

Martin Hanisch

OBNOVA ŽELJEZNIČKOG MOSTA NA RIJECI MURI UZ PRIMJENU MJERA ZAŠTITE OD BUKE

1. Uvod

U sklopu projekta obnove željezničke infrastrukture u Leobenu (Štajerska) morale su biti smanjene i emisije buke pa tako i kod rekonstrukcije mosta preko rijeke Mure.

Smanjenje razine buke trebalo je provjeriti u sklopu pilot-projekta postavljanjem kolosijeka na čvrstu podlogu od armiranoga betona s integriranim tračnicama i kontinuiranim elastičnim nosačima. Cilj obnove mosta istodobno je bio povećati nosivost mosta do klase +2/SW. Postavljanjem novoga kolosijeka na čvrstu podlogu od armiranoga betona, vrh tračnica na mostu podignut je za 150 mm. Razliku u visini glave tračnica pojedinih pruga (postojećih u odnosu na novosagrađene) trebalo je nadoknaditi na dionici kolosijeka koja se približava mostu.

Radi dokumentiranja učinkovitosti mjera razvijen je koncept kroz četiri serije mjerenja. Cilj prve serije mjerenja bio je odrediti stvarnu razinu buke prije njezina smanjenja te je ono trebalo poslužiti kao referentno mjerenje za tri sljedeća mjerenja. To tehničko komparativno mjerenje razine buke u svibnju 2004. potvrdilo je vrlo visoke emisije buke u okolišu i do 112 dB.

2. Početno stanje mosta

Dvije odvojene čelične rešetkaste konstrukcije mosta s gornjom kolničkom pločom premošćuju rijeku Muru na lokaciji okruga Leoben. Južna konstrukcija mosta (kolosijek 1) izgrađena je 1939., dok je sjeverna konstrukcija mosta (kolosijek 2) izgrađena 1969. Most se nalazi između km 15+18,55 i 15+262,00 na glavnome koridoru

Austrijske južne željeznice (Austrijske južne željeznice s dionicom željeznice Semmering, dobro poznatim mjestom na UNESCO-ovoj listi svjetske baštine, omogućuju izravnu vezu Beča i jadranske luke Trst preko Graza od 1857.), koji se u mjestu Bruck an der Mur odvaja preko Leobena – St. Michaela i Klagenfurta do Villacha i ulazi u Italiju (Udine/Trst/Venecija). Ta je željeznička trasa dvokolosiječne pruge elektrificirana od 1963.

Također je ta dionica dio Transeuropske mreže (TEN) i namijenjena je za proširenje koridora. Maksimalno ograničenje brzine je 140 km/h. Njome u prosjeku prođe otprilike 280 vlakova na dan (od 2005.), uključujući vlakove EuroCity i InterCity, regionalne vlakove i teške teretne vlakove (npr. blok-vlakovi). Dionica glavni kolodvor Leoben – Bruck an der Mur radi reverzibilno.



Slika 1. Most preko rijeke Mure u Leobenu prije obnove

Izvor: autor

2.1. Opis objekta

Postojeći objekt sastoji se od čeličnoga rešetkastog mosta s gornjom kolničkom pločom i otvorenim kolosijekom bez zastorne prizme. Grede mosta i drveni željeznički pragovi sa sustavom za učvršćenje tračnica K i zaštitnom tračnicom (zaštita od iskliznuća) izravno su pričvršćeni za kolosijek. Raspon mosta iznosi 73,80 m, a konstrukcijska visina je oko 6,5 m.

U obuhvatu projekta kolosijeci su u pravcu s malim uzdužnim padom od 0,83 posto prema St. Michaelu. Udaljenost između osi kolosijeka u zoni mosta iznosi 5,20 m.



Slika 2. Čelično-rešetkasta konstrukcija mosta

Izvor: autor

3. Koncept smanjenja razine buke pri obnovi mosta

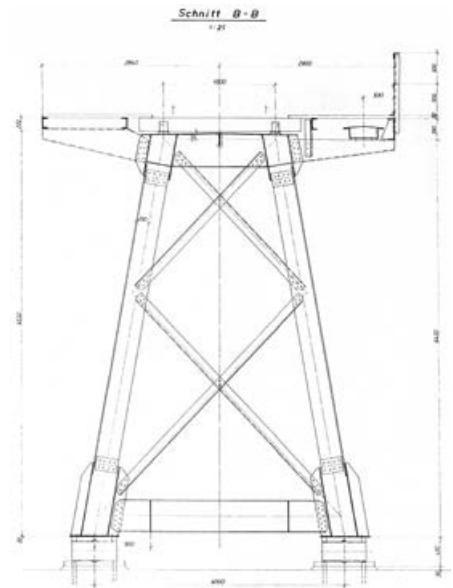
Kako bi se osigurao prikladan pristup, istraženi su sljedeći koncepti:

- bukobrani na postojećemu objektu
- čvrsta koritasta podloga od armiranoga betona za kontinuirani kolosijek sa zastornom prizmom
- kolosijek bez zastorne prizme na čvrstoj podlozi od armiranoga betona sa sustavom ugrađenih tračnica (ERS)
- izgradnja novoga mosta sa sustavom Silent Bridge®
- izgradnja mosta od armiranoga betona s kontinuiranim kolosijekom sa zastornom prizmom.

Koncepti d) i e) ubrzo su odbačeni jer je još uvijek relativno nov objekt imao dug preostali korisni vijek. Koncept a), odnosno dodavanje bukobrana postojećemu objektu, također je napušten u ranoj fazi zbog zahtjevnih građevinskih radova potrebnih kako bi se objekt armirao s tek neznatnom zvučnom učinkovitošću.

