

Predviđanje akustičkih osobina materijala od reciklirane gume

Branko Radičević, Ivana Ristanović, Milan Kolarević

Apstrakt—U radu je razvijen model za određivanje akustičke impedanse i koeficijenta zvučne apsorpcije za materijale od reciklirane gume, koji spadaju u kategoriju poroznih materijala. Parametri modela su utvrđeni na osnovu ispitivanja uzoraka debljine od 10 mm do 50 mm. Izračunate vrednosti koeficijenta apsorpcije za slučaj normalne incidencije se porede sa rezultatima merenja u impedansnoj cevi – Metoda transfer funkcije (EN ISO 10534-2:2001). U cilju verifikacije modela, na istim uzorcima je izvršeno određivanje koeficijenta apsorpcije na bazi merenja otpornosti strujanju vazduha (SRPS ISO 9053:1991). Zaključeno je da novi model može predvideti osnovne akustičke osobine materijala od reciklirane gume za neku praktičnu kombinaciju gustine i granulacije zrna.

Cljučne reči—Reciklirana guma, zvučna apsorpcija, otpornost strujanju vazduha.

I. UVOD

RECIKLAŽOM svih vrsta gume dobija se gumeni granulati koji se koristi dalje u proizvodnji. Na ovaj način se redukuje otpad i pruža doprinos zaštiti životne okoline. Proizvodi koji nastaju od gumenog granulata imaju ekološki proizvodni proces u kome se koristi 90% reciklirane gume, imaju produžen vek trajanja i moguće ih je dalje reciklirati. Najveći deo otpadne gume u svetu nastaje od automobilskih guma. Kako broj automobila u svetu stalno raste, otpadna guma kao tehnički material postaje sve značajniji resurs. Velike zalihe otpadnih guma se deponuju širom sveta. Ove deponije su opasne jer ugržavaju životnu sredinu sa više aspekata. U procesu bezbednog upravljanju otpadnim gumama u svetu prednjače Norveška i Švajcarska sa 95%, slede Japan sa 91% i SAD sa 89% recikliranog otpada te vrste [2]. Mogućnost upotrebe reciklirane gume u građevinskom sektoru, otvara mogućnosti tošenja velikih količina ovog materijala. Između ostalog zaštita od buke je jedan od segmenata gde reciklirana guma već ima svoje značajno mesto. Zbog svega navedenog reciklirana guma je predmet brojnih istraživanja.

Istraživanja različitih autora su pokazala da se od reciklirane gume mogu napraviti materijali sa željenim akustičkim svojstvima. Pfretzschner i Rodríguez [6], su

dokazali da gumene granule mogu biti dobar zvučni amortizer, za širokopoljnu apsorpciju, što je veoma pogodno za zaštitu od saobraćajne buke. Swift i ostali [8], su utvrdili da ovi materijali mogu efikasno da apsorbuju zvuk, ako su veličina granula gumenog agregata i sadržaj vezivnog sredstva pažljivo odabrani. Pogodnim izborom debljine materijala može se ostvariti željena zvučna apsorpcija na odgovarajućoj frekvenciji. Hong i ostali [9], su predstavili mogućnost apsorpcije zvučne energije za materijale od reciklirane gume, ističući ih kao jeftine širokofrekventne apsorbere, sa relativno jednostavnim načinom izrade i obrade. Horoshenkov i Swift [10], su pokazali da primena veziva ima veliki uticaj na akustička svojstva u mešavini sa recikliranom gumom. Paje i ostali [11], su pokazali da akustičke performance kolovoznih površina napravljenih kao mešavina asfalta i reciklirane gume daju nivo buke koji je za 2 dB niži u odnosu na čist asfalt. Han i ostali [12], su utvrdili da granule reciklirane gume predstavljaju odličan material za kombinovanje sa betonom za izradu zvučnih barijera pored frekventnih saobraćajnica, na mestima gde one prolaze kroz stambena područja. Cilj ovog rada je eksperimentalno istraživanje akustičkih i neakustičkih svojstava materijala od reciklirane gume, na osnovu kojih se može formirati empirijski model za predviđanje akustičkih osobina ovih materijala. Granule reciklirane gume povezane poliuretanskim smolama čine jednu zrnastu strukturu čija akustička svojstva želimo da predvidimo. Jedna od polaznih hipoteza je i da se na bazi ovakvog akustičkog modela mogu predvideti i apsorpciona svojstva drugih poroznih materijala koji imaju zrnastu strukturu.

