

## Mogućnost primjene betonskih pragova s elastičnim podloščima na mostovima

Zvonko Perčin<sup>1</sup>, prof.dr.sc. Stjepan Lakušić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Međimurska 4, 10000 Zagreb, zvonko.percin@prg.hr

<sup>2</sup>Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, laki@grad.hr

### Sažetak

Jedan od najosjetljivijih segmenata željezničke infrastrukture svakako su mostovi. Svi čelični rešetkasti mostovi imaju drvene pragove koji su pričvršćeni za konstrukciju mosta te prilikom održavanja gornjega pružnog ustroja ne mogu mijenjati visinu. Prilikom obnove, rekonstrukcije ili zamjene dotrajalih mostova danas je praksa da se kolosiječna rešetka odvaja od konstrukcije mosta. Jedan od načina jest taj da se čelične rešetkaste konstrukcije zamjenjuju armiranobetonskim konstrukcijama u obliku korita ili, ako su rasponi veći, čeličnim konstrukcijama u obliku korita. Standardnu klasičnu kolosiječnu konstrukciju danas čine kolosijeci s betonskim pragovima i zastornom prizmom od tucaničkoga materijala. Takvi kolosijeci imaju smanjenu elastičnost, što je posebno važno na kontaktu praga i zastornoga materijala. Kako bi se smanjili negativni utjecaji vibracija i na taj način produljila trajnost kolosijeka, željezničke uprave sve češće primjenjuju AB pragove s elastičnim podloščima. Ispitivanja su pokazala to da je ugradnjom podložaka moguće postići mirniji prolazak vlaka preko podloga različitih krutosti, čime se smanjuje mogućnost oštećenja kolosiječne konstrukcije i samoga vozila.

*Cljučne riječi: betonski prag, podloške ispod pragova, vibracije, željeznički mostovi*

## Possibility of application of concrete sleepers with under sleeper pads on bridges

### Abstract

One of the most sensitive segments of the railway infrastructure are certainly bridges. All steel grid bridges have wooden sleeper attached to the bridge structure and cannot change the height when maintaining the upper structure rails. It has become a practice to reconstruct or replace damaged bridges in the past by taking care that the track construction is separated from the bridge constructions. One way is that steel grid structures are replaced with reinforced concrete structures in the form of a trough or if the spans are larger with steel structures in the form of a trough. The standard classical track construction today is a gangway with concrete sleepers and a ballast of crushed stone material. Such tracks have reduced elasticity, which is particularly important at contact between the sleepers and the stone material. In order to reduce the negative impacts of vibration and thus extend the durability of railway track today, railways increasingly apply concrete sleepers with under sleeper pads. Tests have shown that with the installation of the undersleeper pads it is possible to achieve a quieter passage of the train over the substrates of different stiffness, thus reducing the possibility of damage to the track construction and the vehicle itself.

