

# Koeficijent apsorpcije materijala od recikliranog gumenog otpada

Branko Radičević, Ivana Ristanović

**Apstrakt** — Stare automobilske gume predstavljaju značajan segment ukupnog industrijskog otpada u svakoj državi. U ovom radu su prikazani početni rezultati istraživanja apsorpcionih svojstava materijala napravljenih na bazi granulata od reciklirane gume. Projekat se realizuje u saradnji sa preduzećem “Tigar – Tehnička guma” a.d., Pirot. Krajnji cilj projekta je osvajanje nekoliko novih proizvoda koje bi ova kompanija mogla da proizvodi, a koji bi mogli, između ostalog, da zadovolje i zahteve apsorpcije zvuka na mestima gde se primenjuju.

**Ključne reči**— detaljni model; EN 12354; pojednostavljeni model; predikcija zvučne izolacije.

## I. UVOD

Kontinuirani rast ljudske populacije i poboljšanje kvaliteta života, između ostalog, za posledicu imaju velike ekološke probleme. Deo ekoloških problema čine buka i različite vrste industrijskog otpada. U slučaju industrijskih otpada, u poslednjih nekoliko godina skladištenje i prerada korišćenih automobilskih guma postala je jedan od najvećih problema životne sredine. U zemljama gde je pitanje korišćenih guma rešeno na bezbedan način, deo korišćenih guma se direktno ili posle obnavljanja ponovo koristi na vozilima, a ostatak se prerađuje u poluproizvode i gotove proizvode ili se koristi kao energent. 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 [1].

Ovaj rad prikazuje početne rezultate istraživanja koja su organizovana sa ciljem pronalazača mogućnosti za osvajanje novih proizvoda na bazi granulata reciklirane gume. Projekat se realizuje u saradnji sa preduzećem “Tigar – Tehnička guma” a.d., Pirot. Postavljeni cilj projekta je osvajanje nekoliko novih proizvoda koje bi ova kompanija mogla da proizvodi. Pošto se radi o proizvodima koji bi se koristili u građevinskom sektoru, što praktično podrazumeva masovnu proizvodnju, potrebno je izvršiti detaljna istraživanja za svaki novi proizvod ponaosob. Pošto ovu oblast prati i odgovarajuća zakonska regulative, u radu su takođe prikazana zakonska ograničenja u tom domenu koja postoje u svetu i Srbiji. Takođe su prikazani podaci o količinama otpadne gume u svetu i u Srbiji, sa procenjenim mogućim obimom korišćenja reciklirane gume. Analiza je izvršena da bi se utvrdila

Branko Radičević – Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu Univerzitetu u Kragujevcu, Kraljevo, Srbija (e-mail: radičević.b@mfkv.kg.ac.rs)

Ivana Ristanović – Visoka škola tehničkih strukovnih studija, Čačak (e-mail: ivana.ristanović@visokaskola.edu.rs)

potencijalna sirovinaska baza, potrebna za proizvodnju novih proizvoda, ukoliko rezultati istraživanja potvrde zadovoljavajuće akustičke karakteristike koje su bile početna pretpostavka u ovom istraživanju.

## II. OTPADNA GUMA KAO TEHNIČKI MATERIJAL

Današnje gume za vozila predstavljaju visokotehnološki proizvod u čiju proizvodnju ulazi niz komponenata. U pogledu udela komponenata ovakva guma prosečno sadrži 85% ugljovodonika, 10–15% čelika, a ostatak čine druge hemijske materije. Savremena guma u bezbednoj eksploataciji obično prelazi od 60.000 do 130.000 km, što najviše zavisi od uslova korišćenja. Prema nekim procenama, prirodni proces raspadanja odbačene otpadne automobilske gume traje oko 150 godina.

