

MĂSURAREA NIVELULUI DE ZGOMOT AL UNEI INCINTE IZOLATE ACUSTIC CU DIFERITE MATERIALE

Conf. univ. dr. ing. Mariana Domnica STANCIU^{1,2*}, Ing. Andrei Iulian PUCHIANU¹,
Șef lucrări dr. ing. Ianos TIMAR¹, Dr. ing. Sergiu V. GEORGESCU³

^{1,*} Facultatea de Inginerie Mecanică, Universitatea „Transilvania” din Brașov, mariana.stanciu@unitbv.ro

²Russian Academy of Natural Sciences, Moscow, Russia

³Facultatea de Design de Mobilie și Ingineria Lemnului, Universitatea „Transilvania” din Brașov

REZUMAT. Lucrarea prezintă metodologia de investigație, cazurile studiate, modul de izolare a unei incinte realizate din material compozit. Astfel, s-au efectuat măsurători aproximativ identice în trei etape succesive: în prima etapă când cabina nu era izolată; în a doua etapă când cabina a fost izolată prin interior cu vată minerală de sticlă, cașerată cu folie de aluminiu, iar apoi, în etapa a III a, peste stratul de vată a fost adăugat un strat din burete cofrat fonoabsorbant ignifugat. S-a variat distanța de la sursă la sonometru; poziția sonometrului (receptorului) și a sursei sonore în exteriorul sau în interiorul cabinei.

Cuvinte cheie: nivel de zgomot, izolare acustică, materiale fonoabsorbante.

ABSTRACT. The paper presents the investigation methodology, the studied cases, the way of isolating an enclosure made of composite material. Thus, approximately identical measurements were performed in three successive stages: in the first stage when the cabin was not isolated; in the second stage, when the cabin was insulated on the inside with glass mineral wool, coated with aluminum foil, and then, in the third stage, a layer of fire-retardant sound-absorbing formwork sponge was added over the cotton wool layer. The distance from the source to the sound level meter was varied; position of the sound level meter (receiver) and sound source outside or inside the cab.

Keywords: noise level, sound insulation, sound-absorbing materials

1. INTRODUCERE

Zgomotul acționează perturbator asupra sistemului nervos al omului, viața acestuia putând fi grav tulburată dacă nivelul de intensitate auditivă depășește 80 dB. Dezvoltarea industrială și mecanizarea intensă a tuturor proceselor de producție, înmulțirea și diversificarea mijloacelor de transport, dezvoltarea fluxurilor rutiere din zonele urbane și peri-urbane, toate condus la creșterea zgomotului sub aspectele sale negative – intensitatea, frecvența, durata expunerii la zgomot. În aceste condiții, un interes deosebit la nivel mondial este acordat pe de o parte monitorizării și analizei hărților de zgomot datorat traficului rutier și a surselor de zgomot și vibrații (motorul, transmisia, sistemul de rulare, etc.), iar pe de altă parte optimizării fluxurilor rutiere din punct de vedere al reducerii poluării aerului, al consumului de combustibili, al reducerii zgomotului generat de traficul rutier. Astfel au fost introduse o serie de directive la nivel european și național privind zgomotul datorat traficului rutier și nu numai, inclusiv ghiduri și

metode de evaluare a nivelului zgomotului, din care amintim: Directiva 2002/49CE din 25 iunie 2002 – prin care se urmărește dezvoltarea unei strategii pentru reducerea zgomotului emis de sursele majore, Hotărârea 321/14 aprilie 2005, OM 678/1344/915/1397 din 2006 și OM 1830/2007 referitor la Ghidul privind realizarea, analizarea și evaluarea hărților strategice de zgomot, etc. În ceea ce privește reducerea nivelului de zgomot utilizând structuri de izolare, una din problemele de cercetare se bazează pe studiul proprietăților acustice ale materialelor și geometrie optimă de bariere de sunet. Numeroase studii abordează eficiența diferitelor configurații și materiale din structura barierelor de zgomot [1–8]. O parte din aspectele privind dimensiunile și geometria barierelor acustice sunt standardizate, inclusiv din punct de vedere al rezistențelor pe care acestea trebuie să le îndeplinească. Proprietățile acustice ale materialelor au fost studiate de către mulți cercetători, dar fiecare abordare diferă în funcție de obiectivele de stabilite, metoda, tipuri de structuri testate sau caracteristicile materialelor [9–15].

