

Uticaj debljine poliuretanskih pena na njihova apsorpciona svojstva sa aspekta njihove primene u elektroakustici

Ivana Ristanović, Anja Grumić, Milan Stikić, Branko Radičević

Apstrakt—Poliuretanske pene predstavljaju materijal koji je našao svoju primenu u različitim oblastima proizvodnje i primene materijala. U akustičkom pogledu one pripadaju klasi poroznih materijala, a s obzirom da na to da predstavljaju relativno jeftinu sirovinu, u interesu je ispitati njihova svojstva u pogledu apsorpcionih mogućnosti. U ovom radu je dat pregled dobijenih rezultata apsorpcije različitih uzoraka sundera dopremljenih iz fabrike „Vapeks“ u Čačku. Na raspolaganju je bilo 10 uzoraka materijala različitog sastava i gustine. Svaki od njih sadržao je 10 komada različite debljine koja se kretala u opsegu od 1 cm do 10 cm, sa korakom od 1 cm. Merenja su izvršena u Kuntovoj cevi primenom ISO 10534-2 standarda. Dobijeni rezultati apsorpcije materijala odgovaraju uslovima normalne incidencije i validni su u u frekventijskom opsegu diktiranom dimenzijama cevi. Koriscena cev obezbedjuje rezultate u opsegu frekvencija od 200 Hz do 2 kHz. Komentarisana je značaj dobijenih rezultata sa aspekta primene poliuretanskih pena kao apsorbera zvuka u elektroakustici.

Gljučne reči — Poliuretanske pene; apsorpciona svojstva.

I. UVOD

Porozni materijali koji se koriste u elektroakustici karakterišu se svojim apsorpcionim svojstvima kojim deluju na zvučno polje smanjujući nivo zvučne energije. Ta svojstva se kvantifikuju vrednošću koeficijenta apsorpcije. Njegova vrednost je u manjoj ili većoj meri frekvencijski zavisna, pa se kao podatak o materijalima prilaže dijagram ili tabela sa vrednostima koeficijena apsorpcije po frekvencijskim opsezima.

Postoji širok spektar poroznih materijala koji se komercijalno koriste kao apsorberi zvuka. Uglavnom se radi o materijalima koji su specijalno dizajnirani za tu namenu i koji, u opštem slučaju, mogu imati različite vrednosti koeficijenta apsorpcije po frekvencijama. Upotreba jednog poroznog materijala kao apsorbera zvuka, kome to nije primarna namena, kao što je slučaj kod poliuretanskih pena, svakako

Ivana Ristanović – Visoka škola tehničkih strukovnih studija u Čačku, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija (e-mail: ivana.ristanović@vstss.com)

Anja Grumić – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: ga143246m@student.etf.rs)

Milan Stikić – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: sm143248m@student.etf.rs)

Branko Radičević – Fakultet za mašinstvo i gradevinarstvo u Kraljevu, Univerzitet u Kragujevcu, Dositejeva 19, 36000 Kraljevo, Srbija (e-mail: radičević.b@mfv.kg.ac.rs)

predstavlja zanimljiv iskorak sa jedne, i ekonomičan sa druge strane. Da bi se opravdala jedna ovakva ideja, neophodno je prethodno ispitati apsorpcionu moć poliuretanskih pena.

Merenje koeficijenta apsorpcije se standardno obavlja u reverberacionoj komori i tako dobijene vrednosti odnose se na apsorpciju koju testirani materijal ispoljava u difuznom polju, što znači kada su uglovi incidencije uniformno raspoređeni. Takve okolnosti su relativno bliske mnogim realnim uslovima koji postoje u prostorijama. Izvestan problem u realizaciji takvog merenja stvara činjenica da se u reverberacionu komoru mora uneti adekvatna količina testiranog materijala, uobičajeno 8-12 m². To znači da je za testiranje nekog materijala neophodno raspolagati sa dovoljno velikom količinom, što nije uvek slučaj.

