

## Učinak debljine i gustoće ploča od recikliranih automobilskih guma na zvučnu izolaciju

### Anđelko Crnoja

Državna akademija građevinarstva i arhitekture u Odesi, dr. sc.  
acnoja@hotmail.com

### Željko Kos

Sveučilište Sjever, doc. dr. sc.  
zeljko.kos@unin.hr

### Evgeny Klymenko

Državna akademija građevinarstva i arhitekture u Odesi, prof. dr. sc.  
klimenkoew57@gmail.com

### Iryna Grinyova

Državna akademija građevinarstva i arhitekture u Odesi, dr. sc.  
irene.grinyova@gmail.com

**Sažetak:** Članak je posvećen zadatku poboljšanja zvučne izolacije u izgradnji unutarnjih zidova. U pokusu su korištene zidne ploče izrađene od gumenih mrvica kao zasebnog strukturnog sloja. Provedena je analiza utjecaja frekvencijskog područja na vrijednost indeksa zvučne izolacije. Istražen je utjecaj raspodjele veličina čestica smjese i debljine zidne ploče na karakteristike zvučne izolacije. Na temelju dobivenih rezultata zaključuje se o utjecaju specifične težine na indeks zvučne izolacije.

**Ključne riječi:** zvučna izolacija, ploča od reciklirane gume, indeks zvučne izolacije, frekvencijski raspon, gumena mrvica

## The effect of thickness and density of the recycled car tire panels on sound insulation

**Abstract:** The article is devoted to the task of improving sound insulation in the construction of internal walls. For the experiment purposes wall panels were used that are made using rubber crumb as a separate structural layer. The analysis of the influence of the frequency range on the value of the sound insulation index was carried out. The effect of the particle size distribution of the mixture and the thickness of the wall panel on its soundproofing characteristics was investigated. Based on the results obtained, a conclusion was drawn about the influence of specific gravity on the sound insulation index.

**Key words:** sound insulation, recycled rubber panel, sound insulation index, frequency range, rubber crumb

## 1. UVOD

Svakodnevna uporaba prijevoznih sredstava i brzi godišnji porast njihove količine uzrokuju ozbiljne ekološke probleme. Element automobila koji ima najznačajniji negativan utjecaj na okoliš je guma. Za smanjenje tog učinka neophodna je prerada takvog otpada. Tehnološke metode prerade su relativno jednostavne, jeftine i sirovine su lako dostupne. Međutim, značajno ostaje pitanje korištenja takvog proizvoda u širem rasponu djelatnosti. Stoga se članak bavi svojstvima recikliranog materijala iz otpadnih automobilskih guma za izradu ploča za zaštitu od neželjenog zvuka.

Takve ploče se mogu koristiti kao sastavni dio projekta sa stajališta poboljšanja svojstava zvučne izolacije, osobito u lakim konstrukcijama. Lagane konstrukcije karakteriziraju dobra toplinska izolacija, visoka seizmička otpornost i niz drugih svojstava koja ovise o tehnologiji proizvodnje, ali imaju nizak indeks zvučne izolacije. Problem zvučne izolacije lakih metalnih ili drvenih unutarnjih zidova i pregrada povezan je s vibracijama sloja njihove obloge, koja prenosi vibracijska kretanja izravno na konstrukciju.

Prilikom projektiranja stambenih zgrada jedan od najvažnijih kriterija za ocjenu kvalitete konačnog proizvoda je osigurati stanovnicima akustički ugodne uvjete [4]. Prema autoru [1], određene javne i općinske građevine određuju neke dijelove gradova kao prioritetne u smislu zaštite od buke i drugog onečišćenja okoliša te ovom pitanju pridaju osobitu važnost. Zvučna izolacija zidnih i višestambenih zgrada regulirana je nizom građevinskih zakona i propisa [4-11]. Međutim, čak i kada se zadovolje regulatorni zahtjevi, u nekim slučajevima se uočavaju neugodni akustični uvjeti [12].

Osim toga, posljednjih godina u mnogim zemljama velika pozornost se pridaje problemu korištenja otpada iz proizvodnje i potrošnje. Danas su recikljanje, održiva arhitektura i projektiranje postali glavni prioritet u našem društvu. Godišnje nastaju milijarde tona krutog otpada, što je značajan čimbenik negativnog utjecaja na okoliš. One se mogu i trebaju koristiti kao jeftini, dugotrajni i ekološki prihvatljivi građevinski materijali.

