



Prof.dr.sc. Stjepan Lakušić¹, Prof.dr.sc. Dubravka Bjegović², Ana Baričević³
Ivo Haladin¹, Marijana Serdar²

APSORPTION PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH RECYCLED RUBBER - RUCONBAR

Summary: In past decade, Croatia has undertaken significant efforts in development of adequate noise protection. Until 2007 noise protection along the roads was primarily constructed from imported wooden, aluminium or PVC noise barriers. Therefore, the same year lightweight concrete noise barrier with advantages such as static stability, simple construction and lower price was developed by scientists on University of Zagreb Faculty of Civil Engineering. Further research was focused on development of highly effective, fully Croatian and innovative solution for noise protection with absorbing layer made from recycled rubber. Namely, by replacing expanded clay with recycled rubber better waste management, improved resource preservation and lower emission of CO₂ into the atmosphere is achieved. This paper also includes analysis of two major parameters of lightweight concrete, mechanical and acoustical properties.

Key words: recycled rubber, concrete barriers, noise protection, absorption

APSORPCIJSKA SVOJSTVA LAGANOG BETONA S RECIKLIRANOM GUMOM - RUCONBAR

Rezime na srpskom jeziku: U posljednjem desetljeću Hrvatska poduzima značajne napore na području zaštite od buke uz prometnice. Do 2007. godine, zaštita od buke uz prometnice uglavnom je izvođena primjenom drvenih, aluminijskih odnosno PVC barijera. Na inicijativu Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 2007. godine uvođe se betonske apsorbirajuće barijere koje imaju niz prednosti kao što su statička stabilnost, jednostavnost izvedbe, ali i manja cijena. Na ovaj način razvijen je proizvod koji je moguće proizvesti u hrvatskim tvornicama predgotovljenih elemenata. Kako bi se proizveo u cijelosti hrvatski proizvod, istraživanje je nastavljeno s ciljem pronašlaska strovne za izradu apsorpcijskog sloja koji je do tada izrađivan od ekspandirane gline prema inozemnim licencama. Kao zamjena prirodnog agregata odabранe su otpadne automobilske gume, čija reciklaža pozitivno utječe na okoliš smanjujući odlagališta guma i emisije CO₂. U radu se na cijeloviti način analizira primjena recikliranog gumenog granulata u betonu pri različitim udjelima i različitom granulacijom. Ispitivanjima su obuhvaćena mehanička i akustična svojstava betona, kao dva najvažnija parametra kod odabira materijala za izradu barijera za zaštitu od buke.

Ključne reči na srpskom jeziku: reciklirana guma, betonske barijere, zaštita od buke, apsorpcija

¹ Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za prometnice, Kačićeva 26,
10000 Zagreb, Hrvatska, laki@grad.hr

² Institut IGH, Janka Rakuše 11, 10 000 Zagreb, Hrvatska, dubravka.bjegovic@igh.hr
Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za materijale, Kačićeva 26,
10000 Zagreb, Hrvatska, abaricevic@grad.hr

³ Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za materijale, Kačićeva 26,
10000 Zagreb, Hrvatska, abaricevic@grad.hr