2. MĂSURAREA NIVELULUI DE ZGOMOT AL UNEI INCINTE IZOLATE CU DIFERITE MATERIALE

Din punct de vedere constructiv, cabina (incinta) cu dimensiunile de 2280x1500x2450 mm ($L \times l \times H$), este realizată din pereți de tip sandwich cu 3 straturi din materiale compozite pe bază de fibre de sticlă: învelișul exterior și interior este alcătuit din plăci armate cu fibră de sticlă cu grosime de 6 mm; miezul peretelui este de tip spumă poliuretanică cu grosimea de 28 mm (fig. 2.1. a). Cabina este prevăzută numai cu o ușă de acces (fig. 2.1, b și c).



Fig. 2.1. Presentarea cabinei pentru efectuarea testelor: a) Imaginea exterioară a cabinei; b) interiorul cabinei

Întrucât obiectivul lucrării a fost măsurarea nivelului de zgomot al unei incinte izolate acustic cu diferite materiale, în prima etapă a studiului s-a evaluat gradul de izolare acustică al cabinei în structura existentă de la furnizor, în această etapă fiind realizate măsurătorile preliminare (de referință). Ulterior, cabina a fost izolată prin interior în două etape, cu materiale diferite, pentru fiecare etapă fiind repetată procedura de măsurare a nivelului de zgomot izolat. Astfel, au existat trei cazuri de izolare acustică:

- cabina neizolată fonic (testare material compozit) (fig. 2.2, a);
- cabina izolată cu vată minerală de sticlă cașerată cu folie de aluminiu fig. 2.2, b);
- cabina izolată cu vată minerală de sticlă cașerată cu folie de aluminiu, peste care s-a adăugat un strat de burete cofrat fonoabsorbant (fig. 2.2, c);

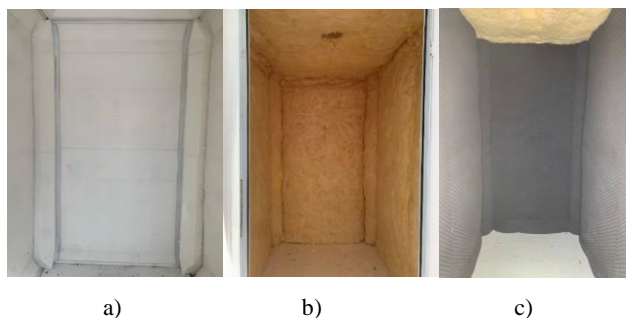


Fig. 2.2. Cazurile de testare a cabinei din punct de vedere al materialelor fonoizolatoare:

- cazul I – cabina neizolată; b) cazul II – cabina izolată cu vată minerală; c) cazul III – cabina izolată cu vată minerală și burete.

2.1. Prezentarea metodologiei de testare

Metodologia de testare a constat în înregistrarea nivelului de zgomot în afara și în interiorul cabinei cu echipamente specializate, menținând aceleași condiții de testare. S-a înregistrat atât zgomotul ambiental exterior cât și cel produs de o sursă sonoră controlabilă. Ponderările de frecvență corelează măsurătorile sonorului (obiectiv) cu răspunsul subiectiv uman. Urechile noastre sunt selective în funcție de frecvență, fiind cele mai sensibile între 500 Hz și 6.000 Hz, comparativ cu gama completă de la 20 Hz până la 20.000 Hz.

Răspunsul nostru subiectiv este, de asemenea, dependent de nivel (intensitate), deci sonometrele timpurii au inclus ponderile de frecvență A, B, C și liniare sau plate, pentru a lua în considerare ambii factori, în întreaga gamă de frecvențe. Într-o etapă, filtrele de ponderare D au fost, de asemenea, populare pentru evaluarea nivelurilor de zgomot ale aeronavelor. Cel mai important echipament utilizat a fost sonometrul Brüel & Kjær de tip 2250, un echipament portabil, de clasă 1 (Sound Level Meter) care conține: analizatorul de zgomot tip B&K 2250; microfon de câmp liber prepolarizat, Type 4189. Un microfon robust și fiabil, cu o gamă largă de frecvențe; preamplificator de microfon ZC-0032; trepid reglabil.