Jedna od perspektivnih vrsta prerade je upotreba gume u obliku raspršenih materijala. Osobito, korištenje komadića gume u građevinarstvu dodavanjem gumenih disperzija u beton [13]. Također treba napomenuti da se reciklirana guma može koristiti i kao dopuna drugim materijalima za poboljšanje zvučne izolacije. Autor [2] objavio je studiju koja pokazuje određeni učinak reciklirane gume i njezinu primjenu u građevinarstvu u obliku Gum-Gum spreja debljine do 7 mm. Svrha pokusa je analizirati mogućnost korištenja gumenih mrvica kao jednog od proizvoda recikliranja guma u građevinarstvu.

Glavni cilj je proučiti utjecaj gustoće i debljine ploča izrađenih od ovog materijala na ukupnu zvučnu izolaciju konstrukcije. Eksperimenti su izvedeni na način da je između izvora zvuka i prijemnika zvuka postavljena prepreka. Razine zvučnog tlaka se mogu mjeriti pomoću različite opreme. Autor [3] koristio je opremu koja prenosi jednofrekventne signale te ih konačno obrađuje i dobiva upotrebljive rezultate. Ovo istraživanje je provedeno na sofisticiranoj opremi za stvaranje buke koja sadrži spektar svih frekvencija.

## 2. MATERIJALI I METODE

Sva ispitivanja opisana u ovom radu provedene su u skladu s normom HRN EN ISO 717-1:2013 [5]. Ovaj regulatorni dokument regulira metode istraživanja i ocjenjivanje zvučne izolacije u konstrukcijskim elementima zgrada te uzima u obzir različite vanjske i unutarnje izvore buke.

U prikazanim ispitivanjima proučavan je utjecaj promjene gustoće i debljine ploče sa stalnom raspodjelom veličina čestica. Odabrano je 9 uzoraka koji su, ovisno o nizu faktora,



Crnoja, A., Kos, Ž., Klymenko, E., Grynyova, I.

## Učinak debljine i gustoće ploča od recikliranih automobilskih guma na zvučnu izolaciju



Slika 1. Opći izgled zvučno izoliranih ploča



Slika 2. Ugradnja zvučno izoliranih ploča tijekom pokusa

Vrijednost zvučne izolacije pregrade između sobe prijemnika i sobe odašiljača bila je približno 75 dB. Prema regulatornom dokumentu [5] potrebno je da se vrijednost zvučne izolacije koja proizlazi iz ispitnog uzorka razlikuje za najmanje 10 dB. U ovom slučaju, tijekom ispitivanja bilo je potrebno osigurati takve uvjete da vrijednost zvučne izolacije razdjelne konstrukcije ne utječe na rezultate.

Kako bi se osigurala potpuna odvojenost odašiljača i prijemne sobe te spriječio svaki mogući prijenos zvuka ili zvučnih vibracija, laboratorijske konstrukcije su izvedene bez međusobno povezanih elemenata. Kako bi se spriječila pojava zvučnih mostova koji bi narušili pouzdanost ispitnih uzoraka, svi spojevi su projektirani tako da budu propusni za zrak kako bi zadovoljili regulatorne zahtjeve.

Ploče korištene u pokusu proizvela je tvrtka Gumi Impex (Varaždin, Hrvatska) u pogonu za recikliranje guma. Ovisno o opremljenosti pogona i brojnim tehnološkim rješenjima, mogu

Crnoja, A., Kos, Ž., Klymenko, E., Grynyova, I.

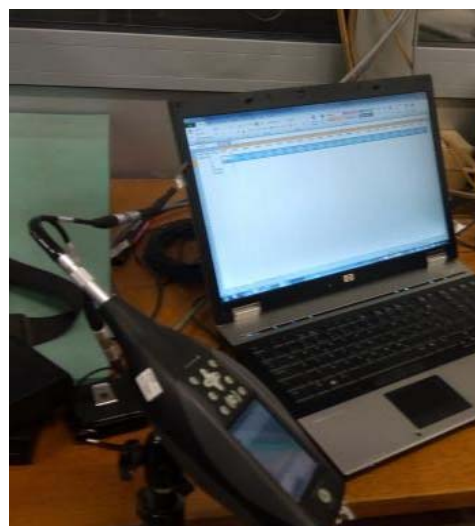
### Učinak debljine i gustoće ploča od recikliranih automobilskih guma na zvučnu izolaciju

se izraditi različitih debljina. Odabrana debljina uzoraka bila je 10, 15 i 20 mm, što je bio prvi promjenjivi faktor istraživanja. Drugi faktor koji varira je masa uzoraka, koji su podijeljeni u četiri glavne grupe: 600 kg/m<sup>3</sup>, oko 700 kg/m<sup>3</sup>, oko 900 kg/m<sup>3</sup> i oko 1110 kg/m<sup>3</sup>.