II. MATERIJAL

Reciklirana guma se melje i prosejava da bi se dobile granule odgovarajuće veličine koje zadovoljavaju zahteve zadate granulometrijske krive. Dodatkom vezivnog sredstva dobija se kompaktna zrnasta struktura koja se može izrađivati u različitim debljinama. Ovakva zrnasta struktura omogućava stvaranje pora.

Kao vezivno sredstvo za gumeni granulati se koristi poliuretanska smola, koja se dodaje u proporciji od 5÷25%. Ova smola se koristi zbog njene visoke viskoznosti. Upotreba veziva sa niskom viskoznosti se ne preporučuje, jer smanjuje poroznost i veoma je teško izmešati gumeni granulati u homogenu smešu. Sa smanjenjem poroznosti smanjuje se i zvučna apsorpcija, pa se za ove materijale koji se koriste za zaštitu od buke mora koristiti poliuretanska smola sa velikom viskoznosti.

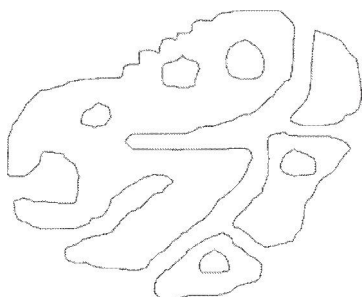
Osnovna sirovina koja je korišćena za izradu uzoraka je

Branko Radičević – Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Univerzitet u Kragujevcu, Dositejeva 19, 36000 Kraljevo, Srbija (e-mail: radicevic.b@mfkv.rs).

Ivana Ristanović – Visoka škola tehničkih strukovnih studija, Univerzitet u Kragujevcu, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija (e-mail: ivana.ristanovic@visokaskola.edu.rs).

Milan Kolarević – Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Univerzitet u Kragujevcu, Dositejeva 19, 36000 Kraljevo, Srbija (e-mail: kolarevic.m@mfkv.rs).

dobijena reciklažom i mlevenjem automobilskih guma. Prema fabričkoj specifikaciji veličina zrna u granulatu se kreće od 1mm do 3 mm. Gustina ploča iz kojih je isečen uzorak je 780 kg/m³. Procenat vezivnog sredstva (poliuretanske smole) je iznosio 8%.



Sl. 1. Šematski prikaz poroznog čvrstog materijala od reciklirane gume.

Kada se zvuk rasprostire u međusobno povezanim porama poroznog materijala, on gubi svoju zvučnu energiju. Ovaj gubitak energije nastaje zbog složene heterogene mikrostrukture i viskoznih efekata graničnog sloja, tako da se zvučna energija rasipa putem trenja sa zidovima pora. Kao i viskozni efekti postoje gubici usled toplotne provodljivosti iz vazduha do poroznog materijala, koji su izraženi na niskim frekvencijama. [2].



Sl. 2. Struktura uzorka od reciklirane gume (uvećanje 10 puta).

Testirani su uzorci pet različitih debljina materijala. Kružni uzorci prečnika 100 mm su isečeni iz ravnih ploča pomoću presekača na presi. Debljine materijala su: 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm i 50 mm.

Zbog ubrzanog globalnog iscrpljivanja sirovina, posebno nafte, očekuje se da će otpadna guma u budućnosti imati značaj dragocenog resursa.

Akustička svojstva gume bila su predmet mnogih istraživanja [14], [15], [16], [17], [18], sa ciljem da se ispita mogućnost upotrebe gumenih barijera i panela za redukovanje buke.