*Key words: concrete sleeper, under sleeper pads, vibration, railway bridges*

## 1 Uvod

Željezničku mrežu Republike Hrvatske čini nešto više od 2600 km pruga. Prema podacima HŽ Infrastrukture, u sklopu željezničke infrastrukture nalazi se 545 kolodvora, 1512 željezničko-cestovnih prijelaza, 109 tunela i 538 mostova. Posljednje novoizgrađene pruge puštene su u promet sedamdesetih godina prošlog stoljeća, što znači da je većina izgrađenih objekata spremna za djelomičnu ili potpunu rekonstrukciju i zamjenu. Osim što je neophodno ulagati u modernizaciju željezničke infrastrukture, potrebno je prilagoditi tehničke uvjete i pravilnike kako bi se otvorio put za uvođenje i održavanje novih proizvoda i modernijih tehnologija. Današnji se promet prugama znatno razlikuje od onoga kada su pruge izgrađene. Najveće su promjene u osovinskome opterećenju i brzini tračničkih vozila. Jedan od najosjetljivijih segmenata željezničke infrastrukture svakako su mostovi. Većina željezničkih mostova na mreži RH su čelične rešetkaste konstrukcije koje su s vremenom ojačavane kako bi zadovoljile prometne potrebe. Kao što se promijenila vrsta prometa na željeznici, tako se promijenio i način održavanja. Danas se održavanje željezničke infrastrukture temelji na što većoj primjeni mehanizacije kako bi se postupak automatizirao, a time i znatno ubrzao. Krajnji razlog jest ušteda s obzirom na to da se postižu kraći zatvori pruge, a time i manji neizravni troškovi koji nastaju zbog zatvora pruge. Za održavanje gornjega pružnog ustroja koriste se strojevi koji održavaju niveletu pruge tako da podbijaju kameni materijal ispod pragova. Rezultat svakoga strojnog podbijanja jest izdizanje nivelete pruge za visinu od nekoliko milimetara do nekoliko centimetara. Svi čelični rešetkasti mostovi imaju drvene pragove koji su fiksirani za mosnu konstrukciju te prilikom održavanja gornjega pružnog ustroja ne mogu mijenjati visinu (slika 1.). Posljedica nemogućnosti promjene visine nivelete na čeličnim rešetkastim mostovima jesu rampe ispred mosta i iza njega, što radi sigurnosti i udobnosti vožnje zahtijeva smanjenje brzine kretanja vlaka u zoni mosta.



Slika 1. Pričvršćivanje drvenih pragova na čeličnu mosnu konstrukciju

Održavanje kolosijeka na samim objektima zahtjevno je jer se radi o drvenim pragovima koji se zasebno obrađuju kako bi se visinski prilagodili mostu i niveleti pruge (slika 2.). Za promjenu mosne građe na objektu od dvadesetak metara kolosijeka potreban je zatvor pruge od gotovo isto toliko sati. U slučaju da zatvor nije kontinuiran, radi demontaže i ponovne montaže kolosijeka taj pothvat traje dulje, što ujedno znači veći trošak.



Slika 2. Pojedinačna obrada drvenih pragova na čeličnome mostu

Zadnjih godina postaje praksa da se prilikom obnova, rekonstrukcija ili zamjena dotrajalih mostova vodi briga o tome da se kolosiječna rešetka odvaja od konstrukcija mosta. Jedan je od načina da se čelične rešetkaste konstrukcije zamjenjuju armiranobetonskim konstrukcijama u obliku korita ili, ako su rasponi veći, čeličnim konstrukcijama u obliku korita (slike 3. i 4.). Na taj se način postiže kontinuitet u visini kolosijeka nakon regulacije geometrije kolosijeka, što znatno utječe na jednostavnost prilikom održavanja gornjega pružnog ustroja i, što je još važnije, s vremenom nema potrebe za smanjivanjem brzine u zoni mosta zbog prijelaznih rampi. Osim promjene u obliku konstrukcije drveni pragovi zamjenjuju se armiranobetonskima.



Slika 3. Čelična konstrukcija mosta, faza izvedbe

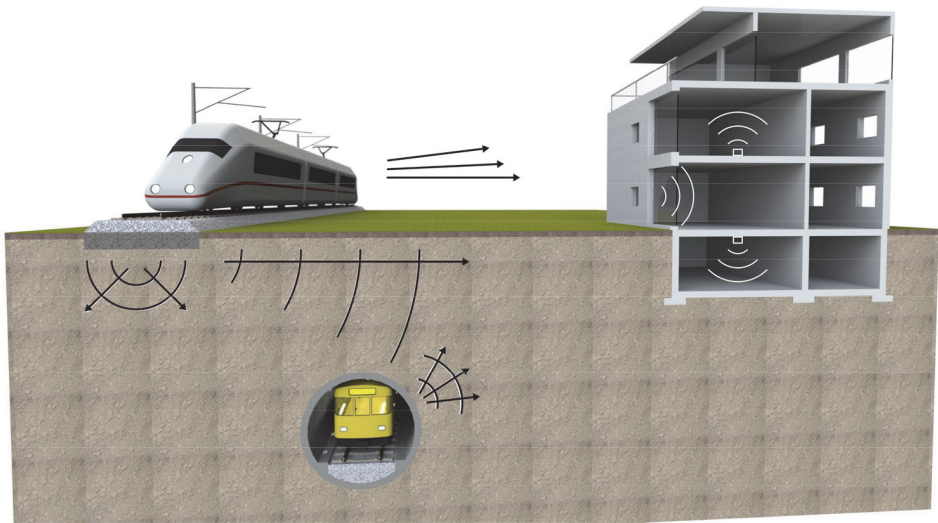


Slika 4. Armiranobetonska rasponska konstrukcija mosta, faza ugradnje postupkom naguravanja

