

MASURAREA PROPRIETATILOR CARACTERISTICE MATERIALELOR FONOAORBANTE PRIN FOLOSIREA METODEI CELOR DOUA SURSE

Nicolae FÂNTÂNA*, Tudor MITRAN*

*Universitatea din Oradea

ABSTRACT

The two-source method was used to measure the bulk properties (complex characteristic impedance and complex wavenumber) of sound-absorbing materials, and results were compared to those obtained with the more commonly used two-cavity method.

1 Introducere

Materialele fonoabsorbante sunt folosite în industrie pentru a reduce zgomotul. În mod normal, coeficientul absorbției sunetelor și impedanța suprafeței sunt folosite la caracterizarea materialelor de absorbție a sunetelor și sunt suficiente pentru multe aplicații.

Aceste proprietăți pot fi măsurate folosind metoda celor două surse (microfoane), numai dacă o mostră a densității potrivite este la îndemână (disponibilă). Totuși cunoașterea proprietăților caracteristice ne furnizează informațiile necesare prezicerii proprietăților de absorbție a materialelor cu densitate arbitrară, dar și a materialelor stratificate. Mai mult, proprietățile caracteristice mult mai potrivite modelelor cu calcule a componentelor de absorbție ca și etalon sau secțiunile dense a materialelor de absorbție a sunetelor. Această lucrare se va concentra pe folosirea metodei celor două surse pentru a măsura proprietățile de absorbție și apoi se analizează câteva aplicații.

Un material omogen și poros poate fi descris din punctul de vedere al proprietăților caracteristice. Aceste proprietăți sunt formate din impedanțe caracteristice complexe și din lungimi de undă complexe.

Un mod de a obține proprietățile caracteristice este folosirea unei prognoze empirice sau semi-empirice bazată pe o analiză de regresie a datelor măsurate. Totuși acuratețea depinde de cât de similar este materialul în chestiune (analizat) cu materialul care s-a folosit la dezvoltarea ecuațiilor.

Un alt mod de a obține proprietățile caracteristice este o măsurare experimentală. Au fost folosite mai multe metode. Multe dintre ele leagă proprietățile dimensiunii de impedanța suprafeței măsurate. Două astfel de metode sunt metodele celor două surse și metoda celor două cavități. Metodele celor două cavități este cea mai ușoară deoarece avem nevoie doar de o mostră. Trebuie să spunem că o metodă îmbunătățită a celor două cavități a fost folosită cu o măsurătoare tehnică îmbunătățită.

O a doua metodă de măsurare a proprietăților caracteristice, care va fi prezentată în acest referat este metoda celor două surse. Această metodă s-a folosit de metoda de transfer a matricelor. Pe scurt, un element acustic ca și amortizorul de zgomot, sau o parte a materialului de absorbție poate fi descris de așa numiții parametri cu 4 poli care presupune propagarea undelor plane. Acești parametri se pot calcula de la măsurătorile microfonului.

Sistemul experimental implică folosirea celor 2 surse și măsurători la 4 locații ale microfoanelor. Sang și Bolton au propus o metodă similară folosind o singură sursă și o terminare aproximativ anecoidă (nu are ecou). Totuși în referatul de față se folosesc două surse pentru că o bună terminare anecoidă este greu de construit.

Odată ce proprietățile caracteristice au fost obținute, coeficientul de absorbție și impedanța suprafeței cu densitatea arbitrară sau cu o adâncime spațială arbitrară pot fi prezise, proprietățile

de absorbție a materialelor din straturi (stratificate) se pot calcula folosind metoda transferului matricei, o analiza numerică cu materiale dimensionate poate fi făcută ulterior.

În acest referat, metoda celor două surse este comparată cu metoda celor două cavități pentru măsurarea proprietăților dimensiunii ale unui material absorbant. La început este prezentată teoria pentru fiecare metodă, urmată de exemple care arată diferențele între cele 2 metode. Rezultatele din metoda celor 2 surse sunt folosite în mai multe aplicații.

