

ELEMENTE DE CALCUL A EFICIENȚEI TRATAMENTELOR ACUSTICE CU MATERIALE COMPOZITE FONOAORSBANTE PENTRU CABINELE UTILAJELOR TEHNOLOGICE MOBILE

CALCULUS ELEMENTS OF THE EFFICIENCY OF ACOUSTIC TREATMENTS WITH SOUND ABSORPTION COMPOSITE MATERIALS FOR THE CABINS OF THE MOBILE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Nicușor DRĂGAN¹

¹Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați, Facultatea de Inginerie și Agronomie din Brăila, Romania
Centrul de Cercetare Mecanica Mașinilor și Echipamentelor Tehnologice - MECMET
e-mail: ndragan@ugal.ro

Rezumat: Această lucrare prezintă problema testării unor materiale compozite multistrat care pot absorbi simultan zgomotele de frecvențe medii și mari și au calități bune de izolare a zgomotului de frecvențe joase. În același timp, aceste structuri macrocompozite au proprietăți antivibratle și pot combate zgomotul structural. Articolul prezintă, de asemenea, un studiu de caz privind coeficientul de reducere a nivelului global al zgomotului și precum și coeficientul mediu de absorbție α din cabina încărcătorului frontal MMT45. Cercetarea experimentală și studiul de caz au fost efectuate în Centrul de Cercetare Mecanica Mașinilor și Echipamentelor Tehnologice - MECMET cu ajutorul specialiștilor Laboratorului de Vibrații și Măsurători Acustice din cadrul Institutului de Cercetări pentru Echipamente și Tehnologii în Construcții - ICECON S.A. București.

Cuvinte cheie: materiale macrocompozite, nivel global de zgomot, echipamente tehnologice mobile pentru construcții

Abstract: This article presents the problem of experimental testing of some protective composite materials which can simultaneously absorb the middle and high range frequencies noise and insulates low frequencies noise. At the same time, these materials can damp the vibrations, in order to avoid noise transmission by structure. The article also presents a case study regarding the global level noise reduction and absorption coefficient α inside the cabin of the Romanian frontal loader MMT45. The experimental research and the case study were made in the Research Center of Machines, Mechanic and Technological Equipments – MECMET with the help of specialists from Vibration and Acoustic Laboratory of the Research Institute for Construction Equipment and Technology - ICECON S.A. from Bucharest.

Keywords: macrocomposite materials, global noise level, mobile public works equipment

1. INTRODUCERE. MATERIALE COMPOZITE FONOAORSBANTE

Obiectivul punerii în operă a tratamentelor acustice și antivibratle la cabinele utilajelor tehnologice pentru construcții este acela de-a reduce nivelul global al zgomotului și al vibrațiilor transmise operatorului uman. Aceste deziderate pot fi realizate simultan și pe toată gama de frecvențe numai dacă se utilizează structuri de materiale de tip sandwich care

conțin cel puțin un strat de material poros cu caracteristici fonoabsorbante (pentru zgomotul cu frecvențe medii și înalte), un strat de material cu masă specifică ridicată care să aibe proprietăți fonoizolatoare (a zgomotului cu frecvențe joase), precum și un strat de material cu proprietăți de amortizare a vibrațiilor și zgomotului structural.

Dacă se au în vedere caracteristicile sonore ale utilajelor tehnologice de construcții din România [1], precum și prevederile legale ale Uniunii Europene [2] [3] [4] și cele naționale [5], caracteristicile și performanțele tratamentelor acustice ce trebuie aplicate cabinelor utilajelor tehnologice trebuie să aibe valorile conform tabelului 1.