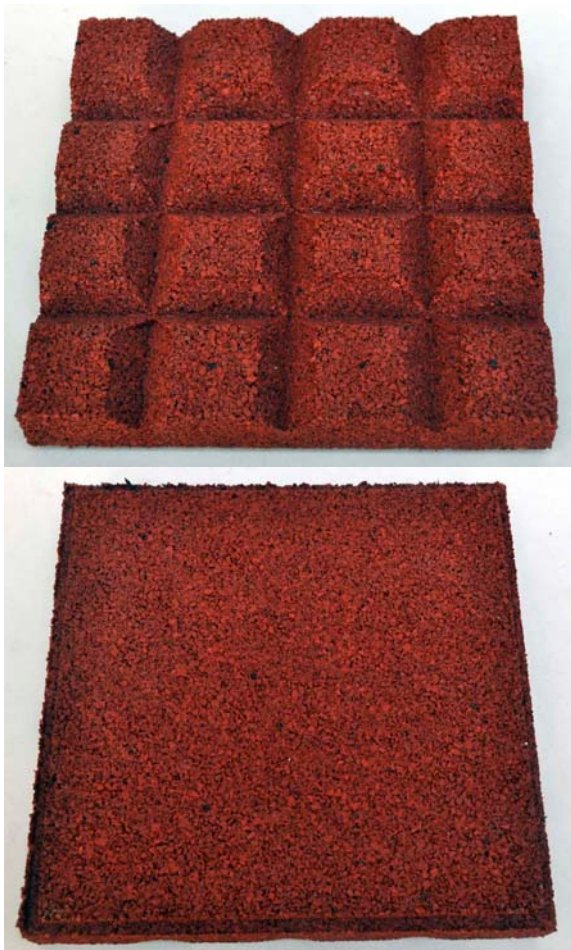
Karakteristični su podaci iz država u kojima se automobili tradicionalno veoma mnogo koriste. Sjedinjenje Američke Države beleže godišnju produkciju od preko 290 miliona komada korišćenih guma, na teritoriji EU godišnje se sakupi oko 250 miliona, a u Japanu 80 miliona ovakvih guma [1]. U SAD je 2005. godine 52% otpadnih guma upotrebljeno kao gorivo, 16% u građevinarstvu, 2% izvezeno, 4% utrošeno na druge različite načine, a 14% odloženo na deponije [1]. U Srbiji proizvodnja gumeno-tehničkih proizvoda počela je u fabrici „Tigar“ u Pirotu 1935. godine, a proizvodnja pneumatika u ovom preduzeću počela je 1959. godine, pre svega za potrebe domaće auto-industrije.

Da bi se u EU ograničilo deponovanja otpadnih guma, Direktivom Evropske Komisije 1999/31/EC (*Directive on the Landfill of Waste*), od 2003. g. zabranjeno je odlaganje celih otpadnih guma na deponije, a od 2006. g. i isečenih (usitnjenih) guma. U pravcu daljeg smanjivanja količine ove vrste otpada na deponijama deluje i Direktiva 2000/53/EC, (*Directive on End of Life Vehicles - ELV*) koja se odnosi na obavezu da se od 2006. godine 85% mase starih automobila mora reciklirati, dok se od 2015. g. ovaj procenat povećava na 95%. Uz Direktivu 2000/76/EC (*Directive on Incineration of Waste*) kojom se od 2008. godini nalaže primena starih guma kao dodatnog energenta u cementnoj industriji, kao i još nekim drugim merama, upravljanje korišćenim gumama na teritoriji zemalja EU zakonodavnom smislu je u potpunosti uređeno [5].

U Srbiji su do pre nekoliko godina otpadne gume odlagane na legalne i divlje deponije. Korišćene su kao gorivo u tehnički neadekvatnim pećima i nekontrolisanim procesima sagorevanja (ciglane, krečane,...), zbog čega su predstavljale ozbiljan ekološki problem. U našoj zemlji, od 2009. godine, ova problematika je usaglašena sa zakonskom regulativom

EU. Procenjuje se da se u Srbiji godišnje nađe oko 26.000 t korišćenih guma koje se saglasno Pravilniku o načinu i postupku upravljanja otpadnim gumama (Službeni glasnik RS broj 104/2009), recikliraju u različite gumene sirovine i proizvode (minimalno 80%), i koriste kao energent (maksimalno 20%) [1].

Pravilnikom i izmenama i dopunama Pravilnika o načinu i postupku upravljanja otpadnim gumama (Sl.Gl. RS br. 81/2010) ovaj odnos je promenjen, tako se do 30% otpadnih guma moglo utrošiti u energetske svrhe, a 70% usmereno je u reciklažu. Ovakvim rešenjima težište zbrinjavanja korišćenih guma u Srbiji usmerava se ka reciklaži što je i pravac kojim se kreću i razvijene zemlje. Odnos količina otpadnih guma koje se recikliraju, u odnosu na količine koje se usmeravaju u energetske potrebe u razvijenim zemljama za sada je pomećen ka energetske upotrebi otpadnih guma, ili približno izjednačen.