1.2 Măsurarea caracteristicilor materialelor fonoabsorbante

1. Metoda celor 2 cavități

O schema ce arată organizarea experimentală pentru metoda celor 2 cavități este prezentată în figura 1. Două teste separate sunt făcute în conformitate cu ASTM E 1050-98 [1], iar lungimea cavității din spatele mostrei este schimbată la fiecare test. Impedanțele suprafeței Z1 și Z2 sunt măsurate cu două cavități de aer având lungimea L și L'. Lungimea cavității poate fi schimbată prin mutarea unui piston de-a lungul impedanței tubului. Apoi o lungime de undă complexă K' și o impedanță caracteristică complexă Zc poate deriva din teoria undelor plane și poate fi exprimată ca:

$$Z_c = \pm \sqrt{\frac{z_1 z_1' (z_2 - z_2') - z_2 z_2' (z_1 - z_1')}{(z_2 - z_2') - (z_1 - z_1')}} \quad (1)$$

$$k' = \left(\frac{1}{2jd} \right) \ln \left(\frac{(z_1 + z_c)(z_2 - z_c)}{(z_1 - z_c)(z_2 + z_c)} \right) \quad (2)$$

unde:

$$z_2 = -jz_0 \cot(kL), \text{ și } z_2' = -jz_0 \cot(kL') \quad (3)$$

Semnul în ecuația (1) este selectat în așa fel încât partea Zc să rămână pozitivă. Z1 și Z1' sunt impedanțe măsurate pentru lungimile cavității de aer a L și respective L', Z2 și Z2' sunt impedanțele cavităților de aer a lungimilor L și L', d este densitatea mostrei, Z0 este impedanța caracteristică a aerului, K este lungimea de undă.

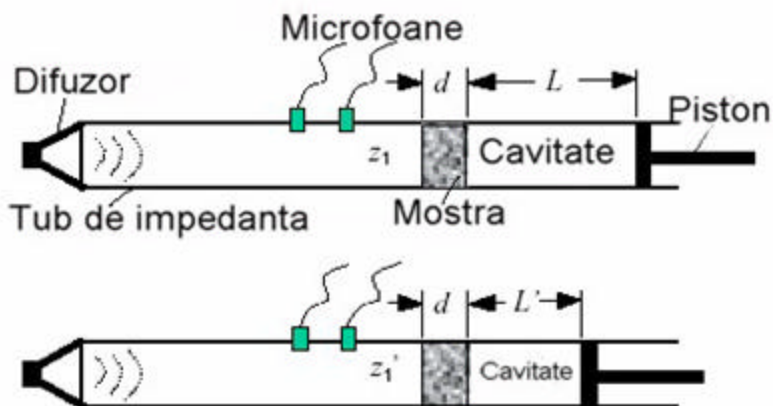


Figura 1 Analiza metodei celor doua cavitati

Pentru cele 2 situatii masurate, diferenta între L si L', determina frecventa limitei superioare f_u a masuratorii.

$$f_u = \frac{c}{2(L - L')} \quad (4)$$

Odata ce impedanta caracteristica complexa si lungimea de unda complexa sunt obtinute, viteza complexa a sunetului C_c si densitatea complexa P_c pentru materialele de absorbtie a sunetelor

se gasesc din:
$$C_c = \frac{W}{k'} \text{ si } P_c = \frac{z_c}{c_c} \quad (5)$$

Unde ? este frecventa unghiulara.

2. Metoda celor 2 surse

Se bazeaza pe apropierea transferului de matrice. Un element acustic se modeleaza dupa parametrii cu 4 poli care descrie presiunea sunetului si viteza particulei de fiecare parte a materialului absorbant. (ilustrat în figura 2). Matricea transferata poate fi exprimata ca:

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ v_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_2 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

unde P_1 si P_2 sunt amplitudinile presiunii sunetului, V_1 si V_2 sunt amplitudinile vitezei particulei, iar A,B,C,D sunt parametrii cu 4 poli ai sistemului.