Tabelul 1

Cerințe de performanță pentru structurile compozite

Parametru acustic	Simbol	U.M.	Frecvență [Hz]	
			400-1000	1000-4000
Coefficient de absorbție acustică	α	-	0,05÷0,20	0,20÷0,50
Atenuare sonoră	ΔL	dB	10÷20	20÷30

2. ELEMENTE DE CALCUL ALE EFICIENȚEI TRATAMENTELOR ACUSTICE ÎN INTERIORUL CABINELOR UTILAJELOR TEHNOLOGICE

Conform [6] [7], principalele caracteristici acustice ale cabinelor utilajelor tehnologice autopropulsate sunt: suprafața echivalentă fonoabsorbantă A [m²], coeficientul mediu de absorbție a zgomotului α_{med} și reducerea nivelului global de zgomot în cabină ΔL [dB].

Suprafața echivalentă fonoabsorbantă poate fi calculată cu relația

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i, \quad (1)$$

unde: S_i este suprafața cu/fără tratament fonoabsorbant i

α_i - coeficientul de absorbție fonică a suprafeței S_i .

Relația de calcul a coeficientului mediu de absorbție α_{med} al cabinei este după cum urmează:

$$\alpha_{med} = \frac{\sum \alpha_i S_i}{\sum S_i} \quad (2)$$

Reducerea nivelului global de zgomot din cabină ΔL se calculează cu relația

$$\Delta L = 10 \lg \frac{A}{A_0}, \quad (3)$$

unde: A este suprafața echivalentă de absorbție acustică după aplicarea tratamentului acustic
 A_0 - suprafața echivalentă de absorbție acustică fără tratament acustic.

3. STRUCTURI COMPOZITE FONOAORSORBANTE

Proiectul de cercetare științifică și inovare cu titlul “Sisteme de protecție în concepție modulară din materiale compozite fonoabsorbante și fonoizolante pentru mașini de construcții”, realizat în cadrul programului V “Inovare” [8], propune câteva tipuri de materiale de bază (tabel 2) și structuri din materiale compozite (tabel 3) ce pot fi utilizate pentru tratamentele acustice ale cabinelor utilajelor tehnologice mobile.

Tabelul 2

Proprietățile mecanice ale materialelor de bază

Material	Descriere	Structură	Gros. [mm]	Dens. [kg/m ³]
PC10	Plută	macrocompozită	1	0,360
PC30	Plută	macrocompozită	3	1,200
PST5	Polistiren	Spumă de joasă densitate cu pori închiși	0,5	0,060
PST10	Polistiren	Spumă de joasă densitate cu pori închiși	1	0,130
PST20	Polistiren	Spumă de joasă densitate cu pori închiși	2	0,250
PSTM5	Polistiren	Spumă de joasă densitate cu pori închiși + folie Al	0,5	0,240
PVC8	Polivinil (PVC)	Folie de densitate ridicată	0,8	1,120
PVC10	Polivinil (PVC)	Folie de densitate ridicată	1	1,400
PVCT10	Polivinil (PVC)	Folie de densitate medie + inserție textilă	1	1,150
PVC15	Polivinil (PVC)	Folie de densitate medie + suport de bază celulozic	1,5	1,650
PES20	Poliester	Spumă de joasă densitate cu pori deschiși	2	0,600
PES50	Poliester	Spumă de joasă densitate cu pori deschiși	5	1,500
PESM40	Poliester	Spumă de joasă densitate cu pori deschiși + folie Al	4	1,250
PESMV150	Poliester	Spumă cu pori deschiși + folie Al + inserție textilă	15	4,500
MTT20	Textil țesut	Textil țesut + latex	2	2,300

Tabelul 3

Stratificația materialelor compozite

Denumire	Structură
SCFF1	PVC10+PC30
SCFF2	PVC10+PC30+MTT20
SCFF3	PVCT10+PC30+PESMV150
SCFF4	PVC15+PC10+MTT20
SCFF5	PVC10+PC30+PES20+MTT20
SCFF6	PVC10+PC30+PES50+MTT20
SCFF7	PVC10+PC30+PESM40+MTT20
SCFF8	PVC10+PC30+PESMV150+MTT20
SCFF9	PVC15+PC10+PESM40+MTT20
SCFF10	PVCT10+PC10+PES50+MTT20
SCFF11	PVCT10+PES20+PES50+PESMV150
SCFF12	PVC15+PC10+PESMV150+MTT20
SCFF13	PVC8+PES20+PES50+MTT20
SCFF14	PVC8+PC10+PES20+PES50+MTT20
SCFF15	PVCT10+PES20+PES50+PESM40
SCFF16	PVC8+PC10+PES20+PVC10+PES50+MTT20

