

CONSIDERAȚII TEORETICE PRIVIND ABSORBȚIA SUNETULUI

Ancuța Borlea (Tiuc), *Universitatea
Tehnică din Cluj-Napoca*
Tiberiu Rusu, *Universitatea Tehnică
din Cluj-Napoca*
Simona Șimon (Niste), *Universitatea
Tehnică din Cluj-Napoca*

THEORETICAL CONSIDERATIONS ON SOUND ABSORPTION

Ancuța BORLEA (TIUC), *PhD,
Technical University Cluj-Napoca*
Tiberiu Rusu, *Professor, Technical
University Cluj-Napoca*
Simona Șimon (Niste), *PhD,
Technical University Cluj-Napoca*

Rezumat: Protecție mediului este în prezent una dintre cele mai serioase probleme cu care se confruntă omenirea la ora actuală.

Principiul absorbției sunetului este laborioasă, astfel există diferite tipuri de materiale de absorbție a sunetului, care includ absorbante poroase, rezonatorul Helmholtz, membrane absorbante și panouri absorbante perforate.

Cuvinte cheie: poluare, sunet, material poros, absorbție.

Abstract: The environmental protection represents presently one of the most serious problems, what what is faced the humanity.

The principle of sound absorption is elaborated, this followed by various types of sound absorption material, which include porous absorber, Helmholtz resonator, membrane absorber and perforated panel absorber.

Keywords: pollution, sound, absorption

1. INTRODUCERE

În termeni simpli, zgomotul este un sunet nedorit. Sunetul este o formă de energie care este emisă de către un corp care vibrează atunci când ajunge la ureche cauzează senzația de auz, datorită nervilor. Nu toate sunetele produse de către corpurile vibrante pot fi auzite [7] [3].

Problema zgomotului, în general constă în trei elemente strâns legate între ele- sursa, receptorul și calea de transmitere. Cale de transmitere este de obicei aerul prin care sunetul se propagă, dar poate fi și structura unui material [7][2].

2. ABSORBȚIA SUNETULUI

Atunci când un sunet ajunge pe un material acustic, energia este absorbită și reflectată, în funcție de performanța de absorbție a sunetului de către material. Dacă 45% din energia incidentă este absorbită și 55% din energia incidentă este reflectată, atunci coeficientul de absorbție a sunetului (α) este de 0,45. O fereastră deschisă este un

1.INTRODUCERE

In simple terms, noise is unwanted sound. Sound is a form of energy which is emitted by a vibrating body and when reaches the ear causes the sensation of hearing through nerves. Sounds produced by all vibrating bodies are not audible [7] [3].

A noise problem generally consists in three inter-related elements- the source, the receiver and the transmission path. This transmission path is usually the atmosphere through which the sound is propagated, but can include the structural materials of any building containing the receiver [7] [2].

2. SOUND ABSORPTION

When a sound wave impinges on an acoustic material, there would occur an absorbed and reflected energy depending on the material sound absorption performance. If 45% of the incidence energy is absorbed and 55% of the incidence energy is reflected, then sound absorption coefficient (α) is 0.45. An open window is an example of perfect absorber where all incidence energy would be

exemplu de absorbant perfect, în cazul în care toată energia incidentă ar fi transferate către cealaltă parte a ferestrei, astfel rezultă $\alpha=1$.

Un metru pătrat al unei ferestre deschise ar da un Sabine de absorbție. Ori de câte ori impedanța materialul este egală cu impedanța caracteristică a aerului (mediu), va avea loc absorbția acustică maximă. Prin urmare, cantitatea de energie absorbită de materialul acustic depinde de impedanța materialul (Z_c).

Absorbția sunetului de un material acustic variază în funcție de frecvența și unghiul de incidență al undelor sonore care ajung pe material [1].

Opusul absorbție acustice este reflexia. Pentru ca să apară o reflectare geometrică este necesar ca suprafața de reflexie să fi mai mare în comparație cu lungimea de undă a energiei incidente.

