

PRIMJENA RECIKLIRANE GUME U PROIZVODNJI APSORBIRAJUĆIH BETONSKIH BARIJERE ZA ZAŠTITU OD BUKE

THE APPLICATION OF RECYCLED RUBBER IN THE PRODUCTION OF ABSORBING CONCRETE NOISE BARRIERS

Prof.dr.sc. Stjepan Lakušić, dipl.ing.
Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10 000 Zagreb, Hrvatska
e-mail: laki@grad.hr

Ivo Haladin, dipl.ing.
Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10 000 Zagreb, Hrvatska
e-mail: ihaladin@grad.hr

Ana Baričević, dipl.ing.
Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10 000 Zagreb, Hrvatska
e-mail: abaricevic@grad.hr

Sažetak: *Uslijed značajnog razvoja prometne infrastrukture posljednjih godina u Hrvatskoj, javila se potreba za adekvatnom zaštitom od buke okolnih naseljenih područja. Na inicijativu Građevinskog fakulteta u Zagrebu, od 2007. godine na hrvatske prometnice uvode se betonske apsorbirajuće barijere za zaštitu od buke koje imaju niz prednosti kao što su veća stabilnost uz prometnicu te jednostavnost izvedbe. Velika prednost također je i tehnologija proizvodnje poznata domaćim proizvođačima predgotovljenih betonskih elemenata. U početnom periodu primjene ovih barijera za izradu apsorpcijskog sloja korištena je ekspandirana glina koja je dolazila iz uvoza. S ciljem zamjene uvozних komponenti nastavljeno je istraživanje u svrhu pronađaska zamjenske sirovine. Rad opisuje istraživanje primjene recikliranih automobilskih guma kao sirovine za izradu apsorpcijskog sloja. Prikazane su usporedbi mehaničkih i akustičkih ispitivanja, te ekonomski i ekološki aspekti ovakve primjene recikliranih automobilskih guma. Poseban naglasak dan je primjeni ovakve vrste barijera uz moderne željezničke kolosijeke koji postavljaju visoke zahtjeve stabilnosti i trajnosti konstrukcije.*

Ključne riječi: reciklirana guma, betonske barijere, zaštita od buke

Abstract: *Following the significant development of transportation infrastructure in recent years in Croatia is the need of adequate noise protection of the surrounding urban area. Based on Faculty of Civil Engineering in Zagreb initiative, in 2007 absorbing concrete noise barriers have been introduced on Croatian highways, bringing multiple benefits in terms of static stability and ease of construction. Notable benefit is also the technological process that Croatian precast concrete element plants are quite familiar with. In the beginning phase of the application of this barriers the absorption layer has been made out of expanded clay. Looking to substitute the imported components the research proceeded in order to find the secondary resource for its production. The paper elaborates the use of recycled car tyres as a resource for producing absorbing layer. The comparison of mechanical and acoustical properties as well as economical and ecological aspect of such application of recycled car tyres has been elaborated. Special attention has been attended to the use of this type of barriers alongside modern railway tracks with high stability and durability requirements.*

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

1. UVOD

Uslijed značajnog razvoja prometne infrastrukture posljednjih godina u Hrvatskoj, javlja se potreba za adekvatnom zaštitom od buke okolnih naseljenih područja. S ciljem ekološke održivosti prometne infrastrukture u lipnju 2002, EU je donijela Direktivu 2002/49/EC o procjeni i načinima upravljanja razine buke poglavito u područjima uz autoputeve i željeznicu. Republika Hrvatska uskladila je svoje propise s navedenom direktivom te na taj način preuzeo obvezu da će svi budući projekti u cestogradnji i željeznicama obuhvatiti zaštitu od buke okolnih urbanih područja uz prometnice. Primjena barijera za zaštitu od buke predstavlja najčešći i najsigurniji način smanjenja rasprostiranja buke. Odmah nakon postavljanja barijera dovoljne visine i duljine postiže se značajno smanjenje razine buke pri čemu razlikujemo dvije osnovne vrste barijera za zaštitu od buke: reflektirajuće i apsorbirajuće. Reflektirajuće barijere odbijaju zvučne valove bez smanjenja njihovog intenziteta, dok apsorbirajuće "upijaju" većinu energije zvučnih valova, a mali dio se reflektira. Prema provedenim istraživanjima [1] primjena apsorbirajućih barijera je učestalija.

