

Šinski sistemi i zaštita urbanog okruženja od buke

ZDENKA POPOVIĆ
LEPOSAVA PUZAVAC
LUKA LAZAREVIĆ

Originalni naučni rad
UDC:504.75.055:625.45/.46

1. UVODNA RAZMATRANJA

U urbanom okruženju jača tendencija za primenom gradskih šinskih sistema za prevoz putnika (tramvaji, laki šinski sistemi, metro, gradska i pri-gradska železnica), zbog njihove prednosti u pogle-

du direktnih i indirektnih ekoloških efekata u odnosu na druge vidove saobraćaja. U tabeli 1 su prikazani nivoi buke šinskih sistema u odnosu na drumski saobraćaj.

Tabela 1 - Emitovani nivoi buke prema [1]

Daljinski i regionalni saobraćaj		Gradski saobraćaj	
ICE sa 8 kola	56 dB(A) za brzine do 100km/h	Tramvaj na koloseku sa pokrivanjem od trave	48 dB(A)
	66 dB(A) za brzine od 100 do 250km/h		
IC lokomotiva sa 10 kola	58 dB(A)	Tramvaj na koloseku sa drvenim pragovima u zastoru od tucanika	50 dB(A)
RB lokomotiva sa 6 kola	63 dB(A)	Tramvaj na koloseku integrisanom u kolovoznu konstrukciju drumske saobraćajnice	55 dB(A)
RB VT 642	57 dB(A)	Brza gradska železnica	46 dB(A)
Automobil	67 dB(A) za jednu osobu u vozilu	Automobil	55 dB(A)
	61 dB(A) za četiri osobe u vozilu		
Autobus	57 dB(A)	Autobus za gradski saobraćaj	53 dB(A)

Pored toga, uvođenje savremenih železničkih putničkih terminala u centralne zone grada nameće potrebu za minimiziranjem ekoloških uticaja od železničkog saobraćaja (putnički železnički podsistem konvencionalnih pruga ili pruga za velike brzine) na urbano okruženje.

Ekološki uticaj gradskih šinskih sistema i železničkih pruga na urbano okruženje definiše se već u fazi trasiranja izborom položaja trase u odnosu na teren, prostornim geometrijskim oblikovanjem i razdvajanjem putničkog i teretnog podsistema na području železničkog čvora. Redosled nabiranja mogućih položaja trase u odnosu na teren odgovara rastu nepovoljnih ekoloških uticaja na okruženje: koloseci u duboko ili plitko položenom tunelu, površinsko vođenje koloseka, koloseci na mostovskoj konstrukciji.

Adresa autora: Građevinski fakultet, Beograd, Bul. Kralja Aleksandra 73

Nakon definisanja prostornog položaja i geometrijskog oblikovanja trase, nivo ekoloških uticaja na okruženje definiše se projektom konstrukcije gornjeg i donjeg stroja pruge. Očekivani proračunati nivo buke od železničkog saobraćaja koji se emituje u okruženje mora biti u saglasnosti sa zakonskim okvirima. U protivnom, projektom se utvrđuju dodatne mere zaštite od buke (niski i visoki zidovi za zaštitu od buke).

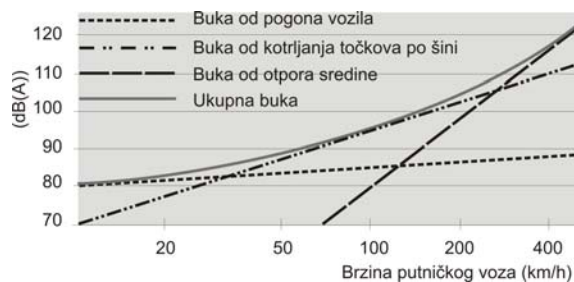
Tokom eksploatacije koloseka mora se očuvati nivo buke i vibracija koji se emituje u okruženje u skladu sa projektovanim okvirima. Da bi se to stiglo, obavezno je praćenje nivoa buke i održavanje koloseka. Savremeno održavanje obavezno uključuje negu šine, inspekciju, redovno i korektivno održavanje elemenata i geometrije koloseka (slika 1).