Pentru o bună organizare și pentru a ușura prezentarea măsurătorilor, pereții cabinei au fost codificați astfel: peretele cu ușa de acces codificat cu litera I; peretele din partea stângă raportată la intrarea în cabină, notat cu litera A; peretele opus intrării, codificat cu B și pretele din partea dreapta față de ușa de acces, notat cu C, așa cum se poate observa și în figura 2.3.

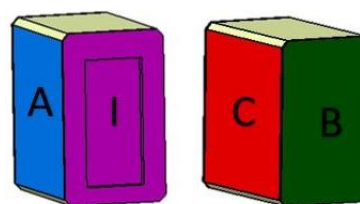


Fig. 2.3. Codificarea pereților cabinei.

Pentru testare s-au ales mai multe cazuri de măsurători care sunt prezentate prin următoarele cazuri:

Cazul 1. Măsurare nominală a nivelului de zgomot ambiental, folosind sonometrul în exterior, fără sursă sonoră. În acest caz, s-a urmărit măsurarea nivelului de zgomot ambiental, la o distanță relativă față de pereții exteriori ai cabinei de 0,45 m și înălțimea de 1 m, măsurându-se nivelul de zgomot în jurul cabinei, pe fiecare perete în parte. Microfonul sonometului a fost poziționat la înălțimea de 1m și lungimea de 0,45 m față de fiecare perete (fig. 2.4).

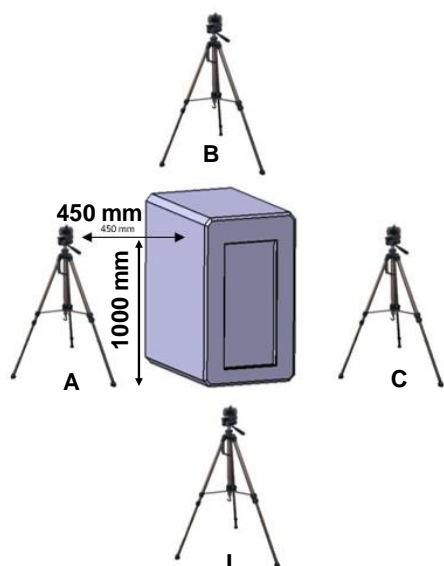


Fig. 2.4. Variantele de poziționare a sonometrului pentru înregistrarea zgomotului ambiental.

Cazul 2. Sursa sonoră în exterior și sonometrul în interiorul cabinei. S-au făcut 3 tipuri de măsurători, în etape diferite de izolare acustică a incintei: în prima etapă - incinta nefiind izolată, în cea de-a doua etapă, cabina izolată cu vată minerală de sticlă, iar în a treia etapă, cabina izolată atât cu vată cât și cu buretele fonoabsorbant. Pentru etapa în care s-a măsurat nivelul de zgomot din interiorul cabinei neizolate, sursa sonoră a fost întreptată spre fiecare dintre pereții cabinei, astfel:

Pentru peretele A, sursa sonoră a fost poziționată la 1940 mm față de peretele A, iar sonometrul aflat în interiorul camerei la 450 mm față de peretele A (fig. 2.5).

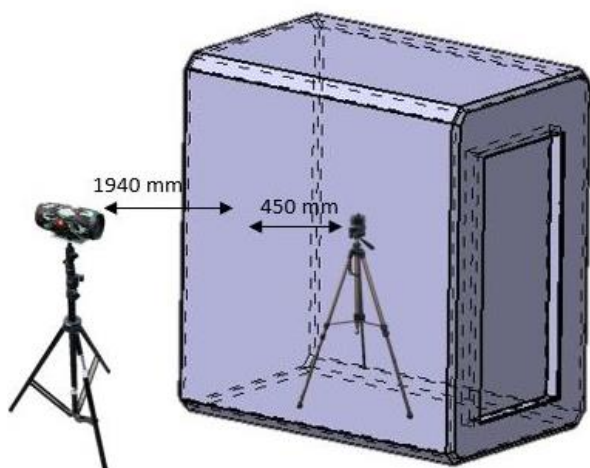


Fig.2.5. Sursă exterior la 1940 mm față de perete A.