Coeficientul de absorbție a sunetului, α este definit conform ecuației[4]:

$$\alpha = \frac{E_i - E_r}{E_i} = \frac{E_a + E_r}{E_i} \quad (1)$$

Ecuația de mai sus arată că toate parte din energia sunetului, care nu este reflectată este considerat a fi absorbită [5].

3. COEFICIENTUL DE ABSORBȚIE

Coeficientul de absorbție a unui material variază în funcție de frecvență și cu unghiul de la care un sunet sau unda de sunet ajunge pe material. Într-un câmp de sunet stabilit, într-o cameră, sunetul se deplasează în toate direcțiile imaginabile. Ceea ce avem nevoie în calculele noastre sunt coeficienții de absorbție a sunetului în medie diferite și la toate unghiurile de incidență posibile.

Să presupunem că planul de separare dintre două medii este infinit de mare și un sunet care trece prin mediu 1 este în mod normal incident pe plan, după cum se arată în figura 1.

Relația dintre sunetul reflectat și transmis este prezentat după cum urmează [8]

transferred to the other side of the window which results in $\alpha=1.0$.

The one square meter of an open window would give one Sabine of absorption. Whenever the material impedance is equal to the characteristic impedance of the air (medium), the maximum sound absorption would occur. Therefore, the amount of the energy absorbed by the acoustic material depends on its material impedance (Z_c).

The sound absorption of an acoustic material varies with frequency and angle of incidence of the sound waves impinge upon the material [1].

The opposite of sound absorption is sound reflection. For a geometrical or specular reflection to occur, it is required that the reflecting surface is large compared to the wavelength of the incidence energy.

Then the sound absorption coefficient, α is defined as follow [4]:

The above equation shows that all portion of the sound energy which is not reflected is considered to be absorbed [5].

3. COEFFICIENTS OF ABSORPTION

The absorption coefficient of a material varies with frequency and with the angle at which the sound wave or ray impinges upon the material. In an established sound field in a room, sound is traveling in every imaginable direction. What we need in our calculations are sound absorption coefficients averaged over all possible angles of incidence.

Suppose the boundary plane between two media is infinitely large and a plane sound wave traveling in medium 1 is normally incident on the plane, as shown in Figure 1.

Then, the relationship between the magnitude of the reflected and the transmitted sound is derived as follows [8]

$$P_i + P_r = P_t \quad (2)$$

$$V_i + V_r = V_t \quad (3)$$

$$\frac{P_i}{Z_1} = \frac{P_r}{Z_1} = \frac{P_t}{Z_2} \quad (4)$$

unde, P_i presiunea sunetului incident, P_r presiunea sunetului reflectat, $V = P/Z$, $Z_1 = \rho_1 \cdot c_1$, și $Z_2 = \rho_2 \cdot c_2$

where, P_i is incidence sound pressure, P_r is reflected sound pressure, $V = P/Z$, $Z_1 = \rho_1 \cdot c_1$, and $Z_2 = \rho_2 \cdot c_2$

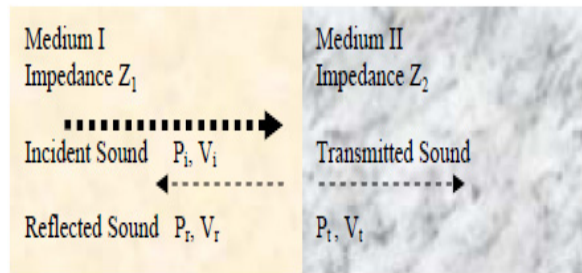


Fig.1. Reflexia și transmiterea la granița dintre două medii [5]

Fig. 1. Reflection and transmission at boundary between two media [5]

Relația dintre coeficientul de absorbție și presiunea sunetului reflectat între două medii este dată de relația[8]:

$$\alpha = 1 - \frac{E_r}{E_i} = \frac{|P_r|}{|P_i|} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad (5)$$

The relationship between the absorption coefficient and sound pressure reflection coefficient between two media is given as follow [8]:

Dacă considerăm mediul Z_2 ca fiind o fereastră deschisă, vom avea $Z_1=Z_2$, în acest caz, $\alpha= 1$. Coeficientul de absorbție a sunetului așa cum este definit de Sabine, este raportul dintre intensitatea sunetului non-reflectat și intensitatea sunetului incident.