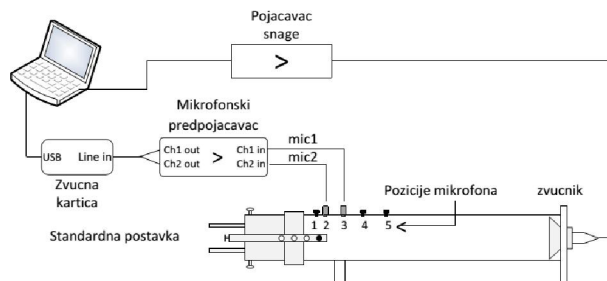


Sl. 3. Uzorak za akustička ispitivanja.

III. MERENJE KOEFICIJENTA APSORPCIJE MATERIJALA OD RECIKLIRANE GUME

A. Metode merenja

Merenje apsorpcije je izvršeno u impedansnoj cevi, korišćenjem metode funkcije prenosa između dva mikrofona, opisane SRPS EN ISO 10534-2 standardom. Ova metoda se zasniva na dekompoziciji stojećeg talasa koji se formira u cevi snimanjem signala sa dva mikrofona i računanjem njihove funkcije prenosa. Iz te funkcije prenosa se računa koeficijent refleksije, a zatim se nalazi koeficijent apsorpcije. Ovom metodom se dobijaju vrednosti koeficijenta apsorpcije u uslovima normalne incidencije, u frekvencijskom opsegu definisanom fizičkim dimenzijama cevi i rastojanjem između mikrofona. Koristeći ovaj metod moguće je dobiti brza merenja za normalnu incidenciju, koristeći male uzorke.



Sl. 4. Postavka sistema za merenje apsorpcije prema standardu SRPS EN ISO 10534-2 [1].

U cilju formiranja empirijskog modela za određivanje akustičke impedance i koeficijenta materijala izvršeno je i merenje otpornosti strujanju vazduha.

Otpornost strujanju vazduha je jedna od glavnih ne akustičkih parametara koji pokazuje ponašanje poroznih materijala koji se koriste u sistemima zvučne apsorpcije. Standard SRPS ISO 9053 navodi dve metode za merenje otpornosti strujanju vazduha: metoda sa stalnim protokom vazduha i metoda sa naizmeničnim protokom vazduha. U radu su prikazani rezultati merenja pomoću metode sa konstantnim protokom vazduha.

Kao uređaj za stvaranje vazdušnog protoka koristi se vacuum pumpa marke ZAMBELLI, tipa ZB1. Pumpa je

membranskog tipa i može ostvariti maksimalan slobodan protok od 30 l/min. Podpritisak koji pumpa daje je veći od 0,773 bar (580 mmHg). Pumpa poseduje dva merača protoka vazduha, koji rade na principu rotametra sa kuglicom. Manji protoci vazduha u opsegu od 0,2÷6 l/min se mere pomoću manjeg rotametra a veći protoci u opsegu od 5÷30 l/min se mere pomoću većeg rotametra. Maksimalna greška merenja protoka je $\pm 2\%$. Pumpa omogućava finu kontrolu protoka i stabilnost protoka u delu merne ćelije koji se nalazi iza uzorka. Pumpa sa svojim karakteristikama obezbeđuje dovoljno malu brzinu vazduha kako izmerena otpornost strujanju vazduha ne bi zavisila od brzine vazduha. Pumpa omogućava brzinu strujanja vazduha u mernoj ćeliji od $0,4 \cdot 10^{-3}$ m/s, što u potpunosti odgovara preporukama standard SRPS ISO 9053 ($0,5 \cdot 10^{-3}$ m/s).



Sl. 5. Izgled mernog sistema za određivanje otpornosti strujanju vazduha.