Na slici 2 prikazana je struktura buke i istaknut je dominantni uticaj buke od kotrljanja točkova po

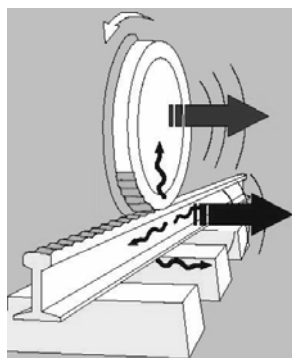
šini. To znači da u fazi eksploatacije koloseka nivo buke od železničkog saobraćaja primarno zavisi od stanja površina u dodiru točka i šine (slika 3). Na taj način potvrđuje se značaj održavanja vozila i koloseka



Slika 1 - Praćenje nivoa buke i vibracija tokom eksploatacionog veka koloseka



Slika 2 - Zavisnost nivoa buke od brzine železničkog vozila



Slika 3 - Princip nastajanja buke u dodiru točka i šine [2]

2. UTICAJ KONSTRUKCIJE GORNJEG STROJA

Konstrukcija gornjeg stroja u urbanom okruženju mora da zadovolji uobičajene zahteve povoljnog prenosa statičkog i dinamičkog opterećenja po principu smanjenja napona idući od šine ka donjem stroju, kao i zahteve za bezbednim vođenjem šinskog vozila. Pored toga, konstrukcija gornjeg stroja mora da zadovolji zahtev komfora za putnike koji sede i stoje u vozilu, uz minimalno remećenje, a po mogućstvu unapređenje odnosa u okruženju [3].

U urbanom okruženju se kao imperativ se nameće unapređenje, ili bar očuvanje postojećeg kvaliteta života ljudi u okolnim stambenim, poslovnim, proizvodnim, kulturnim, zdravstvenim i drugim urbanim sadržajima.

Da bi se udovoljilo ovako strogim zahtevima, u svetu se intenzivno radi na razvoju i unapređenju konstrukcija gornjeg stroja, kao i mera za zaštitu okoline od buke i vibracija. Pored toga, ove konstrukcije moraju da udovolje estetskim zahtevima okruženja, zahtevima pristupačnosti, kao i specifičnim uslovima za građenje i održavanje.

2.1 Specifičnosti primene koloseka u zastoru od tucanika u urbanom okruženju

Dobre strane konvencionalnog rešenja gornjeg stroja sa tucaničkom zastornom prizmom su [4]:

- bolje akustične osobine u odnosu na alternativno rešenje bez zastora od tucanika,
- razvijena domaća proizvodnja većine elemenata konstrukcije gornjeg stroja,
- korišćenje uobičajenih postupaka i mehanizacije za građenje i održavanje i kvalifikovani stručni kadar,
- prihvatljiva cena po metru koloseka.

Dobro su poznate i loše strane ovog rešenja [4]. One se mogu sumirati na sledeći način:

- neminovna promena geometrije koloseka (niveleta i smer) tokom eksploatacije, izražena kao odstupanje od izvedene (projektovane) geometrije, usled delovanja opterećenja od saobraćaja i spoljnih uticaja, što dovodi do smanjenja komfora vožnje i povećanja emisije buke i vibracija,
- neophodnost korigovanja geometrije koloseka primenom mehanizacije, ili manualnog ljudskog rada (podbijanje, uređenje smer),
- neizbežno prljanje zastorne prizme drobljenjem zrna tucanika, nanošenjem peska, prašine i semena biljaka vetrom, što zahteva redovnu kontrolu vegetacije i čišćenje zastorne prizme (rešetanje uz dopunu novim materijalom),
- nanošenje čvrstih i tečnih otpadaka na zastornu prizmu, što stvara higijenski i estetski problem, koji se rešava angažovanjem uređaja za

mehanizovano usisavanje otpadaka sa zastorne prizme, ili manuelnim radom,

- zastorna prizma od tucanika predstavlja povoljno stanište za glodare, naročito u tunelima.

Generalno se može reći da je za korigovanje navedenih nedostataka potrebno obezbediti slobodan pristup mehanizacije mestu intervencije, potreban prostor za smeštaj i održavanje mehanizacije, kao i prostor za boravak ljudstva, potrebne redovne pauze u redu vožnje za negu i tekuće održavanje, alternativna saobraćajna rešenja u slučaju neizbežnog zatvora koloseka, uz obezbeđenje dovoljne dužine koloseka na kojoj treba izvršiti neku od mera korektivnog održavanja, kako bi upotreba mehanizacije bila moguća, bezbedna, delotvorna i isplativa.