## 2 Vibracije uzrokovane kretanjem željezničkoga vozila

Prilikom kretanja vozila po tračnicama, odnosno dinamičkoga opterećenja kolosijeka, pojavljuju se vertikalne oscilacije tračnica, koje su još izraženije ako na voznoj površini tračnica ili kotača vozila postoje neravnine. Što su osovinsko opterećenje i brzina veći, izraženiji je i intenzitet vibracija koje se od izvora šire u njegovu okolinu [1]. Pri visokim se frekvencijama energija vibracija širi zrakom u obliku zvučnih valova (buke), dok se vibracije nižih frekvencija prenose u obliku mehaničkih valova preko tračnica na donje dijelove kolosiječne konstrukcije i zatim u okolno tlo [2] (slika 5.).





Slika 5. Širenje vibracija i buke željezničkoga prometa [4]

Modernizacijom željezničke infrastrukture želi se postići veća brzina prometovanja vozila i povećanje nosivosti kolosiječne konstrukcije. Jedan od najčešćih tipova klasičnih kolosiječnih konstrukcija svakako su kolosijeci s betonskim pragovima i zastornom prizmom od tucaničkoga materijala. Takvi kolosijeci u usporedbi s konstrukcijama izvedenima primjenom drvenih pragova imaju veću krutost, što utječe na kontakt praga i zastorne prizme.

Izgradnjom pruga uz primjenu betonskih pragova relativno velike krutosti došlo je do promjena u načinu raspodjele opterećenja u zastornoj prizmi neposredno ispod praga. Općenito, tucanička zastorna prizma najslabija je karika u čitavoj konstrukciji kolosijeka jer tijekom upotrebe, zbog utjecaja dinamičkih sila na kolosijek, dolazi do lateralnih dinamičkih pomaka zrna tucanika odnosno do međusobnoga zbijanja, a time i do degradacije zrna. Izraženija i brža degradacija i raspadanje zrna tucanika posljedica su povećanja brzine kretanja tračničkih vozila i njihovih opterećenja te nedovoljnoga progibanja tračnica i ostalih elemenata zbog povećane ukupne krutosti kolosiječne rešetke [1].

S gledišta održavanja pruga, ubrzano propadanje kolosijeka zahtijeva učestalo redovito održavanje, no željezničke uprave zbog smanjenja sredstava namijenjenih za održavanje pribjegavaju primjeni nepopularnih mjera kako bi se omogućio siguran i udoban tijek prometa, što uključuje uvođenje smanjenja brzine prometovanja vlakova, smanjenje osovinskoga opterećenja, čime se negativno utječe na prijevoznu i propusnu sposobnost pruge, te skraćuje ciklusa redovitoga održavanja geometrije kolosijeka, a time i povećanje troškova održavanja pruge [3].

Kako bi se smanjili negativni utjecaji vibracija i na taj način produljila trajnost kolosijeka, danas se uobičajeno koriste elastični podlošci ispod tračnica i elastični pričvrtni pribor, a sve je češća ugradnja elastičnih prostirki ispod zastorne prizme, koje služe za smanjenje prijenosa vibracija sa zastora na donji pružni ustroj odnosno na temeljno tlo. Nedostaci su takvih prostirki relativno visoka cijena te poteškoće pri ugradnji (otežano zbijanje zastornoga materijala). U posljednje se vrijeme kao alternativno rješenje odnosno kao dodatna mogućnost povećanja elastičnosti kolosiječne konstrukcije istaknula ugradnja podloška od elastičnoga, mekanoga materijala između pragova i zastorne prizme (slika 6.).