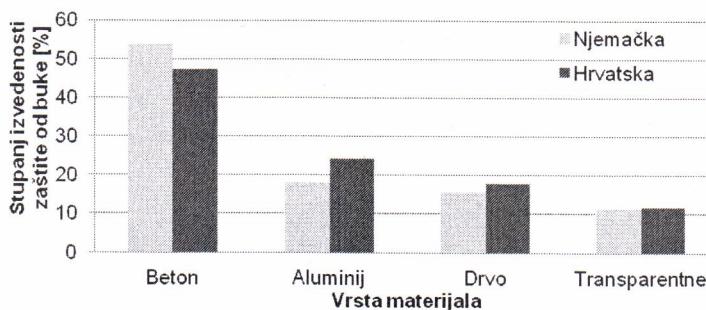
1. UVOD

U posljednjih 15 godina Hrvatska je doživjela značajan razvoj prometne infrastrukture, posebice autocesta. Razvoj ide i dalje, s time da je danas usmjerjen na gradnju željezničkih pruga, gdje sukladno važnosti posebno treba istaknuti prugu visoke učinkovitosti Rijeka – Zagreb – Botovo (granica s Mađarskom). U skladu s važećim propisima i direktivama u području zaštite okoliša, izuzetna važnost tijekom projektiranja ove željezničke pruge pridana je zaštiti od buke. Upravo na području zaštite od buke je i napravljen najveći iskorak u posljednjem desetljeću. Naime, do 2007. godine, zaštita od buke uz prometnice uglavnom je izvođena primjenom drvenih, aluminijskih te transparentnih barijera. Nakon 2007. godine, na temelju istraživanja u Zavodu za prometnice Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, u Hrvatsku se uvode betonske apsorbirajuće barijere koje imaju niz prednosti kao jednostavnost izrade i ugradnje, stabilnost uz prometnicu, ali i niža cijena. Na ovaj način razvijen je proizvod koji je u cijelosti proizведен u hrvatskim tvornicama predgotovljenih elemenata. Za izradu apsorpcijskog sloja ovakvih barijera korištene su granule ekspandirane gline koje su dolazile iz uvoza.

Kako bi se proizveo u cijelosti hrvatski proizvod, istraživanje je nastavljeno s ciljem pronalaska sekundarne sirovine za pripremu apsorpcijskog sloja. U skladu s održivim razvojem, odabran je otpadni materijal koji procesom reciklaže postaje vrijedna sirovina. Sukladno brojnim propisima i direktivama te s ciljem da se otpad s prometnice recikliranjem vrati na prometnicu u novom proizvodu kao zamjena prirodnom agregatu odabrane su otpadne automobilske gume. One kroz proces reciklaže postaju sirovina koja u potpunosti može zamijeniti dosada korištenu ekspandiranu glinu.

2. SVOJSTVA BETONSKIH BARIJERA ZA ZAŠTITU OD BUKE

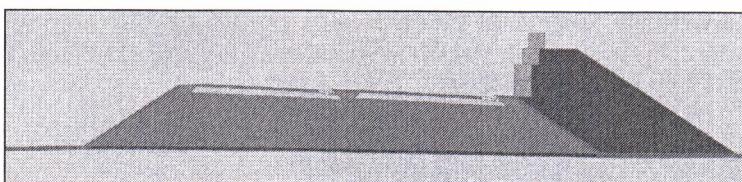
Detaljnim istraživanjem tržišta, razmatranjima različitih rješenja zaštite od buke, uspoređena su mnoga komercijalno dostupna rješenja kako bi se pronašla optimalna konstrukcija za primjenu uz novoizgrađene i planirane cestovne i željezničke prometnice u Hrvatskoj i zemljama regije. Najčešće korištene barijere prije 2007. godine ugrađivane duž prometnica u Hrvatskoj bile su drvene, aluminijске, odnosno transparentne barijere, koje su u pravilu dolazile iz uvoza. Kao konkurentan proizvod odabrane su barijere od apsorbirajućeg betona iz razloga što je tehnologija proizvodnje betona i betonskih elemenata u Hrvatskoj na zavidnoj razini kako s stručnog tako i sa znanstveno-istraživačkog aspekta. Betonske barijere su tada predstavljale novi proizvod na hrvatskom tržištu i struka je navedeni tip barijera vrlo dobro prihvatile. Naime, od 2007 do 2010. godine betonske barijere koje su u cijelosti razvijene i proizvedene u Hrvatskoj [1, 2], prateći trendove zapadnoeuropskih zemalja, imaju najveći udio u zaštiti od buke, što se najbolje može ilustrirati s dijagramima prikazanim na slici 1. Prema podacima [3], cijena betonskih apsorbirajućih barijera je 2 do 5% manja u odnosu na drvene te 7 do 10% manja u odnosu na aluminijске barijere.