Alternativni postupak merenja koeficijenta apsorpcije je pomoću impedansne cevi. Merenje u impedansnoj cevi ima prednost zbog toga što je za njegovu realizaciju potrebna vrlo mala količina materijala, a sam proces merenja se izvršava relativno brzo i lako se dolazi do rezultata. Zbog toga se pri ispitivanju novih apsorpcionih materijala po pravilu prvo koriste merenja u impedansnoj cevi za provere postignutih osobina, a zatim se obavljaju merenja u reverberacionoj komori, uz obezbeđenje dovoljnih količina tog materijala. Nažalost, ova metoda ima i jedan nedostatak, a to je što se dobijena vrednost odnosi samo na normalnu incidenciju, što je samo jedan specijalni slučaj.

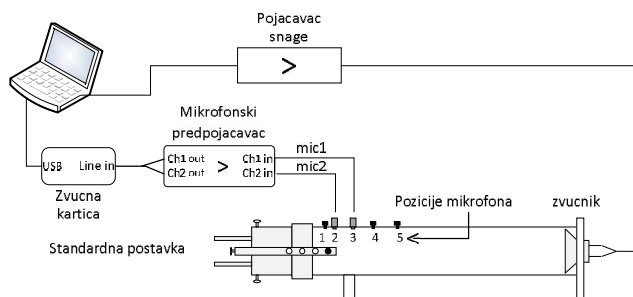
U ovom radu su prikazani rezultati apsorpcije poliuretanskih pena dopremljenih iz fabrike „Vapeks“ u Čačku. Ovi materijali se trenutno koriste u industriji za potrebe oblaganja i tapciranja različitih delova nameštaja. Cilj ovog rada je da ispita njihova svojstva u pogledu apsorpcionih osobina i, shodno tome, mogućnost njihove primene u elektroakustici.

II. POSTUPAK MERENJA

Merenje apsorpcije poliuretanskih pena izvršeno je u impedansnoj cevi primenom metoda prenosne funkcije između mikrofona, koji je opisan ISO standardom [1]. Aparatura za merenje apsorpcije sastoji se od modifikovane Kuntove cevi koja je ranije služila za merenje apsorpcije metodom stojećeg talasa. Šematski prikaz postavke sistema za merenje koeficijenta apsorpcije dat je na Sl. 1.

Korišćeni mikrofoni imaju prečnik 7 mm i montirani su u kućište, koje se preko navoja napravljenog od mesinga, montira u cev. U realizovanom sistemu potpuno iskorišćenje

radnog opsega cevi postignuto je kombinovanjem dve pozicije mikrofona, odnosno mikrofonskog para. To su pozicije 2 i 3, odnosno 3 i 4, naznačene na Sl. 1. Radni opseg cevi definisan je dimenzijama cevi (veličinom prečnika) i rastojanjem između mikrofona, a korišćena aparatura daje rezultate koji su validni u opsegu (107-1940) Hz [2].



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

Ispitivani materijali dati su u Tabeli I. Naziv materijala (poliuretanske pene) sastoji se od inicijala i četvorocifrenog broja, koje je proizvođač dodelio na osnovu određenih svojstava materijala i njegove primene u industriji [3].

TABELA I
ISPITIVANI MATERIJALI

Materijal (Tip pene)	ISO 845 gustina $\text{kg/m}^3 \pm 5\%$	ISO 3386 tvrdoća $\text{kPa} \pm 15\%$
HR 4035	40	3,5
HR 3744	37	4,4
HR 3536	35	3,6
HR 2514	25	1,4
S 3038	30	3,8
S 2535	25	3,5
S 2026	20	2,6
T 3545	35	4,5
T 2036	20	3,6
ES 3234	32	3,4