Oprema za ispitivanje mora biti postavljena na mjestima prema planu pokusa i tijekom pokusa se mora promatrati njihov položaj. Izvor zvuka je imao nekoliko položaja u kojima je bio postavljen tijekom mjerenja, dok je mikroskop bio na rotirajućem postolju i njegov položaj se nije mijenjao. Prijemnik zvuka je bio mikroskop na posebnom postolju, koji se rotirao u nekoliko ravnina i u potpunosti je akumulirao zvuk koji je dolazio iz odašiljača [Sl. 3, 4, 5].



Slika 3. Opći izgled uređaja za reprodukciju zvuka



Slika 4. Opći izgled opreme za mjerenje i analizu podataka

Crnoja, A., Kos, Ž., Klymenko, E., Grynyova, I.

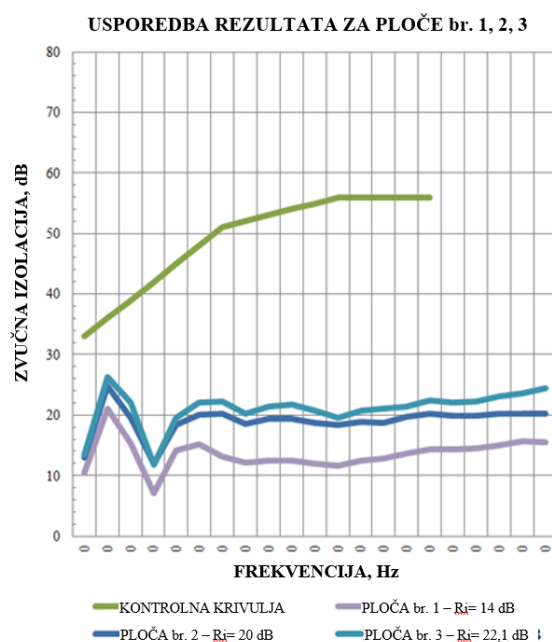
## Učinak debljine i gustoće ploča od recikliranih automobilskih guma na zvučnu izolaciju



Slika 5. Opći izgled uređaja za primanje zvuka tijekom ispitivanja

Mjerenje je provedeno na takav način da se emitirala snaga zvuka od oko 105 dB tijekom 60 sekundi u dvije faze. Stacionarni šum od oko 105 dB se širi iz neharmoničnog izvora zvuka oko 1 minute. Mjerenje je provedeno 2 puta za svaki uzorak. Računalo obrađuje podatke, prikazuje vrijednost zvučne izolacije na navedenim frekvencijama (u skladu sa standardom) i kao rezultat daje konačnu vrijednost zvučne izolacije ploče u odnosu na zvuk antene.

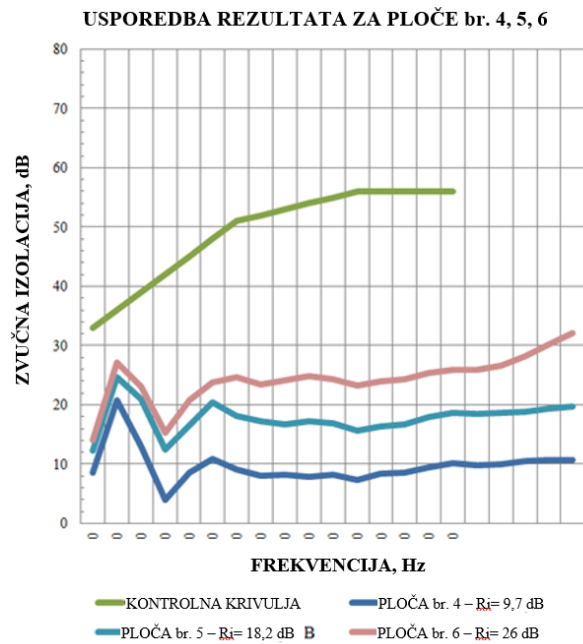
Usporedba svojstava kao što je promjena gustoće u odnosu na faktor stabilnog granulometrijskog sastava i promjenjive debljine ploče može pružiti podatke o utjecaju specifične težine na indeks zvučne izolacije pregrade i preporuke za daljnja ispitivanja. Rezultati pokusa za određivanje razine zvučne izolacije su prikazani za svaku grupu zasebno u obliku dijagrama [Sl. 6-8].



