

# Željeznice 21

2019

Stručni časopis Hrvatskog društva željezničkih inženjera

ISSN 1333-7971; UDK 625.1-6; 629.4; 656.2-4; GODINA 18, BROJ 3, ZAGREB, RUJAN 2019.

hdži  
Hrvatsko društvo željezničkih inženjera

EIV  
HIS  
Hrvatsko društvo inženjera  
Hrvatska inženjerska asocijacija

## Uvodnik

Željeznički projekti u Hrvatskoj  
– stručna konferencija HDŽI-a i  
Advantage Austria

## Stručne teme

Sučelje između relejnoga  
automatskog pružnog bloka i  
elektroničkoga ŽCP-a

Sinkronizacija SDH mreže HŽ  
Infrastrukture d.o.o.

Mjerenje vibroizolacijskoga  
učinka elastičkoga gornjeg  
ustroja željezničke pruge

Zaštita okoliša i održivi razvoj  
iz perspektive Švicarskih  
saveznih željeznica

S jednom kartom u vlak i  
autobus

Europski tjedan mobilnosti

Pruga Gradec – Sveti Ivan  
Žabno otvara se s novim  
voznim redom

Projekt Hrvatski Leskovac –  
Karlovac spreman za EU-ovo  
sufinanciranje

Sastanak povjerenika HDŽI-a  
i članova Programskog vijeća

HŽ PUTNIČKI PRIJEVOZ

HŽ INFRASTRUKTURA

OV Održavanje vagona d.o.o.

Plasser & Theurer

getzner  
engineering a quiet future

kapsch >>>

SIEMENS

KONČAR

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

ERICSSON  
Ericsson Nikola Tesla

ELEKTROKEM

THALES

FD PRAHA

QTECHNA

KING ICT  
INFORMATION & COMMUNICATION TECHNOLOGIES

Dr. Harald Loy, Getzner Werkstoffe GmbH, Sveučilište Innsbruck  
Phd Ewelina Kwiatkowska, Sveučilište Wrocław  
DI Michael Biskup, Getzner Werkstoffe GmbH

## MJERENJE VIBROIZOLACIJSKOGA UČINKA ELASTIČNOGA GORNJEG USTROJA ŽELJEZNIČKE PRUGE

Zavod za željeznice Sveučilišta Politehnika Wroclawska u Poljskoj proveo je 2016. ispitivanja kojima je uvjerljivo potvrđena korisnost podložaka kolosiječnih pragova tipa SLS1308G ugrađenih na željezničkoj pruzi između središta Krakova i zračne luke u Krakovu. Vibracije su smanjene do čak 74 posto. U članku opisani su uvjeti kojima podlošci kolosiječnih pragova moraju udovoljavati te su prikazana mjerenja i rezultati projekta.

### 1. Uvjeti kojima moraju udovoljavati elastični podlošci kolosiječnih pragova

Željeznička pruga br. 118 Poljskih državnih željeznica (PKP PKL) povezuje željeznički kolodvor Krakow Glowny i zračnu luku u Krakovu, a modernizirana je 2015. Gornji pružni ustroj čine tračnice tipa 60E1, elastično pričvršćenje na betonskim pragovima tipa PS94 i kolosiječni zastor visine 30 cm ispod donjega ruba praga. Oko 12 000 podložaka kolosiječnih pragova ugrađeno je na nekoliko osjetljivih pružnih dionica. Uvjeti kojima podlošci moraju udovoljavati utvrđeni su u tekstu iz dokumentacije za nadmetanje „PB Układ torowy i podtorze“ [1]: „Radi smanjenja negativnih utjecaja na okolni prostor (smanjenja ometajućih vibracija)... potrebno je opremiti nove pružne dionice podlošcima kolosiječnih pragova. Njihova primjena trebala bi biti ekonomična alternativa rješenjima s podzastornim podlošcima... Osim smanjenja emisije vibracija u okolni prostor primjena podložaka kolosiječnih pragova također može smanjiti dinamičke sile“.

Odabrani su podlošci kolosiječnih pragova SL-S1308G proizvođača Getzner Werkstoffe (slika 1.). Namjera je bila ugradnjom ekonomičnih i visokoučinkovitih poliuretanskih proizvoda znatno smanjiti emisije u okolni prostor primjenom fizikalnoga načela izolacije vibracija. Emisije buke i vibracija također bi se smanjile dugoročnim poboljšanjem položaja kolosijeka, a time i mirnijom vožnjom vlakova. Učinkovitost elastičnih

komponenta gornjega pružnog ustroja općenito ovisi o čimbenicima kao što su masa, krutost i prigušenje. Konstruiran je oscilatorni sustav čija je vlastita frekvencija puno niža od pobudnih frekvencija koje treba izolirati na temelju principa rada jednomasenoga ili višemase-noga oscilatora. Tehnički materijal Sylomer® uveden je kao glavna opružna komponenta za smanjivanje emisija.