4. ELEMENTE PRIVIND ANALIZA EXPERIMENTALĂ A MATERIALELOR COMPOZITE FONOABSORBANTE

Datele experimentale au fost determinate prin metoda undelor staționare [9], în 1/3 octavă, cu tubul Kundt Bruël&Kjær type 4206 [10], în domeniul 0÷3200Hz, cu un pas de 4Hz. Achiziția și procesarea datelor a fost efectuată pe platforma hardware-software Bruël&Kjær PULSE Platform type 7758.

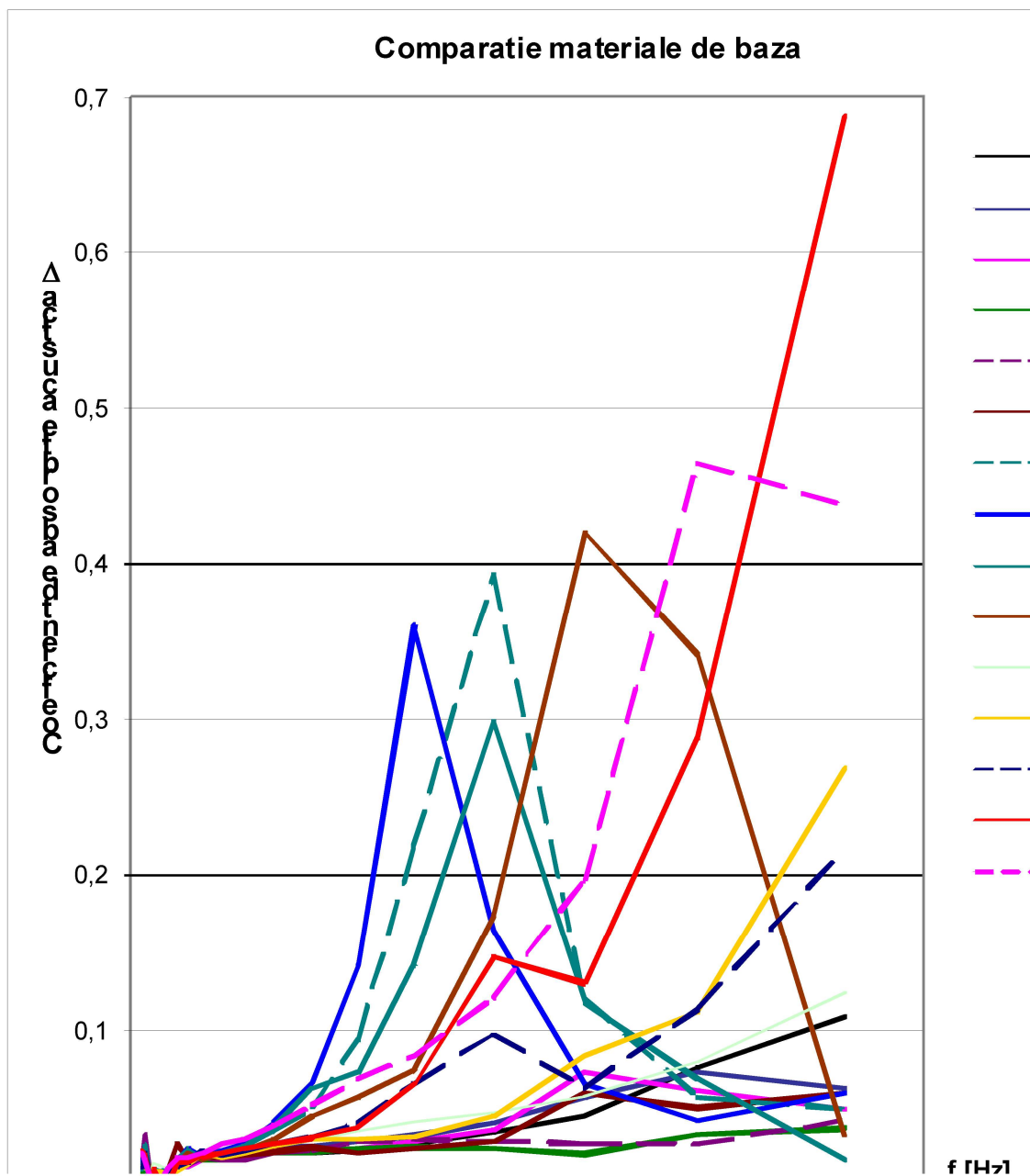


Fig. 1 Coeficientul de absorbție acustică α pentru materialele de bază

Elemente de calcul a eficienței tratamentelor acustice cu materiale compozite fonoabsorbante pentru cabinile utilajelor tehnologice mobile

Figura 1 prezintă variația în frecvență a coeficientului de absorbție acustică a materialelor de bază (tabel 2) pentru banda 50-3150 Hz. În figurile 2, 3, 4, și 5 sunt prezentate variațiile coeficientului de absorbție α pentru materialele compozite din tabelul 3.