Sl.1. Dve strane jednog uzorka crvenih ploča od reciklirane gume koji ima reljefnu strukturu s jedne strane

Korišćenim gumama u Srbiji se upravlja na bezbedan način, saobražen sa praksom kakva se primenjuje u razvijenim zemljama. Zbog ubrzanog globalnog iscrpljivanja sirovina, posebno nafte, očekuje se da će otpadne gume u budućnosti imati značaj dragocenog resursa.

Fizičke osobine materijala od reciklirane gume su uzete iz kataloga proizvođača "Tigar –Tehnička guma" a.d. – Pirot, i prikazane su u tabeli 1.

TABELA 1. FIZIČKE OSOBINE MATERIJALA OD RECIKLIRANE GUME

Tvrdoća	[ShA]	70±10
Gustina	[kg/m <sup>3</sup> ]	750 - 900
Zatezna čvrstoća	[MPa]	0,4
Abrazivni otpor	[mm <sup>3</sup> ]	200
Izduženje	[%]	50
Sabijanje	[%]	4,3

### III. MERENJE KOEFICIJENTA APSORPCIJE MATERIJALA OD RECIKLIRANE GUME U CEVI SA STOJEĆIM TALASOM

Akustička svojstva gume bila su predmet mnogih istraživanja [12], [13], [14], [15], [16], [17] sa ciljem da se ispita mogućnost upotrebe gumenih barijera i panela za redukovanje buke. Pokazalo se da su preliminarni rezultati koeficijenta apsorpcije ovih gumenih uzoraka, u uslovima normalne incidencije, prilično veliki. Budući da se ti uzorci prave od granulata reciklirane gume, promena konstrukcionih parametara (veličina gumenih granulata, kompaktnost uzorka, debljina) će uticati na akustička i mehanička svojstva uzorka.

Određivanje koeficijenta apsorpcije merenjem u Kuntovoj cevi primenjuje se u slučajevima kada se zahteva ispitivanje serije (sa promenljivim parametrima) pri razvoju novih materijala i kada merenja u reverberacionoj komori nije moguće sprovesti (usled nedostatka vremena ili količine potrebnog materijala koji se ispituje).

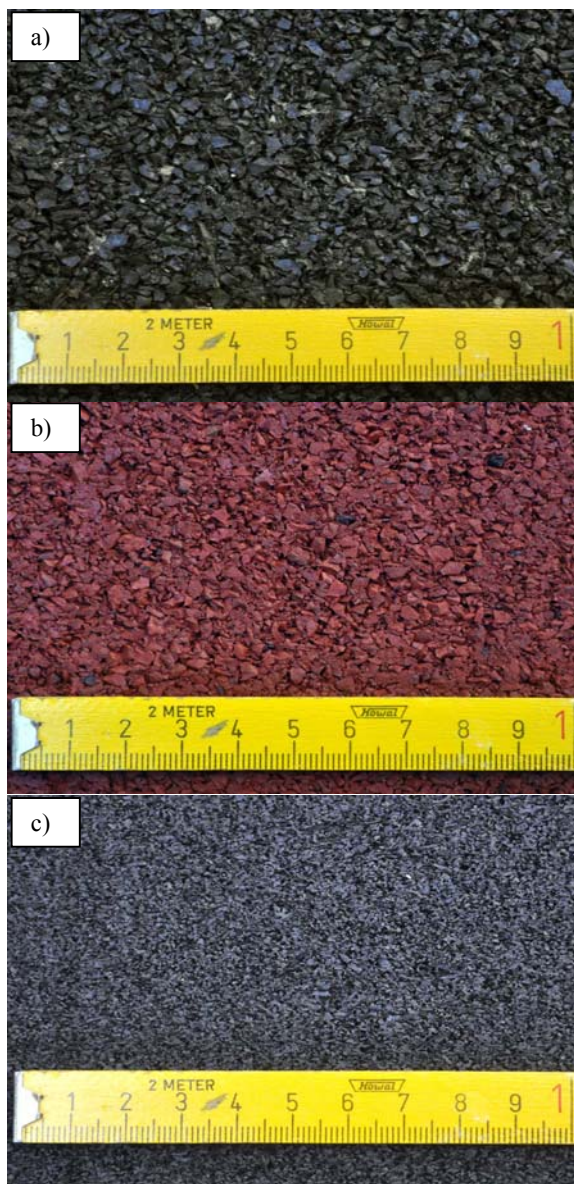
Eksperimentalni rezultati pokazuju da se u zavisnosti od granulacije reciklirane gume i sile presovanja ostvaruju različite vrednosti koeficijenta zvučne apsorpcije. Različite metode merenja mogu dati odstupanja koeficijenta zvučne apsorpcije, zbog čega uvek treba navesti metodu merenja i karakteristike uzorka.