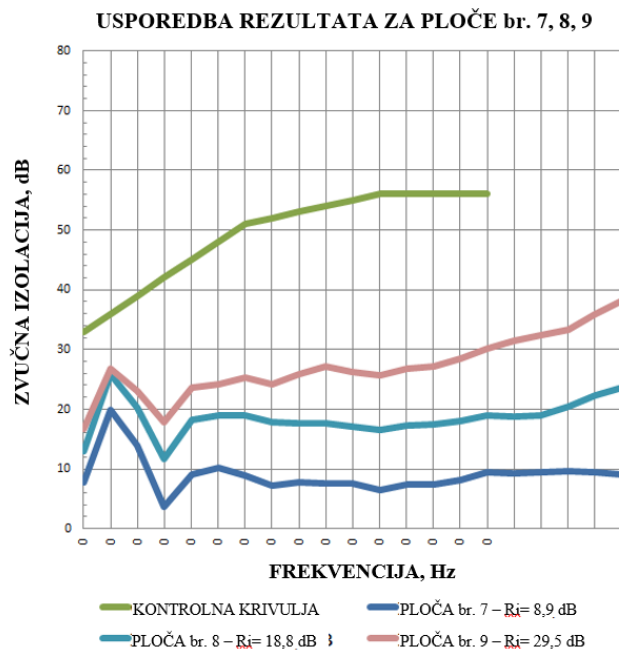
Slika 6. Grupa uzoraka br. 1

Crnoja, A., Kos, Ž., Klymenko, E., Grynyova, I.

## Učinak debljine i gustoće ploča od recikliranih automobilskih guma na zvučnu izolaciju



Slika 7. Grupa uzoraka br. 2



Slika 8. Grupa uzoraka br. 3

Odnos između vrijednosti zvučne izolacije za svaku od ispitivanih ploča prikazan je na dijagramima. Grafički i vizualno mogli smo pratiti promjene povezane s vrijednošću indeksa smanjenja zvuka određenog uzorka i usporediti ga s kontrolnom krivuljom.

Rezultati ispitivanja omogućili su analizu promjene pokazatelja zvučne izolacije ovisno o promjeni određenih parametara. Naime, kako se mijenjao indeks smanjenja zvuka s istom debljinom uzorka uz stalni granulometrijski sastav, mijenjala se i gustoća u različitim grupama i uzorcima.



Crnoja, A., Kos, Ž., Klymenko, E., Grynyova, I.

## Učinkak debljine i gustoće ploča od recikliranih automobilskih guma na zvučnu izolaciju

### 4. REZULTATI

Prvu grupu čine tri uzorka debljine 10 mm, raspodjele veličina čestica 0,5-2,0 mm i različite gustoće: uzorak br. 1 - 700 kg/m<sup>3</sup>, br. 2 - 900 kg/m<sup>3</sup> i br. 3 - 1110 kg/m<sup>3</sup>.

Kao što se može vidjeti iz prikazanih dijagrama (slika 7.), uzorci 2 i 3 imaju sličan indeks smanjenja zvuka (mjerne krivulje su vrlo bliske), a uzorak 1 je znatno niži.

Na temelju detaljnijih analiza prikazani su rezultati u različitim frekvencijskim rasponima i mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- u području niskih frekvencija ploča 3 ima bolja svojstva zvučne izolacije, osim za frekvenciju od 100 Hz, pri kojoj je vrijednost zvučne izolacije niža za 0,1 dB nego u ploči 2, a prosječna zvučna izolacija ploče 3 je 7,08% bolja nego u ploči 2. Ploča 1 ima prosječnu vrijednost zvučne izolacije 38,35% nižu od ploče 2 i 47,96% nižu u odnosu na ploču 3.

- u području srednjih frekvencija, ploča 3 ima najbolja svojstva zvučne izolacije, bolja za 10,45% u odnosu na ploču 2. Ploča 1 ima prosječnu vrijednost zvučne izolacije nižu za 49,64% od ploče 2 i 65,24% u odnosu na ploču 3.

- u području visokih frekvencija, ploča 3 ima bolja zvučno izolacijska svojstva i zvučna izolacija ploče je 15,88% veća u odnosu na ploču 2. Ploča 1 ima prosječnu vrijednost zvučne izolacije nižu za 32,92% od ploče 2 i 53,96% u usporedbi s pločom 3.