Za potrebe izgradnje barijera za zaštitu od buke danas na tržištu postoje paneli izrađeni od različitih materijala, a najčešće su u upotrebi: beton, drvo, aluminij te transparentni materijali. Razlikuju se po mnogim karakteristikama kao što su mehanička svojstva, akustička svojstva, brzina i jednostavnost ugradnje, trajnost, cijena.

Od 2007. godine na hrvatske prometnice uvode se betonske apsorbirajuće barijere za zaštitu od buke koje imaju niz prednosti kao što su robusnost i stabilnost uz prometnicu i jednostavnost izvedbe. Uvođenje ovog novog proizvoda uvelike je potpomoglo suradnja Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i industrijskih partnera. Uhodani su proizvodni procesi, savladana je tehnologija proizvodnje betonskih elemenata te njihova ugradnja uz prometnice.

2. SVOJSTVA BETONSKIH BARIJERA ZA ZAŠTITU OD BUKE

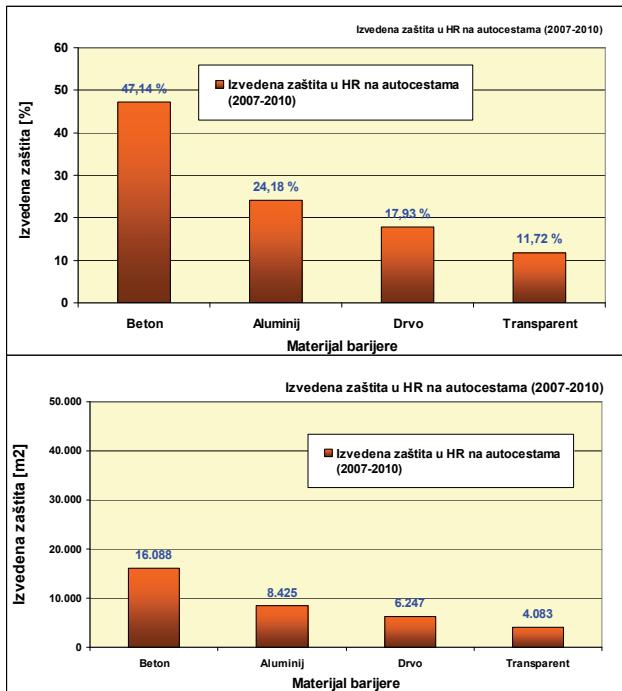
Detaljnim istraživanjem tržišta, razmatranjima i usporedbom različitih rješenja zaštite od buke, uspoređena su mnoga komercijalno dostupna rješenja kako bi se pronašla optimalna konstrukcija za primjenu uz novoizgrađene i planirane cestovne i željezničke prometnice u Hrvatskoj i zemljama regije (Tablica I).

Tablica I: Multikriterijska analiza zvučnih barijera prisutnih na tržištu

	Svojstvo	Betonska barijera	Drvene barijere	Transparentne barijere	ALU barijere
Funkcionalnost	Apsorpcija ¹	4	5	-	5
	Izolacija ²	5	5	4	5
	Dizajn ³	4	3	5	5
	Trajinost ⁴	5	2	2	4
	Stabilnost ⁵	5	3	2	3
	Održavanje ⁶	5	1	3	5
Ekologija	Obnovljiv ⁷	1	3	5	1
	Reciklabilnost ⁸	1	2	1	1
	Ponovna upotreba ⁹	5	3	1	4
	Cijena ¹⁰	4	5	1	2
	Ukupna ocjena	3.9	3.2	2.4	3.5