Metoda impedanse cevi ima veliki broj prednosti, koje su opisane u literaturi [7]. Prednosti ovakve metode su što je merni uređaj malih dimenzija, pa je kao takav veoma praktičan za upotrebu. Uzorci su takođe malih dimenzija, što olakšava njihovu pripremu za merenje. Nedostatak ove metode je u tome što se meri samo normalna incidencija talasa, mada je moguće primeniti korekciju da bi se dobila vrednost koeficijenta apsorpcije sa slučajnom incidencijom. Drugi nedostatak ove metode je neheterogenost malog uzorka, što može imati za posledicu da uzorak nije reprezentativan za ocenu materijala iz koga je isečen. Treći nedostatak se sastoji u tome što su potrebni različiti prečnici cevi i uzoraka ako se želi pokriti širi frekvencijski opseg.

U nastavku će biti prikazani rezultati apsorpcije različitih uzoraka od reciklirane gume dobijenih miksovanjem i mehaničkim presovanjem gumenih granulata, uz određenu koncentraciju veziva (Ispitivani uzorci su proizvedeni u ...). 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 frekventijskom opsegu definisanom fizičkim dimenzijama cevi i rastojanjem između mikrofona. Koristeći ovaj metod moguće je dobiti brza merenja za normalnu incidenciju, koristeći male uzorke.



Sl.2. Detaljniji prikaz tri različite strukture od kojih su napravljeni ispitivani uzorci

Za realizaciju merenja gumenih uzoraka korišćene su dve impedansne cevi:

- mala cev (prečnik 30 mm)
- velika cev (prečnika 100 mm)

Merenje u ove dve cevi zajedno daju rezultat u frekventijskom opsegu od 100 Hz do 4000 Hz.

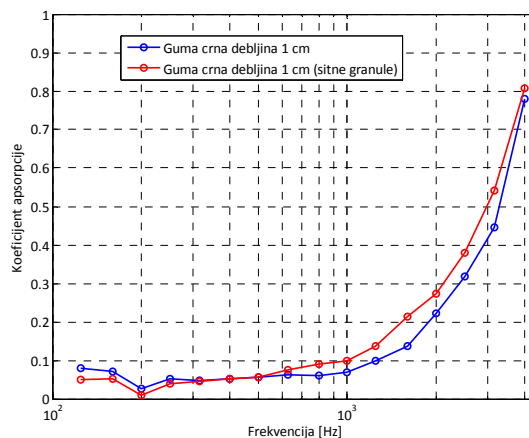
Poznato je da apsorpcija poroznih materijala zavisi od poroznosti, otpornosti strujanju vazduha i debljine sloja. Kada se zvuk rasprostire u međusobno povezanim porama poroznog materijala, on gubi svoju zvučnu energiju. Ovaj gubitak energije nastaje zbog složene heterogene mikrostrukture i viskoznih 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. Kada se debljina uzorka povećava, apsorpcija na niskim frekvencijama se obično povećava.

Testirani su uzorci od pet različitih debljina materijala (tabela 1.). Kružni uzorci su isečeni iz ravnih ploča pomoću presekača na presi. Debljine materijala su: 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm i 50 mm. U daljim analizama ovi uzorci su označeni sa U-xx. Prva, broječna oznaka od 1 do 5 označava debljinu uzorka u centimetrima. Druga, slovna oznaka, se odnosi na strukturu granula od reciklirane gume: a – crna guma sa loptastim granulama, b – crvena guma sa loptastim granulama, c – crna guma sa igličastim granulama (Sl. 2.).