Koncepti b) i c) pokazali su se vrlo učinkovitim u pogledu zaštite od buke, no činjenica da bi se kolosijek trebao dosta podići govorila je protiv koncepta b). Osim toga nosači mosta zahtijevali bi opsežno građevinsko ojačanje zbog težine armiranobetonske ploče i kolosijeka sa zastornom prizmom.

Koncept b), odnosno postavljanje podloge od armiranoga betona za ko-



Slika 3. Presjek konstrukcije mosta prije obnove

Izvor: [2]

losijek bez zastorne prizme s ERS-om, odabran je iz sljedećih razloga:

- Ukupna se visina ERS-om može smanjiti. Tračnice na kontinuiranoj podlozi mogu smanjiti vibracije gornjega ustroja jer se frekvencija nosive točke eliminira.
- Kompozitna nosiva podloga od čelika i betona kao kolosijek bez zastorne prizme povećava masu, a istodobno učvršćuje nosivu rešetkastu konstrukciju.
- Sveukupna masa mosta povećana je i smanjuje vibracije (sekundarna buka).
- Dodatno zavarene ploče armiraju rešetkaste nosače.
- Kolosijek na čvrstoj podlozi omogućuje akustičnu izolaciju prema dolje.
- Prigušivači buke ugrađeni u kolosijek smanjuju razinu buke u okolišu.

Dodatne značajke odabranoga rješenja jesu:

- Vrh tračnice podiže se za 15 cm.
- Novi kolosijek na čvrstoj podlozi izgrađen je uz korištenje polugotovih komponenata i završen *in situ*

betonom (slično stropu / podnoj ploči s rešetkastim nosačima).

- Na sjevernoj strani postavljen je visokoapsorbirajući bukobran.

Kako bi se odredilo očekivano smanjenje razine buke ERS-a, projektome birou Möhler + Partner Ingenieure AG iz Münchena povjereno je preliminarno mjerenje buke u rujnu 2002. Istraživanje je predvidjelo da je na frekvencijama iznad 40 Hz razina buke do susjednoga objekta smanjena za oko 6 dB(A) u širokome frekvencijskom području.

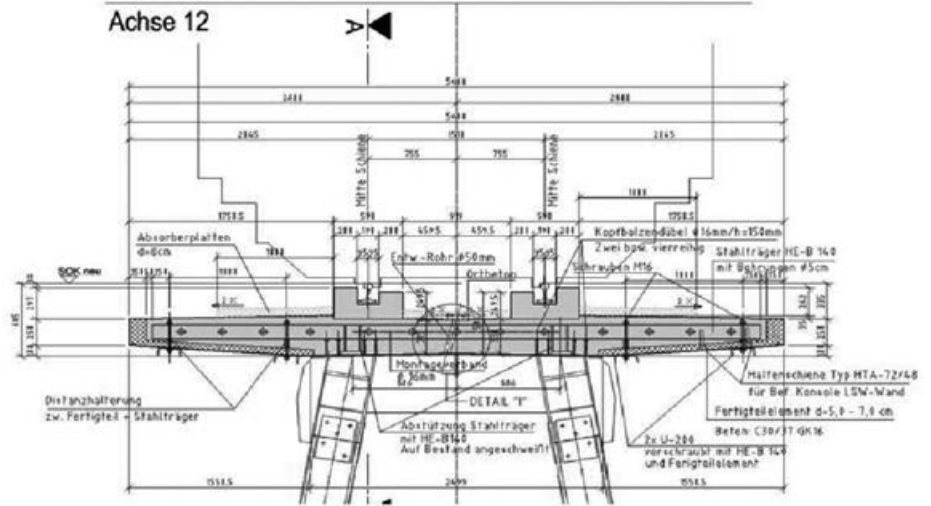
4. Obnova mosta

Za postavljanje ERS-a proizvedena je kompozitna ploča od čelika i betona (polugotove komponente dovršene *in situ* betonom) uz primjenu betona kvalitete C30/37 i konstrukcijskoga čelika kvalitete 550. Na dijelu kolosijeka podloga je debljine otprilike 38 cm uz suženje na 25 cm prema rubu. Kolosijek na čvrstoj podlozi širine je 5,60 m te je ugrađen moždanicima izravno na rešetkaste nosače. Četiri paralelne stranice tračnoga kanala, uključujući šipke startera, betonirane su naknadno (dodan *in situ* beton) na kolosijek s čvrstom podlogom. Tračnice su se zatim mogle položiti u dva rezultirajuća kanala za tračnice i postaviti u ERS-u. Betonska podloga djeluje kao gornji pojas u kompozitu od čelika i betona s postojećom čeličnom konstrukcijom mosta i oblikuje kolosijek bez zastorne prizme.

Za zaštitu od iskliznuća ne zahtijevaju se dodatne zaštitne tračnice. Iznad kolosijeka na čvrstoj podlozi nema nosivih konstrukcijskih komponenti, a rizik od iskliznuća s mosta umanjen je stranicama tračničkih kanala.

Postojeća konstrukcija ne pokazuje nikakve znakove loma. Kako bi se zadovoljili zahtjevi prema ÖNORM B 4003, stranice tračničkih kanala i vrh tračnice podignuti su prema središtu mosta (nadvišenje g+p/3 prema ÖNORM B 4003).