U mernoj ćeliji sa jedne strane uzorka je atmosferski pritisak a sa druge strane uzorka je podpritisak koji stvara vakum pumpa. Da bi se obezbedili uslovi za održavanje podpritisaka merna ćelija na jednoj strani mora biti dobro zaptivena. Za merenje razlike pritisaka sa jedne i druge strane uzorka za ispitivanje koristi se diferencijalni merač pritiska TESTO 512. Ovaj merač ima merni opseg od 0 do 200 Pa sa rezolucijom od 0,1 Pa. Upotrebljena oprema dozvoljava merenje diferencijalnog pritiska do tačnosti $\pm 5\%$ od naznačene vrednosti.

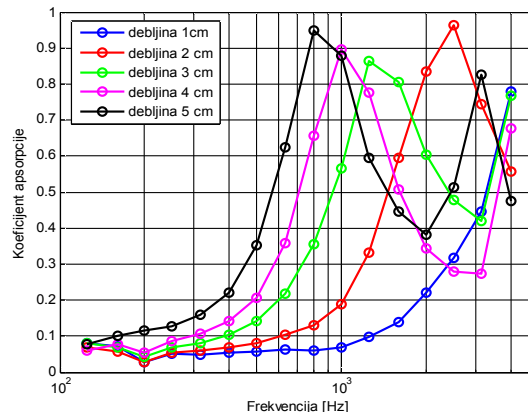
Merna ćelija je oblika kružnog cilindra, a napravljena je od pleksiglasa kako bi se moglo vizuelno pratiti postavljanje uzorka. Unutrašnji prečnik merne ćelije je 100 mm, čime je zadovoljen zahtev standarda SRPS ISO 9053, da unutrašnji prečnik mora biti veći od 95 mm.

B. Rezultati merenja

Rezultati merenja koeficijenta apsorpcije za pet različitih debljina uzoraka od granulata reciklirane gume sa zrnastom strukturom, prikazani su na zbirnom dijagramu na slici 6. Uzorci su napravljeni od iste šarže, tako da je udeo veličine pojedinih frakcija u uzorcima odgovara približno istoj procentualnoj vrednosti na granulometrijskoj krivoj. Prema podacima proizvođača ("Tigar – Tehnička guma" a.d. – Pirot) uobičajeni procentualni sastav vezivnog sredstva od

poliuretanskih smola u pločama iz kojih su isečeni uzorci je oko 8%.

Fenomen povećanja zvučne apsorpcije u određenom frekvencijskom opsegu, uzrokovan je činjenicom da zvučna apsorpcija raste sa povećanjem vrednosti brzine vazдушnih čestica. Brzina teži nuli blizu krute površine, a dostiže najviši nivo na udaljenosti $\frac{1}{4}$ i $\frac{1}{8}$ talasne dužine od površine [5].



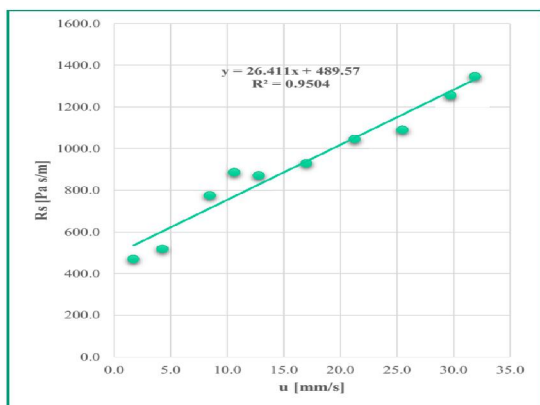
Sl. 6. Zbirni dijagram koeficijenta apsorpcije od crne reciklirane gume debljine uzoraka od: 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm i 50 mm sa zrnastom strukturom [1].

Da bi se odredila specifična otpornost strujanju vazduha potrebno je odabrati 10 vrednosti zapreminskog protoka i za njih izmeriti pad pritiska preko uzorka. Laminarnu brzinu strujanja vazduha potrebno je smanjivati sve do vrednosti 0,5 mm/s, ukoliko to protok pumpe omogućava. Naime pri najmanjem mogućem protoku vazduha, pad pritiska mora biti merljiv. Ukoliko nije moguće izmeriti pad pritiska na graničnoj vrednosti brzine strujanja od 0,5 mm/s, vrednost specifične otpornosti strujanju vazduha se određuje ekstrapolacijom.