Upotreba mehanizacije za održavanje koloseka u zastoru od tucanika je povoljna sa stanovišta efikasnosti izvođenja radova i izuzetno nepovoljna za stanovišta emisije buke. Uslove za rad mehanizacije je izuzetno teško ostvariti u uslovima intenzivnog saobraćaja, kao i u uslovima skućenog prostora za rad (koloseci između perona) i velike gustine električnih uređaja koji su ugrađeni u kolosek. Posledica je česta nemogućnost primene mehanizovanog održavanja koloseka i angažovanje nekvalitetnog, dugotrajnog i nehumanog manuelnog rada.

U uslovima gustog dnevnog saobraćaja, radovi na redovnom održavanju koloseka koji pliva u zastornoj prizmi, postaju poseban problem. Rešenje se uglavnom traži u sprovođenju aktivnosti održavanja u toku noći, što opet često stvara problem nedovoljnog vremena za sprovođenje redovne nege koloseka i problem održavanja nivoa buke tokom rada u zakonskim okvirima. Prema našim propisima dozvoljeni nivo buke noću u području za odmor i rekreaciju, bolničkoj zoni i oporavištu i kulturno-istorijskom lokalitetu iznosi 40 dB(A). Dozvoljeni nivo buke noću u gradskom centru, zanatskoj, trgovačkoj, administrativno-upravnoj zoni sa stanovima, zoni duž autoputa, magistralne i gradske saobraćajnice je nešto veći i iznosi 55 dB(A).

U Srbiji se klasičnom rešenju gornjeg stroja sa kolosekom u zastoru od tucanika još uvek daje neargumentovana prednost. Primeri neadekvatnog izbora konstrukcije gornjeg stroja su stajalište Vukov spomenik i Karađorđev park. Ipak, opravdanje za primenu klasičnog rešenja gornjeg stroja na pomenutim službenim mestima je nametnuta teška ekonomska situacija 90-tih godina i ograničenja koja je ona realno nametnula.

Ipak, prednosti koloseka u zastoru od tucanika dolaze do izražaja na čeličnim mostovima. Može se reći da klasičan gornji stroj sa zastorom od tucanika treba na čeličnim mostovima da se primenjuje

uvek, kada je to moguće. Čelični mostovi bez zastora imaju do 15 dB(A) veći nivo buke pri prolazu voza, u odnosu na prugu sa kolosekom u zastoru na zemljanom trupu [5]. U svetu, svakako, postoje i druga rešenja za čelične mostove bez zastora od tucanika, koja su zasnovana na prigušenju energije. Na taj način se sprečava prenošenje energije u konstrukciju čeličnog mosta i nastanak strukturne buke oscilovanjem čeličnog mosta u oblasti niskih frekvencija, koje su posebno neprijatne za okolno stanovništvo.

2.2 Specifičnosti primene koloseka na čvrstoj podlozi u urbanom okruženju

Nivo buke koji se emituje pri prolazu vozila po koloseku na čvrstoj podlozi (bez dodatnih mera zaštite od buke) u odnosu na kolosek u zastoru od tucanika veći je za 5 dB(A). Uprkos tome, minimalni troškovi održavanja, koji su svedeni na inspekciju i negu, kao i dugi vek konstrukcije daju ovome rešenju prednost u urbanom okruženju [6].

Ono što konstrukciju koloseka na čvrstoj podlozi principijelno izdvaja u odnosu na gornji stroj sa zastornom prizmom od tucanika je dugi vek trajanja i postojana geometrija koloseka uz minimalne aktivnosti i troškove održavanja tokom najmanje 60 godina. Jedan od preduslova za ispunjenje ovog zahteva je kvalitetno izvođenje geometrije koloseka, u skladu sa projektom konstrukcije i uz poštovanje propisanih tolerancija za tačnost izvedene geometrije.

Za razliku od konstrukcije koloseka u zastoru od tucanika, gde se negativni uticaji sleganja podloge na geometriju koloseka otklanjaju mehanizovanim podbijanjem i uređenjem smera koloseka, kod koloseka bez zastora nisu dopuštene značajnije promene geometrije usled sleganja. Korekcije geometrije koloseka ograničene su na intervencije u okviru elastičnog šinskog pričvršćenja. Zbog toga se kolosek polaže na stabilnu višeslojnu čvrstu podlogu.