QUERSCHNITT TRAGWERK 1:25



Slika 4. Presjek mosta, novi kolosijek na čvrstoj podlozi

Izvor: [2]



Slika 5. Ugradnja čeličnih odsječaka (gornji pojas) za kolosijek na čvrstoj podlozi

Izvor: autor

Cjelokupna konstrukcija mosta konstrukcijski je ojačana s obzirom na povećanu stalnu masu i povećanu nosivost (klasa +2/SW), uključujući izvanredne događaje na iskliznuće vlaka, a sve u skladu s europskim normama. Također, postavljanjem nosive betonske podloge trebale bi se smanjiti relativno

velike horizontalne oscilacije u staroj konstrukciji.

S obzirom na to da je ugradnjom betonskoga kolosijeka stalna masa povećana, a prometna su se opterećenja trebala povećati do +2/SW, bili su potrebni radovi na ojačanju i preinaci nosive čelične konstrukcije.

Donji pojas:

Donji pojasevi armirani su zavarenim čeličnim pločama.

Dijagonale:

Četiri tlačne dijagonale koje sežu od rubova mosta pojačane su na obje strane zavarenim pločama.

Sustav učvršćenja profila protiv utjecaja od vjetra

Donji sustav učvršćenja protiv vjetra zamijenjen je jednostavnim 180/18 kutnicima u obliku slova L.

Ležajevi:

Zbog povećanih nosivih opterećenja postojeći ležajevi zamijenjeni su elastomernim lončastim ležajevima, gdje je tip ležaja ostao fiksni ili fiksni u poprečnome smjeru. Zbog male visine ugradnje osnove ležaja oblikovane su na potpornome sjedalu i unutarnjim točkama podizanja kako bi se omogućila zamjena ležajeva.

Gornji pojas:

Čelični gornji pojas i betonska podloga spojeni su moždanicima. Nova betonska podloga nepropusna je za vodu i otporna na mraz. Položaj u gornjemu pojasu i posljedično u tlačnoj zoni mosne konstrukcije podržava ta svojstva.

Oborinsku vodu treba usmjeriti prema van i duž bočnih rubova. Zbog toga je podloga nagnuta dva posto od središta poprečnoga presjeka prema van u oba smjera. Između tračničkih korita voda treba otjecati kroz odvodne cijevi. S tom svrhom inkorporiran je mali uzdužni nagib.

Na sjevernoj strani mosta izgrađen je bukobran visine dva metra iznad vrha tračnice, uključujući korito za kablove. Čelična konstrukcija učvršćena je na dnu sidrima od nehrđajućega čelika. Poklopac korita za kablove i kolosijek na čvrstoj podlozi na istoj su visini. Razmak između dvaju mostova (kolosijek 1 i kolosijek 2) prekriven je metalnim limom.



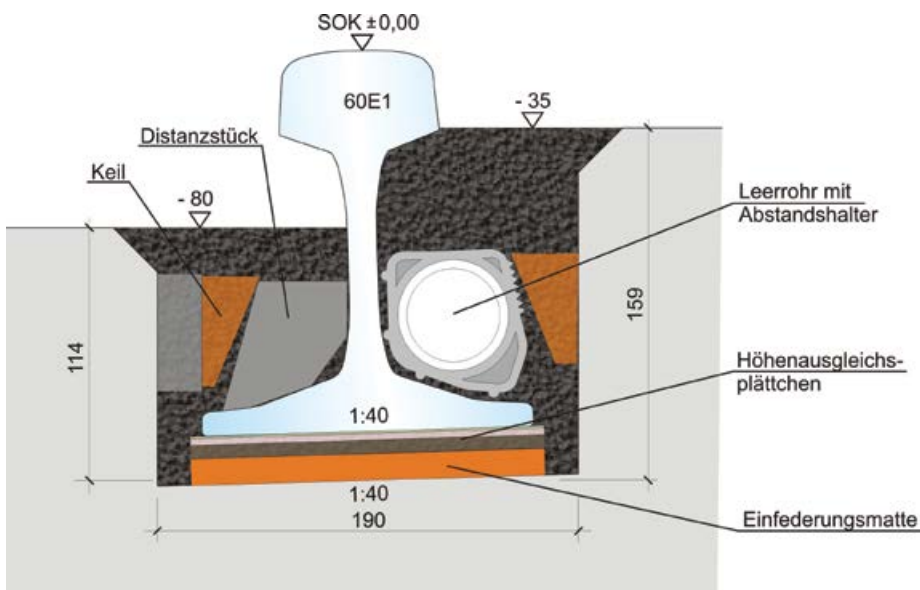
Slika 6. Armaturni koš kolosijeka na čvrstoj podlozi

Izvor: autor

4.1. Sustav učvršćenja tračnica na čvrstoj podlozi

Specijalna ERS razupora od pluta s unutarnje strane tračnica osigurava položaj tračnice u kanalu, a ugrađuju se u intervalima od 1,5 m. Pluteni klinovi ERS fiksiraju položaj razupora od pluta i razupora, a posljedično i položaj tračnice.

U sklopu obnove mosta na rijeci Muri blizu Leobena stare tračnice zamijenjene su novima profila 60E1 (UIC 60). Odabrani sustav učvršćenja tračnica tip ERS HR-B-60E1 odgovara zadnjoj verziji (16. svibnja 2001.) odobrenja Savezne željezničke uprave Njemačke (EBA) za uporabu na brzim prugama ($V_{max} \geq 300$ km/h).



Slika 7. Presjek ERS-a (sve mjere su u mm)

Izvor: [4]

Tračnice su postavljene „bottom-up“ metodom (metoda odozdo prema gore) i zalivene elastičnom smjesom: do 80 mm ispod vrha tračnice s unutarnje strane i do 35 mm ispod vrha tračnice s vanjske strane. Isto omogućuje uporabu brusnoga vlaka Speno. Elastična traka jamči statički otklon od oko 1,9 – 2,1 mm po UIC-ovu modelu opterećenja 71.