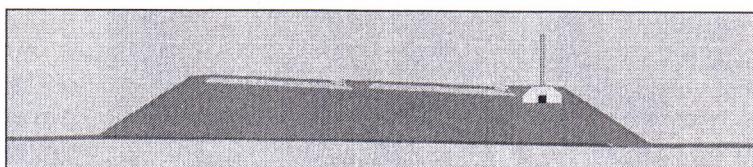
Slika 1. Zastupljenost pojedinih barijera za zaštitu od buke na autocestama u Hrvatskoj

Razlog brzog porasta zastupljenosti betonskih barijera u Hrvatskoj leži u njihovim pozitivnim svojstvima. Osim dobro poznate tehnologije proizvodnje predgotovljenih betonskih elemenata, ističu se po iznimnoj trajnosti, jednostavnosti ugradnje te otpornosti atmosferskim utjecajima. Od potonjeg valja spomenuti utjecaj vjetra, kao primarno pokretno opterećenje ove vrste građevina. Stabilnost i masivnost ovakve konstrukcije barijera za zaštitu od buke vrlo je važna u određenim vjetrovim zonama (npr. u mediteranskom dijelu Hrvatske poznatom po učestalim naletima orkanske bure), te pri izgradnji barijera uz željezničke kolosijeke. Željeznička vozila svojim prolaskom stvaraju pritisak zraka na barijeru. Taj pritisak značajan je kod vlakova brzina većih od 200 km/h, te se nikako ne smije zanemariti. Dinamički utjecaj vlaka brzine 300 km/h na barijeru jednak je utjecaju orkanskog vjetra.

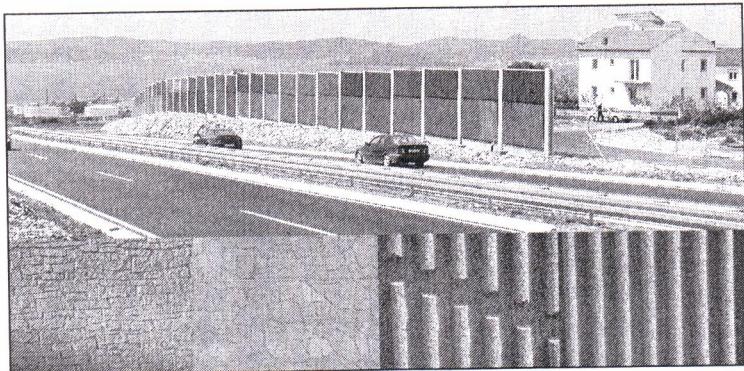
Ovakvom vrstom barijera u Hrvatskoj je do danas izrađeno više od 40 000 m² zaštite od buke, što na autocestama, što u urbanim sredinama. Ovakav proizvod vrlo je brzo pokazao opravdanost njegove primjene kroz jednostavnu i brzu proizvodnju i ugradnju uz nisku cijenu u odnosu na konkurenčna rješenja. Tijekom izgradnje autoceste od Splita do Ploča, zamjena gabionskih zidova betonskom barijerom uzrokovala je značajne uštede pri izgradnji nasipa (slike 3 i 4), dok je izvedbom različitih oblika i boja apsorbirajuće površine udovoljeno raznim arhitektonskim zahtjevima (slika 5).