TABELA 2. OPIS TESTIRANIH UZORAKA OD RECIKLIRANE GUME

Oznaka	Materijal	Debljina [mm]	Struktura granula
U-1a	Crna guma	10	loptasta
U-1c	Crna guma	10	igličasta
U-2a	Crna guma	20	loptasta
U-3a	Crna guma	30	loptasta
U-4a	Crna guma	40	loptasta
U-4b	Crvena guma	40	loptasta
U-5a	Crna guma	50	loptasta

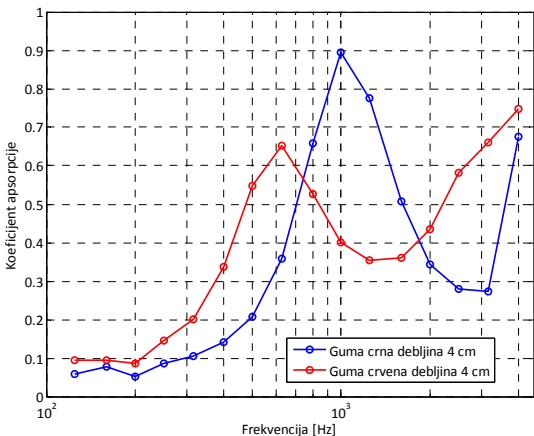
Uzorci M-1a i M-1c su iste debljine (10 mm) od crne reciklirane gume. Oni se razlikuju po strukturi granula. Jedan uzorak je sa igličastom a drugi sa loptastom strukturom granula.



Sl. 3. Zbirni dijagram koeficijenta apsorpcije od crne reciklirane gume debljine 10 mm sa igličastom i loptastom strukturom

Sa dijagrama na slici 3., vidi se da se vrednosti koeficijenta apsorpcije neznatno razlikuju na svim

frekvencijama u posmatranom opsegu od 100 Hz do 4000 Hz. Material sa igličastom strukturom ima nešto viši koeficijent zvučne apsorpcije na frekvencijama od 500 Hz do 4000 Hz, dok na frekvencijama od 100 Hz do 400 Hz ima malo niže vrednosti u odnosu na material sa loptastom strukturom granula, pri istim debljinama uzoraka od 10 mm. Odstupanja vrednosti koeficijenta zvučne apsorpcije za dve navedene strukture granula materijala od recikliranog gumenog otpada, mogu poticati i od greške i uslova merenja, ili pak nehomogenosti uzoraka. Na osnovu navedenog, može se zaključiti da material od reciklirane gume debljine 10 mm praktično ima isti koeficijent apsorpcije bez obzira na strukturu granula.



Sl. 4. Zbirni dijagram koeficijenta apsorpcije od crne i crvene reciklirane gume debljine 40 mm sa loptastom strukturom

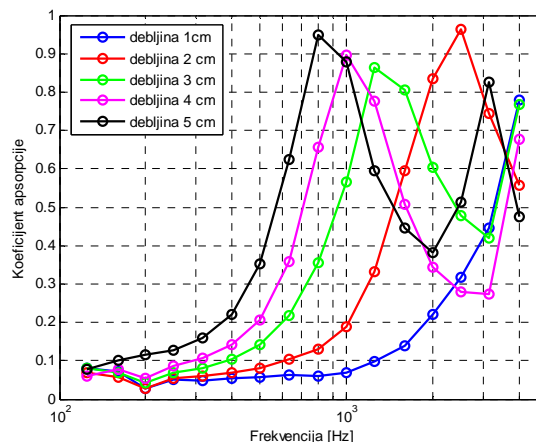
Na dijagramu na slici 4., vidi se da se vrednosti koeficijenta apsorpcije uzoraka od crne i crvene reciklirane gume, debljine 40 mm, iste loptaste strukture, imaju znatna odstupanja koeficijenta apsorpcije u posmatranom opsegu od 100 Hz do 4000 Hz. Material od crvene gume ima viši koeficijent apsorpcije u dva područja i to od: 100 Hz do 740 Hz i 1860 Hz do 4000 Hz. U prvom području maksimalni koeficijent apsorpcije je 0,65 na 630 Hz. U drugom području maksimalni koeficijent apsorpcije je na kraju posmatranog intervala na 4000 Hz i iznosi 0,75. Material od crne reciklirane gume ima viši koeficijent apsorpcije u području od 740 Hz do 1860 Hz. Ovo područje praktično predstavlja rezonantno područje za crnu gumu. Maksimalna vrednost koeficijenta apsorpcije uzorka od crne gume u ovom području je 0,9 na frekvenciji od 1000 Hz.

