore navedenih razloga kao i drugih navedenih u ovome članku rasponska konstrukcija mosta znatno je veća i masivnija od rasponske konstrukcije cestovnih mostova.
- To dovodi do znatno većih seizmičkih sila, a onda i do potrebe za jačim ležajevima, protupotresnim napravama, jačim stupovima, temeljima...
- Mjera koja bi to mogla znatnije reducirati jest rješenje željezničke pruge bez kamenog zastora, a s elastičnim podlošcima čija će krutost biti kao kod zastora (vidi sliku).



Slika 18. Kolosijek sa zastorom i bez njega

- Na željezničkim mostovima potrebno je provjeravati interakciju kolosijeka i konstrukcije mosta koja ne postoji na cestovnim mostovima.
- Da bi zadovoljili uvjete interakcije, potrebno je graditi kruće stupove sa znatno jačim temeljima nego što to ponekad zahtijeva sama nosivost željezničkih mostova.
- Potrebno je provoditi i druge provjere uporabivosti prema HRN EN 1990 koje nisu obvezne ili ne postoje za cestovne mostove.

Iz svega navedenog može se zaključiti to da most jest most, ali i da postoji znatna razlika između željezničkih i cestovnih mostova. Željeznički mostovi u projektiranju zahtijevaju znatno više provjera i složenije proračune u odnosu na cestovne mostove.



Slika 19. Budući željeznički most Podsused noću

Kada bi se željelo kvantificirati količinu radova tijekom projektiranja koja je potrebna za željezničke mostove, može se potvrditi to da je broj raznih provjera gotovo dva puta veći nego kod cestovnih mostova.

Također se može zaključiti to da su željeznički mostovi „snažniji“ i masivniji te da im je zbog toga konstrukcija od 60 do 80 posto skuplja u odnosu na cestovne mostove iste duljine, širine, veličine raspona i istog tipa konstrukcije.

Zbog svega navedenog prilikom projektiranja većih željezničkih mostova potrebno je angažirati stručnjake koji posjeduju brojna iskustva u projektiranju željezničkih mostova, i to svakako uvjetovati.

Literatura:

- [1] HRN EN 1990
- [2] HRN EN 1991-2
- [3] HRN EN 1998-2
- [4] Marić, Z.: Mostovi I., Sveučilište J. J. Strossmayera, Osijek, 2016.
- [5] Šavor, Z.; Horvatić, D.: Metalni mostovi, HDGK, Zagreb, 1998.

UDK: 625.12

Adresa autora:

Mate Pezer, dipl. ing. građ.
AECOM, Kovinska 4a
10000 Zagreb
mate.pezer@zg.t-com.hr

SAŽETAK

Razlika između željezničkih i cestovnih mostova znatna je. Oni se razlikuju u svojoj čvrstoći i masi pri istim duljinama, širinama, rasponima i tipu konstrukcije. U silama i više od četiri puta, a u masivnosti i cijeni gotovo dva puta. Prilikom projektiranja potrebno je provesti puno više provjera nego prilikom projektiranja cestovnih mostova, a i izvođenje je složenije zbog osjetljivosti željezničke pruge i raznih električnih instalacija (kontaktne mreže, signalizacije...)

Ključne riječi: mostovi, razlika željeznički - cestovni

Kategorizacija: stručni članak

SUMMARY

DIFFERENCES BETWEEN RAILWAY AND ROAD BRIDGES

The difference between railway and road bridges is considerable. They differ in their strength and mass at the same lengths, widths, ranges and type of construction. It's in strength and over 4 times, and in boldness and priced almost twice. It is necessary to make much more checks in the design than the road, and the execution is more complicated due to the sensitivity of the railway line and various electrical installations (contact networks, signaling ...)

Key words: bridges, differences railway road bridges

Categorization: expert article