### 3 Elastični podlošci ispod pragova

Prvi su put elastični podlošci pričvršćeni za donju površinu praga primijenjeni na prugama pod upravljanjem Švicarskih saveznih željeznica (SBB) 1986. [1]. To se rješenje pokazalo boljim u odnosu na elastične podloške ispod zastorne prizme jer je već u gornjim dijelovima kolosiječne konstrukcije sprječavalo prelazak vibracija na konstrukciju. Osnovna je funkcija podložaka smanjenje učinka nejednolike krutosti kolosijeka na kontaktne sile i povećanje površine preko koje pragovi prenose ta opterećenja na zastornu prizmu.



Slika 6. Elastični podložak ispod betonskoga praga [1]

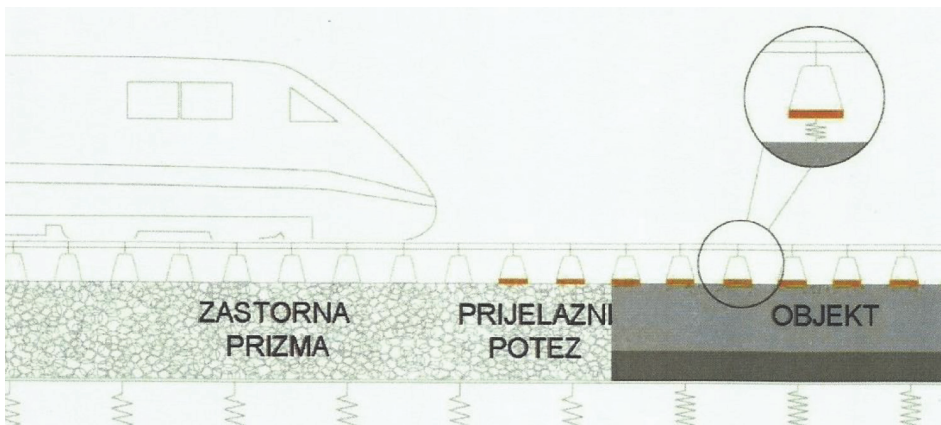
Ugradnjom podložaka smanjuju se rezonantne frekvencije kolosiječne rešetke, a time i prijenos vibracija s rešetke na tucanički materijal zastora i donji pružni ustroj. Također, smanjenjem vibracija koje se prenose između pojedinih zrna tucaničkoga materijala moguće je znatno smanjiti njegovo trošenje, čime se izravno utječe na povećanje perioda održavanja zastora [1]. Austrijske savezne željeznice (ÖBB) su primjenu podložaka ispod pragova propisale kao obvezu za glavne željezničke pravce i u zonama skretnica [4].

### 3.1 Primjena betonskih pragova s elastičnim podloščima u zoni mostova

S obzirom na krutost, postojeći su kolosijeci izgrađeni na nehomogenoj podlozi. Na glje promjene vertikalne krutosti duž pružne trase nastaju:

- u zonama skretnica,
- u zonama krivina malih radijusa,
- na mjestima željezničko-cestovnih prijelaza,
- u zonama mostova ili vijadukta.

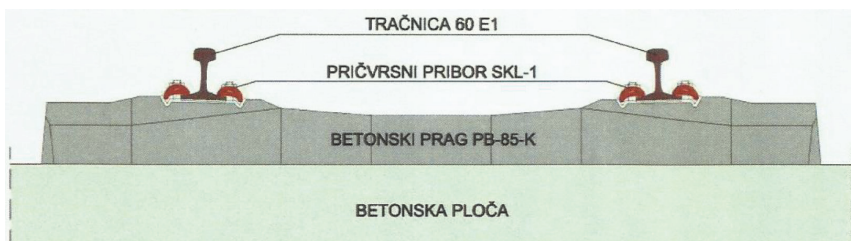
Na tim mjestima stvaraju se znatne dinamičke sile (udari), koje se manifestiraju kao neugodno trzanje vlaka u vožnji i rezultiraju ubrzanim trošenjem zastora ispod pragova [5]. Osim toga smanjuje se vijek trajanja objekata i tračničkoga vozila. Da bi spriječili neželjene posljedice na mostovima, za ublažavanje naglih promjena krutosti podloge koriste se betonski pragovi s podloščima [6]. Ispitivanja su pokazala to da je ugradnjom podložaka na prijelaznoj dionici dovoljne duljine moguće postići mirniji prolazak vlaka preko podloga različitih krutosti, čime se smanjuje mogućnost oštećenja kolosiječne konstrukcije i samoga vozila (slika 7.). Prijelazne dionice u dužini od 20 do 30 metara imaju podloške nešto veće krutosti u odnosu na podloške meke krutosti koji se ugrađuju na samome objektu [1].