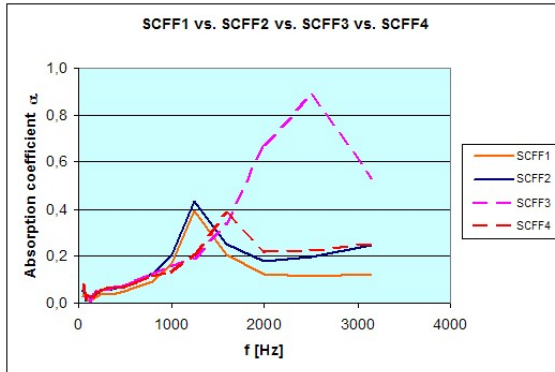


Fig. 2 Coeficientul de absorbție sonoră α pentru SCFF1, SCFF2, SCFF3, SCFF4

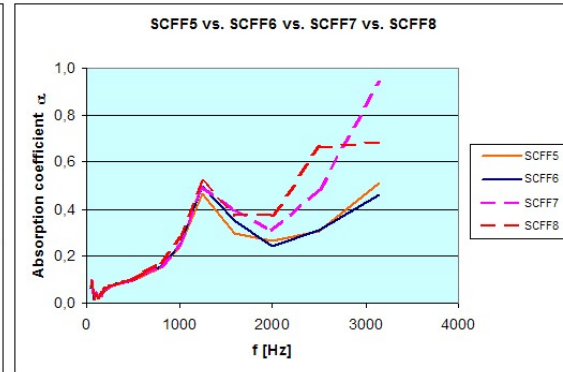


Fig. 3 Coeficientul de absorbție sonoră α pentru SCFF5, SCFF6, SCFF7, SCFF8

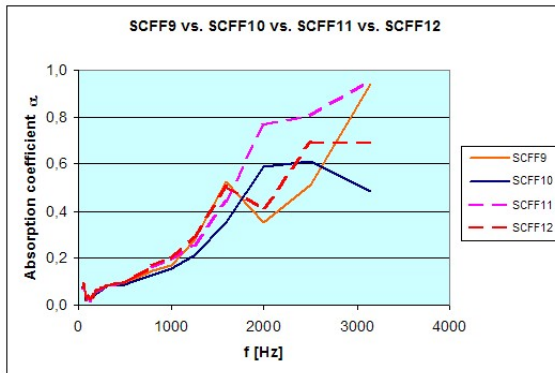


Fig. 4 Coeficientul de absorbție sonoră α pentru SCFF9, SCFF10, SCFF11, SCFF12

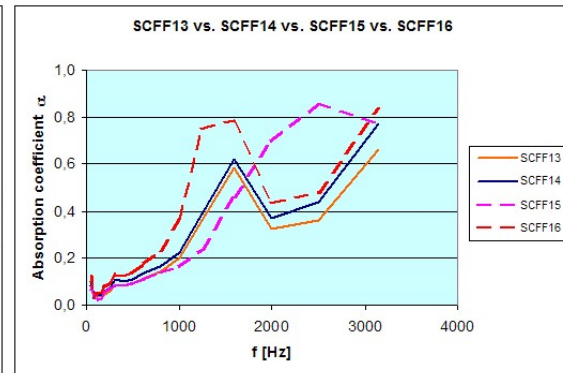


Fig. 5 Coeficientul de absorbție sonoră α pentru SCFF13, SCFF14, SCFF15, SCFF16

Din analiza diagramelor de variație a coeficientului de absorbție acustică a materialelor compozite, se pot concluziona următoarele:

- ▶ pentru banda de frecvențe joase și medii-joase a zgomotului ($f < 800\text{Hz}$), coeficientul α este inferior valorii de 0,20 indiferent de tipul de compozit;
- ▶ pentru zgomotele din banda medie de frecvențe ($800\text{Hz} < f < 2000\text{Hz}$), coeficientul α are o creștere semnificativă până la 0,70, cu valori maxime pentru frecvențe în domeniul 1,2÷1,5kHz;
- ▶ pentru frecvențele înalte ale zgomotului ($f \geq 2000\text{Hz}$), coeficientul α este semnificativ (ajungând până la 0,95) pentru toate tipurile de materiale compozite, cu excepția SCFF1 (la care coeficientul α este apropiat de constant);
- ▶ pentru întreg domeniul de frecvențe sonore, coeficientul de absorbție a zgomotului crește cu atât mai mult cu cât grosimea structurii compozite este mai mare.

5. ANALIZA EFICIENȚEI UTILIZĂRII MATERIALELOR COMPOZITE. STUDIU DE CAZ: CABINA ÎNCĂRCĂTORULUI FRONTAL MMT45