Slika 3. Poprečni presjek autoceste s gabionskim zidom (projektno rješenje 2008)



Slika 4. Poprečni presjek autoceste s betonskim apsorbirajućom barijerom (izvedeno, 2008/09))



Slika 5. Oblikovanje apsorbirajuće površine betonske barijere

3. ODABIR MATERIJALA ZA IZRADU APSORPCIJSKOG SLOJA

Iz prethodno prikazanih podataka (slika 1) vidljivo je da je beton najčešći materijal u izradi barijera. S obzirom na to da se godišnja potrošnja osnovnih sirovina za proizvodnju betona raste do vrtoglavih 900 milijuna litara vode, 9 milijardi tona prirodnog agregata te 1,5 milijardi tona cementa [4], primjenjujući beton djelujemo suprotno održivom razvoju. Betonske se barijere na području Hrvatske najčešće proizvode uz dodatak ekspandirane gline. Potrebno je uzeti u obzir utjecaj proizvodnje gline na promjene ekološkog sustava kao posljedicu bespovratnog trošenja prirodnih resursa, ostavljajući pri tome ogoljen i devastiran okoliš (slika 6a). Osim onečišćenja okoliša, Hrvatska nema ni proizvodnju ekspandirane gline, što predstavlja dodatni, ekonomski problem za proizvođače barijera. Druga vrsta često izvođenih betonskih barijera su barijere od drvobetona. Takve barijere izrađuju se u obliku zidanih apsorbirajućih blokova koji se zapunjavaju betonom na mjestu ugradnje, odnosno kao dvoslojne apsorbirajuće barijere s nosivim slojem od armiranog betona i apsorbirajućim slojem od drvobetona. Nedostatak takvih barijera je iskoristavanje prirodnog resursa (šume) u svrhu dobivanja drvenih vlakana za izradu apsorbirajućeg sloja (slika 6b).



Slika 6. Proces proizvodnje ekspandirane gline (a) i drvenih vlakana (b)

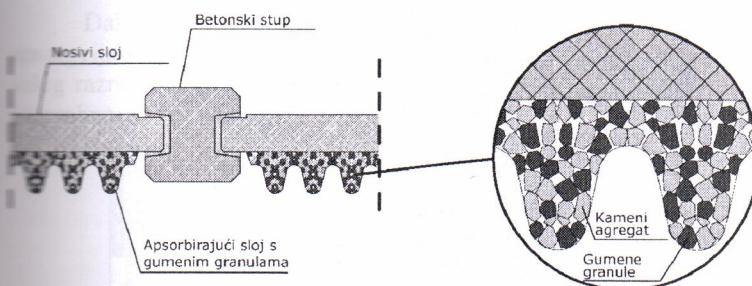
Zbog navedenih nedostataka postojećih rješenja betonskih barijera, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu nastavio je istraživanja u području zaštite od buke kako bi razvio rješenja uskladena s održivim razvojem.

Tijekom protekle dvije godine razvijene su betonske barijere za zaštitu od buke čiji je apsorpcijski sloj izведен laganim betonom s dodatkom gumenih granula dobivenih reciklažom otpadnih guma - RUCONBAR (Rubberized Concrete Noise Barriers). Ovaj ekološki inovativni proizvod ne omogućava samo zaštitu od buke već daje doprinos i zbrinjavanju odnosno gospodarenju otpadnim gumama na primjereno, djelotvoran, inovativan i gospodarski učinkovit način – razvojem novog proizvoda. Razmatramo li RUCONBAR u sklopu održivog razvoja, tada se taj inovativni proizvod ubraja u područje ekološki prihvatljivih jer se iz otpadnih guma stvara proizvod s novom vrijednošću, a ujedno se doprinosi čistijem okolišu (slika 7) i zaštiti od buke.



Slika 7. Proces proizvodnje gumenih granula

RUCONBAR u strukturi svojeg apsorbirajućeg sloja sadrži 40 % gumenog granulata (slika 8), dobivenog recikliranjem otpadnih guma i kao takav predstavlja inovativno rješenje u proizvodnji barijera za zaštitu od buke te je za njega provedena patentna zaštita pri Državnom zavodu za intelektualno vlasništvo Republike Hrvatske (P20100483A).