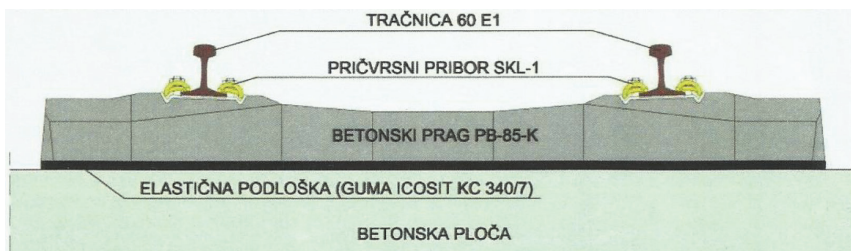
Slika 7. Pogled na prijelazne zone [1]

### 3.2 Ispitivanja krutosti kolosijeka s elastičnim podloščima ispod AB pragova i bez njih

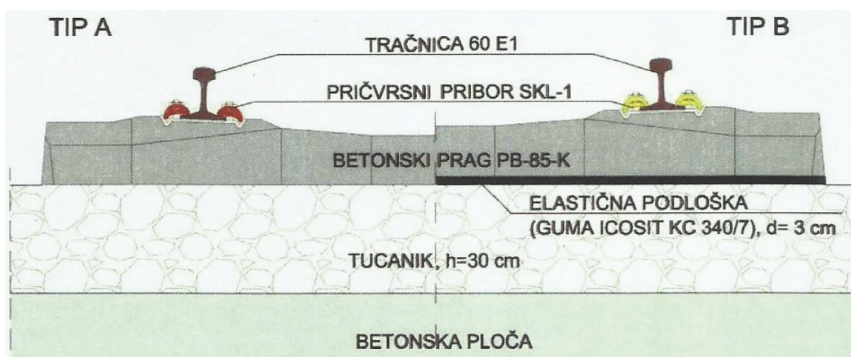
U proteklih desetak godina na Katedri za željeznice pri Građevinskom fakultetu u Zagrebu izvodila su se istraživanja sposobnosti prigušenja vibracija pojedinih komponenti kolosiječne konstrukcije. Za potrebe ispitivanja napravljen je poligon od ploče debljine 30 cm na koju su položene dvije ispitne konstrukcije, od kojih se svaka sastojala od dvije tračnice 60 E1, duljine 1,20 m, pričvršćene elastičnim pričvršnim priborom SKL-1 za dva betonska praga PB-85-K. Na poligonu su se provodila mjerenja vibracija na betonsku podlogu s elastičnim podloščima i bez njih te mjerenja učinka vibracija na zastorni materijal ispod betonskih pragova s elastičnim podlogama i bez njih (slike 8., 9. i 10.).



Slika 8. Mjerenje vibracija na betonsku podlogu, pragovi bez elastičnih podlošaka [1]



Slika 9. Mjerenje vibracija na betonsku podlogu, pragovi s elastičnim podloškom [1]



Slika 10. Mjerenje utjecaja vibracija na zastorni materijal ispod betonskih pragova, pragovi s elastičnim podloščima (TIP A) i bez njih (TIP B) [1]