¹ Apsorpcija zvuka: 5 A3 (8 – 11 dB), 4 A2 (4 – 7 dB), 3 A1 (< 4 dB)
² Zvučna izolacija: 5 B3 (> 24 dB), 4 B2 (15 – 24 dB), 3 B1 (< 15 dB)
³ Uklapljivost u okoliš: 5 prihvatljivo, 3 djelomično prihvatljivo, 1 neprihvatljivo
⁴ Trajinost: 5 > 40 godina, 4 30 - 40 godina, 3 20 - 30 godina, 2 10 - 20 godina, 1 < 10 godina
⁵ Stabilnost, otpornost na statička, dinamička i udarna opterećenja: 5 visoka, 3 prihvatljiva, 1 niska
⁶ Održavanje: 5 Ne zahtjeva održavanje, 3 Periodično održavanje, 1 Redovno održavanje
⁷ Upotreba obnovljivih resursa: 5 80 - 100 %, 4 60 - 80 %, 3 40 - 60 %, 2 20 - 40 %, 1 0 - 20 %
⁸ Upotreba recikliranih resursa: 5 40 - 50 %, 4 30 - 40 %, 3 20 - 30 %, 2 10 - 20 %, 1 0 - 10 %
⁹ Ponovna upotreba proizvoda: 5 100 %, 4 75 %, 3 50 %, 2 25 %, 1 0 %
¹⁰ Cijena barijera: 5 90 - 105 €/m², 4 105 - 115 €/m², 3 115 - 130 €/m², 2 130 - 150 €/m², 1 > 150 €/m²

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 prihvatila. Naime, od 2007 do 2010. godine, betonske barijere koje su u cijelosti razvijene i proizvedene u Hrvatskoj, imaju najveći udio u zaštiti od buke, što se najbolje može ilustrirati s dijagramima prikazanim na slici 1. Prema podacima [2], cijena betonskih apsorbirajućih barijera je 2 do 5% manja u odnosu na drvene te 7 do 10% manja u odnosu na aluminijuske barijere.



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

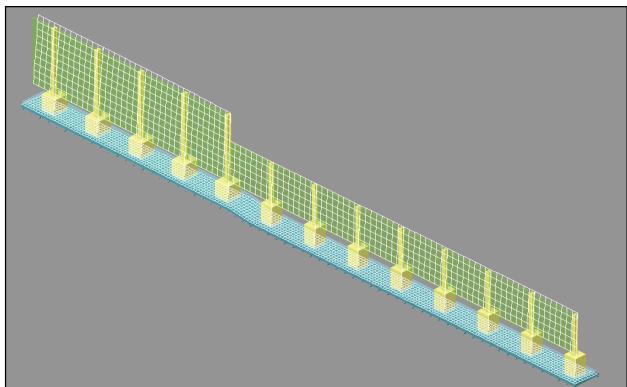
2.1. Primjena betonskih barijera na željeznici

Kao posebno zanimljivo područje primjene betonskih barijera jest ona uz željezničke kolosijeke. Snažni poticaj Europske Unije razvoja suvremene europske željezničke mreže rezultirao je velikim ulaganjima u željezničku infrastrukturu na području istočne Europe. Prema vlastitim istraživanjima tržišta u sklopu projekta RUCONBAR do 2014. godine predviđena je izgradnja 2200 km željezničkih pruga na području jugoistočne Europe. Prema projektantskom iskustvu stečenom tokom godina projektiranja zaštite od buke, da se prepostaviti kako bi takva moderna željeznička infrastruktura zahtijevala 1,9 mil m² barijera za zaštitu od buke (Slika 2).