Standardno se kod sustava za učvršćenje tračnica tip ERS HR-B-60E1-MS postavlja samo jedna cijev s vanjske strane tračnice. Cijevi omogućuju uštedu na izlivenome materijalu, a istodobno služe kao kanali za (električne) vodove. Na svakih 1,5 m specijalne razupore drže cijevi u poziciji prema željezničkoj mreži. Istodobno razupore učvršćuju položaj tračnice u kanalu.

4.2. Postavljanje tračnica

S obzirom na to da su betonske stranice kanala formirane i izliveno na licu mjesta, a na srednjemu dijelu mosta postojalo je nadvišenje od 6 cm, dimenzije dužine i širine tračnih kanala nisu bile optimalne. K tome je dno kanala imalo varijabilne omjere nagiba i smjera.

Radi zadržavanja nagnutosti tračnica od 1 : 40 u sklopu dopuštenih granica, nagnutost dna kanala morala je biti poravnana uz korištenje ERS moždanika koji su znatno otežali zadatak. U tome se smislu korištenje uređaja za mjerenje nagnutosti tračnice pokazalo itekako isplativim.



Slika 8. Poravnanje vrha tračnice prema zahtijevanome položaju

Izvor: autor

Nakon podešavanja tračnica po pravcu i širini kolosijeka, a prije postupka lijevanja, zabilježeni su visina, nadvišenje, položaj i širina kolosijeka. Dopušteno odstupanje bilo je +/- 1 mm. Prije postupka lijevanja tračnice i stranice kanala pošpricane su ljepljivim temeljnim premazom i tek tada mogao se izliti elastičnim materijal.

4.3. Prijelazna konstrukcija

Otpornost ERS-a na puzanje vrlo je velika, vrijednosti oko 50 N/mm. Zato je projektni biro Zilch + Müller Ingenieure, München, angažiran da istraži je li potrebna ugradnja dilatacijske naprave. Prema DB AG's DS 804 i DIN tehničkome izvještaju 101, Zilch + Müller izračunao je postojeću tlačnu ili vlačnu silu od 1291 kN. Ta je vrijednost donekle viša od dopuštene tlačne ili vlačne sile kod kolosijeka sa zastornom prizmom.

Maksimalno dopuštena tlačna ili vlačna sila jest 1107 kN (1414 kN za kolosijek bez zastorne prizme). Malo prevelika vrijednost može se potencijalno poništiti povećanjem bočnoga otpora nadgradnje zastorne prizme. Na kraju ugrađena je dilatacijska naprava na drvenim pragovima, i to na zapadnoj strani (Leoben strana).



Slika 10. Prijelazna konstrukcija, istočni upornjak (strana Brucka)

Izvor: autor



Slika 11. Prijelazna konstrukcija, zapadni upornjak (strana Leobena)

Izvor: autor



Slika 9. Fiksiranje položaja tračnice u kanalu

Izvor: autor

Na obje strane upornjaka uređen je prijelaz između kolosijeka sa zastornom prizmom i kolosijeka bez zastorne prizme (kolosijek na podlozi mosta) posredstvom dvaju drvenih pragova sa sustavom K za pričvršćenje tračnica koji je bio položen izravno na potporni zid. Izvan mosta kolosijek je položen na drvene pragove na strani Leobena te na pragove od prednapregnutoga betona na strani Brucka. Nisu uporabljene prijelazne ploče.

Prigušivači buke

Po završetku serija mjerenja buke od 01 do 03, krajem studenoga 2004. u zonama kolosijeka položeni su dodatni prigušni podložni paneli kako bi se izbjeglo dodatno onečišćenje bukom koju proizvodi zvučnoreflektirajuća površina kolosijeka bez zastorne prizme.



Slika 12. Prigušni podložni paneli koji se koriste kao dodatna akustična mjera obnove

Izvor: autor

5. Analiza buke

Zbog provjere je li obnova, osobito kolosijek bez zastorne prizme s ERS-om, uspješno izvedena u pogledu zvučne izolacije, ÖBB je angažirao tvrtku TAS Schreiner GmbH iz Linza za provedbu četiriju serija mjerenja i analize rezultata.

5.1. Serije mjerenja

Cilj serije mjerenja 01 bio je utvrditi stvarnu akustičnu situaciju na starome mostu te na postojećemu kolosijeku kao referentno mjerenje za daljnje serije mjerenja. Mjerenje je provedeno u svibnju 2004.

Cilj serije mjerenja 02 bio je provjeriti učinak ERS-a u kombinaciji s kolosijekom na čvrstoj podlozi od čvrstoga betona i konstrukcijskim ojačanjem rešetkastoga mosta. Mjerenje je provedeno u rujnu 2004., nakon što su završeni svi građevinski radovi.

Za svako istraživanje ÖBB je omogućio teretni vlak iz svojega voznog parka. Mjerna kompozicija vlaka uvijek

Tablica 1. Točke mjerenja – pregled

Izvor: [6]

Točke mjerenja	Adresa lokacije	Udaljenost do kolosijeka 2	Udaljenost do osi rute
MP-1	A-8700 Leoben, dionica mosta Obritzfeldweg	oko 8,5 m	oko 11 m
MP-2	A-8700 Leoben, dionica kolosijeka Obritzfeldweg istočno od mosta	oko 8,6 m	oko 11 m
MP-3	A-8700 Leoben, Spitalweg	oko 17 m	oko 20 m
MP-4	A-8700 Leoben, Judendorferstrasse	oko. 11 m	oko 50 m

Točke mjerenja	Koordinata Y	Koordinata X	Visina MP	Visina terena	Razlika H
MP-1a	-92.706,11	250.484,43	539,5 m	~ 528,0 m	~ 11,5 m
MP-1b	-92.706,11	250.484,43	534,5 m	~ 528,0 m	~ 6,5 m
MP-1c	-92.706,11	250.484,43	531,6 m	~ 528,0 m	~ 3,6 m
MP-2	-92.271,03	250.357,34	539,1 m	~ 534,0 m	~ 5,0 m

se sastojala od lokomotive klase 2143 i četiriju vagona klase RNSZ. Ukupna masa vlaka iznosila je oko 163 tone. Nažalost, zbog operativnih razloga, nije bilo moguće koristiti istu mjernu kompoziciju vlaka za svaku pojedinu seriju mjerenja.