Među podlošcima kolosiječnih pragova postoje specifične razlike [4]. Glavne su karakteristike podložaka dinamička krutost i dugoročno ponašanje. Kolosiječni pragovi s podlošcima mogu postići učinak izolacije vibracija na kolosijeku samo ako se ponašanje gornjega ustroja točno uskladi s obzirom na konkretnu primjenu. Iako se s većom dinamičkom djelotvornosti odabrano-ga poliuretanskog materijala (PUR) također povećava ciljani učinak zaštite od vibracija, najvažniji je pravilan izračun cjelokupnoga sustava, pri čemu se u obzir uzimaju i vozila koja prometuju određenom pružnom dionicom. Na toj, elastično optimiziranoj željezničkoj pruzi za zračnu luku učestalo voze vlakovi uglavnom tipa EN77 prosječnom brzinom od 70 km/h.

### 2. Mjerenja na željezničkoj pruzi prema zračnoj luci

Mjerenja su obavljena 14. rujna 2016. na dvama segmentima željezničke pruge [1], jednome s ugrađenim podlošcima kolosiječnih pragova i na referentnome segmentu s klasičnom zastornom prizmom od drobljenca:

- segment 1, bez podložaka kolosiječnih pragova: km 3700 ( $\pm$  100 m), pruga br. 1 lijevi segment
- segment 2, s podlošcima pragova: km 3500 ( $\pm$  100 m), pruga br. 1 desni segment.

Prvo su na pojedinim pragovima izmjereni vertikalni progibi prilikom prolaska vlaka radi dobivanja repre-



Slika 1. Poliuretanski podlošci kolosiječnih pragova tipa SLS1308G izrađeni od Sylomera®



zentativne slike (slika 2.). Na dijelu pruge na kojima nisu ugrađeni podlošci pragova rezultati su pokazali to da je krutost vrlo velika. Izmjeren je vertikalni pomak od samo oko 0,3 mm. Međutim, na dijelu pruge s podlošcima SLS1308G pokazalo se to da je ponašanje znatno elastičnije, s vertikalnim progibima od oko 1,5 mm (slika 3.), što potvrđuje matematičku prognozu. Ti rezultati znače to da se može očekivati smanjenje širenja ometajućih vibracija. S boljom elastičnosti kolosijeka smanjuju se dinamičke sile i štiti kolosiječni zastor, čime se poboljšava dugoročna kvaliteta gornjega pružnog ustroja.

Senzori ubrzanja postavljeni na stupovima uz kolosijek mjerili su vibracije na po trima mjernim točkama na segmentu pruge na kojemu podlošci pragova nisu ugrađeni i na segmentu pruge na kojemu jesu ugrađeni (udaljenost od sredine kolosijeka iznosi 6 – 8 m, a razmak između mjernih točaka duž kolosijeka je 25 m). Dinamičkim mjerenjem na svakoj mjernoj točki obuhvaćeno je ukupno 12 prolazaka vlakova. Mjerenja i procjena rezultata provedeni su u skladu s mjerodavnim normama koje su na snazi za elastične elemente gornjega pružnog ustroja [2, 3].

Frekvencije su vidljive na dijagramu tzv. tercnoga pojasa (slika 4.). Učinkovitost podložaka kolosiječnih pragova vidljiva je u razlikovnome spektru preko smanjenja razine buke zbog uvođenja barijere (engl. *Insertion Loss*). Smanjenje razine buke zbog uvođenja barijere otkriva relativni učinak primijenjene mjere smanjivanja u usporedbi s referentnim stanjem [3]. Također pokazuje kako se mijenja spektar tercnoga pojasa buke koja se prenosi preko konstrukcija ako se ugrade podlošci kolosiječnih pragova, u ovome slučaju tipa SLS1308G. U idealnim okolnostima svi ostali utjecaji na emisije ostaju nepromijenjeni, odnosno razmatra se isto vozilo, ista brzina, jednaka hrapavost tračnice i drugo. Budući da elastični element utječe na

cjelokupni pružni sustav, smanjenje razine buke zbog uvođenja barijere, koje ovisi o frekvenciji, može se razlikovati ovisno o stanju gornjega ustroja, podlozi ili garnituri vozila.

### 3. Smanjenje vibracija za čak 74 posto

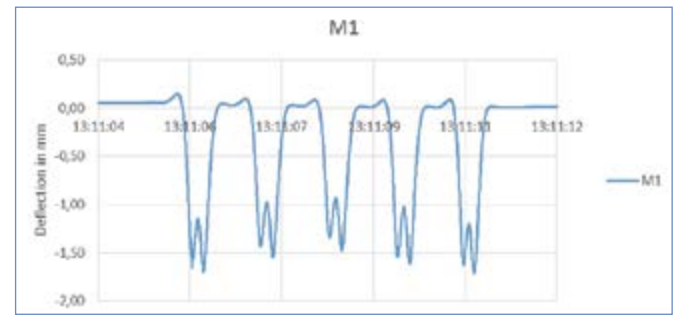
Smanjenje razine buke zbog uvođenja barijere prikazano je na slici 4. kao razlika između segmenta 1 (bez podložaka kolosiječnih pragova) i segmenta 2 (s podlošcima kolosiječnih pragova) izražena u decibelima (dB). Pozitivne vrijednosti znače smanjenje vibracija, a time i poboljšanje gornjega pružnog ustroja.