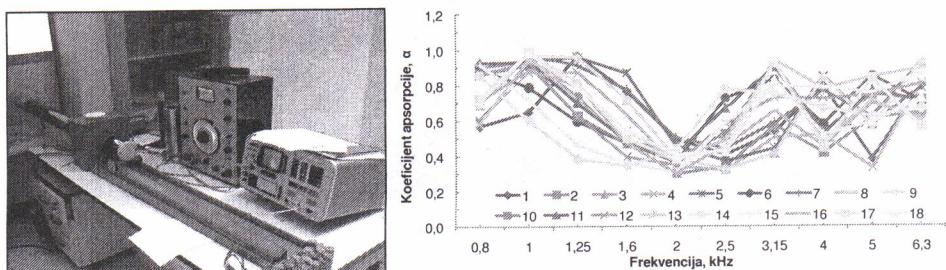


Slika 8. Poprečni presjek inovativnog rješenja

Prema podacima [5, 6], u zapadnoj Europi se nekontrolirano odlaže samo 5 % otpadnih guma, a na području novih članica i zemalja pristupnica nekontrolirano se odlaže 29 % nastalih otpadnih guma (oko 450.000 t ili oko 42,5 milijuna komada). Sukladno Direktivi 1999/31/EC, od 2006. godine svaka je vrsta odlaganja otpadnih guma u okoliš potpuno zabranjena, pa je tom odlukom raspoloživa količina otpadnih guma za recikliranje znatno porasla. U skladu s navedenom direktivom RUCONBAR svoju primjenu traži na tržištima zemalja pristupnica Europskoj Uniji, posebice iz regije jugoistočne Europe, s ciljem kvalitetnog zbrinjavanja otpadnih guma i izvođenja kvalitetne zaštite od buke uz buduće planirane prometnice.

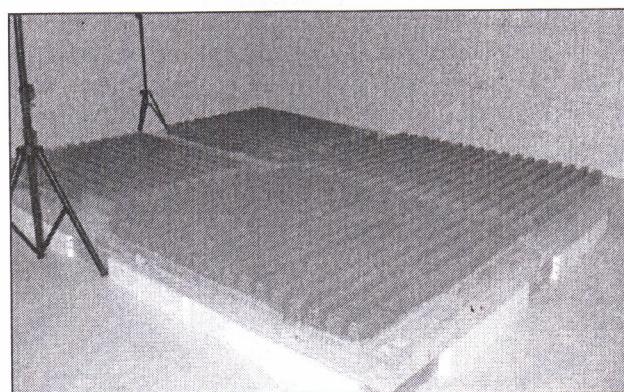
4. APSORPCIJSKA SVOJSTVA BETONA S RECIKLIRANOM GUMOM

Najvažnija odlika opisanih barijera za zaštitu od buke je njihovo svojstvo apsorpcije zvuka. To svojstvo podrazumijeva mogućnost određenog materijala da dolazeće valove zvuka pretvoriti u drugi oblik energije (najčešće toplinsku energiju). S obzirom na to da RUCONBAR u svojem apsorpcijskom sloju sadrži dosad neispitivani materijal, bilo je potrebno provesti ispitivanja njegovih apsorpcijskih svojstava. Ispitivanja su se provodila tijekom svih faza razvoja materijala (18 mješavina) na malim laboratorijskim uzorcima (Slika 11) u Kundtovoj cijevi, [8].



Slika 11. Akustička ispitivanja malih uzoraka

Nakon provedenih ispitivanja odabrana je optimalna mješavina, od koje su izrađeni „real-scale“ uzorci površine 10.0 m^2 (Slika 10.), te su ispitani u ječnoj prostoriji [7] u skladu s normama HRN EN ISO 354:2004 i HRN EN 1793-1:1999.