Considering the media of Z_2 is an open window, then $Z_1 = Z_2$, in this case $\alpha =1.0$ as in confirmation to the α of open window defined by Sabine. As defined by Sabine, sound absorption coefficient is the ratio between the non-reflected sound intensity and the incident sound intensity.

4. TIPURI DE MATERIALE FONOAORSORBANTE

Scopul principal al utilizării unui material fonoabsorbant este de a reduce nivelul de presiune acustică (NPA) în cadrul spațiilor la un nivel acceptabil.

NPA ridicat ar putea crea disconfort în spațiile închise. Mai mult, materialul fonoabsorbant este capabil de a preveni reflexia nedorită de pe suprafețe. Reflexiile nedorite sunt deosebit de dăunătoare pentru

4. TYPES OF SOUND ABSORPTION MATERIALS

The main aim of using sound absorption material is to reduce Sound Pressure Level (SPL) within the spaces to an acceptable level.

High SPL could create listening discomfort inside the spaces. Further, sound absorption material is able to prevent undesirable reflection from surfaces. Undesirable reflections are particularly

inteligibilitatea vorbirii. Existența ecoului duce la o inteligibilitate săracă [5][8].

În cele din urmă, utilizarea de materiale fonoabsorbante într-un spațiu închis sunt capabile de a controla nivelul de ecou din aceste spații. Nivel adecvat de reverberație ar duce la o inteligibilitate bună [10, 5].

4.1 Porous Absorber

Absorbantii poroși sunt orice material cu structură poroasă în care sunetul se pierde sub formă de căldură. Propagarea sunetului este condiționată de proprietățile fizice ale unui mediu poros, și anume de porozitate, tortuozitate, fluxul de rezistivitate, lungime caracteristică vâscoasă și lungimea caracteristică termică. Grosime materialului poroas trebuie să fie asociată cu lungimea de undă a sunetului pentru a eficienta la frecvență redusă.

Materialele fonoabsorbante poroase sunt cele mai frecvent utilizate într-un tratament acustic pentru o cameră închisă. Aceste materiale ar putea fi din fibră minerală sau celuloză, fiind un amortizor de sunet bun pentru frecvență înaltă.

Amortizoarele tipice poroase sunt covoare, spume cu celule deschise, perdele, perne, bumbac și vată minerală. Porozitatea creată de interstițiile fibrelor pot capta și disipa energia sunetului [8].

Intensitatea energiei sunetului se reduce datorită distanței pe care o parcurge prin material. Proprietatea absorbantă a materialelor poroase este dependentă de densitate, grosime, spațiul aerian din spatele materialului și tratamentele de suprafață [5].

detrimental to speech intelligibility. The availability of echo results in poor speech intelligibility [5] [8].

Finally, the use of sound absorption material in an enclosed space is able to control reverberation level within the spaces. Suitable level of reverberation would result in good speech intelligibility [10, 5].

4.1 Porous Absorber

Porous absorber are any material where sound propagation occurs in a network of interconnected pores as heat. The propagation of sound is governed by physical properties of a porous medium, namely porosity, tortuosity, flow resistivity, viscous characteristic length and thermal characteristic length. The need for significant thickness compared to wavelength makes porous absorbers inefficient and not particularly useful at low frequency.

Porous absorber is the most common material used in an enclosed room acoustic treatment. These materials which could be from mineral or cellulose fibre is a good sound absorber in the mid to high frequency range.

Typical porous absorbers are carpets, acoustic tiles, acoustic (open cell) foams, curtains, cushions, cotton and mineral wool. The porosity created by the fiber interstices can trap and dissipates the sound energy [8].

The energy intensity would decrease over the distance travel through the material. The porous fiber sound absorption is affected by the density, the thickness, the airspace behind the material and the surface treatment [5].