TABELA I
REZULTATI MERENJA ZA ODREĐIVANJE OTPORNOSTI STRUJANJU VAZDUHA

q_v	Δp	u	R	R_s
[lit/min]	[Pa]	[mm/s]	[Pa·s/m ³]	[Pa·s/m]
15	42.9	31.8	171600	1347.7
14	37.4	29.7	160285.7	1258.9
12	27.8	25.5	139000	1091.7
10	22.2	21.2	133200	1046.2
8	15.8	17.0	118500	930.7
6	11.1	12.7	111000	871.8
5	9.4	10.6	112800	885.9
4	6.6	8.5	99000	777.5
2	2.2	4.2	66000	518.4
0.8	0.8	1.7	60000	471.2

Za uzorak od reciklirane gume gustine 780 kg/m^3 , određena je specifična otpornost strujanju vazduha, čija vrednost iznosi $502,8 \text{ [Pa s/m]}$. Ovoj vrednosti specifične otpornosti strujanju vazduha, za debljinu uzorka od 20 mm odgovara vrednost podužne specifične otpornosti strujanju vazduha od $25138,8 \text{ [Pa s/m}^2\text{]}$.



Sl. 7. Zavisnost specifične otpornosti strujanju vazduha od brzine strujanja.

IV. NOV EMPIRIJSKI MODEL ZA ODREĐIVANJE IMPEDANSE I KOEFICIJENTA APSORPCIJE

Mnogi modeli su razvijeni za opisivanje prostiranja zvučnih talasa i predviđanja akustičkih performansi u poroznim materijalima. Neki od njih su zasnovani na pretpostavci krutog okvira medija i opisuju fizičke fenomene disipacije energije u tim poroznim medijima. Ovi modeli kao ulazne parameter imaju i ne akustičke veličine kao što su poroznost, faktor structure materijala, podužna specifična otpornost strujanju vazduha. Mehanizmi apsorbovanja zvuka unutar poroznog medija su dvojaki. Deo zvučne energije se troši u toplotnim procesima čvrste strukture a drugi deo energije se gubi na viskozno trenje ekvivalentnog fluida u poroznoj strukturi. Ekvivalentna dinamička gustina tretira viskozno inercijalno rasipanje u poroznim medijima a modul dinamičke ekvivalentne gustine uzima u obzir termičke disipacione efekte.

Teorijski model koji su predložili Champoux i Stinson, daje najbolju aproksimaciju sa eksperimentalnim istraživanjima za material od reciklirane gume, kako su u svom radu pokazali Pfretzschner i Rodriguez [15,16]. Ovaj model zahteva pet ulaznih parametara, koji se često ne mogu jednostavno i pouzdano odrediti. Ovo je osnovni nedostatak tzv. fenomenoloških ili mikro modela za utvrđivanje akustičkih svojstava poroznih materijala. Zbog toga je u ovom radu razvijen eksperimentalni makro model za predviđanje akustičkih osobina materijala od reciklirane gume.

Prostiranje zvuka u izotropnom homogenom materijalu može se predstaviti pomoću karakteristične impedanse (Z_c) i konstante širenja zvuka u apsorpcionom materijalu

$$Z_c = R + jX, \quad (1)$$

$$\gamma = \alpha + j\beta. \quad (2)$$

Polazeći od dobro poznatih Delany i Bazley relacija:

$$R = \rho_0 c_0 \left[1 + C_1 \left(\frac{\rho_0 f}{r} \right)^{-C_2} \right] \quad (3)$$

$$X = -\rho_0 c_0 \left[C_3 \left(\frac{\rho_0 f}{r} \right)^{-C_4} \right] \quad (4)$$

$$\alpha = \left(\frac{2\pi f}{c_0} \right) \left[C_5 \left(\frac{\rho_0 f}{r} \right)^{-C_6} \right] \quad (5)$$

$$\beta = \left(\frac{2\pi f}{c_0} \right) \left[1 + C_7 \left(\frac{\rho_0 f}{r} \right)^{-C_8} \right], \quad (6)$$

gde su R i X realni i imaginarni delovi karakteristične akustičke impedanse Z_c , a α i β realni i imaginarni delovi konstante prostiranja zvuka u apsorpcionom materijalu γ , ρ_0 je gustina vazduha, f je frekvencija i r je podužna specifična otpornost strujanju vazduha.