Pentru calculul eficienței tratamentului acustic la cabina încărcătorului MMT45, se consideră următoarele valori de referință (din desenele de execuție):

- ▶ $S_1 = 3,80m^2$ - suprafața vitrată a cabinei
- ▶ $S_2 = 1,70m^2$ - suprafața metalică netratată fonic a cabinei (panouri din tablă de OL)
- ▶ $S_3 = 4,70m^2$ - suprafața cu tratamente fonice cu materiale compozite SCFF1→SCFF16
- ▶ $\alpha_1 = 0,03$ - coeficientul de absorbție sonoră a sticlei organice (valoare medie)
- ▶ $\alpha_2 = 0,08$ - coeficientul de absorbție al tablei de OL (1mm grosime).

Cu valorile considerate anterior (pentru suprafețe și coeficienți de absorbție fonică), se pot determina caracteristicile acustice ale cabinei încărcătorului MMT45 după cum urmează:

■suprafața totală a cabinei

$$S = \sum S_i = S_1 + S_2 + S_3 = 10,20m^2$$

■suprafața echivalentă de absorbție fără tratament fonic

$$A_0 = \sum \alpha_i S_i = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 (S_2 + S_3) = 0,626m^2$$

■coeficientul mediu de absorbție acustică **fără tratament fonic**

$$\alpha_{med} = \frac{\sum \alpha_i S_i}{\sum S_i} = \frac{0,626}{10,2} = 0,061$$

În figura 6 sunt prezentate variațiile valorilor coeficienților medii de absorbție acustică α_{med} în interiorul cabinei încărcătorului frontal MMT45 după aplicarea tratamentelor fonoabsorbante cu materialele compozite produse și testate în laborator (SCFF1 la SCFF16).