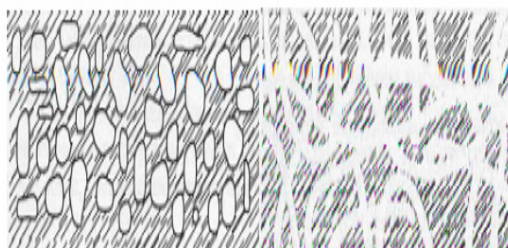


Fig. 2 Ilustrarea unui material poros [5]

Fig. 2 Illustration of porous absorber [5]

Modificarea densității are un efect redus asupra performanțelor unui material poros de absorbție a sunetului. Grosimea materialelor poroase trebuie să fie mai mare la frecvențe mai mici, în special sub 500Hz. Grosimea materialului ar trebui să fie minim de $\lambda/4$ ca să rezultate performanțe superioare de absorbție a sunetului. Aceasta explică de ce materialele poroase au scăzut absorbția sunetului la gama de frecvențe mai scăzute și să devină mai mare la gama de frecvență mai mare [5].

Absorbția acustică suplimentară pentru un material poros poate fi realizată de câte ori materialul poros este poziționat cu un spațiu de aer.- în cazul în care viteza particulelor undelor sonore este maximă, cum ar fi la $\lambda/4$. [10].

4.2 Resonator Helmholtz

Rezonatorul Helmholtz este larg utilizat pentru a obține o absorbție adecvată la frecvențe mai mici. Nu este nimic deosebit de misterios cu privire la astfel de rezonator, de fapt, ele pote avea diferite forme [4].

Absorbții de tipul rezonatorilor simpli constau dintr-o cavitate, situată într-un perete rigid, legată cu exteriorul printr-un canal sau cheson acustic de lemn rigid. Volumul de aer din cavitatea rezonatorului lucrează ca un resort și o parte din energia sonoră se disipează în rezonator.

Suflarea la gura unui flacon sau ulcior produce un sunet care este natural la frecvența de rezonanță. Aerul din cavitatea este elastic, iar masa de aer din gâtul ulciorului reacționează cu aerul din cavitate pentru a forma un sistem de rezonanță. Modificarea volumului cavității de aer, lungimea sau diametrul gâtului, va schimba frecvența de rezonanță.

Absorbția sunetului în gama de frecvențe mai joase ar putea fi realizată folosind în special rezonatorul Helmholtz. Calitatea acestui rezonator este indicată de factorul său de calitate (Q). [5].

Factorul de calitate a rezonatorului Helmholtz este dat de relația:

$$Q = \frac{f_{res}}{\Delta f}$$

Density changes are known to have little effect on porous material sound absorption performance. The thicker the porous absorbers, the higher the sound absorption at lower frequencies, particularly at below 500 Hz. The material thickness of $\lambda/4$ should results in higher sound absorption performance at the respected frequency. This explains why porous material has low sound absorption at lower frequency range and become higher at higher frequency range [5].

Additional sound absorption for a porous material can be achieved whenever the porous material is position with an air-gap distance where the particle velocity of the sound waves is maximum, such as at $\lambda/4$. Acoustically transparent surface treatment such as acoustic fabric, tissue lamination or water based paint should be able to preserve the sound absorption of the porous fiber [10].

4.2 Helmholtz Resonator

The Helmholtz type of resonator is widely used to achieve adequate absorption at lower audio frequencies. There is nothing particularly mysterious about such resonators; in fact they pop up in various forms in everyday life [4].

Blowing across the mouth of any bottle or jug produces a tone at its natural frequency of resonance. The air in the cavity is springy, and the mass of the air in the neck of the jug reacts with this springiness to form a resonating system, much as a weight on a spring vibrating at its natural period. Change the volume of the air cavity, or the length or diameter of the neck, and you change the frequency of resonance.

Sound absorption at lower frequency range could be achieved particularly using Helmholtz resonator. The quality of this resonator is indicated by its quality factor (Q). This indicates the bandwidth of its tuning which is -3dB from its resonance frequency [5]. The quality factor of the Helmholtz resonator is formulated as:

(6)

unde: f_{res} - frecvența de rezonanță și Δf - banda de frecvențe.

Atunci când nu există fibre poroase în cavitatea rezonator Helmholtz este considerat neamortizate.

Frecvența de rezonanță a unui rezonator Helmholtz neamortizat ar putea fi estimată folosind următoarea ecuație [5] [8].