Drugu grupu čine tri uzorka debljine 15 mm, granulometrijskog sastava od 0,5 do 2,0 mm i različite gustoće: uzorak br. 4 - 600 kg/m<sup>3</sup>, br. 5 - 750 kg/m<sup>3</sup> i uzorak br. 6 - 916 kg/m<sup>3</sup>.

Ukupni rezultat pokazuje istu razliku između uzoraka 4 i 5 i između uzoraka 5 i 6. Vrijedi napomenuti da postoji slična razlika u zapreminskoj težini između uzoraka 4 i 5 i između uzoraka 5 i 6.

Na temelju detaljnijih analiza, prikazani su rezultati u različitim frekvencijskim rasponima, i mogu se izvući sljedeći zaključci:

- u području niskih frekvencija, ploča 6 ima zvučno izolacijska svojstva bolja za 21,54% od ploče 5. Zvučna izolacija ploče 4 ima nižu vrijednost - 91,65% u odnosu na ploču 5 i 135,68% u odnosu na ploču 6.

- u području srednjih frekvencija, ploča 6 ima 43,51% bolju zvučnu izolaciju u odnosu na ploču 4. Ploča 4 ima vrijednost zvučne izolacije 99,44% nižu u odnosu na ploču 5 i 186,39% u odnosu na ploču 6.

- u području visokih frekvencija, ploča 6 ima 52,84% bolja svojstva zvučne izolacije od ploče 5. Ploča 4 ima vrijednost zvučne izolacije koja je 82,87% niža od ploče 5 i 179,45% niža od ploče 6.

U trećoj grupi imamo tri uzorka debljine 20 mm, granulometrijskog sastava 0,5-2,0 mm i različite gustoće: uzorak br. 7 - 585 kg/m<sup>3</sup>, uzorak br. 8 - 750 kg/m<sup>3</sup> i uzorak br. 9 - 915 kg/m<sup>3</sup>.

Ukupni rezultat pokazuje istu razliku između uzoraka 7 i 8 i između uzoraka 8 i 9. Također postoji slična razlika u gustoći između uzoraka 7 i 8 i između uzoraka 8 i 9. Dakle, situacija je slična grupi 2.

Na temelju detaljnijih analiza, prikazani su rezultati u različitim frekvencijskim rasponima, i mogu se izvući sljedeći zaključci:

- u području niskih frekvencija, ploča 9 ima bolja svojstva zvučne izolacije za 28,26% od ploče 8. Ploča 7 ima prosječnu stopu zvučne izolacije nižu 102,36% u odnosu na ploču 8 i 157,23% u odnosu na ploču 9.

- u rasponu srednjih frekvencija, ploča 9 ima 55,93% bolja svojstva zvučne izolacije od ploče 8. Vrijednost zvučne izolacije ploče 7 ima nižu vrijednost za 126,43% u odnosu na ploču 8 i 252,57% u odnosu na ploču 9.

- u području visokih frekvencija, ploča 9 ima 64,28% bolju zvučnu izolaciju od ploče 8. Ploča 7 ima nižu vrijednost zvučne izolacije za 12,70% u odnosu na ploču 8 i 273,56% u odnosu na ploču 9.



Crnoja, A., Kos, Ž., Klymenko, E., Grynyova, I.

## Učinkak debljine i gustoće ploča od recikliranih automobilskih guma na zvučnu izolaciju

### 5. ZAKLJUČAK

Navedeni rezultati mjerenja pokazuju značajan utjecaj nedostatka pregrada na indeks smanjenja zvuka. S povećanjem gustoće, indeks smanjenja zvuka se proporcionalno povećava.

Tako, ploča br. 3 ima bolja svojstva zvučne izolacije u odnosu na ploču br. 2 za 10,50%, a u odnosu na ploču br. 1 bolja je za 57,86%.

Ploča br. 6 ima bolja svojstva zvučne izolacije u odnosu na ploču br. 5 za 42,86%, a u usporedbi s pločom br. 4 bolja je za 168,04%.

Ploča br. 9 ima bolja svojstva zvučne izolacije u odnosu na ploču br. 8 za 56,91%, a u usporedbi s pločom br. 7 bolja je za 231,46%.

Dakle, promjena gustoće, bez obzira na debljinu ploče, značajno utječe na pokazatelj smanjenja zvuka. Stoga će rezultati ovog istraživanja zasigurno koristiti daljnja istraživanja o optimalnoj strukturi gumenih ploča u funkcionalnoj i dekorativnoj jednostranoj i dvostranoj kombinaciji s limovima.