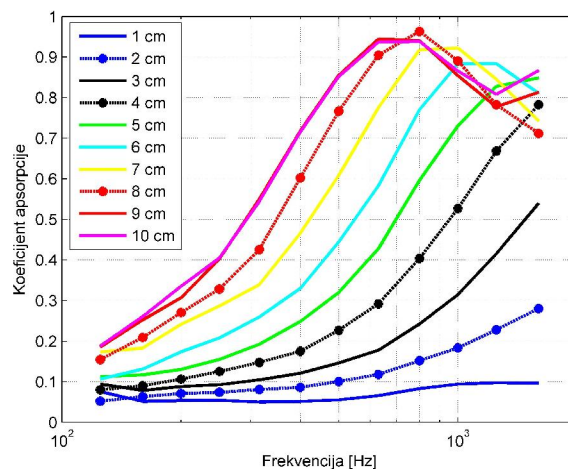
Mereno je ukupno deset materijala koji su predstavnici četiri vrste pena: HR, S, T i TS. Od svakog materijala na raspolaganju je bilo deset uzoraka različite debljine (od 1 cm do 10 cm), sto daje ukupno 100 izmerenih uzoraka. Svaki uzorak je kružnog poprečnog prečnika koji odgovara dimenzijama cevi i iznosi 10 cm. Na Sl. 2 prikazani su korišćeni uzorci debljine 5 cm svih 10 materijala koji su mereni.



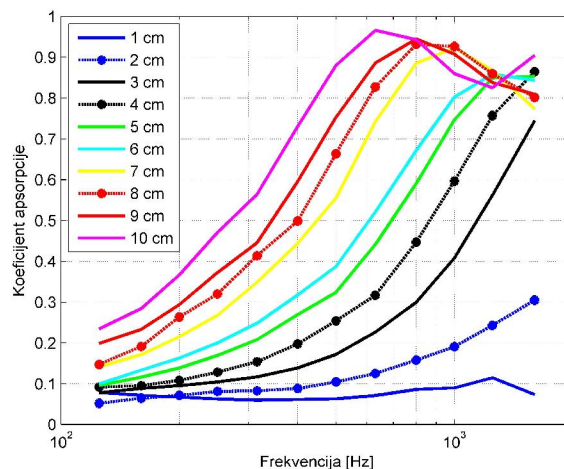
Sl. 2. Ispitivani materijali (uzorci debljine 5 cm).

III. REZULTATI MERENJA I DISKUSIJA

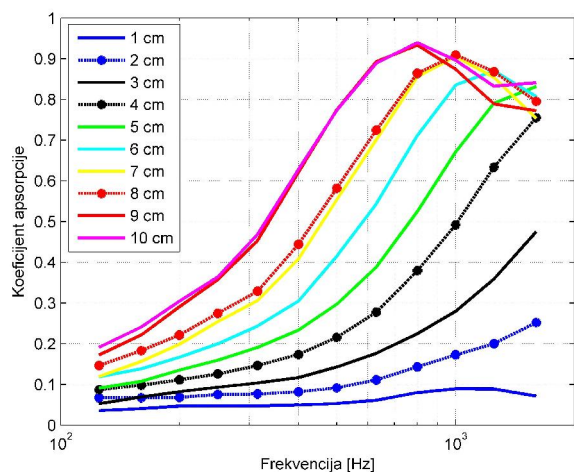
U ovom delu rada prikazani su rezultati merenja koeficijenta apsorpcije materijala. Za svih deset uzoraka različite debljine svakog materijala prikazan je koeficijent apsorpcije po tercama u radnom opsegu cevi (Sl. 3 – Sl. 12).



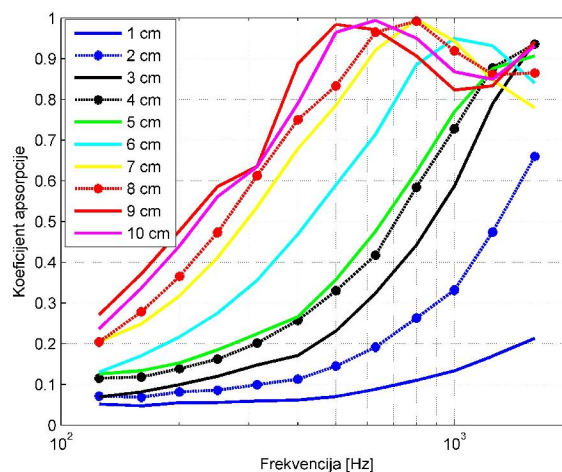
Sl. 3. Koeficijent apsorpcije materijala HR 4035 za različite debljine uzoraka.