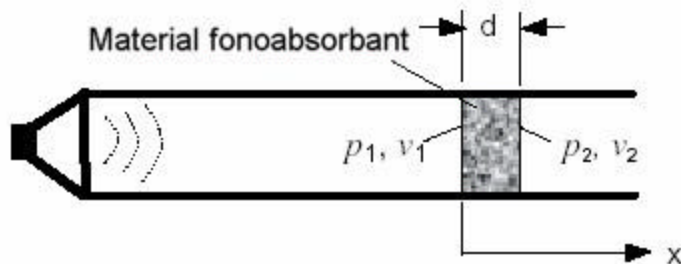


Figura 2. Cei 4 poli:

Când folosim metoda celor 2 surse, sursa sunetului trebuie plasata în fiecare din cele 2 configuratii (a si b), cum am aratat în figura 3.

Organizarea experimentală poate fi aranjata din 3 elemente distincte.

Un element sa fie plasat între locatiile fiecarui microfon. Astfel, tubul este facut din elementele 1-2, 2-3 si 3-4. elementul 2-3 poate fi împartit mai departe în 3 sub-elemente: sub-elementul 2-5, 5-6 si 6-3.

Rezolvând ecuatiile pentru elemente diferite, parametrii cu 4 poli pentru elementul 2-3 poate fi scris ca:

$$A_{23} = \frac{\Delta_{34}(H_{32a}H_{34a} - H_{32b}H_{34b}) + D_{34}(H_{32b} - H_{32a})}{\Delta_{34}(H_{34b} - H_{34a})} \quad (7)$$

$$B_{23} = \frac{B_{34}(H_{32a} - H_{32b})}{\Delta_{34}(H_{34b} - H_{34a})} \quad (8)$$

$$C_{23} = \frac{(H_{34a} - A_{12}H_{32a})(\Delta_{34}H_{34b} - D_{34}) - (H_{34b} - A_{12}H_{32b})(\Delta_{34}H_{34a} - D_{34})}{B_{12}\Delta_{34}(H_{34b} - H_{34a})} \quad (9)$$

$$D_{23} = \frac{B_{34}(H_{31a} - H_{31b}) - A_{12}(H_{32b} - H_{32a})}{B_{12}\Delta_{34}(H_{34b} - H_{34a})} \quad (10)$$

unde a si b se refera la Configuratiile a si b din Figura 3 respectiv $H_y = p_j/p_i$; $\Delta_{12} = A_{12}D_{12} - B_{12}C_{12}$; $\Delta_{34} = A_{34}D_{34} - B_{34}C_{34}$.
Cei 4 poli pentru elementele 1-2 si 3-4 sunt:

$$\begin{bmatrix} A_{12} & B_{12} \\ C_{12} & D_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos kl_{12} & jrc \sin kl_{12} \\ j \sin kl_{12} / (rc) & \cos kl_{12} \end{bmatrix} \quad ?_{12} = 1 \quad (11)$$

si

$$\begin{bmatrix} A_{34} & B_{34} \\ C_{34} & D_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos kl_{34} & jrc \sin kl_{34} \\ j \sin kl_{34} / (rc) & \cos kl_{34} \end{bmatrix} \quad ?_{34} = 1 \quad (12)$$

În ecuatiile (11)-(12), l_{12} si l_{34} sunt interpretarea microfoanelor pentru elementele 1-2 si 3-4.