Slika 2. Betonska barijera uz željezničku prugu

Specifičnost primjene barijera za zaštitu od buke uz željezničke kolosijeke sastoji se u činjenici da pri prolasku vlaka pri brzini od 300 km/h dinamički utjecaj vjetra na barijeru postiže efekt orkanskog vjetra (uragana). Barijere sastavljene od lakih materijala (drvo, aluminij, PVC) stoga su se pokazali manje pogodni za primjenu uz željeznicu, zbog svoje sposobnosti podnošenja udarnog dinamičkog opterećenja vjetra. Međutim, masivne betonske barijere pokazale su zavidnu stabilnost i trajnost u navedenim uvjetima (Slika 3).



Slika 3. Numeričko modeliranje otpornosti barijere za zaštitu od buke na opterećenje od vjetra [3]

Slični uvjeti prisutni su također pri izgradnji barijera za zaštitu od buke u određenim vjetrovim zonama. Jedna od takvih zona jest i područje mediteranske hrvatske, poznate po orkanskim udarima bure. Takvo opterećenje vjetrom nameće se kao dominantno opterećenje za dimenzioniranje konstrukcije. Vrlo strogi konstrukcijski zahtjevi impliciraju korištenje masivnijih i otpornijih betonskih barijera za zaštitu od buke [4].

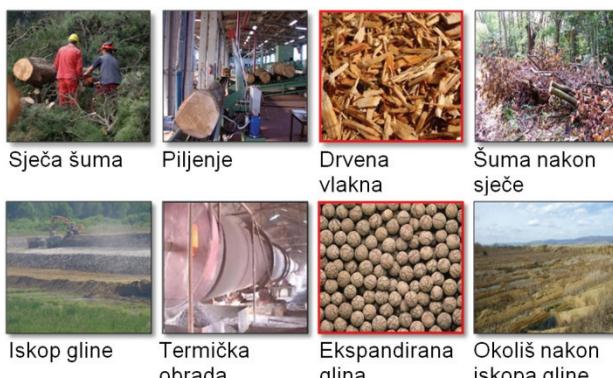
3. IZBOR MATERIJALA ZA IZRADU APSORPCIJSKOG SLOJA BARIJERA

Predmet daljnog istraživanja predstavlja izrada apsorpcijskog sloja betonske barijere za zaštitu od buke, boljih ili sličnih svojstava u odnosu na trenutno prisutna rješenja s naglaskom na korištenje recikliranih materijala s ciljem zaštite okoliša i unapređenja gospodarenja otpadom.

Kako bi se zamijenila trenutne sirovine za izradu apsorbirajućeg sloja, potrebno je pronaći materijal sličnih ili boljih mehaničkih i akustičkih svojstava, čija je primjena u skladu s važećom građevinskom regulativom, jednostavna za primjenu u uhodanim proizvodnim pogonima, te prihvatljiva s aspekta održivog razvoja.

U današnje vrijeme betonske barijere se izrađuju s dodatkom drvenih vlakana (drvobetonske barijere) ili granula ekspandirane gline. Primjenom navedenih materijala djelujemo suprotno održivom

razvoju. S obzirom da je danas betonska industrija jedan od najvećih potrošača prirodnih resursa u svijetu. Godišnja potrošnja osnovnih sirovina penje se do vrtoglavljih 900 milijuna litara vode, 9 milijardi tona prirodnog agregata te 1.5 milijardi tona cementa [5]. Za proizvodnju betonskih barijera, uz navedeno koriste se znatne količine drvenih vlakana te granule ekspandirane gline. Proizvodnja tih materijala uzrokuje značajne promjene eko sustava; naime proizvodnja drvenih vlakna zahtjeva sječu šuma, a šume su vrlo važan faktor u korekciji štetnih stakleničkih plinova također, proizvodnja ekspandirane gline uzrokuje značajno bespovratno trošenje prirodnih resursa ostavljajući ogoljen i devastiran okoliš (Slika 4).