Uzorci od crne i crvene reciklirane gume imaju iste mehaničke osobine. Razlika između ova dva uzorka je samo u aditivu koji je dodat crvenoj gumi. Zapravo, taj aditiv je i promenio boju granula reciklirane gume. Pored promene boje vidi se i znatna razlika u vrednostima koeficijenta apsorpcije na pojedinim frekvencijama, kao posledica dodatka aditiva. U ovom slučaju uzorak od crvene gume može se posmatrati kao smeša granula od crne gume i aditiva crvene boje. Uočljivo je da ovakva mešavina ima područje rezonancije pomerenom u

levu stranu ka području nižih frekvencija (sa 1000 Hz na 630 Hz), a pri tome je koeficijent apsorpcije smanjio maksimalnu vrednost za 0,25 (sa 0,9 na 0,65).

Rezultati ove analize navode na zaključak da je moguće praviti i druge mešavine granulata reciklirane gume sa različitim vrstama materijala i pri tome menjati vrednost maksimalnog koeficijenta apsorpcije i frekvencije na kojoj se ta vrednost postiže.

Rezultati merenja koeficijenta apsorpcije za pet različitih debljina uzoraka od granulata crne reciklirane gume sa loptastom strukturom, prikazani su na zbirnom dijagramu na slici 5. Debljine materijala su: 50 mm, 40 mm, 30 mm, 20 mm i 10 mm. 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%.



Sl. 5. Zbirni dijagram koeficijenta apsorpcije od crne reciklirane gume debljine uzoraka od: 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm i 50 mm sa loptastom strukturom

TABELA 3. KOEFICIJENT APSORPCIJE UZORAKA OD CRNE RECIKLIRANE GUME

Oznaka uzorka	Debljina uzorka [mm]	Frekvencija na prvom maksimumu [Hz]	Koef. aps., $\alpha$ na prvom maksimumu [-]	Srednja vrednost $\alpha$ [-]
U – 1a	10	4000	0,78	0,16
U – 2a	20	2500	0,96	0,31
U – 3a	30	1250	0,87	0,36
U – 4a	40	1000	0,90	0,34
U – 5a	50	800	0,95	0,43

Može se primetiti, da se sa povećanjem debljine:

- smanjuje frekvencija na kojoj se javlja maksimum koeficijenta apsorpcije
- amplituda između prvog maksimuma i minimuma smanjuje, tako da je trend krive ravniji

Fenomen povećanja zvučne apsorpcije u određenom

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

Srednja vrednost koeficijenta zvučne apsorpcije prikazana u tabeli 3. predstavlja aritmetičku sredinu vrednosti koeficijenata apsorpcije u frekventnom opsegu od 100 Hz do 4000 Hz sa korakom od 1/3 oktave.

Činjenica da se na uzorku U-2a ostvaruje najviši nivo koeficijenta apsorpcije (0,96), navodi na zaključak da postoji optimalna debljina materijala sa kojom se mogu ostvariti maksimalne akustičke performace. Kod optimalne debljine materijala u najboljoj meri se ispoljavaju viskozno-termalni efekti materijala kao što je opisano u literaturi [7].

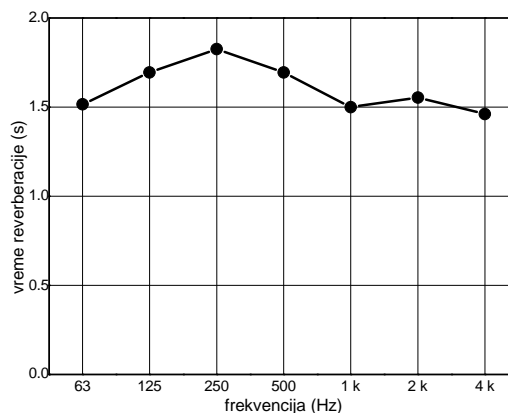
#### IV. MERENJE KOEFICIJENTA APSORPCIJE MATERIJALA OD RECIKLIRANE GUME U PROSTORIJI