Coeficienții α_{med} au fost calculați cu relațiile (1) și (2) pentru valorile centrate ale benzilor de 1/3 octavă în domeniul de frecvențe de 50-3150 Hz. Din analiza diagramelor de variație ale coeficientului α_{med} în interiorul cabinei MMT45, se pot evidenția următoarele aspecte:

- ◆formele curbelor de variație ale coeficientului α_{med} sunt asemănătoare formelor curbelor de variație ale coeficienților de absorbție α ai materialelor compozite (figurile 2, 3, 4 și 5);
- ◆pentru frecvențele joase ($f < 500Hz$), coeficientul α_{med} are o valoare de circa 0,10 indiferent de tipul structurii compozite utilizată pentru tratamentul; pentru frecvențele medii și mai ales pentru cele înalte ($f > 1kHz$), valoarea coeficientului α_{med} este mai mare decât 0,15 indiferent de material;
- ◆cel mai eficient material compozit din punct de vedere al fonoabsorbției este SCFF16 pentru banda de frecvențe $1kHz < f < 2kHz$ și SCFF11 pentru frecvențe înalte $f \geq 2kHz$.

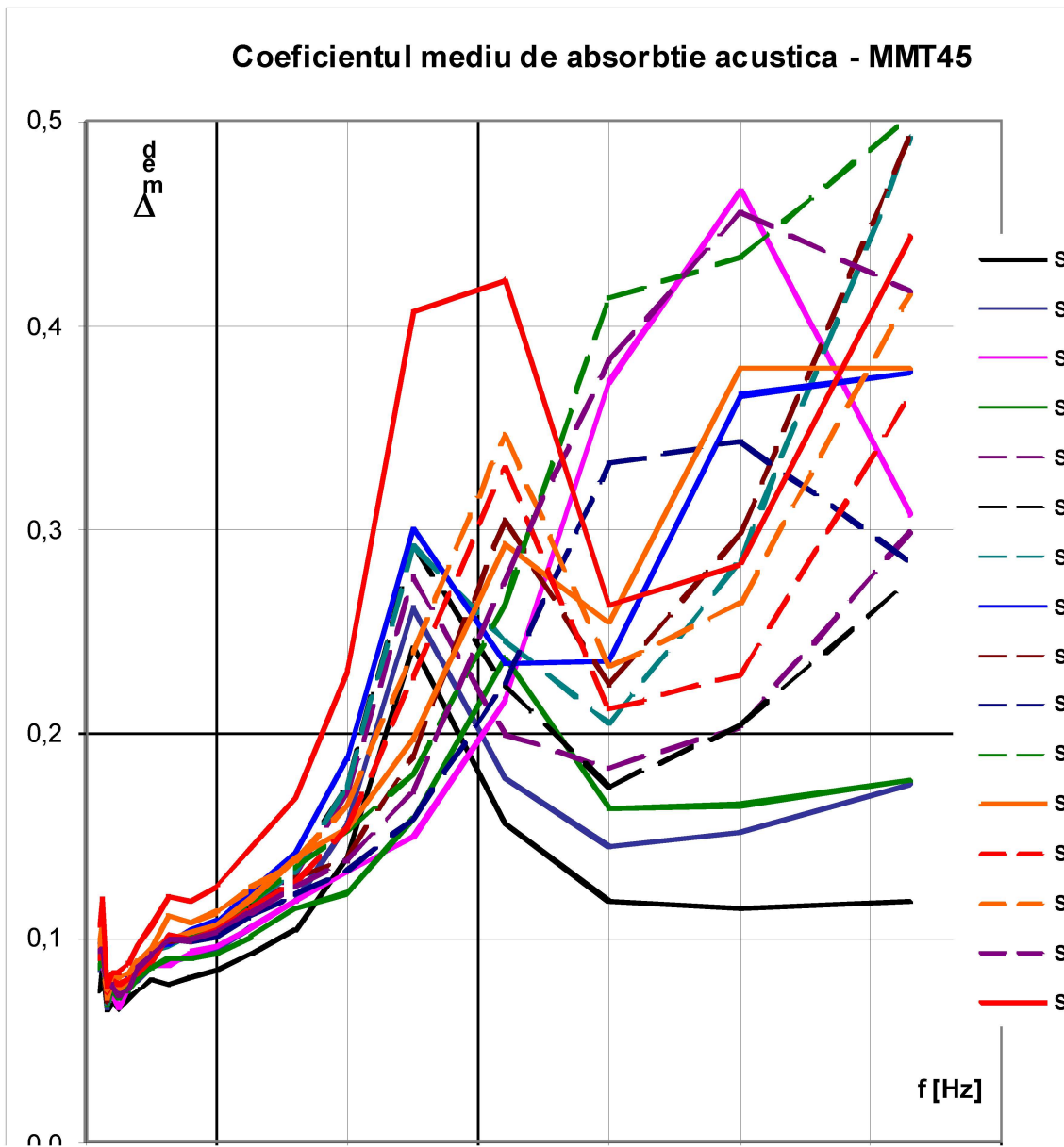


Fig. 6 Variația coeficientului mediu de absorbtie acustică α_{med} în cabina MMT45

6. CONCLUZII

► În ceea ce privește reglemăntările privind evaluarea nivelului de zgomot în construcții [1], o reducere de numai 2dB(A) este suficientă pentru o bună parte a utilajelor considerate (excavatoare, încărcătoare frontale, stații de preparare a betoanelor și mixturilor asfaltice, etc.). Pentru alte tipuri de utilaje de construcții (compactoare vibratoare, plăci vibratoare, maiuri, ciocane pneumatice și hidraulice, unele scule de mână cu acționare electrică sau pneumatică) este necesară scăderea cu 3÷5dB(A) a nivelului global de zgomot la postul de conducere sau de operare.

- Din diagramele de variație ale coeficientului de absorbție α , se poate aprecia că materialele cu densitate specifică înaltă (de ex. PVC) au proprietăți fonoabsorbante bune la frecvențe medii iar materialele cu structură celulară de tip spumă cu spații comunicante (spumă poliuretanică de joasă densitate, spumă poliesterică) sunt foarte bune fonoabsorbante la zgomote de frecvențe înalte.