Polazeći od jednačina (6) do (11) i preporuka standarda EN 12354-6:2003 može se izračunati difuzni koeficijent apsorpcije zvuka poroznih materijala. Za difuzno akustičko polje, koeficijent apsorpcije α_s može se odrediti kao:

$$\alpha_s = \int_0^{\pi/2} \alpha_\varphi \sin 2\varphi d\varphi \quad (7)$$

$$\alpha_\varphi = 1 - |r_\varphi|^2 \quad (8)$$

$$r_\varphi = \frac{Z' \cos\varphi - 1}{Z' \cos\varphi + 1} \quad (9)$$

$$Z'_c = \frac{Z_c}{\rho_0 c_0} \quad (10)$$

$$Z' = Z'_c \coth \gamma d \quad (11)$$

gde su:

φ - ugao incidencije, u radianima

α_φ - apsorpcioni koeficijent za ravni zvučni talas, vezan za ugao φ

r_φ - koeficijent refleksije pritiska za ravni zvučni talas, vezan za ugao φ

Z'_c - normalizovana površinska impedansa sloja

Z_c - normalizovana karakteristična impedansa apsorpcionog materijala

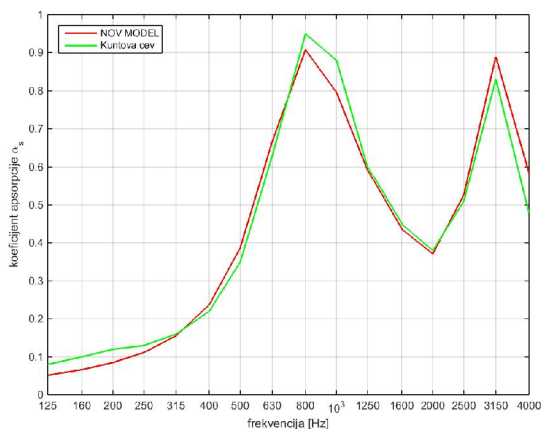
d - debljina sloja, m.

Specifični model ove vrste za materijale od reciklirane gume ne može se naći u literaturi. On je definisan u ovom radu, određivanjem konstanti C_1, \dots, C_8 u jednačinama 3÷6, koristeći metodu najmanjih kvadrata, tako da odstupanja koeficijenta apsorpcije izračunata prema jednačinama 7÷11 u odnosu na merenja u impedansnoj cevi imaju minimalne vrednosti. Na analogan način Garai i Pompoli [4] su došli do modela za određivanje impedance i koeficijenta apsorpcije materijala od poliester vlakana.

Polazeći od Delany i Bazley [3] modela u literaturi je razvijeno više modela za različite vrste materijala. Imajući u vidu gore navedeno, za normalnu incidenciju određena je karakteristična impedansa, konstanta prostiranja u apsorpcionom materijalu i koeficijent apsorpcije za uzorke od reciklirane gume. Kao početna rešenja korišćeni su empirijski modeli: Delany i Bazley, Garai i Pompoli.

TABELA II
VREDNOSTI KOEFICIJENATA EMPIRIJSKIH MODELA ZA ODREĐIVANJE IMPEDANSE

MODEL		Delany i Bazley	Garai i Pompoli	NOV MODEL
VREDNOSTI KOEFICIJENATA	C ₁	0,0571	0,078	1,366
	C ₂	0,754	0,623	2,034
	C ₃	0,087	0,074	2,805
	C ₄	0,732	0,660	0,0204
	C ₅	0,0978	0,159	0,165
	C ₆	0,700	0,571	0,964
	C ₇	0,189	0,121	2,793
	C ₈	0,595	0,530	0,696



Sl. 8. Uporedni prikaz koeficijenta apsorpcije izmerenog u Kuntovoj cevi (zeleni linija) i predviđanja novog modela (crvena linija) za recikliranu gumu debljine 50 mm.