Merenje koeficijenta apsorpcije materijala u cevi sa stojećim talasom daje podatak koji se odnosi samo na normalnu incidenciju zvučnog talasa. U realnim okolnostima apsorpcioni materijali su izloženi zvučnim talasima sa različitim uglovima incidencije. U prostorijama se može govoriti samo o statističkoj raspodeli uglova incidencije, koja je u slučaju idealnog homogenog difuznog zvučnog polja uniformna. U literaturi su predložene neke metode kojom se može procenjivati vrednost koeficijenta apsorpcije za takav slučaj na osnovu podatka za normalnu incidenciju dobijenog u cevi sa stojećim talasom, ali to može biti samo gruba estimacija.

Da bi se sagledale apsorpcione sposobnosti materijala od reciklirane gume koje oni ispoljavaju u realnim okolnostima kakve su kada se nalazi u nekoj prostoriji, organizovano je merenje koeficijenta apsorpcije u prostoriji. Merenje nije obavljeno u reverberacionoj komori, već u jednoj običnoj većoj prostoriji, ali je korišćena metodologija koja je standardom definisana za takva merenja [10]. Za merenje je iskorišćena jedna obična prazna prostorija zapremine 65 m<sup>3</sup>. Prostorija ima velike prozore, obična drvena vrata, a za vreme merenja u njoj je u uglu bio i jedan drveni sto. U takvim okolnostima njeno vreme reverberacije ne odgovara standardnim uslovima koji postoje u reverberacionim komorama koje se koriste za takva merenja. Dijagram izmerenog vremena reverberacije prazne prostorije u kojoj je izvršeno merenje koeficijenta apsorpcije materijala od reciklirane gume prikazan na slici 7.

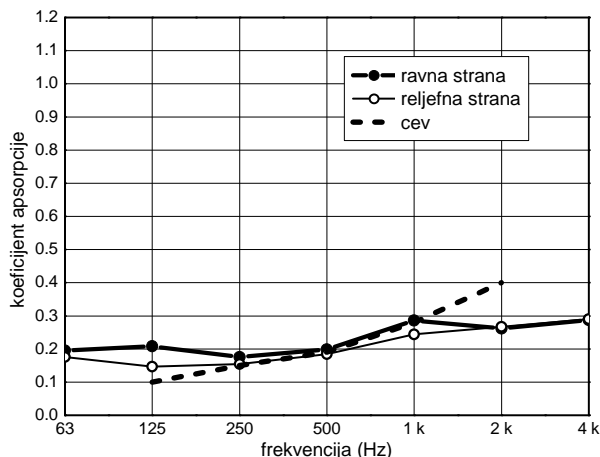
Sva ograničenja koja unose karakteristike korišćene prostorije nesumnjivo utiču na tačnost dobijenih rezultata i povećanu mernu nesigurnost. Međutim, i pored toga rezultati takvog merenja predstavljaju korisnu indikaciju apsorpcionih mogućnosti analiziranog materijala. S druge strane, takva metodologija merenja, sama po sebi, daje informaciju o rezultatima koji se mogu očekivati u realnim okolnostima njegove primene. Procenjeno je da u kombinaciji sa rezultatima dobijenim u cevi sa stojećim talasom merenje koeficijenta apsorpcije u običnoj prostoriji daje korisne informacije u početnoj fazi razvoja proizvoda od reciklirane

gume.



Sl.6. Izmereno vreme reverberacije u praznoj prostoriji u kojoj je izvršeno merenje koeficijenta apsorpcije

Na slici 7. prikazani su dijagrami koeficijenta apsorpcije materijala izmerenog u prostoriji. Merenje je izvršeno sa reljefnim uzorkom od crvene gume, pa su izvršena dva merenja: prvo sa ravnom stranom, a zatim i sa reljefom okrenutom ka prostoriji. Površina testiranog uzorka unetog u prostoriju bila je 9 m<sup>2</sup>.