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{MC}}$$

unde M-inertanța și C –capacitatea acustică.

Performanța absorbției acustice a rezonatorului Helmholtz la frecvența de rezonanță poate fi estimată folosind următoarea ecuație [5]:

$$A = 0,159 \left(\frac{c}{f_{res}} \right)^2$$

unde A – absorbția sunetului, m^2 Sabine;
c – viteza sunetului în aer, m/s

4.3 Membrane Absorber

O membrană absorbantă este utilizată pentru a absorbi la frecvențe joase energia sunetului. Acesta acționează prin vibrație la frecvențe joase și transformarea energiei sonore în căldură, încălzirea are loc datorită rezistenței membranei la flexarea rapidă și datorită rezistenței aerului la compresiune [11].

În practică, metoda de stabilitate și rigiditate a panourile va avea, de asemenea, un anumit efect deoarece panoul în sine va avea tendința să vibreze [10].

4.4 Perforated Panel Absorber

Panourile perforate sunt în mod obișnuit realizate din foi subțiri rigide de metal perforate cu deschidere circulară.

În mod normal aceste panouri se montează la o anumită distanță de suport, această cavitate de aer poate fi umplută cu fibre poroase pentru un rezultat mai bun de absorbției a sunetului în domeniul frecvențelor înalte. Frecvența de rezonanță a panourilor perforate poate fi estimată folosind

where Q is quality factor, f_{res} is resonance frequency and Δf is bandwidth.

Helmholtz resonator consists of a volume of air contained in a cavity where there is a neck of small opening. When there is no porous fiber in the cavity, the Helmholtz resonator is considered undamped.

The undamped resonance frequency of a Helmholtz resonator could be estimated using the following equation [5] [8].

(7)

where M is inertance and C is acoustical capacitance.

The sound absorption performance of the Helmholtz resonator at its resonance frequency can be estimated using the following equation [5]:

(8)

Where A = Sound absorption, m^2 Sabine;
c = Speed of sound in air, m/sec.

4.3 Membrane Absorber

A Membrane absorber or diaphragmatic absorber is used to absorb low frequencies sound energy. It works by vibrating at these low frequencies and turning the sound energy into heat conversion to heat takes place through the resistance of the membrane to rapid flexing and due to the resistance of the enclosed air to compression [11].

In practice, the method of fixing and the stiffness of the panels will also have some effect as the panel itself will tend to vibrate [10].

4.4 Perforated Panel Absorber

Perforated panel is typically made from rigid thin sheet of metal perforated with circular aperture. The perforated panel is normally mounted over some distance from the wall.

There is an air cavity behind the wall and this air cavity could be filled with porous fiber to result in broader frequency range of sound absorption. The resonance frequency

următoarea ecuație [9].

$$f_{res} = \frac{c}{2\pi} \left(\frac{P}{d(L+1,7R)} \right) \quad (9)$$

Unde: c - viteza sunetului în aer, m/s;
 P - raportul de perforare;
 d - distanța de la panoul perforat la perete, m;
 L - grosimea panoului perforat, m;
 (L + 1.7R) - lungimea efectivă a gâtului;
 R - Raza perforației, m.

Pentru a lărgi gama de frecvențe de performanță de absorbție a sunetului a unui panou perforat, cavitatea de aer din spatele zidului ar trebui să fie umplut cu fibre poroase.

Creșterea grosimii panoului perforat și de asemenea, adâncimea stratul de aer ar diminua frecvența de rezonanță. Prin urmare, prin modificarea adâncimii spațiului de aer și grosimea panoului perforat, crește performanța de absorbție a sunetului. [6].

5. ABSORBȚIA SUNETULUI DE CĂTRE OM

Oamenii absorb sunetul. Doar cât de mult din acest fapt se datorează absorbției datorită cărnii și cât de mult de păr și de îmbrăcăminte nu a fost încă stabilit.

Cel mai important lucru este că oamenii care compun un public sunt parte semnificativă a absorbției acustică a camerei. Se face, de asemenea, o diferență dacă într-o cameră mică de monitorizare sunt unul sau zece oameni [9].