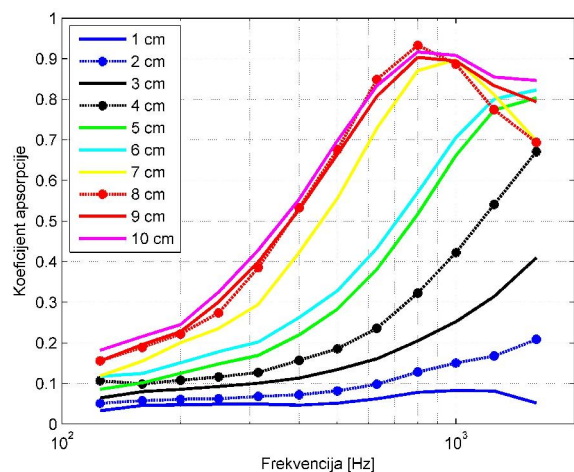
Sl. 4. Koeficijent apsorpcije materijala HR 3744 za različite debljine uzoraka.



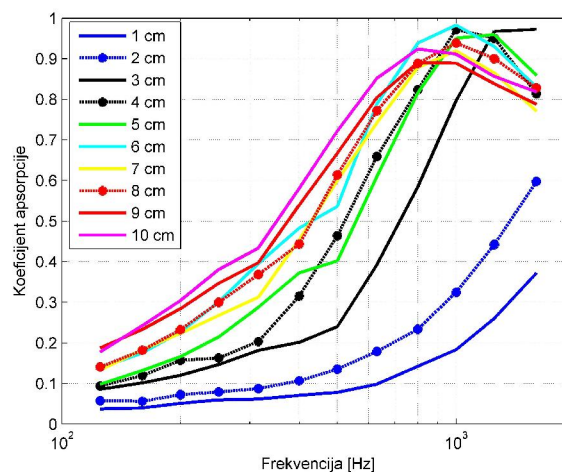
Sl. 5. Koeficijent apsorpcije materijala HR 3536 za različite debljine uzoraka.



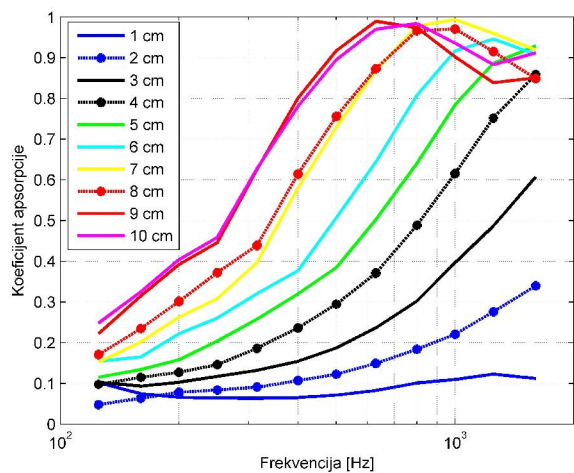
Sl. 8. Koeficijent apsorpcije materijala S 2535 za različite debljine uzoraka.



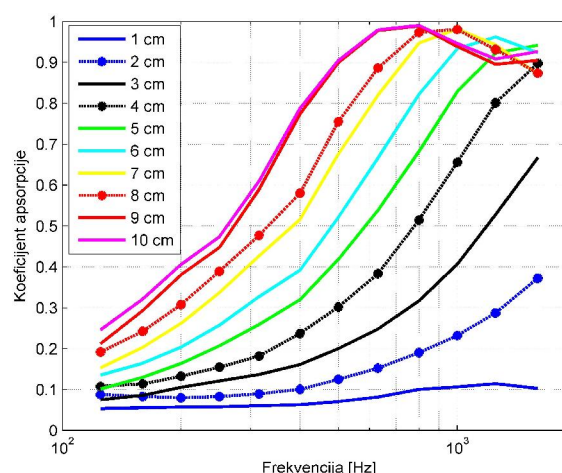
Sl. 6. Koeficijent apsorpcije materijala HR 2514 za različite debljine uzoraka.