Sl.7. Rezultati merenja koeficijenta apsorpcije materijala u prostoriji

Sa slike 5. se vidi da su za oba analizirana slučaja sa ovim materijalom, sa ravnom stranom i sa reljefom okrenutim ka prostoriji, izmerene vrednosti koeficijenta apsorpcije vrlo slične. Razlike koje postoje su tolike da se mogu objasniti mernom nesigurnošću procedure merenja, posebno zbog toga što se javljaju samo na nižim frekvencijama. Na frekvencijama 2 kHz i 4 kHz u oba slučaja se dobija ista vrednost koeficijenta apsorpcije. Prema tome, može se zaključiti da je sa malim dimenzijama reljefa, kakav je na analiziranom uzorku, relevantna samo količina poroznog materijala koja se nalazi u ploči. To je pojava koja je već konstatovana u literaturi za druge vrste poroznih materijala [11].

Na dijagramu je ucrtana i kriva koja prikazuje komponentu koeficijenta apsorpcije koja potiče od poroznosti materijala, gde je apstrahovan uticaj rezonance na nižim frekvencijama. Kriva je dobijena na osnovu rezultata merenja u cevi sa stojećim talasom. Vidi se da postoji sličnost između rezultata dobijenih u cevi i u komori. Prema tome, apsorpciona svojstva analiziranog materijala koja proizilaze iz njegove poroznosti rezultuju koeficijentom apsorpcije koji je prikazan na slici 7.

## V. ZAKLJUČAK

U radu su utvrđene mogućnosti razvoja novih proizvoda koji mogu da koriste velike količine recikliranog gumenog granulata. Na osnovu merenja koeficijenta apsorpcije zvuka uzoraka ploča od reciklirane gume utvrđen je da ovi materijali ispoljavaju visok nivo apsorpcije u području srednjih frekvencija, što nije svojstveno za većinu apsorpcionih materijala. Kao takvi mogu imati širok spektar primene.

## ZAHVALNICA

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

## LITERATURA

- [1] Stanojević D., Rajković M., Tošković D., „Upravljanje korišćenim gumama u svetu i stanje u Srbiji“, Hemijska industrija 65(6) 727-738 (2011)
- [2] Chettah A., Chedly S., Ichou M., “Acoustic absorption of granular multy-layers made from fire rubber”, International Congress on Sound and Vibration, Krakow, Poljska (2009)
- [3] Arenas J., Crocker M., “Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials”, [www.SandV.com](http://www.SandV.com)
- [4] 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)
- [5] Asdrubali F., D’Alessandro F., Schiavoni S., “Sound absorbing properties of materials made of rubber crumbs”, Euronoise acoustic’08, Pariz, Francuska (2008)
- [6] Aciu C., “Possibilities of the Recycling Rubber Waste in the Composition of Martars”, ProEnvironment 6, 479-483, Rumunija (2013)
- [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] Hau Zhu, “A spray based crumb rubber technology in highway noise reduction application”, Arizona, SAD (1999)
- [9] Swift M.J., Bris P., Horoshenkov K.V., “Acoustic absorption in re-cycled rubber granulates”, Applied Acoustics 57, 203-212(1999)
- [10] SRPS EN ISO 354:2008, Akustika - Merenje zvučne apsorpcije u reverberacionoj komori
- [11] 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
- [12] K.V. Horoshenkov, M.J. Swift, “The effect of consolidation on the acoustic properties of loose rubber granulates”, Applied Acoustics 62, 665-690 (2001).
- [13] M.J. Swift, P. Bris, K.V. Horoshenkov, “Acoustic absorption in recycled rubber granulates”, Applied Acoustics 57, 203-212 (1999).
- [14] J. Pfretzschner, R.M. Rodriguez, “Acoustic properties of rubber crumbs” Polymer testing 18, 81-92 (1999).
- [15] J. Pfretzschner, “Rubber crumb as granular absorptive acoustic material”, Proceedings of the Forum Acusticum Sevilla 2002 (2002).
- [16] 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) .
- [17] 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).

## ABSTRACT

Used car tyres are noteworthy part of industrial waste in each country. This paper introduces the first results of research concerned with the absorption characteristics of materials made of recycled car tyres rubber. The project is supported by factory “Tigar – Tehnička guma” a.d., Pirot. The goal of the project is developing the some new products made of recycled rubber which the firm can produce in the future, and which would satisfy require of sound absorption at various location of potential application.

## Absorption coefficient of materials made of recycling rubber waste

Branko Radičević, Ivana Ristanović