Slika 4. Proces proizvodnje drvenih vlakana i granula ekspandirane gline

Za izradu poroznog laganog betona apsorpcijskog sloja prvih betonskih barijera koje je razvio Građevinski fakultet tijekom 2006, korištene su granule ekspandirane gline, što je predstavljalo problem jer navedeni materijala nije izvorno hrvatska sirovina (ekološki, ekonomski problem). Građevinski fakultet nastavio je istraživanje s ciljem pronađenja alternativnog materijala za izradu apsorpcijskog sloja betonskih barijera, ali pri tome vodeći računa o održivom razvoju.

3.1. Primjena otpadnih automobilskih guma za proizvodnju barijera za zaštitu od buke - RUCONBAR

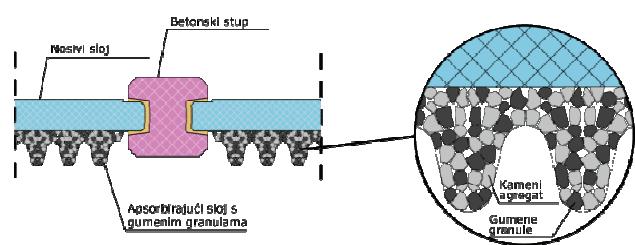
Kako bi se udovoljilo načelima održivog razvoja, smanjila potrošnja prirodnih resursa, a uz to pomoglo gospodarenju otpadnih automobilskih guma, u sklopu projekta RUCONBAR razvijen je apsorpcijski sloj betonske barijere za zaštitu od buke od recikliranih automobilskih guma (Slika 5).



Slika 5. Proces proizvodnje reciklirane gume

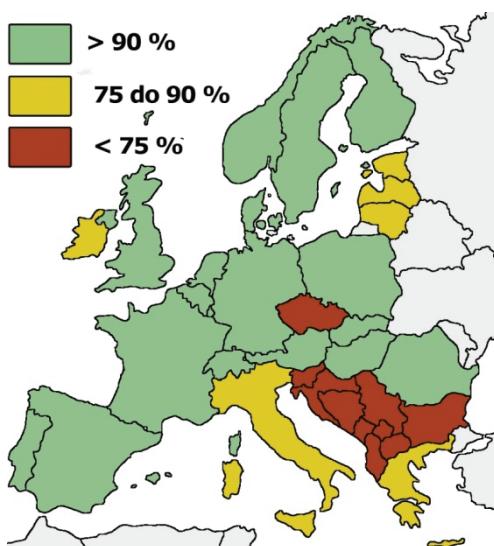
RUCONBAR (RUbberized COncrete Noise BARriers) u strukturi svojeg apsorbirajućeg sloja sadrži 40 % gumenog granulata (Slika 6.) dobivenog recikliranjem otpadnih guma i kao takav predstavlja inovativno rješenje u proizvodnji barijera za zaštitu od buke te je za isti provedena patentna zaštita pri Državnom zavodu za intelektualno vlasništvo Republike Hrvatske (P20100483A).

Inovativno rješenje razvijeno je u sklopu znanstvenih istraživanja na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu kao plod suradnje dvaju zavoda, Zavoda za Prometnice i Zavoda za Materijale uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa, vlastitih sredstava te industrijskih partnera [6,7,8,9,10].



Slika 6. Poprečni presjek inovativnog rješenja

Prema podacima [11,12], 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), Slika 7. 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, Hrvatska je donijela Pravilnik o gospodarenju otpadnim gumama prema kojem je obavezna slijediti hijerarhiju gospodarenja otpadom.



Slika 7. Udio recikliranja otpadnih guma na području Europe [11,12]

Primjena ove vrste barijera, također je vrlo zanimljiva u ostalim zemljama jugoistočne Europe zbog zajedničkog problema nezadovoljavajućeg stupnja razvijenosti sustava zbrinjavanja otpadnih automobilskih guma.

Primjenom RUCONBAR-a za izradu 1 km barijera visine 3 m, može se upotrijebiti 66.3 t recikliranog gumenog granulata dobivenog recikliranjem 7 800 komada otpadnih guma, s obzirom da se recikliranjem iz gume dobije 75 % gumenog granulata.