Pentru perete B, sursa sonoră a fost poziționată la 1530 mm față de peretele B, iar sonometrul aflat în interiorul camerei la 450 mm față de peretele B (fig. 2.6, a). Apoi, sursa sonoră a fost poziționată la 450 mm față de peretele B, iar sonometrul aflat în

interiorul camerei la 450 mm față de peretele B (fig. 2.6, b).

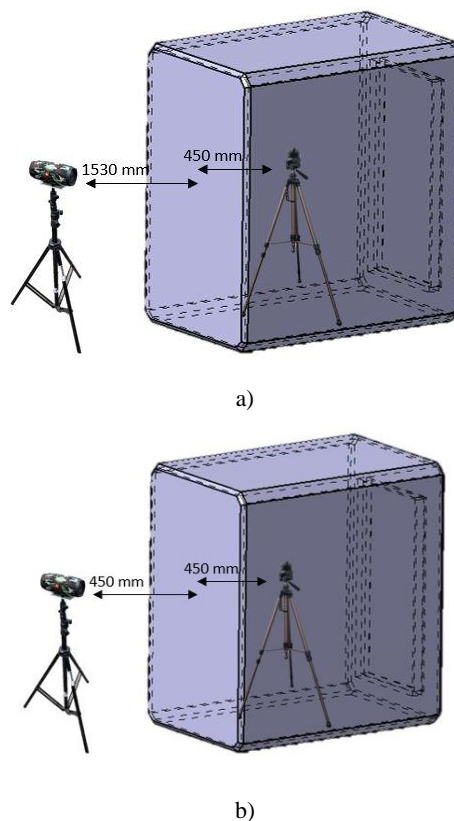


Fig. 2.6. Variantele de poziționare a sursei sonore față de peretele B:

a) Sursă exterior la 1530 mm față de peretele b; b) sursă exterior la 450 mm față de peretele b.

Cazul 3. Sursa în interiorul cabinei iar sonometrul în exteriorul acesteia. Aceleași trei tipuri de măsurători s-au făcut și pentru cazul III, în diferite grade de izolare acustică a cabinei: prima, incinta nefiind izolată, în cea de a doua, cabina fiind izolată cu vata minerală de sticlă, iar în a treia măsurătoare, cabina a fost izolată atât cu vată cât și cu buretele fonoabsorbant (tabelul 2.1).

2.2. Determinarea coeficientului de absorbție fonică al materialelor folosite pentru izolarea incintei

Metoda tubului de impedanță se utilizează pentru determinarea coeficientului de absorbție a sunetului, impedanța și admitanța acustică, coeficienții de pierdere de reflexie și transmisie, fiind testate tipuri de materiale. Procedura de testare este descrisă în SR EN ISO 10534-1:2005. Valorile sunt determinate la incidența acustică normală prin evaluarea câmpului de unde staționare ale unei unde plane într-un tub. Evaluarea se bazează pe valorile măsurate ale nivelului de presiune acustică minime și pe nivelul de presiune acustică maximă. Astfel, epruvetele din

MĂSURAREA NIVELULUI DE ZGOMOT AL UNEI INCINTE IZOLATE ACUSTIC

materialele ce se testează trebuie să fie circulare, cu diametru de 100 mm, 63.5 mm 29 mm (în funcție mărimea tubului) și grosimi de maxim 35mm.