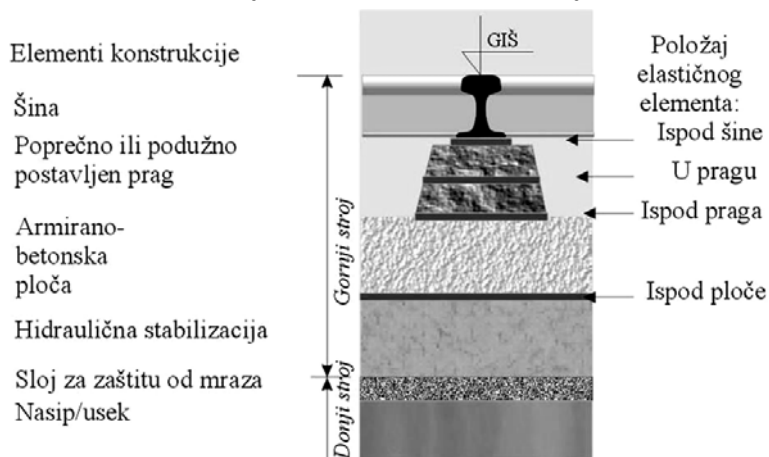
Zamenom zastorne prizme od tucanika višeslojnom čvrstom podlogom, postiže se postojanost geometrije koloseka u okvirima strogih propisanih tolerancija.

Međutim, izostavljanje tucanika iz konstrukcije gornjeg stroja zahteva upotrebu odgovarajuće dimenzionisanih elastičnih elemenata u konstrukciji koloseka na čvrstoj podlozi. Elastični elementi se najčešće nalaze u okviru šinskog pričvršćenja, a mogu se naći unutar ili ispod praga i ispod betonske ploče (slika 4). Za izradu elastičnih elemenata koriste se elastomer i guma, a u retkim slučajevima čelične opruge.

Elastična svojstva koloseka i njegovo dinamičko naprezanje u tesnoj su međuzavisnosti. Ciljnim dimenzionisanjem elastičnih elemenata može se

odlučujuće uticati na naprezanje šina, zastora i elemenata konstrukcije donjeg stroja u vertikalnoj ravni. Pored toga, izborom elastičnih svojstava ele-

menata konstrukcije gornjeg stroja bitno se određuje emisija vibracija, a u manjoj meri i emisija buke u okruženje.



Slika 4 - Mogući položaj elastičnih elemenata u konstrukciji koloseka na čvrstoj podlozi [7]

Kao dodatne mere za zaštitu od buke primenjuju se niski zidovi u neposrednoj blizini izvora buke i pločasti montažni elementi za apsorpciju buke ugrađeni u kolosek [7]. Pored toga, za zaštitu putnika od buke u tunnelskim železničkim stajalištima koriste se apsorpcione zidne obloge.

Takođe, kao dodatna zaštita od primarne buke mogu se primeniti visokoapsorpcione prostirke, koje imaju higijensko-estetsku i ekološku funkciju, jer je njihov osnovni zadatak da apsorbuju tečne ugljovodonične materije (kao npr. ulje, nafta, benzin itd, i to od 4 do 10 l/m²) i spreče njihovo prodiranje u donje slojeve konstrukcije. Ovo je od značaja u stanicama, jer se postavljanjem visokoapsorpcione prostirke istovremeno rešava problem zaprljanosti površine koloseka uljima i delimično problem apsorpcije buke.

Kao posebna vrsta koloseka na čvrstoj podlozi u plitko položenim tunnelima, ispod zgrada sa sadržajima osetljivim na strukturnu buku i potrese koriste se sistemi sa ogibljenim pločama. Poznata su rešenja sa tačkastim, trakastim i površinskim elastičnim oslanjanjem noseće ploče. Sistem sa kontinualnom elastičnom prostirkom je najskuplji, ali najjednostavniji i najbrži za izvođenje.

3. NEGA ŠINE

Pod negom šine podrazumeva se podmazivanje i brušenje.

Brušenje šina je najefikasniji postupak za kontrolu naboranosti glave šine, koja je jedan od osnovnih uzroka buke u dodiru točka i šine.

Razlikuje se preventivno brušenje novih šina i korektivno brušenje naboranosti.

Preventivno brušenje novih šina sprovodi se pre puštanja koloseka u saobraćaj. Brušenjem se uklanja dekarbonizovani sloj na površini glave šine, posledice valjanja i ispravljanja pri proizvodnji šine. Opiti u Britaniji su pokazali da se preventivnim brušenjem može odložiti pojava naboranosti čak do 5 godina. Odlaganjem naboranosti ostvaruje se nizak nivo dinamičkih sila, kontrola šinskih defekata usled zamora materijala (head checking, squat) i kontrola buke [8].