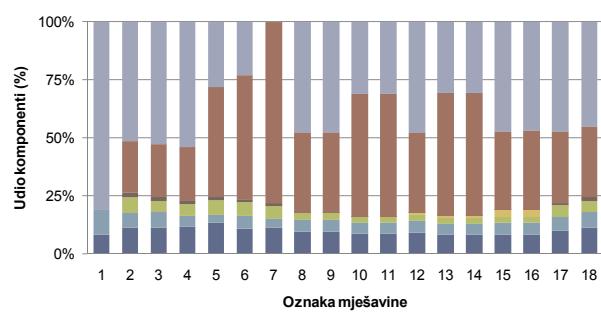
Tablica II: Procjena tržišta barijera za zaštitu od buke u Hrvatskoj

Ceste		Željeznice		Ukupno	Očekivano tržište
[km]	[m ²]	[km]	[m ²]	[m ²]	[m ²]
750	224.940	404	363.240	550.000	275.000

Ukoliko bi se 50 % budućih ulaganja u zaštitu od buke (Tablica II) izvelo RUCONBAR-om tada bi se samo na području Hrvatske za izgradnju 275 000 m² zaštite upotrijebilo 6 100 t otpadnih guma ili 720 000 komada otpadnih automobilskih guma (prosječna težina gume 8.5 kg). Sukladno dostupnim podatcima, na temelju potreba u slijedećih pet godina procjenjuje se da bi količina otpadnih guma na području RH bila dosta na za proizvodnju novog ekološki prihvatljivog proizvoda. To bi značilo postići EU standarde do maksimalno 5% nekontroliranog odlaganja otpadnih guma u okoliš.

4. RAZVOJ PROIZVODA OD IDEJE DO PROTOTIPA

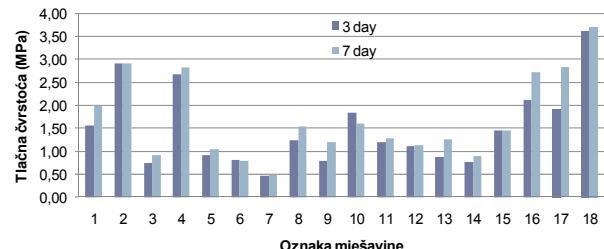
Sama ideja o razvoju inovativnog ekološki prihvatljivog proizvoda započela je u ljeto 2008., tijekom izrade idejnog projekta ograde za zaštitu od buke Zagreb ZOO-a. Nakon razrade strategije krenula je izrada optimalne betonske mješavine s dodatkom reciklirane gume. Ispitivana su mehanička i akustička svojstva 18 različitih mješavina u cilju postizanja stabilne strukture dobrih apsorpcijskih svojstava (Slika 8).



Slika 8. Sastav ispitivanih mješavina

4.1. Ispitivanje mehaničkih svojstava

Kako bi se postigla optimalna mješavina provedena su laboratorijska ispitivanja svojstava poroznog betona s dodatkom reciklirane gume na Zavodu za materijale Građevinskog fakulteta (Slike 6,7,8).



Slika 9. Tlačna čvrstoća apsorbirajućeg betona s dodatkom reciklirane gume

Tlačna čvrstoća betona u kojima je dio agregata zamijenjen gumom znatno ovisi o postotku zamjene, ali i o veličini i obliku granulata gume (Slika 9). Istraživanja pokazuju da se tlačna čvrstoća betona smanjuje s povećanjem zamjene agregata komadićima gume.

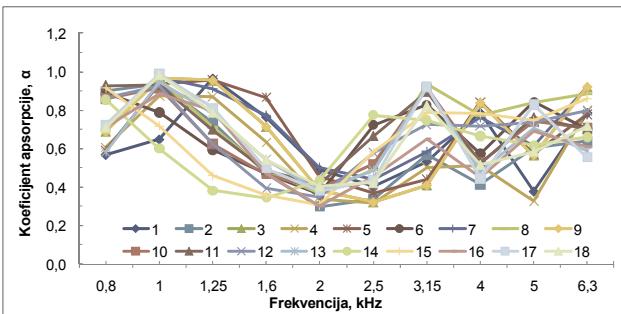
4.2. Ispitivanje akustičkih svojstava

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 10) u Kundtovoj cijevi.