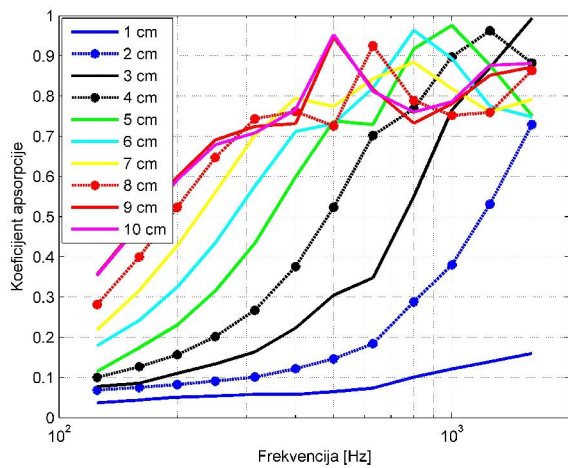
Sl. 9. Koeficijent apsorpcije materijala S 2026 za različite debljine uzoraka.



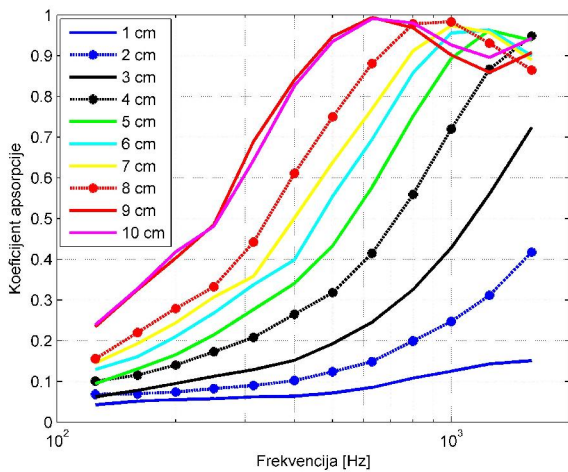
Sl. 7. Koeficijent apsorpcije materijala S 3038 za različite debljine uzoraka.



Sl. 10. Koeficijent apsorpcije materijala T 3545 za različite debljine uzoraka.



Sl. 11. Koeficijent apsorpcije materijala T 2036 za različite debljine uzoraka.



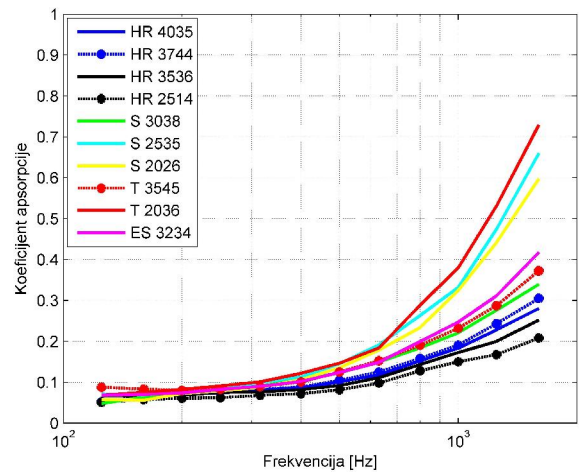
Sl. 12. Koeficijent apsorpcije materijala ES 3234 za različite debljine uzoraka.