Korektivno brušenje ima za cilj ponovno uspostavljanje pravilnog podužnog profila šine uklanjanjem naboranosti površine glave. Različite železničke uprave propisuju različite granične vrednosti dubine naboranosti za preduzimanje korektivnog brušenja. Tako npr. na Nemačkim železnicama primenjuje se granična vrednost 0.05 mm, dok u Britaniji ta granica iznosi čak 0.15 mm. Bez obzira na nejedinstvo strategija brušenja naboranosti, u Evropi je opšte prihvaćen stav o neophodnosti i isplativosti uklanjanja naboranosti površine glave šine.

4. ZAKLJUČAK

Kontrola buke i vibracija je složen proces koji započinje već u fazi planiranja i projektovanja i traje tokom celokupnog eksploatacionog veka koloseka sprovođenjem aktivnosti održavanja.

Zahtevi da se obezbedi pouzdanost i kapacitet železničkog saobraćaja nameću rešenja gornjeg stroja pruga u urbanom okruženju, koja nemaju izražen problem održavanja. To su najčešće sistemi koloseka na čvrstoj podlozi, ili klasičan gornji stroj

sa kolosekom u zastoru od tucanika, koji je posebno prilagođen specifičnim zahtevima urbanog okruženja.

Primena koloseka na čvrstoj podlozi podrazumeva veći nivo buke pri prolazu šinskog vozila. Zbog toga se u urbanom okruženju obavezno primenjuju dodatne mere u konstrukciji koloseka, koje imaju za cilj da smanje nivo buke i vibracija.

Zahvalnica

Ovaj rad je rezultat istraživanja u okviru Tehnološkog projekta 36012 „Istraživanje tehničko-tehnološke, kadrovske i organizacione osposobljenosti Železnica Srbije sa aspekta sadašnjih i budućih zahteva Evropske Unije“ koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Die Deutsche Bundesbahn, Schall 03, Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen, 2006.
- [2] Buchman, A., Feste Fahrbahn und Lärm - Gibt es hier Lösungen?, Vortrag, Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen, Universität Karlsruhe (TH), S. 56, 2006.
- [3] Popović, Z., Kolosek na čvrstoj podlozi u urbanom okruženju, *Železnice*, br. 3-4/1998., s. 260 -263, 1998.
- [4] Popović, Z., Budućnost klasičnog koloseka na zastoru i šanse koloseka na čvrstoj podlozi, *Železnice*, br. 1-2/1996., s. 435 -439, 1996.
- [5] Nowack, R., Elastische Schienenbefestigungssysteme als schallmindernde Maßnahme bei Stahlböcken ohne Schotterbet, *ETR 47* (1998), H 4, S. 215-222, 1998
- [6] Darr, E., Fiebig W., Feste Fahrbahn: Konstruktion, Bauarten, Systemvergleich Feste Fahrbahn – Schotteroberbau, Tetzlaff Verlag, Hamburg, 1999, 156p.
- [7] Popović, Z., Kolosek na čvrstoj podlozi, monografija, Akademska misao, Beograd, 2010, 145 s.
- [8] Dollevoet, R., P., B., J., Design of an Anti Head Check profile based on stress relief, PhD Thesis, University of Twente, 2010, 151 p.

IZVOD

ŠINSKI SISTEMI I ZAŠTITA URBANOG OKRUŽENJA OD BUKE

U radu su definisani posebni uslovi, koje treba da ispune šinski sistemi u urbanom okruženju sa aspekta zaštite od buke i vibracija. Analizirani su uticaji položaja trase, konstrukcije i stanja gornjeg stroja i konstrukcije donjeg stroja na okruženje.

Ključne reči: *železnica, infrastruktura, gornji stroj, održavanje, buka, vibracije*

ABSTRACT

RAILWAY SYSTEMS AND THE NOISE PROTECTION OF THE URBAN ENVIRONMENT

This paper defines special requirements which railway track superstructure must fulfil in order to protect the urban environment from noise and vibrations. Possibilities of using ballasted and ballastless superstructure on earthworks, in tunnels and on bridges are analyzed.

Key words: *Railway, infrastructure, superstructure, maintenance, noise, vibration*