A. Ocena rezultata

Najtačnija vrednost koeficijenta apsorpcije je ona koja je određena u impedansnoj cevi. Zbog toga je vrednosti koje predviđa novi model najbolje uporediti sa vrednostima merenja u impedansnoj cevi za sve terčne frekvencije od 125 Hz do 4000 Hz ($j = 12$; broj terci). Ako sa i označimo broj različitih debljina uzoraka ($i = 5$), apsolutna greška za određenu terčnu frekvenciju, određenu debljinu i odabrani empirijski model može se odrediti prema izrazu:

$$\Delta_{ij} = \alpha_{(n, Model)ij} - \alpha_{(n, cev)ij} \quad (12)$$

Prosečna apsolutna greška uzimajući u obzir svih 5 različitih debljina materijala na određenoj terčnoj frekvenciji može se odrediti prema izrazu (13):

$$\bar{\Delta}_{f_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_{f_i} \quad (13)$$

Prosečna apsolutna greška modela se može odrediti uzimajući u obzir svih 5 različitih debljina materijala i svih 12 terčnih frekvencija prema izrazu (14)

$$\bar{\bar{\Delta}}_{f_j} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \bar{\Delta}_{f_j} \quad (14)$$

TABELA III
GREŠKE KOEFICIJENTA APSORPCIJE PO MODELIMA

R. br.	Model	Apsolutna greška
1.	Delany i Bazley	0,379
2.	Garai i Pompoli	0,166
3.	Nov model	0,101

Greške koeficijenta apsorpcije po modelima date u tabeli III pokazuju da nov model daje bolja predviđanja koeficijenta apsorpcije od poznatih empirijskih modela. Ovakav rezultat se i mogao očekivati, jer su navedeni poznati modeli razvijeni za vlaknaste materijale.

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu su prikazani rezultati merenja i određivanja koeficijenta zvučne apsorpcije materijala od reciklirane gume. Na bazi merenja koeficijenta apsorpcije materijala u impedansnoj cevi i izračunate podužne otpornosti strujanju vazduha formiran je nov model za određivanje impedance i koeficijenta apsorpcije materijala koji predstavlja smešu zrnaste reciklirane gume i poliuretanske smole kao vezivnog sredstva.

Nov model je potvrdio dobra apsorpciona svojstva materijala na bazi reciklirane gume. Prosečna apsolutna greška novog modela je oko 10% u odnosu na izmerene vrednosti koeficijenta zvučne apsorpcije u impedansnoj cevi. Na osnovu toga, nov model se može smatrati kao zadovoljavajući za procenu akustičkih osobina smeša reciklirane gume i poliuretanskih smola u procentima koji su navedeni u ovom radu.

Sa povećanjem broja materijala na koje se može primeniti novi model, može se očekivati i njegovo poboljšanje po pitanju predviđanja akustičkih svojstava poroznih materijala. S obzirom da je analiziran material sa zrnastom strukturom, realno je očekivati da se ovaj model može primeniti i za predviđanje akustičkih osobina i drugih poroznih materijala sa

zrnastom strukturom koji se mogu koristiti za zvučnu zaštitu.