Mjerni program uključivao je testne vožnje trima brzinama (± 5 km/h), i to

od 90 km/h, 80 km/h i 60 km/h. Zabilježene su emisije buke na svim mjernim točkama tijekom svake vožnje.

5.2. Točke mjerenja

Uspostavljene su četiri točke mjerenja. Dvije glavne točke mjerenja, MP-1 i MP-2, bile su blizu željezničke pruge,

dok su sekundarne mjerne točke, MP-3 i MP-4, bile udaljene od željezničke pruge, u obližnjoj stambenoj zoni. Najudaljenija mjerna točka MP-2 bila je na otvorenome dijelu, oko 300 m od mosta.

Na mjernoj točki 01 postavljena su tri mikrofona na različitim razinama. MP-1 bila je otprilike 4,5 m iznad vrha tračnice, MP-1b otprilike na razini vrha tračnice, a MP-1c otprilike 3 m ispod vrha tračnice (na nosivoj konstrukciji mosta). Mikrofoni na mjernim točkama MP-2, MP-3 i MP-4 bili su postavljeni oko 5 m iznad glave tračnice.

Cilj serije mjerenja 03, tijekom koje se razina buka mjerila 2 m iznad vrha tračnica, bio je zabilježiti učinkovitost visokoapsorbirajućega bukobrana. To je mjerenje bilo provedeno početkom mjeseca studenoga 2004.

Cilj završne serije mjerenja 04 bio je ocijeniti cjelokupan projekt. Mjerenje je bilo provedeno krajem mjeseca studenoga 2004., nakon što su u zonu kolosijeka ugrađeni prigušivači zvuka.

Kod svakog mjerenja svakodnevni željeznički promet redovito je tekao po sjevernome kolosijeku.

6. Rezultati provjere razine buke

6.1. Rezultati serije mjerenja 02

Rezultati mjernih točaka MP-1 uglavnom se koriste za davanje izjava o učinku smanjenja emisije buke kolosijeka na čvrstoj podlozi s ERS montažom tračnica.

Tablica 1. Točke mjerenja - pregled

Izvor: [6]

Mjerenje 01 (svibanj 2004) – razina pojedinačnog događaja $L_{A,E}$ – srednje vrijednosti:							Mjerenje 03 (početak studenog 2004) – razina pojedinačnog događaja $L_{A,E}$ – srednje vrijednosti:						
v □ km/h □	MP-1a $L_{A,E}$ □ dB □	MP-1b $L_{A,E}$ □ dB □	MP-1c $L_{A,E}$ □ dB □	MP-2 $L_{A,E}$ □ dB □	MP-3 $L_{A,E}$ □ dB □	MP-4 $L_{A,E}$ □ dB □	v □ km/h □	MP-1a $L_{A,E}$ □ dB □	MP-1b $L_{A,E}$ □ dB □	MP-1c $L_{A,E}$ □ dB □	MP-2 $L_{A,E}$ □ dB □	MP-3 $L_{A,E}$ □ dB □	MP-4 $L_{A,E}$ □ dB □
60	108	109	110	97	97	89	60	96	92	94	94	94	84
80	110	111	112	98	99	90	80	98	93	94	95	96	85
90	111	112	112	100	100	92	90	99	94	95	97	97	86
Mjerenje 01 (svibanj 2004) – vršna razina $L_{A,max}$ – srednje vrijednosti:							Mjerenje 03 (početak studenog 2004) – vršna razina $L_{A,max}$ – srednje vrijednosti:						
v □ km/h □	MP-1a $L_{A,max}$ □ dB □	MP-1b $L_{A,max}$ □ dB □	MP-1c $L_{A,max}$ □ dB □	MP-2 $L_{A,max}$ □ dB □	MP-3 $L_{A,max}$ □ dB □	MP-4 $L_{A,max}$ □ dB □	v □ km/h □	MP-1a $L_{A,max}$ □ dB □	MP-1b $L_{A,max}$ □ dB □	MP-1c $L_{A,max}$ □ dB □	MP-2 $L_{A,max}$ □ dB □	MP-3 $L_{A,max}$ □ dB □	MP-4 $L_{A,max}$ □ dB □
60	103	104	104	92	91	83	60	89	85	87	88	86	76
80	106	106	107	94	93	84	80	92	87	88	90	90	78
90	107	107	108	96	94	85	90	93	89	89	91	91	79
Mjerenje 02 (rujan 2004) – razina pojedinačnog događaja $L_{A,E}$ – srednje vrijednosti:							Mjerenje 04 (kraj studenog 2004) – razina pojedinačnog događaja $L_{A,E}$ – srednje vrijednosti:						
v □ km/h □	MP-1a $L_{A,E}$ □ dB □	MP-1b $L_{A,E}$ □ dB □	MP-1c $L_{A,E}$ □ dB □	MP-2 $L_{A,E}$ □ dB □	MP-3 $L_{A,E}$ □ dB □	MP-4 $L_{A,E}$ □ dB □	v □ km/h □	MP-1a $L_{A,E}$ □ dB □	MP-1b $L_{A,E}$ □ dB □	MP-1c $L_{A,E}$ □ dB □	MP-2 $L_{A,E}$ □ dB □	MP-3 $L_{A,E}$ □ dB □	MP-4 $L_{A,E}$ □ dB □
60	101	100	98	93	93	83	60	93	90	91	92	92	-
80	103	102	100	95	95	85	80	95	91	92	94	94	-
90	104	103	100	96	96	85	90	96	92	93	95	96	-
Mjerenje 02 (rujan 2004) – vršna razina $L_{A,max}$ – srednje vrijednosti:							Mjerenje 04 (kraj studenog 2004) – vršna razina $L_{A,max}$ – srednje vrijednosti:						
v □ km/h □	MP-1a $L_{A,max}$ □ dB □	MP-1b $L_{A,max}$ □ dB □	MP-1c $L_{A,max}$ □ dB □	MP-2 $L_{A,max}$ □ dB □	MP-3 $L_{A,max}$ □ dB □	MP-4 $L_{A,max}$ □ dB □	v □ km/h □	MP-1a $L_{A,max}$ □ dB □	MP-1b $L_{A,max}$ □ dB □	MP-1c $L_{A,max}$ □ dB □	MP-2 $L_{A,max}$ □ dB □	MP-3 $L_{A,max}$ □ dB □	MP-4 $L_{A,max}$ □ dB □
60	95	94	92	88	86	75	60	88	84	86	86	85	-
80	99	98	95	90	90	78	80	90	86	87	89	88	-
90	99	98	95	91	91	78	90	92	87	88	91	90	-