### LITERATURA

1. San'kov P.M., Tkach N.O., Dikarev K.B., Bliznyuk A.M., Gvazhaia B. D.: Vpliv avtotransportu na robochi miscya v merezhi ustanov obslugovuvannya (za faktorom shumu j zagazovanosti v centri mista Dnipro) (Utjecaj motornog prijevoza na radna mjesta u uslužnoj infrastrukturi (prema faktoru buke i urbanom zagađenju zraka u centru grada Dnjeptra)) // Nauka innov. 2018, ISSN 1815-2066. 14(3)
2. Mindess, S., Young, J. F., Darwin, D. 2002: Concrete, 2nd edition, Prentice-Hall inc., New Jersey, [https://scholar.google.com.ua/citations?user=nZVu\\_NoAAAAJ&hl=ru](https://scholar.google.com.ua/citations?user=nZVu_NoAAAAJ&hl=ru)
3. Babiy I.N., Gostrik A.N., Kal'chenya E.Yu., Mnogokriterial'nyj analiz pri vybore tekhnologii ustrojstva zvukoizolyacii mezhduetaznyh monolitnyh perekryt'yo (Višekriterijska analiza pri odabiru tehnologije zvučne izolacije monolitnih podova) // Visnik Pridniprovs'koï derzhavnoï akademii budivnictva ta arhitekturi, 2018, № 4 (243-244) ISSN 2312-2676., <https://scholar.google.com.ua/citations?user=MeOzLqwAAAAJ&hl=ru>
4. Kersh D.V., Lyashenko T.V., Kersh V.Ya. Analiz vliyaniya legkih zapolnitelej na zvukoizoliruyushchie svojstva gipsobetona (Analiza utjecaja lakih punila na zvučna izolacijska svojstva gips betona) // Odesskaya gosudarstvennaya akademiya stroitel'stva i arhitektury, Odessa. UDK 666:536, <https://scholar.google.com.ua/citations?user=5PYuJWoAAAAJ&hl=ru>
5. Dementev V.V. O sub'ektivnyih otsenkah zvukoizolyatsii udarnogo shuma v zhilyih zdaniyah // Naukoviy vlsnik budivnitstva. - Harklv: HDTUBA, HOTV ABU, 2018. - T.93, №. 3., P. 59-63.
6. HRN EN ISO 717-1:2013 Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements
7. DSTU-N B V.1.1-34:2013 Nastanova z rozrahunku ta proektuvannya zvukol'zolyatsii ogorodzhualnih konstruktsiy zhitlovih i gromadskih budinkiv. Kyiv: Minregion Ukrayinu, 2014.
8. ISO Recommendation R –717/2 Rating of sound insulation in building and of building elements – impact sound insulation.
9. DSTU B EN 12354-1:2014 Stroitel'naya akustika. Opredelenie akusticheskikh karakteristik zdaniy po karakteristikam ih elementov. Chast 1. Izolyatsiya vozdushnogo shuma mezhdru pomescheniyami (EN 12354-1:2000, IDT)
10. DBN V.1.1-31:2013 Zahist teritoriy, budinkiv i sporud vid shumu. – Kyiv, Minregion Ukrayinu, 2014, P. 48.

Crnoja, A., Kos, Ž., Klymenko, E., Grynyova, I.

**Učinak debljine i gustoće ploča od recikliranih automobilskih guma na zvučnu izolaciju**

---

11. Zmina №4 Vidannya ofitsiyne do DBN V.2.2-15-2005 Zhitlovi budinki. Osnovni polozhennya – Kyiv, Minregion Ukrayinu, 2005
12. DBN V.1.2-10-2008 Zahist vid shumu. Osnovni vimogi do budivel i sporud. – Kyiv, Minregion Ukrayinu, 2008
13. Luneeva G.S. Otsenka bespokoyaschego vozdeystviya na prozhivayuschih v zhilyih domah shumov, pronikayuschih iz sosednih kvartir i s ulitsyi // Zvukoizolyatsiya i zaschita ot shumov v zhilyih domah / TsNIIEP zhilisha. Moscow, 1984. P. 101-117.
14. Chernyshova E.P. Architectural town-planning factor and color environment / E.P. Chernyshova, M.B. Permyakov // World applied sciences journal, 2013., № 27 (4), P. 437-443.