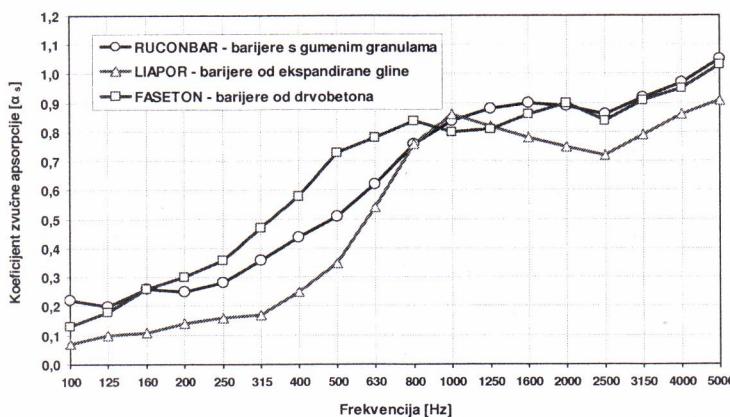


Slika 10. Ispitni uzorci (real-scale) u ječnoj prostoriji

Rezultati ispitivanja koeficijenta zvučne apsorpcije (α_s) „real-scale“ uzorka prikazani su kao funkcija frekvencije dijagramom. Pri iskazivanju rezultata korištene su sljedeće oznake:
 f – središnja frekvencija terce (Hz),
 α_s – koeficijent zvučne apsorpcije,
 DL_a – jednobrojna vrijednost zvučne apsorpcije izražena kao razlika A-vrednovanih razina zvučnog tlaka.

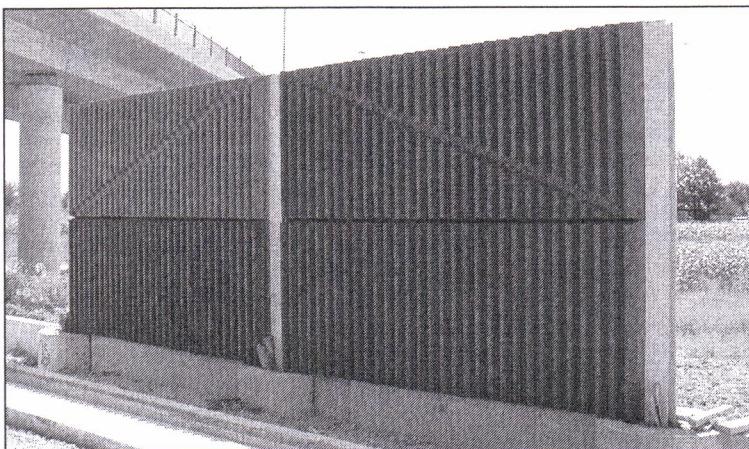
Prikaz rezultata dan je usporedno s rezultatima ispitivanja koeficijenta zvučne apsorpcije (α_s) za barijere za zaštitu od buke s apsorpcijskim slojem od ekspandirane gline, te za barijere od drvobetona, Slika 11, [8].

Temeljem dobivenih rezultata, a u skladu s postojećim normama, barijera RUCONBAR svrstana je u razred A2 zvučne apsorpcije na temelju jednobrojne vrijednosti zvučne apsorpcije $DL_a = 6$ dB. Neka od konkurenckih rješenja mogu zadovoljiti više razrede zvučne apsorpcije, no to uvelike ovisi o poprečnom presjeku apsorpcijske površine. Usporedba apsorpcijskih svojstava provedena je ispitivanjem barijera sličnog poprečnog presjeka. Provedena istraživanja upućuju na zadovoljavajuća apsorpcijska svojstva barijera RUCONBAR. Također upućuju na mogućnost daljnog razvoja ove vrste barijera s ciljem postizanja više kategorije zvučne apsorpcije - A3.



Slika 11. Usporedba svojstava zvučne apsorpcije

Daljnja ispitivanja obuhvaćaju izradu panela različitog poprečnog presjeka apsorpcijske površine panela, te njihova ispitivanja u ječnoj komori u cilju postizanja višeg razreda zvučne apsorpcije. Također su predviđena ispitivanja panela postavljenih na probnoj dionici u eksploracijskim uvjetima (slika 12).