Sa prethodnih grafika uočava se da sa porastom debljine materijala raste i koeficijent apsorpcije, uz istovremeno pomeranje maksimalnih vrednosti ka nižim frekvencijama. Takođe, za većinu materijala praktično ne postoji značajna razlika za debljine uzoraka od 9 cm i 10 cm. Za ostale debljine uzoraka apsorpciona kriva se realitvno pravilno raspoređuje sa porastom debljine, osim kod S 2026, kod koga se ove krive prepliću u opsegu od 600 Hz do 900 Hz i praktično nema velike razlike u apsorpciji za debljine iznad 5 cm. Primećuje se i da koeficijent apsorpcije materijala T 2036 na debljinama iznad 4 cm ima određene pikove, što odstupa od oblika krivih za ostale materijale. To može biti posledica specifičnosti strukture materijala i načina na koji su realizovane šupljine unutar samog materijala.

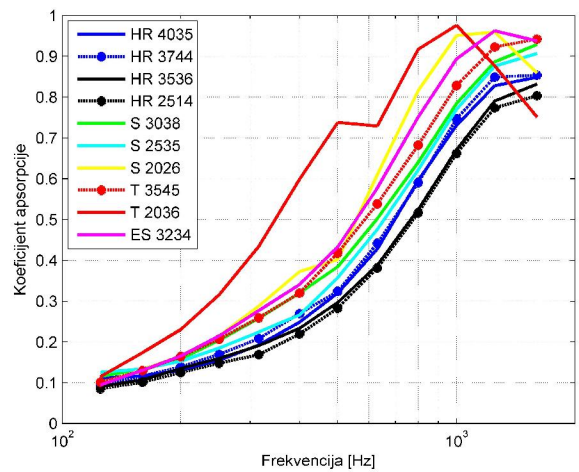
Na narednim slikama (Sl. 13, Sl. 14 i Sl. 15) uporedno su prikazani rezultati apsorpcije različitih materijala iste debljine uzoraka (2 cm, 5 cm i 8 cm, respektivno).

Primećuje se da postoji slijanje oblika krive apsorpcije različitih materijala za istu debljinu uzoraka. Razlike u koeficijentu apsorpcije su nešto izraženije sa porastom frekvencije. Takođe, uočava se da vrednosti apsorpcije

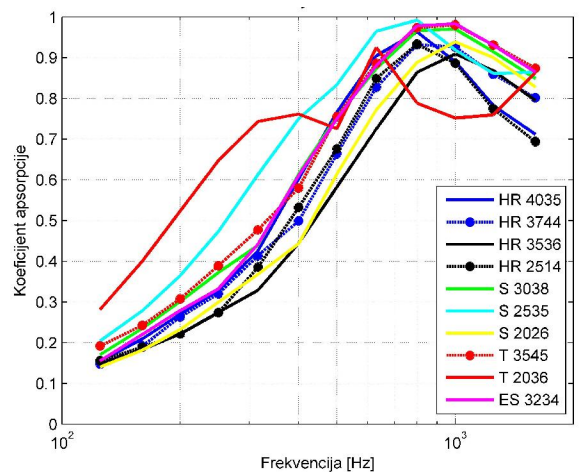
materijala T 2036 odstupaju od ostalih, kao i na prethodnim graficima.



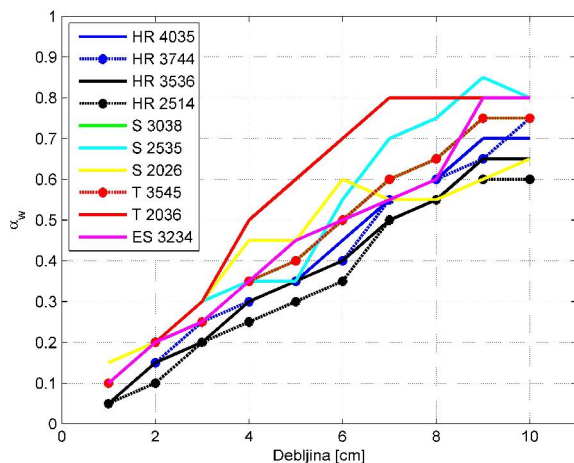
Sl. 13. Koeficijent apsorpcije ispitivanih materijala za uzorke debljine 2 cm.