Napomena: Vrijednosti razine zaokružene su do najbližega cijelog broja □ dB □.



Slika 13. Mjerna kompozicija vlaka prolazi kolosijekom bez zastorne prizme s ERS-om

Izvor: autor

Tako je gornji mikrofonski MP-1a utvrdio smanjenje razine buke od oko 7 dB za energetska sredina razine pojedinačnoga događaja i za oko 7 do 8 dB za vršne razine. Na poziciji srednjega mikrofona, MP-1b, učinak smanjenja razine buke u usporedbi sa situacijom prije obnove rešetkastoga mosta bio je oko 9 dB kod razina pojedinačnoga događaja i vršnih razina.

Smanjenje emisije buke, koje je povezano s obnovom, na najdonjoj poziciji mikrofona, MP-1c, iznosilo je oko 12 dB kod razina pojedinačnih događaja i vršnih razina. Postignuta smanjenja razine buke potvrđena su subjektivnim dojmom slušanja mjernih tehničara. Ona su pokazala to da se buka koju su vlakovi proizvodili prelazeći preko čeličnoga mosta znatno smanjila nakon prve faze obnove.

6.2. Rezultati serije mjerenja 03

U međuvremenu, točnije u studenome 2004., konstrukcija mosta dopunjena je visokoapsorbirajućim bukobranom (visina komponente do oko 2 m iznad vrha tračnice) na sjevernoj strani. Rezultati mjerenja na točki MP-1 ponovno su

se uzimali uglavnom prilikom davanja izjave o učinku bukobrana na smanjenje emisije buke u blizini mosta, t.

Na pozicijama mikrofona MP-1a/b/c bilo je zabilježeno smanjenje energetskoga prosjeka za razine pojedinačnih događaja za svaku brzinu vlaka. Ono je iznosilo otprilike 5 do 6 dB za gornju poziciju te otprilike 8 do 9 dB u sredini i otprilike 4 do 5 dB u najnižoj poziciji. Učinak smanjenja na vršnim razinama imao je tendenciju biti otprilike 1 dB viši nego na razinama pojedinačnih događaja.

6.3. Rezultati serije mjerenja 04

Dotadni podložni paneli za zvučno prigušenje (zvučni prigušivači) ugrađeni su u zonu kolosijeka krajem studenoga 2004. Loši vremenski uvjeti usporili su mjerenja te su ona bila provedena tek nakon što su prestali kiša i snježne padaline. Međutim, bilo je moguće očekivati tehnički utjecaj na mjerenje zvučnoga onečišćenja zbog prevladavajućih snježnih uvjeta (na konstrukciji mosta i na otvorenome dijelu). U skladu s time nisu provedena nikakva mjerenja za točku mjerenja MP-4 koja je bila najudaljenija od željezničke pruge.

Smanjenje energetskoga prosjeka razina pojedinačnoga događaja za svaku brzinu vlaka na mjernoj točki MP1 iznosilo je oko 3 dB na vrhu, oko 2 do 3 dB u sredini i oko 2 dB na najnižoj poziciji mikrofona.

Međutim, usporedba mjernih točaka MP-1a i MP-2 upućuje na to da tehnički utjecaj od oko 1 do 2 dB na mjerenje zvučnoga onečišćenja serija 03 i 04 treba, zbog različitih mjernih kompozicija vlakova, ocijeniti znatnim.

Zato razlike u razini utvrđene za razine pojedinačnih događaja i vršne razine trebaju biti kvalificirane kao one koje leže u području od 1 do 2 dB na svim pozicijama mikrofona.