ZAHVALNICA

Rezultati prikazani u ovom radu deo su aktivnosti na projektu TR 37020 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Ristanović I., Mijić M. „Jedna realizacija Sistema za merenje koeficijenta apsorpcije sa impedansnom cevi“, 58. ETRAN, Vrnjačka Banja, 2014, str. AK3.5.1-6
- [2] Radičević B., Ristanović I., „Koeficijent apsorpcije materijala od recikliranog gumenog otpada“, 58. ETRAN, Vrnjačka Banja, 2014, str. AK3.6.1-6
- [3] Delany, M.E. & E.N. Bazley, Acoustical properties of fibrous absorbent materials, Applied Acoustics 3 (1970), 105.
- [4] Garai M., Pompoli MF., “A simple empirical model of polyester fibre materials for acoustical applications”, Applied Acoustics 66, 1383-1398 (2005)
- [5] Pispola G., Horoshenkov K.V., “Consolidated granular media for sound insulation: Performance evolution through different methods”, International Congress on Sound and Vibration, Lisabon, Portugalija (2005)
- [6] J. Pfitzschner, “Rubber crumb as granular absorptive acoustic material”, Proceedings of the Forum Acusticum Sevilla 2002 (2002)
- [7] Maderuelo-Sauz R., Morillas J.M.B., Martin-Castizo M., Escobar V.G., Gazalo G.R., “Acoustical performance of porous absorber made from recycled rubber and polyurethane resin”, Španija (2011)
- [8] Swift M.J., Bris P., Horoshenkov K.v., “Acoustic absorption in re-cycled rubber granulates”, Applied Acoustics 57, 203-212(1999)
- [9] Hong Z., et al., “A novel composite sound absorber with recycled rubber particles”, Journal Sound and ibration 304:400-406
- [10] K.V. Horoshenkov, M.J. Swift, “The effect of consolidation on the acoustic properties of loose rubber granulates”, Applied Acoustics 62, 665-690 (2001)
- [11] Paje S.E., et al., “Acoustic field evolution of asphalt mixtures with crumb rubber”, Applied Acoustics 71, 578-582 (2010).
- [12] Han Z., et al., “Crumb rubber blends in noise absorption study”, materials and Structures 41, 383-390 (2008).
- [13] Maderuelo-Sanz R., et al., “The performance of resilient layers made from recycled rubber fluff for impact noise reduction”, Applied Acoustics 72, 823-828 (2011).
- [14] M.Mijić, P.Bojović, “Akustička svojstva apsorbera od mekih poliuretanskih pena”, VII Jugoslovensko savetovanje “Zaštita od buke i vibracija u životnoj i radnoj sredini”, Beograd 1985, Zbornik radova, 49-53
- [15] J. Pfitzschner, R.M. Rodriguez, “Acoustic properties of rubber crumbs” Polymer testing 18, 81-92 (1999).
- [16] J. Pfitzschner, “Rubber crumb as granular absorptive acoustic material”, Proceedings of the Forum Acusticum Sevilla 2002 (2002).
- [17] G. Iannace, L. Maffei, M. Fasullo, “Proprietà acustiche di materiali granulari ottenuti dalla triturazione di pneumatici fuori uso”, Proceedings of the 33rd National Congress of the Italian Association of Acoustics (AIA) (2006) (in Italian).
- [18] M. Sobral, A.J.B. Samagaio, J.M.F. Ferreira, J.A. Labrincha, “Mechanical and acoustical characteristics of bound rubber granulate”, Journal of Materials Processing Technology 142, 427-433 (2003).
- [19] SRPS ISO 9053, Acoustics - Materials for acoustical applications - Determination of airflow resistance (ISO 9053:1991)
- [20] EN 12354-6, Building Acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 6: Sound absorption in enclosed spaces
- [21] ISO 10534-2, Acoustic – determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 2: Transfer function method

ABSTRACT

In this paper, a model for determination of acoustical impedance and sound absorption coefficient for material of recycled rubber (belonging to the category of porous material) is developed. The model parameters are obtained based on investigation of samples of thickness of 10 mm to 50 mm. The calculated values of absorption coefficient for normal incidence are compared to the results obtained in the impedance tube – Transfer function method (EN ISO 10534-2:2001). In order to verify the model, the absorption coefficient of the same samples is determined by measuring resistance of air flow (SRPS ISO 9053:1991). It is concluded that new model can predict basic acoustical properties of material of recycled rubber for some practical combinations of density and granulation.

Prediction of Acoustic Material Properties of Recycled Rubber

Branko Radičević, Ivana Ristanović, Milan Kolarević