Sva mjerenja pokazala su to da se primjenom elastičnih podložaka znatno smanjuje širenje vibracija na betonsku ploču, odnosno na zastorni materijal. Međutim, rezultati su dobiveni na poligonu gdje su vibracije izazivane utegom, a ne tračničkim vozilom. Sljedeći korak u ispitivanju širenja vibracija trebalo bi napraviti na pokusnoj dionici, gdje bi rezultati dali pravu sliku učinka smanjenja vibracija uz primjenu elastičnog podloška [1]. Osim jednoslojnih elastičnih podložaka ispod pragova provode se ispitivanja na višeslojnim (sendvič) elastičnim podloščima kako bi se povećala njihova učinkovitost. Elastični podložak sastoji se od tri sloja, i to od gornjega sloja u obliku ljepljive mreže koja služi za prijanjanje, srednjega sloja od viskoelastične smjese za prigušenje vibracija i donjega, plastičnog zaštitnog sloja [4].

## 4 Zaključak

Promjenom tipa kolosiječne konstrukcije na objektima (umjesto direktnog oslanjanja pragova na nosače mosta, izvedba kolosiječne konstrukcije sa zastornom prizmom) znatno se olakšava održavanje gornjeg ustroja kolosijeka. Ugradnjom betonskih pragova s podloščima u zoni mostova produljuje se vijek trajanja kolosiječne konstrukcije i samoga objekta, što u konačnici zahtijeva manje troškove održavanja. Ispitivanja provedena na Građevinskom fakultetu u Zagrebu trebala bi pomoći u primjeni takvih tehnologija (elastičnih podložaka ispod betonskih pragova) ne samo u zonama oko mostova, već i na drugim objektima (željezničko-cestovnim prijelazima, skretnicama, tunelima). Pojedine željezničke uprave uočile su određene prednosti takvih kolosiječnih konstrukcija na svojim probnim dionicama i već su započele s njihovom primjenom na duljim potezima pruge. No, primjena nove tehnologije na prugama pod upravljanjem neke željezničke uprave zahtijeva i izgradnju probnih dionica, ispitivanja na kolosijecima te promatranje učinkovitosti primijenjenoga novog rješenja kako bi se usvojilo kao standardno. Zbog ekoloških zahtjeva tržišta sve je manje drvenih pragova koji zbog svoje elastičnosti zadovoljavaju uvjete pruga gdje nema tamponskoga sloja te gdje je manja debljina zastorne prizme (ispod 20 cm). Rezultati dobiveni na poligonu dobar su pokazatelj da treba nastaviti s ispitivanjima na probnoj dionici pod realnim opterećenjem te da treba ispitati mogućnost kompletne zamjene drvenih pragova betonskima s elastičnim podloščima.

Budući da su u planu veća ulaganja u željezničku infrastrukturu, potrebno je uložiti što više napora u obrazovanje projekatanta, proizvođača, izvođača i drugih kako bi se uhvatio korak s već provjerenim proizvodima i uhodanim tehnologijama održavanja željezničke infrastrukture.

## Literatura

- [1] Lakušić, S., Ahac, M.: Betonski pragovi s elastičnim podloščima, DANI PROMETNICA 2010 – Nove tehnologije i materijali (ur. Lakušić, S.), Građevinski fakultet, Zavod za prometnice, pp. 579-615., Zagreb, 2010.
- [2] Lakušić, S., Ahac, M.: Vibracije od željezničkog prometa, DANI PROMETNICA 2009 – Gospodarenja prometnom infrastrukturom (ur. Lakušić, S.), Građevinski fakultet, Zavod za prometnice, pp. 373-416., Zagreb, 2009.
- [3] Pravilnik 314 o održavanju gornjeg stroja pruga jugoslavenskih željeznica, Beograd, 1989
- [4] Loy, H.: Mitigating vibration using under-slipper pads, Railway Gazette International 4/2012, Research and Development Getzner Werkstoffe GmbH
- [5] Le Pen, L., Watson, G., Hudson, A., Powrie, W.: Behaviour of under sleeper pads at switches and crossings – Field measurements, Rail and rapid transit – Institution of mechanical engineers 2018, 232 (2018) 4, pp. 1049-1063, UK
- [6] Insa, R., Salvador, P., Inarejos, J., Medina, L.: Analysis of the performance of under-sleeper pads in high-speed line transition zones, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Paper 1100033, Spain, 2012.