Slika 12. Postavljanje probnih panela na autocesti Zagreb - Sisak

5. ZAKLJUČAK

Jednostavna izvedba čini betonske barijere vrlo praktičnim za primjenu kako uz nove dionice autoceste tako i uz postojeće cestovne prometnice. Posebnu primjenu ova vrsta barijera nalazi uz željezničke kolosijeke i u područjima s jakim udarima vjetra, gdje eksploatacijski uvjeti zahtijevaju visoku stabilnost i otpornost na dinamičke udare. Ulaganja u razvoj željezničke mreže na području istočne Europe, također daju naslutiti široku primjenu betonskih barijera uz moderne željezničke kolosijeke. Posebnu primjenu ova vrsta barijera može naći u urbanim sredinama gdje do izražaja dolazi jednostavnost i brzina izgradnje. Korištenje produkata reciklaže otpadnih automobilskih guma u apsorpcijskom sloju barijere pomaže očuvanju okoliša rješavajući problem odlaganja automobilskih guma, trošenja prirodnih resursa, a u usporedbi sa sličnim rješenjima smanjuje emisije CO₂ u okoliš i samu cijenu gotove barijere. Ispitivanjima u laboratorijskim uvjetima i na "real-scale" prototipu dokazana je funkcionalnost i trajnost betonske barijere za zaštitu od buke s apsorpcijskim slojem od reciklirane gume. Apsorpcija opisanih barijera usporediva je s konkurenckim rješenjima, dok su za postizanje višeg razreda apsorpcije zvuka predviđena daljnja laboratorijska i terenska ispitivanja. Krajnji proizvod, njegova komercijalizacija i buduća replikacija na tržišta diljem Europe prepoznati su i podržani od strane Europske Unije u sklopu projekta RUCONBAR koji se odvija pod okriljem programa CIP ECO-INNOVATION.

ZAHVALA

Autori rada zahvaljuju se agenciji **EACI - Executive Agency for Competitiveness & Innovation** i fondu **CIP ECO-INNOVATION** u sklopu kojeg se financira projekt **RUCONBAR – Rubberised concrete noise barriers** (Project No.: 277317). Autori se zahvaljuju i Ministarstvu znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske na osiguranim resursima u sklopu znanstvenih projekata "Razvoj novih materijala i sustava zaštite betonskih konstrukcija" (082-0822161-2159) i "Buka i vibracije na tramvajskim i željezničkim kolosijecima" (082-0000000-2185).

6. REFERENCE

1. Lakušić, S., Bartoš, D., Haladin, I.: "Betonski apsorbirajući zidovi za zaštitu od buke", SABOR HRVATSKIH GRADITELJA 2008, (ur. Simović, V.), Cavtat, Hrvatska, pp. 397-405, 06-08, studeni 2008.
2. Lakušić, S., Bartoš, D.: "Two layer concrete barriers for noise protection", GNP 2008 (Ed. S. Rutešić), Žabljak, Crna Gora, pp. 507-512, 03-07 Mart 2008.
3. Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstrassen, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn, 2006.
4. Mehta, P. "Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development". Concrete International, 24 (7), 23-28, 2002.
5. ETRMA - European Tyre & Rubber Manufacturers' Association, End-of-life tyres Management - Edition, 2010.
6. Waste - State and impacts (Croatia), European Environment Agency (2010),
7. "Apsorbirajući betonski paneli - Usporedba ispitivanja zvučne apsorpcije", Institut građevinarstva Hrvatske (IGH), Zagreb, 2010.
8. Lakušić S., Bjegović D., Baričević A., Haladin, I.: "Ekološke betonske barijere za zaštitu od buke", Projektiranje prometne infrastrukture, (ur. Lakušić Stjepan), Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za prometnice, str. 7-30, Zagreb, 2011.