Tabelul 2.1. Cazurile pentru sursa în interiorul cabinei iar sonometrul în exteriorul acesteia

Cazuri	Distanța sursa (I)-perete	Distanța sonometru (E)-perete	Grosime perete	Observații
Caz.3. A.I	1940	450	280	Perete Neizolat
Caz.3. A.II	1940	350	380	Perete izolat vată minerală
Caz.3. A.III	1940	330	400	Perete izolat vată + burete
Caz.3. A.I	450	450	280	Perete Neizolat
Caz.3. A.II	450	350	380	Perete izolat vată minerală
Caz.3. A.III	450	330	400	Perete izolat vată + burete
Caz.3. B.I	1530	450	280	Perete Neizolat
Caz.3. B.II	1530	350	380	Perete izolat vată minerală
Caz.3. B.III	1530	330	400	Perete izolat vată + burete
Caz.3. B.I	450	450	280	Perete Neizolat
Caz.3. B.II	450	350	380	Perete izolat vată minerală
Caz.3. B.III	450	330	400	Perete izolat vată + burete
Caz.3. I.I	1530	450	280	Perete Neizolat
Caz.3. I.IV	1530	430	300	Perete izolat burete
Caz.3. I.I	450	450	280	Perete Neizolat
Caz.3. I.IV	450	430	300	Perete izolat burete

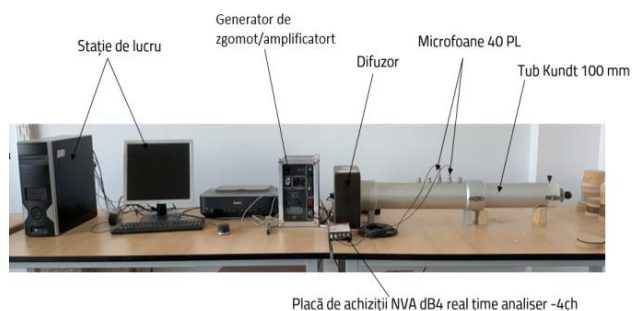


Fig. 2.7. Schema instalației experimentale.

3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

3.1. Analiza comparativă a nivelului de izolare acustică a incintei pentru diferite cazuri de materiale izolatoare

În cazul măsurării nivelului de zgomot ambiental, s-au comparat diferențele de nivel de zgomot pe toate laturile exterioare ale pereților cabinei la înălțimea de 1m și lungimea la 0,45 m față de fiecare perete, măsurătorile fiind făcute fără sursă sonoră. S-a constatat că cel mai înalt nivel de zgomot echivalent se înregistrează pentru peretele B, urmat de peretele A. Pentru ceilalți doi pereți orientați spre clădirea institutului se înregistrează valori ale nivelului de zgomot echivalent de 46 – 48 dB, valorile fiind mai reduse ca urmare a conului de umbra produs de poziționarea cabinei (fig. 3.1,a). Izolarea cu vată minerală cașerată cu aluminiu produce îmbunătățire a izolării fonice a cabinei cu aproximativ 15.6%, iar adăugirea buretelui duce la o diminuare a nivelului de zgomot cu 22.5% față de cabina neizolată (fig. 3.1, b). În cazul orientării echipamentelor de măsurare față de peretele B, nivelul de zgomot echivalent înregistrat în interiorul cabinei, a fost de 61.06 dB pentru cabina neizolată.

Izolarea cu vată minerală a dus la creșterea gradului de izolare acustică cu 19% față de cabina neizolată și cu 22.7% în cazul adăugirii stratului de burete peste vata minerală (fig. 3.1, c).

Apropierea sursei sonore de peretele B cu 1080 mm, a dus implicit la creșterea nivelului de zgomot măsurat în interiorul cabinei cu 5.46 dB pentru cabina neizolată; 4.57 dB pentru cabina izolată cu vată și cu 3.31 dB în cazul izolării cu burete. Procentele privind gradul de izolare acustică rămân aproximativ aceleași ca și cazul plasării sursei sonore la o distanță de 1530 mm, respectiv: 19.55%; 24.14% (fig. 3.1., d). Pentru peretele prevăzut cu ușa de acces, s-au măsurat două cazuri de izolare: peretele neizolat și peretele izolat doar cu burete. Nivelul de zgomot înregistrat în primul caz, a fost de 67.78 dB, valoare apropiată de cea înregistrată pe peretele opus ușii (peretele B, 66.52 dB) (tabelul 2.9). Menționăm că nivelul de zgomot produs de sursa sonoră a fost același pentru toate cazurile de testare și anume 85 dB. Izolarea ușii numai cu buretele cofrat a dus la o diminuare a nivelului de zgomot de 56.35 dB, adică cu 16.8% față de cabina neizolată (fig. 3.1, e).