Kao što je vidljivo iz izmjenenoga smanjenja razine buke zbog uvođenja barijere, vibracije na kolosijeku s ugrađenim podlošcima pragova smanjuju se već pri frekvencijama višima od 31,5 Hz u usporedbi s kolosijekom bez dodatnih elastičnih poliuretanskih elemenata. Frekvencije od 40 Hz do 200 Hz uglavnom su odgovorne za sekundarnu zračnu buku u obližnjim zgradama.

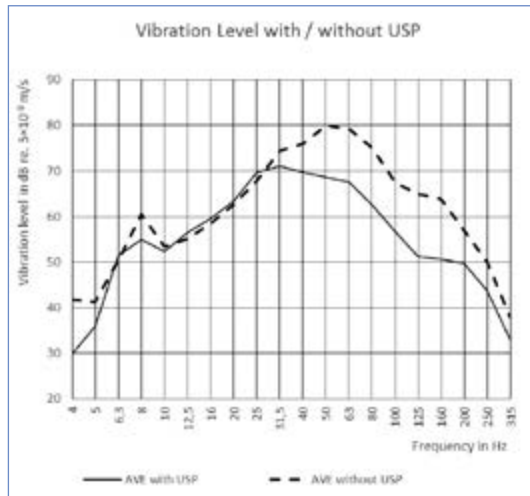
Treba istaknuti i to da vibracije između 50 Hz i 63 Hz rezultiraju razinom zvuka od 80 dBv bez ugrađenih podložaka kolosiječnih pragova, dok se razina s ugrađenim podlošcima smanjuje na razinu manju od 69 dBv pri brzini vlaka od 70 km/h. Dominantni terčni pojas vlakova koji prolaze nalazi se u frekvencijskome području oko 63 Hz. Primjena podložaka kolosiječnih pragova SLS1308G rezultirala je smanjenjem razine buke od 11,6 dB zbog uvođenja barijere (radi lakšeg razumijevanja, poboljšanje od 10 dB jednako je poboljšanju za 69 posto, a u ovome slučaju uz 11,6 dB prosječno smanjenje vibracija iznosi čak 74 posto). U području vlastite frekvencije može se vidjeti samo neznatno pojačanje rezonancije. Provedena ispitivanja, posebno u relevantnome frekvencijskom području



Slika 2. Mjerna mjesta na željezničkoj pruzi br. 118 bez ugrađenih podložaka kolosiječnih pragova i s njima



Slika 3: Progibi kolosiječnih pragova bez ugrađenih podložaka i s njima



Slika 4. Izmjereni terčni pojas brzine vibracija bez podložaka kolosiječnih pragova SLS1308G i s njima (lijevo) te pripadno smanjenje razine buke zbog uvođenja barijere (Insertion Loss) kao razlikovni spektar (desno)

od 63 Hz, dokazuju osnovanost primjene podložaka kolosiječnih pragova za smanjivanje vibracija i sekundarne zračne buke.

#### 4. Sažetak i zaključci

Cilj prikazanoga istraživanja bio je kvantificiranje učinka ugrađenih podložaka betonskih kolosiječnih pragova u prigušenju vibracija na kolosijeku izvedenom sa zastornom prizmom od drobljenca. Mjerenja su provedena na željezničkoj pruzi prema zračnoj luci u Krakovu u Poljskoj. Smanjenje razine buke zbog uvođenja barijere (engl. *Insertion Loss*) dokazuje to da se primjenom Getznerovih elastičnih podložaka kolosiječnih pragova izrađenih od Sylomera® tipa SLS1308G znatno smanjuje prijenos vibracija. Pri frekvenciji od 63 Hz u tercnome pojasu izmjereno je prosječno smanjenje razine buke od 11,6 dB zbog uvođenja barijere, što je jednako smanjenju ometajućih vibracija za 74 posto. Osim opisanoga učinka smanjenja vibracija, primjenom podložaka kolosiječnih pragova poboljšava se i dugoročna kvaliteta gornjega pružnog ustroja, što rezultira lakšim održavanjem, a time i nižim troškovima za upravitelja infrastrukture.

#### Literatura:

- [1] Kwiatkowska, E.: Measurement results of vibration isolation performance, under-sleeper pads SLS1308G at Krakow Lobzow. Politechnika Wroclawska, Report No. 126/2017.
- [2] DIN 45669: Measurement of vibration immission, DIN 45672: Vibration measurement associated with railway traffic systems.
- [3] DIN 45673-3: Mechanical vibration – Resilient elements used in railway tracks – Part 3: Experimental evaluation of insertion loss of mounted track systems.
- [4] Loy, H.; Augustin A.; Tschann L.: Reduction of Vibration Emissions and Secondary Airborne Noise with Under-Sleeper Pads – Effectiveness and Experiences. Chapter in book: Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems, pp. 595–605, Springer Nature 2018.

#### UDK: 625.14

Adresa autora:

Getzner Werkstoffe GmbH  
Herrenau 5, 6706 Bürs, Austria  
info.buers@getzner.com