Slika 10. Akustička ispitivanja malih uzoraka

Rezultati akustičkih ispitivanja na malim uzorcima 18 različitih mješavina poroznog betona s dodatkom reciklirane gume prikazani su na slici 11.



Slika 11. Rezultati akustičkih ispitivanja malih uzoraka

Nakon provedenih ispitivanja odabrana je optimalna mješavina, od koje su izrađeni „real-scale“ uzorci površine 10.0 m^2 (Slika 12.), te su ispitani u ječnoj prostoriji [13] u skladu s normama HRN EN ISO 354:2004 i HRN EN 1793-1:1999.



Slika 12. 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 rabljene su sljedeće oznake:

f – središnja frekvencija terce (Hz),

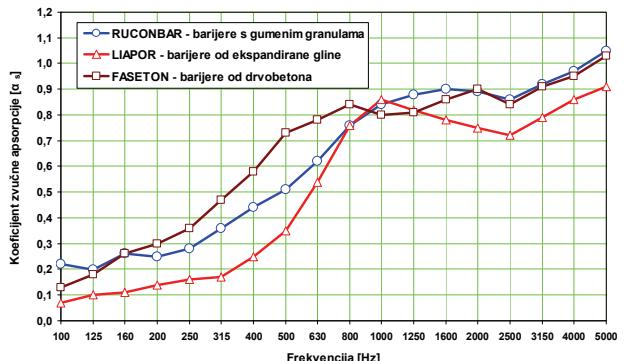
α_s – koeficijent zvučne apsorpcije,

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, izrađenim u Hrvatskoj i ugrađenim na D502 kod Zadra 2007. godine, te za barijere od drvobetona (Slika 13.).

Temeljem dobivenih rezultata, a u skladu s postojećim normama, barijera RUCONBAR svrstana je u razred A2 zvučne apsorpcije na temelju jednobrojne vrijednosti zvučne apsorpcije $DL_a = 6 \text{ dB}$. Neka od konkurenčkih 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

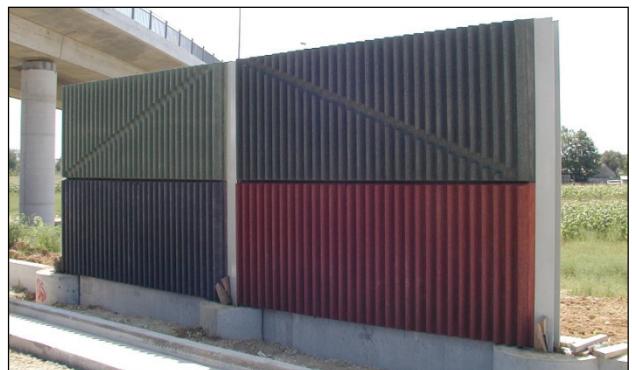
apsorpcijska svojstva barijera RUCONBAR. Također upućuju na mogućnost daljnog razvoja ove vrste barijera s ciljem postizanja više kategorije zvučne apsorpcije - A3.



Slika 13. Usporedba svojstava zvučne apsorpcije

4.3. Implementacija prototipa na probnoj dionici

Nakon odabira optimalne mješavine uslijedila je implementacija prototipa na probnoj dionici (AC Zagreb-Sisak) u svrhu dalnjih ispitivanja na uzorku naravne veličine u realnim uvjetima. (Slika 14.).



Slika 14. Postavljanje prototipa barijere

4.4. Prva primjena

Prva primjena ovakve inovativne i ekološki prihvatljive barijere realizirat će se u sklopu netom započetog projekta RUCONBAR, uspješno prijavljenog na ECO-Innovation natječaj Izvršne agencije za kompetitivnost i inovacije (EACI) te financiran sredstvima Grada Zagreba i Europske Unije.