- Materialele pe bază de plută naturală sau plută macrocompozită au foarte bune proprietăți de amortizare a vibrațiilor și a zgomotului structural.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **N. Drăgan**, *Assessment and controlling the noise in construction. Romanian and EU legislation*, The Annals of “Dunărea de Jos” University of Galati, Fascicle XIV Mechanical Engineering, Galati, 2008
- [2] ***, *Directive 2003/10/EC on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise)*, European Parliament and European Council, 6 February 2003
- [3] ***, *Directive 98/37/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to machinery*, European Parliament and European Council, 22 June 1998
- [4] ***, *Directive 2000/14/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to the noise emission in the environment by equipment for use outdoors*, European Parliament and European Council, 8 May 2000
- [5] ***, *Norme generale de protecție a muncii*, I.N.C.D.P.M., București, 2002
- [6] **D. Anghelache**, *Acoustic absorption coefficient variation of sound absorbing structures and materials*, The Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati, Fascicle XIV Mechanical Engineering, 2008
- [7] **O. Vasile, N. Dragan**, *Innovative Sound Insulation and Absorption Modular Systems for Public Works Equipment*, Proceedings of the 5th International Vilnius Conference “Knowledge-based technologies and OR methodologies for strategic decisions of sustainable development” KORSD-2009, Ed. “Technika”, Vilnius, 2009
- [8] ***, *The National Plan for Research, Development and Innovation for the period 2007-2013 (PNII)*, Government of Romania, Ministry of Education and Research, National Authority for Scientific Research, 2007
- [9] **P. Bratu**, “Noise reduction in case of mobile machinery cabins”, Proceedings of Xth International Conference on the Theory of Machines and Mechanisms IFTOMM, Prague, 2008
- [10] ***, <http://www.bksv.com/doc/bp1039.pdf>, *Impedance Tube Kit (100Hz – 3.2 kHz) — Type 4206-A product data*