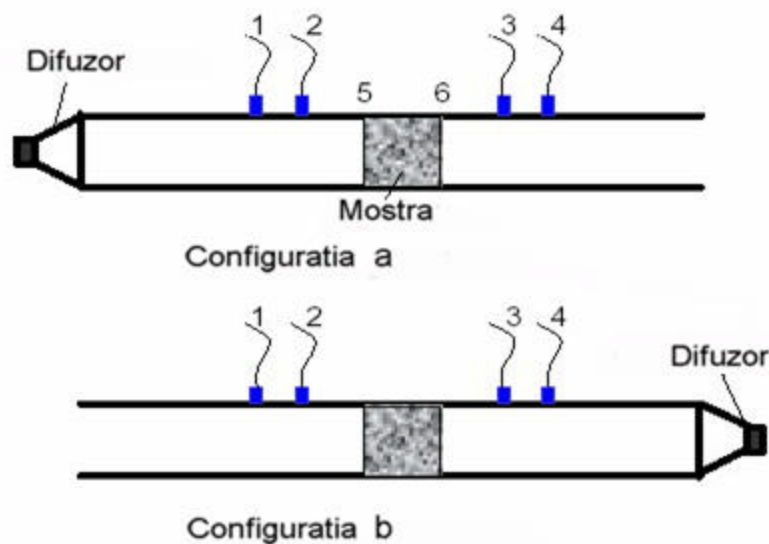


Figura 3: Analiza metodei celor 2 surse.

Trebuie sa mentionam ca metoda celor 2 surse poate fi implementata utilizând doar 2 microfoane. Putem obtine toate functiile de transfer necesare H_y , prin mutarea unui microfon si folosindu-l pe celalalt ca referinta. Este posibil si sa întoarcem mostra, lucru ce poate fi mai usor de facut decât sa mutam sursa de sunet. De obicei se foloseste o excitatie normala.

Trebuie sa ne amintim ca elementul 2-3 poate fi exprimat prin intermediul sub-elementelor 2-5, 5-6,6-3. Matricea cu 4 poli pentru elementul 2-3 poate fi exprimat asa:

$$\begin{bmatrix} A_{23} & B_{23} \\ C_{23} & D_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{25} & B_{25} \\ C_{25} & D_{25} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{56} & B_{56} \\ C_{56} & D_{56} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{63} & B_{63} \\ C_{63} & D_{63} \end{bmatrix} \quad (13)$$

iar parametrii cu 4 poli ai materialului absorbant s-au obtinut prin:

$$\begin{bmatrix} A_{56} & B_{56} \\ C_{56} & D_{56} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{25} & B_{25} \\ C_{25} & D_{25} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A_{23} & B_{23} \\ C_{23} & D_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{63} & B_{63} \\ C_{63} & D_{63} \end{bmatrix}^{-1} \quad (14)$$

Parametrii cu 4 poli ai elementului 2-5 si 6-3 ai tubului drept pot fi obtinuti prin formule ca si cele aratate în ecuatiile (11) (12).

Daca parametrii cu 4 poli ai materialului de absorbtie a sunetului poate fi exprimat prin:

$$\begin{bmatrix} A_{56} & B_{56} \\ C_{56} & D_{56} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(k'd) & jz_c \sin(k'd) \\ j\sin(k'd)/z_c & \cos(k'd) \end{bmatrix}$$

proprietatile caracteristice pot fi gasite în parametrii cu 4 poli. Lungimea de unda complexa si impedanta caracteristica complexa se poate calcula prin:

$$k' = \frac{1}{d} \cos^{-1} A_{56} \quad (16)$$

$$z_c = \sqrt{B_{56}/C_{56}} \quad (17)$$

Figura 4 si 5 arata marimea k' si z_c , pentru un material absorbant din poliester folosind cele 2 metode. Amândoua metodele se aseamana pentru acest material care are absorbtie mare.