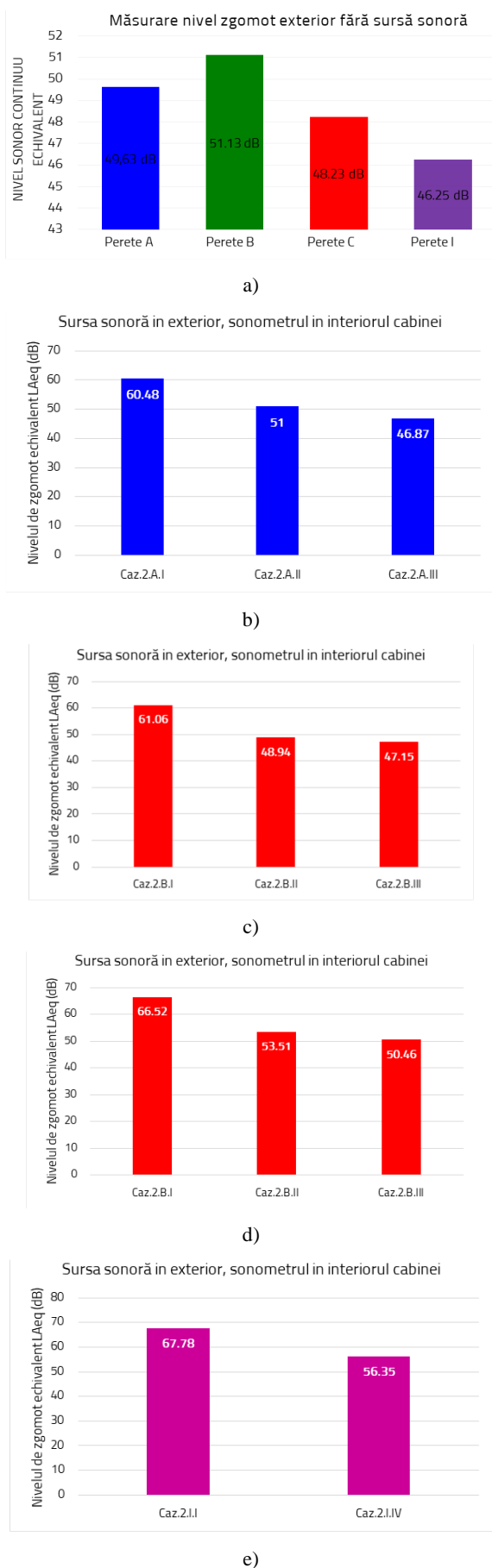


Fig. 3.1. Grafic măsurare nivel zgomot exterior fără sursă sonoră.

3.2. Determinarea coeficientului de absorbție fonică al materialelor folosite pentru izolarea incintei

Pentru tubul de impedanță au fost pregătite probe de formă circulară, cu diametrul de 100 mm, grosimea până la 20 – 120 mm, din următoarele materiale codificate astfel: A – vata minerală cașerată; B – burete cofrat fonoabsorbant; C - structura mixtă A și B. Astfel, probele de vata minerală cașerată au fost testate în două variante: AF1 –proba din vată minerală testată pe fața1 (Fig. 3.2. a); AF2 – proba din vată minerală testată pe fața 2 (Fig. 3.2b). Probele din burete cofrat fonoabsorbant au fost testate în patru variante: BF1– reprezentând proba cu fața cofrată, fiind considerată fața 1 (Fig. 3.3, a); BF2 - reprezentând proba de burete cu fața necofrată poziționată în echipamentul de testare (fața 2) (Fig. 3.3, b); BF1BF1 – proba din burete obținută prin dublarea straturilor, fața cofrată a ambelor discuri din burete fiind poziționate în același sens (considerate fața 1) (Fig. 3.3, c); BF2BF1- proba din burete obținută prin dublarea straturilor, testate pe fața necofrată (fașa 2) (Fig. 3.3, d).