Budući da je most smješten u pravcu, a hrapavost tračnica stalno se mjeri od posljednje zamjene kolosijeka 1996.,

Tablica 3. Sažetak ukupne usporedbe

Izvor: [6]

Mjerenje 03 minus mjerenje 01 – razlika u razinama pojedinačnoga događaja $L_{A,E}$

v [km/h]	MP-1a $L_{A,E}$ [dB]	MP-1b $L_{A,E}$ [dB]	MP-1c $L_{A,E}$ [dB]	MP-2 $L_{A,E}$ [dB]	MP-3 $L_{A,E}$ [dB]	MP-4 $L_{A,E}$ [dB]
	-12	-17	-16	-4	-3	-6
80	-12	-18	-18	-3	-3	-5
90	-12	-18	-17	-3	-3	-6

Mjerenje 03 minus mjerenje 01 – razlika u razinama pojedinačnog događaja $L_{A,E}$

v [km/h]	MP-1a $L_{A,max}$ [dB]	MP-1b $L_{A,max}$ [dB]	MP-1c $L_{A,max}$ [dB]	MP-2 $L_{A,max}$ [dB]	MP-3 $L_{A,max}$ [dB]	MP-4 $L_{A,max}$ [dB]
60	-14	-18	-17	-5	-5	-7
80	-14	-19	-19	-4	-4	-6
90	-13	-19	-19	-5	-4	-7

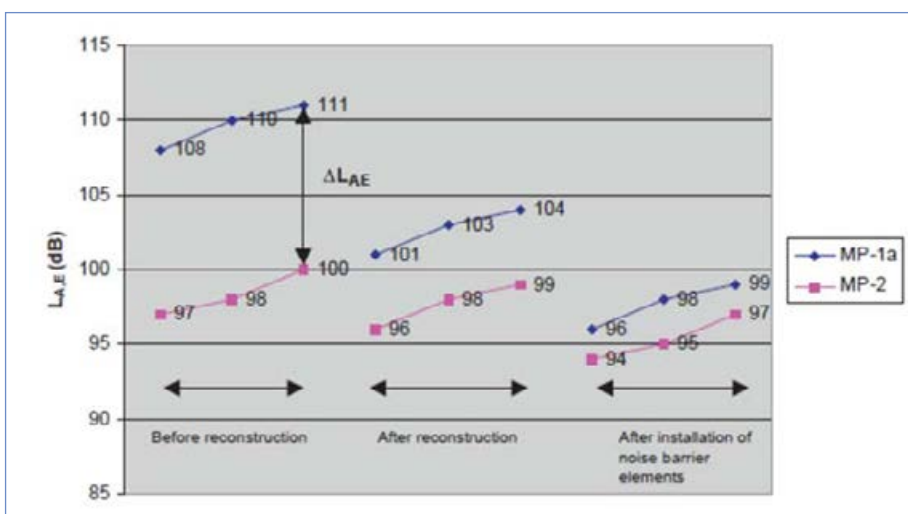
Napomena: Prikazane vrijednosti zaokružene su na najbliži cijeli broj [dB]. Moguća su odstupanja do 1 dB iz tehničkih razloga ili zbog zaokruživanja. Negativne vrijednosti naznačuju smanjenje razina buke. Usporedba između prosječnih razina pojedinačnoga događaja i vršnih razina u svakoj brzinskoj skupini temelji se na konkretnoj zabilježenoj poziciji mikrofona (od MP-1a do MP-1a, itd.) bez reference na MP-2. Kako je već gore napomenuto, utjecaji se ne mogu preciznije procijeniti zbog drugačijih kompozicija mjernih vlakova.

moglo bi se pokazati to da se hrapavost tračnica nije znatno promijenila te da zato nije imala nikakav utjecaj na provjeru buke.

7. Ocjena mjernih rezultata u ovisnosti o frekvenciji

Ocjena mjernih rezultata u ovisnosti o frekvenciji omogućuje davanje izjava o mogućim promjenama dojmova slušatelja.

Nakon ugradnje nosive ploče i ERS-a može se prepoznati znatno smanjenje u emisiji buke kod mosnih prijelaza u području od 160 Hz do oko 1600 Hz. Naknadno podignuti zid za zaštitu od buke na jednoj strani omogućio je daljnje znatno poboljšanje u višem frekventijskom području (Napomena: Ljudsko uho registrira zvukove u višem frekventijskom području kao neugodnije od onih iste jačine, ali u nižem frekventijskom području.)



Grafikon 1. Usporedba MP-1a i MP-2

Izvor: [6]

Ono što treba dodatno spomenuti kod ovoga projekta jest komplementarni učinak, s akustične točke gledišta, kolosijeka bez zastorne prizme i postavljanja bukobrana.

Objekti mjere nadopunjuju njihove pojedinačne prednosti u niskome, srednjemu i visokome frekvencijskom području s rezultatom jasne percepcije smanjenja (kroz sve frekvencije u studiji) emisije buke. Izjave o učinku ugrađenih prigušivača buke zasad se ne mogu dati zbog nedovoljno provjerenih rezultata.

7.1. Isplativost

Kako je već prethodno spomenuto, u trenutku kada je projekt izrađen (2002.) nosiva konstrukcija mosta na Muri imala je uračunani preostali vijek trajanja od 47 godina i preostalu knjižnu vrijednost od oko 316 000 eura. Tehnički je konstrukcija mosta bila u cijelosti funkcionalna. Zato kompletno rušenje objekta i njegova zamjena novim nije bila ekonomski opravdana. Trošak obnove procijenjen je na 3,0 milijuna eura.

S druge strane, ÖBB si nije mogao dopustiti zadržavanje staroga objekta u postojećemu stanju na dulje razdoblje. Nezadovoljstvo stanovnika zbog utjecaja buke postajalo je sve veće.