Sl. 14. Koeficijent apsorpcije ispitivanih materijala za uzorke debljine 5 cm.



Sl. 15. Koeficijent apsorpcije ispitivanih materijala za uzorke debljine 8 cm.



Sl. 16. Težinski koeficijent apsorpcije ispitivanih materijala za različite debljine uzoraka.

Na Sl. 16 prikazan je težinski koeficijent apsorpcije ispitivanih materijala. Ovaj koeficijent, u oznaci α_w , predstavlja jednobrojnu vrednost apsorpcije materijala i često se daje kao kataloški podatak od strane proizvođača. Sa grafika se vidi da vrednosti ovog koeficijenta srazmerno rastu sa porastom debljine uzoraka materijala sve do debljine od 9 cm, dok je za većinu materijala vrednost težinskog koeficijenta apsorpcije ista za debljine uzoraka od 9 cm i 10 cm. Takođe, interesantno je primetiti da se vrednosti α_w za dva materijala preklapaju, i to za S 3038 i T 3545.

IV. ZAKLJUČAK

U radu su ispitane apsorpcione mogućnosti uzoraka poliuretanskih pena koje proizvodi fabrika „Vapeks“ u Čačku. Na osnovu izmerenih koeficijenata apsorpcije može se zaključiti da ispitivani uzorci poliuretanskih pena pokazuju veoma dobra apsorpciona svojstva u ispitivanom opsegu frekvencija. Takođe, dobijeni rezultati apsorpcije su uporedivi sa vrednostima koje imaju apsorberi u komercijalnoj upotrebi [4], što otvara mogućnosti primene poliuretanskih pena u oblasti elektroakustike. Sledeći korak u ispitivanju apsorpcionih svojstava ovih materijala predstavlja merenje apsorpcije primenom standarda ISO 354:2003 (metod reverberacione komore), koji bi trebalo da upotpini rezultate

dobijene merenjem u impedansnoj cevi i pruži informacije o ponašanju poliuretanskih pena u difuznom zvučnom polju.

LITERATURA

- [1] *Acoustics - determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 2: transfer function method*, ISO 10534-2, 1998.
- [2] I. Ristanović, M. Mijić, "Jedna realizacija sistema za merenje koeficijenta apsorpcije sa impedansnom cevi", ETRAN, Vrnjačka banja, jun 2014, Zbornik radova, AK 3.5, ISBN: 978-86-80509-70-9, 2014.
- [3] <http://www.vapeks.rs/aplikacije-u-industriji>
- [4] 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
- [5] http://www.amfgrafenau.de/index.php?PHPSESSID=kl0o98di19v82tmpprtmfau1&l=2&maincatid=1002&subcatid=369&mode=listarticles&ipage=detai_obf&subid=2&subid2=219&prodinfo=1&akustik=1&maincatid=1002&fmaincatid=1002&

ABSTRACT

Polyurethane foam is a material used in various fields of production and materials application. As far as the acoustic is concerned, it belongs to porous materials, and since it is a relatively cheap raw material, it may be of interest to examine their properties in terms of absorption. This paper presents an overview of the absorption results of different kind of foams, taken from the factory "Vapeks" in Čacak. There were 10 different samples of materials, and each of them had different composition and density. There were 10 pieces of various thickness, which varied from 1 cm to 10 cm, and the step was 1 cm. Measurements were made in impedance tube using the ISO 10534-2 standard. Absorption coefficient results correspond to the conditions of normal incidence, and they are valid in the frequency range depending on the tube dimension. The used tube provides results in a frequency range from 200 Hz to 2 kHz. The paper discusses the importance of the results from the aspect of the application of polyurethane foam as sound absorber in the field of electroacoustics as well.

The influence of the thickness of the polyurethane foam to their absorption characteristics in terms of their application in electroacoustics

Ivana Ristanović, Anja Grumić, Milan Stikić,
Branko Radičević