Problema este cum se evaluează absorbția omului și cum să fi implicat în calcule. Metoda uzuală e multiplicarea unui coeficient de absorbție uman. Cea mai simplă cale este de a determina unitățile de absorbție (sabins) prezinte de om la fiecare frecvență și adăugate la sabins de covor, draperii, și absorbanți de altă natură în cameră la fiecare frecvență.

Sunetul propagat pe rânduri de oameni, precum într-un auditoriu sau sală de muzică, este supus la un tip neobișnuit de atenuare. În plus față de scăderea normală a

of perforated panel can be estimated using the following equation [9].

where
 c - Speed of sound in air, m/s;
 P - Perforation ratio (hole area/plate area);
 d - Distance of the perforated panel from the wall, m;
 L - Perforated panel thickness, m;
 (L + 1.7R) - Effective length of the neck;
 R - Radius of the hole, m.

To broaden the frequency range of sound absorption performance of the perforated panel, the air cavity behind the wall should be filled with porous fiber.

An air-gap between the porous fiber and the wall should be maintained. Increasing the thickness of the perforated panel and also the depth of the air gap would lower its resonance frequency. Therefore, by varying the depth of the air space and the thickness of the perforated panel, broader frequency range of sound absorption performance could be achieved.

A perforation ratio of more than 20% with small aperture would not affect the sound absorption of porous fiber. However, a smaller perforation ratio would reduce higher frequency sound absorption performance of porous fiber [6].

5. SOUND ABSORPTION BY PEOPLE

People absorb sound too. Just how much of this is due to absorption by flesh and how much by hair and clothing has yet to be reported.

The important thing is that the people making up an audience account for A significant part of the sound absorption of the room. It also makes an acoustical difference whether one or ten people are in a small monitoring room [9].

The problem is how to rate human absorption and how to involve it in calculations. The usual method of multiplying a human absorption coefficient by the area of a human has its problems.

unui sunet de până la 15 sau 20 dB în jurul valorii de 150 Hz cu distanța. De fapt, acest lucru nu este strict efectul dat de public, deoarece există chiar și atunci când numărul de locuri sunt goale.

CONCLUZII

Legea de conservarea a energiei arată că energia nu poate fi nici creată dar nici distrusă, dar poate fi schimbată de la o formă la alta. Dacă avem într-o cameră energia produsă de sunete, ce putem face pentru a scăpa de ea? Energia sunetului este produsă de vibrația particulelor de aer și poate fi disipată sub formă de căldură. Dacă este nevoie de energia sunetului de la un milion de oameni care vorbesc la o ceașcă de ceai, trebuie să renunțăm la orice idee de încălzire a locuinței noastre.

Există în principal patru tipuri de materiale de absorbție acustică disponibile care pot fi folosite pentru a realiza cele de mai sus așa cum sa discutat și anume absorbent poroas, membrană, resonator Helmholtz și panouri perforate.

Sunetul s-a integrat în viața noastră cotidiană încât rareori suntem conștienți de toate funcțiile sale. El ne oferă momente de distracție, ne permite să comunicăm, ne avertizează, ne atrage atenția la cele ce se întâmplă.

NOTĂ: Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul " Studii doctorale în științe inginerești în scopul dezvoltării societății bazate pe cunoaștere - SIDOC ",contract: POSDRU/88/1.5/S/60078, proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operational Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Everest, F.A. *The Master Handbook of Acoustics*. 3rd edition. TAB Books. New York. pp. 152, 1994.
- [2] Horvat, M., K. Jambrosic and H. Domitrovic, *A comparison of impulse-like sources to be used in*

The easy way is to determine the absorption units (sabins) a human presents at each frequency and add them to the sabins of the carpet, drapes, and other absorbers in the room at each frequency.

Sound propagated across rows of people, as in an auditorium or music hall, is subjected to an unusual type of attenuation. In addition to the normal decrease in sound with distance from the stage, there is an additional dip of up to 15 or 20 dB around 150 Hz and spreading over the 100- to 400-Hz region. In fact, this is not strictly an audience effect because it prevails even when the seats are empty.