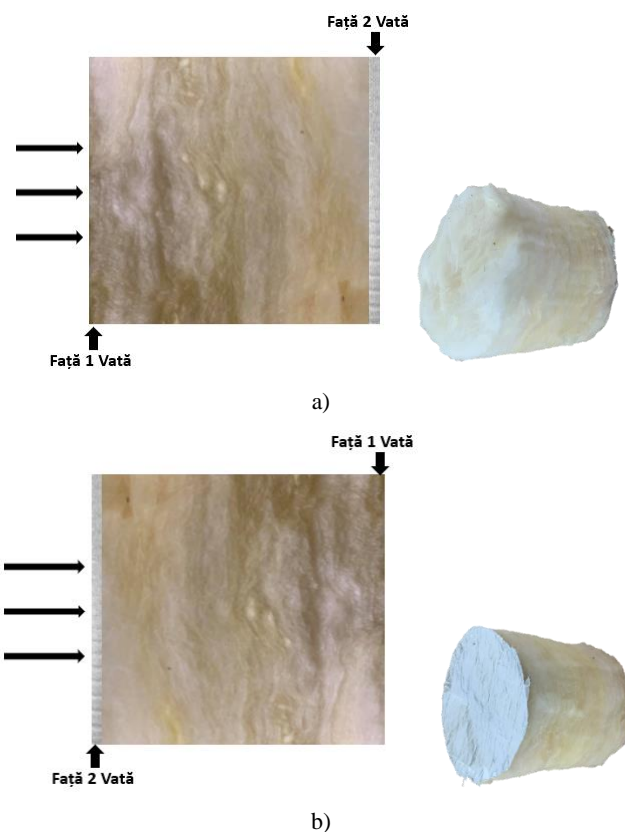


Fig. 3.2. Probe vată minerală de sticlă cașerată cu folie de aluminiu:
 a) AF1; b) AF2.

Întrucât structura de izolare fonica a cabinei conține atât stratul de vată minerală cofrată cât și buretele, s-au realizat probe mixte vată-burete

MĂSURAREA NIVELULUI DE ZGOMOT AL UNEI INCINTE IZOLATE ACUSTIC

(structura mixtă A și B) pentru a fi testate în Tubul Kundt, în următoarele variante: proba BF1AF1- probă formată din burete și vată, testarea realizându-se pentru fața cu buretele cofrat (fig. 3.4, a); proba BF2AF1- probă formată din burete și vată, testarea realizându-se pentru fața necofrată a buretelui (fig. 3.4, b); proba BF1AF2- probă formată din burete și vată, testarea realizându-se pentru fața cofrată a buretelui și fața 2 a vatei (fig. 3.4, c); proba BF2AF2- probă formată din burete și vată, testarea realizându-se pentru fața necofrată a buretelui și fața 2 a vatei (fig. 3.4, d).

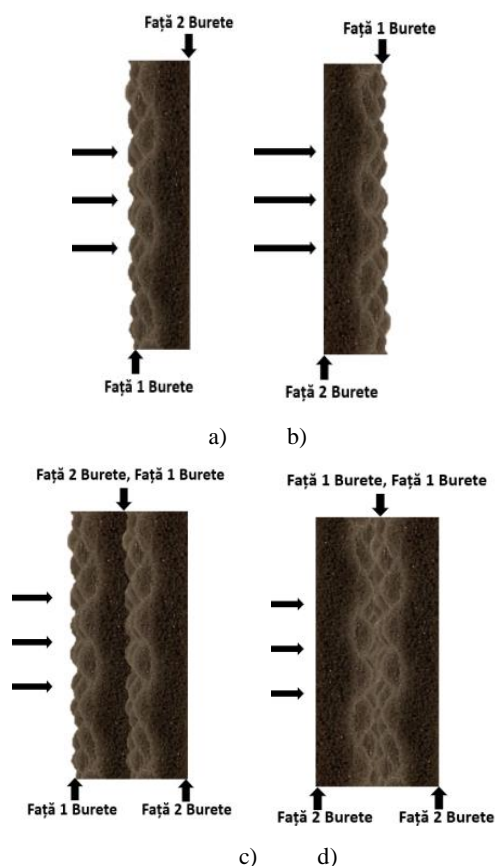


Fig. 3.3. Probe burete cofrat fonoabsorbant a) BF1; b) BF2; c) BF1BF1; d) BF2BF1

Probele au fost testate pe un interval de frecvențe cuprins între 0-1400 Hz. Măsurătorile asupra probelor din vată minerală de sticlă cașerată cu folie de aluminiu arată că în intervalul 0-300 Hz probele se comportă oarecum asemănător având valori al coeficientului de absorbție apropiate, în intervalul 300-700 Hz vata testată pe fața 2, are un coeficient de absorbție fonică mai bun, iar pe măsură ce valorile cresc mai mult de 700 Hz, vata testată pe fața 1 are un coeficient de absorbție mai bun