U sklopu projekta zaštite od buke Zoološkog vrta provedena su mjerena i analiza razina buke od automobilskog i tramvajskog prometa [14]. Također su izrađeni precizni računalni modeli rasprostiranja buke u prostoru, koji su omogućili usporedbu i konačan odabir metode zaštite od buke. Jednostavan i brz montažni način gradnje, mogućnost oblikovanja u skladu s željama

naručitelja te višenamjenska uloga (zaštita od buke, zamjena za dotrajalu ogradi Zoološkog vrta i promicanje ekoloških proizvoda i održive gradnje), čine RUCONBAR optimalnim rješenjem problema s kojima se Zoološki vrt suočava. Kako bi se olakšao odabir vizualnog rješenja spomenute barijere i predočio njen položaj u prostoru, izrađene su prve 3D vizualizacije budućeg rješenja (Slika 15).



Slika 15. Vizualizacija budućeg rješenja zaštite od buke Zoološkog vrta u Zagrebu

5. ZAKLJUČAK

Jednostavna izvedba čini betonske barijere vrlo praktičnim za primjenu kako uz nove dionice autoceste tako i uz postojeće cestovne prometnice. 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. 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 CIP ECO-INNOVATION programa.

LITERATURA

- [1] Kotzen B., English C.: *Environmental noise barriers - a guide to their acoustic and visual design*, Taylor & Francis, New York, 2009.
- [2] Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstrassen, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn, 2006.
- [3] Projekt zaštite od buke autoceste Zagreb-Split-Dubrovnik, sektor: Šibenik - Ploče, dionica: Zagvozd - Ravča, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, rujan 2008.
- [4] Eurokod 1: Djeđovanja na konstrukcije -- Dio 1-4: Opća djeđovanja -- Djeđovanja vjetra (EN 1991-1-4:2004).
- [5] Mehta, P. (2002). "Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development". *Concrete International*, 24 (7), 23-28.
- [6] Biliškov, Hrvoje. Optimizacija betona s recikliranom gumom /diplomski rad. Zagreb : Građevinski fakultet, 03.12. 2009, 120 str. Voditelj: Bjegović, Dubravka.
- [7] Bjegović, D., Lakušić, S., & Serdar, M. Primjena reciklirane gume na prometnicama, *Prometnice-nove tehnologije i materijali*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za Prometnice, 2010., 7-46.
- [8] Lakušić, Stjepan; Bjegović, Dubravka; Marijana, Serdar. Primjena reciklirane gume na prometnicama, *Prometnice-nove tehnologije i materijali*, (ur. Stjepan Lakušić), Zagreb, Građevinski fakultet, Zavod za prometnice, 2010, str. 7-46.
- [9] Bjegović, D., Lakušić, S., Serdar, M., & Baričević, A. Properties of concrete with components from waste tyre recycling, *Concrete Structures for Challenging Times*, Marianske Lazne: Czech Concrete Society (CBS) and CBS Servis, 2010., 134-140.
- [10] Bjegović, Dubravka; Lakušić, Stjepan; Serdar, Marijana; Opačak, Katarina. Primjena reciklirane gume u graditeljstvu, iNDIS 2009, Novi Sad, 2009.
- [11] ETRMA - European Tyre & Rubber Manufacturers' Association, *End-of-life tyres Management - Edition 2010*.
- [12] Waste - State and impacts (Croatia), European Environment Agency, 26. studenoga 2010., <http://www.eea.europa.eu/soer/countries/hr/waste-state-and-impacts-croatia>.
- [13] „Apsorbirajući betonski paneli - Usporedba ispitivanja zvučne apsorpcije“, Institut građevinarstva Hrvatske (IGH), Zagreb, 2010.
- [14] Projekt ograde Zoološkog vrta u Zagrebu s analizom zaštite od buke, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, travanj 2009.