CONCLUSIONS

The law of the conservation of energy states that energy can neither be created nor destroyed, but it can be changed from one form to another. If we have some sound energy in a room to get rid of, how can it be done? Sound is the vibratory energy of air particles, and it can be dissipated in the form of heat. If it takes the sound energy of a million people talking to brew a cup of tea, we must give up any idea of heating our home with sound from the high-fidelity loud speakers.

There are mainly four types of sound absorption materials available that can be used to achieve the above as discussed below namely porous absorber, Helmholtz resonator membrane absorber and perforated panel absorber.

Sound integrated into our daily lives that we rarely are aware of all its functions. He provides moments of fun, allowing us to communicate, warn us, draw our attention to what is happening.

Acknowledgements

Paper prepared for the Project "Doctoral studies in engineering science to develop knowledge-based society - SIDOC" Contract POSDRU/88/1.5/S/60078.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Everest, F.A. *The Master Handbook of Acoustics*. 3rd edition. TAB Books.

- reverberation time measurements*, Acoustics, Paris, 2008.
- [3] International Institute of Noise Control Engineering, *Noise Emissions by Road Vehicles – Effect of Regulations*, 2001.
- [4] Maekawa, Z and Lord. P *Environmental and Architectural Acoustics*. E & FN SPON. London. pp 11-12, 1994.
- [5] Mohamed, N. *The Study of Normal Incidence Sound Absorption Coefficient (Sound Absorption) of Wood Circular Perforated Panel (CPP) Using Numerical Modelling Technique*, Universiti Teknologi Malaysia 2006.
- [6] Toyoda M, Takahashi D., *Sound insulation characteristics of a micro perforated panel with a subdivided air layer*, in: 19th International congress on acoustics Madrid; September 2007.
- [7] Trevor, J.Cox, Peter D’Antonio, *Engineering art: the science of concert hall acoustics*, *Interdisciplinary Science Reviews*”, vol 28, no.2, 2003.
- [8] Wang, C. and J. Torng, *Experimental study of the absorption characteristic of some porous fibrous materials*, *Applied Acoustic*, 62: 447-459, 2001.
- [9] Yairi M, Sakagami K, Morimoto M. *Double leaf microperforated panel space absorbers an experimental study for further improvement*, in: 19th International congress on acoustics Madrid; September 2007.
- [10] Zent, A. and T.L. John, *Automotive sound absorbing material survey results*, *Proceeding of the SAE Noise and Vibration Conference and Exhibition*, May 2007, St. Charles, USA, pp: 2186.
- New York. pp. 152, 1994.
- [2] Horvat, M., K. Jambrosic and H. Domitrovic, *A comparison of impulse-like sources to be used in reverberation time measurements*, Acoustics, Paris, 2008.
- [3] International Institute of Noise Control Engineering, *Noise Emissions by Road Vehicles – Effect of Regulations*
- [4] Maekawa, Z and Lord. P *Environmental and Architectural Acoustics*. E & FN SPON. London. pp 11-12, 1994.
- [5] Mohamed, N. *The Study of Normal Incidence Sound Absorption Coefficient (Sound Absorption) of Wood Circular Perforated Panel (CPP) Using Numerical Modelling Technique*, Universiti Teknologi Malaysia 2006.
- [6] Toyoda M, Takahashi D., *Sound insulation characteristics of a micro perforated panel with a subdivided air layer*, in: 19th International congress on acoustics Madrid; September 2007.
- [7] Trevor, J.Cox, Peter D’Antonio, *Engineering art: the science of concert hall acoustics*, *Interdisciplinary Science Reviews*”, vol 28, no.2, 2003.
- [8] Wang, C. and J. Torng, *Experimental study of the absorption characteristic of some porous fibrous materials*, *Applied Acoustic*, 62: 447-459, 2001.
- [9] Yairi M, Sakagami K, Morimoto M. *Double leaf microperforated panel space absorbers an experimental study for further improvement*, in: 19th International congress on acoustics Madrid; September 2007.
- [10] Zent, A. and T.L. John, *Automotive sound absorbing material survey results*, *Proceeding of the SAE Noise and Vibration Conference and Exhibition*, May 2007, St. Charles, USA, pp: 2186.