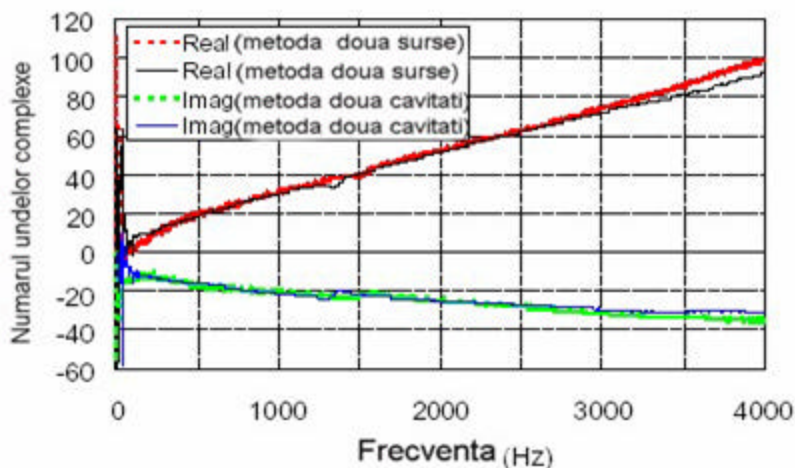


Figura 4 Lungimea de unda complexa masurata a materialului din poliester

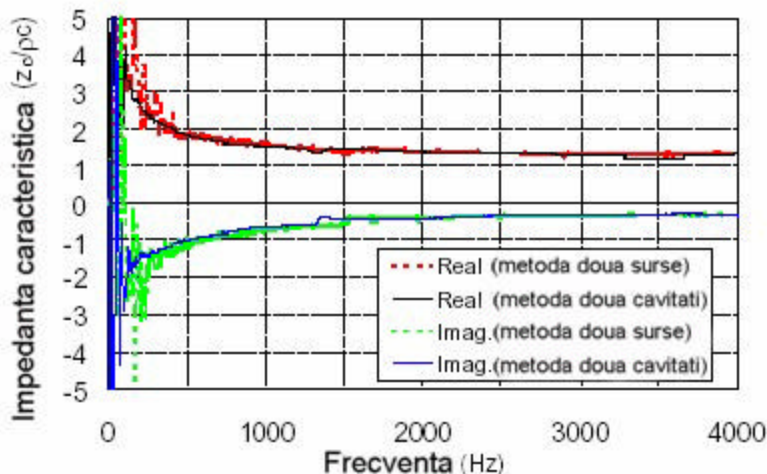


Figura 5_Impedanta caracteristica complexa masurata a materialului de poliester.

Figura 6 arata lungimea de unda complexa masurata pentru un material care nu are absorbtie mare (coeficientul de absorbtie este sub 0,4 la 4000 Hz). Figura indica faptul ca mai multe rezultate potrivite sunt obtinute folosind metoda celor 2 surse.

O absorbtie mica sugereaza ca materialul va reflecta cea mai mare parte a sunetului, de vreme ce sunetul este reflectat, schimbarea lungimii tubului nu are mare efect pe suprafata impedantei masurate si astfel proprietatea dimensiunii calculate care a folosit metoda celor 2 cavitati prezinta incertitudini mari.

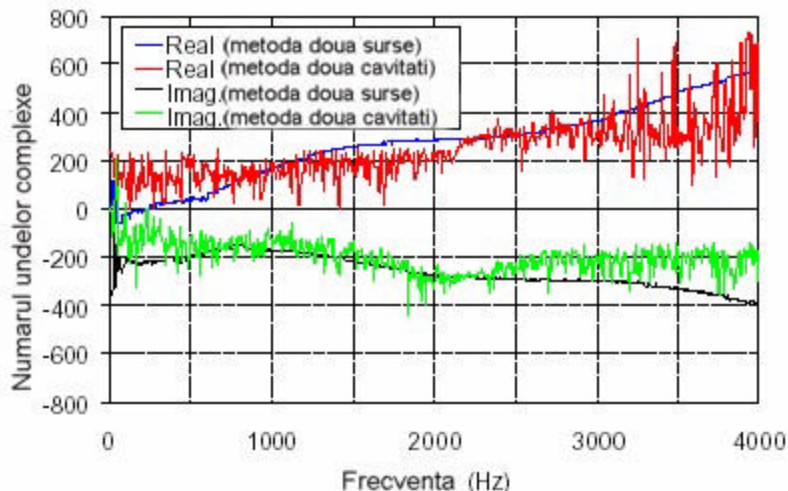


Figura 6. Lungimea de unda complexa masurata a materialului neabsorbant (slab absorbant). Verificare:

Acuratetea k' si z_c masurate poate fi verificata comparând coeficientul de absorbtie masurat sau impedanta suprafetei cu cele calculate folosind k' si z_c pentru nici o lipsa de aer dincolo de mostra, de ex $L=0$. Impedanta suprafetei z_{in} pentru o densitate d a materialului în fata unei suprafete rigide este:

$$z_{in} / \rho c = -jz_c \cot(k'd) / \rho c = r' + jx' \quad (18)$$

iar coeficientul de absorbtie $a(\theta)$ pentru orice unghi al incidentei θ poate fi obtinut din:

$$a(f) = \frac{4r \cos f}{(1 + r' \cos f)^2 + (x' \cos f)^2} \quad (19)$$

Figura 7 arata compunerea unui coeficient de absorbtie calculat si masurat pentru o mostra de 1 inch=2,54 cm. Poliester gros cu incidenta normala ($\theta=0$). Rezultatele masurate si calculate se potrivesc foarte bine, sugerând ca k' si z_c masurate sunt sigure.

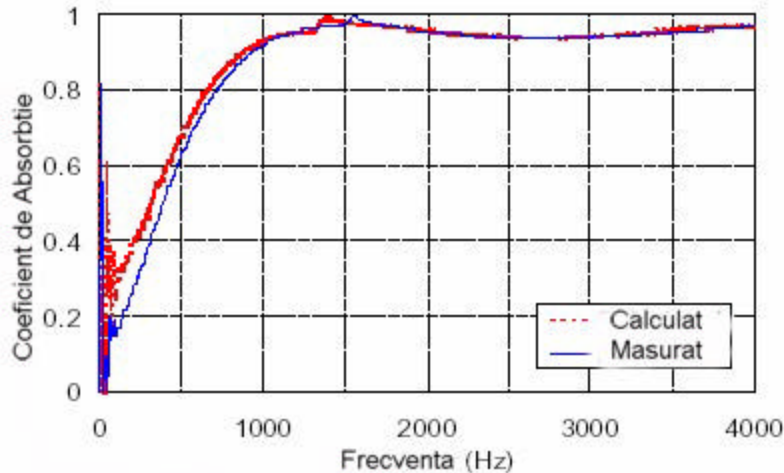


Figura 7_Comparatia coeficientului de absorbtie calculat vs. masurat pentru $\theta=0$

3. CONCLUZII

În acest referat am prezentat masurarea caracteristicilor materialelor fonoabsorbante. Au fost comparate metodele celor doua cavitati si a celor doua surse, iar rezultatele indica faptul ca amândoua metodele pot fi utilizate pentru masurarea caracteristicilor unui material fonoabsorbant. Chiar daca metoda celor 2 cavitati este usor de folosit, metoda celor 2 surse se potrivește mai bine materialelor care au o absorbtie mai mica.

4. BIBLIOGRAFIE:

1. BRÎNDEU L.- Vibratii si vibropercutii „Bazele mecanicii vibratiilor si vibropercutiilor” Ed. Politehnica Timisoara 2001.
2. BRÎNDEU L.- Vibratii si vibropercutii „Metode si dezvoltari analitice” Ed. Politehnica Timisoara 2005.
3. DARABONT A. s.a.-, Combaterea poluarii sonore si a vibratiilor” Ed. Tehnica Bucuresti 1980.
4. GAFITEANU M. s.a.. „Diagnosticarea vibroacustica a masinilor si utilajelor” Ed. Tehnica Bucuresti 1989.
5. GAFITEANU M. s.a. „Vibratii si zgomote” Ed. Junimea 1980.
6. A.F.SEBERT s.a. ,, Vehicle noise and vibration ,,Editet by Challen B. 2004.