Obnova nosive konstrukcije, uključujući postavljanje bukobrana i sve ostale građevinske mjere, koštala je oko 1,3 milijuna eura. Taj iznos uključivao je trošak projektiranja i trošak popratnih mjera za smanjenje razine buke. Od toga iznosa 520 000 eura osigurao je ÖBB. Iz inženjerske i akustične perspektive most predstavlja zadnju riječ tehnike te je proizveden uz trećinu troška gradnje novoga objekta.

8. Zaključak

Obnova mosta na Muri u Leobenu uz smanjenje razine buke bila je ambiciozan pilot-projekt, koji je proveden s velikim uspjehom.



Slika 14. Nosači kolosijeka s ERS-om i bukobran nakon obnove, gledajući na istok
Izvor: autor

U pomno planiranome projektu kombinacija različitih mjera (kolosijek na čvrstoj podlozi koji smanjuje vibracije, kontinuirani elastični ERS sustav ugrađenih tračnica, bukobran i prigušivači buke) znatno je premašila prvobitna očekivanja. Postignuto je impresivno smanjenje emisije buke u okoliš od oko 19 dB. To odgovara otprilike četvrtini subjektivno zabilježene razine buke.

S tom prvom primjenom na mostovima Austrijskih saveznih željeznica (ÖBB), sustavu ugradbenih tračnica ERS, kontinuiranome elastičnom sustavu učvršćenja tračnica dana je mogućnost da pokaže da je prikladan za uporabu i da ima potencijal smanjenja razine buke odmah nakon ugradnje.

Za svakodnevni promet objekt odbačen za prelazak između kolosijeka sa zastornom prizmom i kolosijeka bez zastorne prizme (u ovome slučaju na mostu) imat će znatan utjecaj na dugoročno ponašanje.

Prve kontrolne vožnje ÖBB-ovim vagonom za snimanje kolosijeka pokazale su vrlo dobro pozicioniranje kolosijeka i jednako stabilan i gladak prijelaz zastorna prizma – most – zastorna prizma.

Na kraju treba napomenuti to da je vrlo kratko razdoblje od tek 2,5 godine od idejnoga projekta do puštanja mosta u funkciju bilo moguće samo zahvaljujući zalaganju svih sudionika.



Slika 15. Kolosijek 2 mosta na Muri koji je obnovljeni radi smanjenja razine buke

Izvor: autor

Literatura

- [1] Werner Lorenz. 29. svibnja 2002. Projekt br. 1775/02. Tehnički izvještaj. Obnova mosta na Muri uz opće smanjenje buke. Leoben. Graz.
- [2] Zilch + Müller Ingenieure GmbH. 14. srpnja 2002. Projekt br. 22408, Konstrukcijska kalkulacija dijela kolosijeka – Most na Muri. Leoben. München.
- [3] Möhler + Partner Ingenieure AG, bivše društvo Möhler + Partner, inženjeri konzultanti za kontrolu buke i građevinska fizika. Izvještaj broj 800-1380. Preliminarno istraživanje buke. ÖBB obnova uz smanjenje buke postojećeg objekta, most na Muri
- Upotreba INFUNDO sustava. München. 11. listopada 2002.
- [4] Werner Lorenz. 22. svibnja 2003. Projekt br. 1775/02. Tehnički izvještaj – podnošenje projekta 2002, rekonstrukcija i obnova mosta na Muri, Leoben, km 15.210 ruta Bruck a.d. Mur – St. Michael Ost. Graz.
- [5] ÖBB – Austrijske savezne željeznice. 3. veljače 2004. ref.br. 825 344/4-II/Sch2/03. DVR 0000175. Željeznička tehnička procjena ÖBB – ruta Bruck an

der Mur – St. Michael Ost, rekonstrukcija željezničkog mosta na km 15.210 – Most na Muri. Leoben. Innsbruck.

- [6] TAS Schreiner GmbH. 22. prosinca 2004. Izvještaj o tehničkim mjerenjima; ref. br.: 02A0136T „Rekonstrukcija mosta na Muri-Leoben“. ÖBB – Austrijske savezne željeznice, ruta Bruck/Mur-St. Michael, oko 15,0 km do oko 15,5 km. Linz.
- [7] Herwing Riegler. ožujak 2005. Inovacije u pogledu smanjenja buke na čeličnim konstrukcijama željezničkih mostova i njihova implementacija na primjeru obnove nosive konstrukcije mosta na Muri u Leobenu. St. Peter/Freienstein.

UDK: 624.21+625.1

Adresa autora:

Martin Hanisch, product manager ERS / INFUNDO systems
edilon)(sedra
e-pošta: m.hanisch@edilonsedra.com

SAŽETAK

OBNOVA MOSTA NA MURI UZ PRIMJENU MJERA ZAŠTITE OD BUKE

Zamišljen kao pilot-projekt, obnova mosta na rijeci Muri u Leobenu osnova je za daljnje obnove mostova u ÖBB-u uz korištenje ERS sustava ugradbenih tračnica, gdje se kontinuirana podloga za zastomom prizmom ne može koristiti ili se može koristiti samo uz neopravdano visoke troškove.

Ključne riječi: obnova mosta, zaštita, buka, kolosijek na čvrstoj podlozi

Kategorizacija: stručni rad

SUMMARY

RENOVATION OF THE MURA BRIDGE WITH APPLIED NOISE PROTECTION MEASURES

Designed as a pilot project, the renovation of the bridge on the Mura River in Leoben is the basis for further bridge renovations at ÖBB by using the ERS system of built-in rails, in which the continuous base for the ballast bed cannot be used or can only be used at high costs which cannot be justified.

Key words: bridge renovation, protection, noise, track on a solid surface

Categorization: professional paper