Pentru probele din burete cofrat fonoabsorbant, testele au fost făcute pe două discuri separate rezultând valori asemănătoare ale coeficientului de absorbție. Valoarea coeficientului de absorbție pentru cele 2 cazuri în care s-au dublat straturile de burete a fost cu puțin

mai mare pe fața cofrată a ambelor discuri din burete poziționate în același sens (considerate fața 1 – BF1BF1). În intervalul 50-250 Hz valorile coeficientului de absorbție fonic sunt apropiate indiferent de poziția buretelui, chiar și în cazurile în care au fost dublate straturile nivelul fiind asemănător. Măsurătorile probelor compuse din buretele cofrat fonoabsorbant și vata minerală în intervalul 0-240 Hz au arătat un nivel mai ridicat pe suprafața necofrată a buretelui (BF2AF1 și BF2AF2) (fig. 3.5).

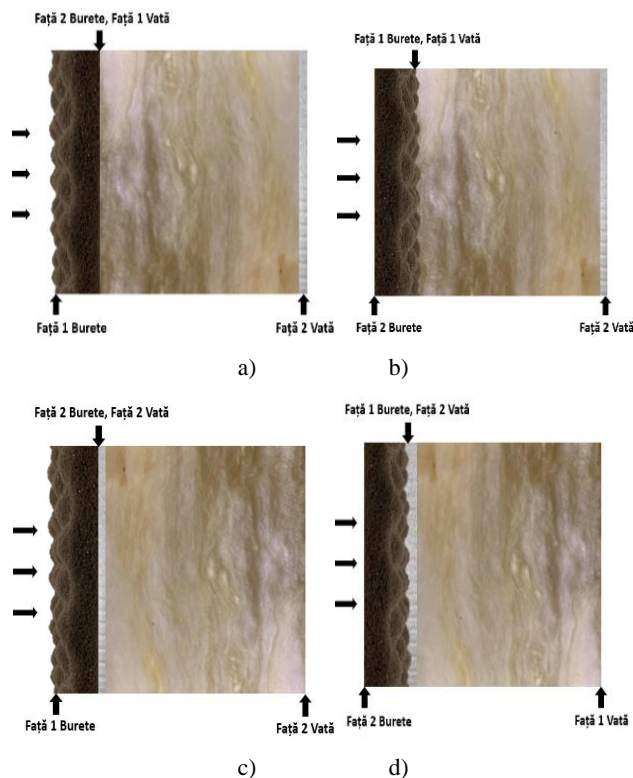


Fig. 3.4. Probe mixte burete-vată: a) BF1AF1; b) BF2AF1; c) BF1AF2; d) BF2AF2

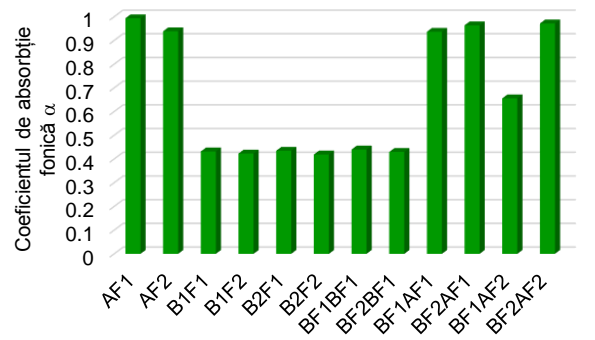


Fig. 3.5. Variația coeficientului de absorbție fonică în funcție de materialele testate

5. CONCLUZII

În urma măsurătorilor facute cu sonometrul Brüel & Kjaer de tip 2250 pentru cele trei cazuri de izolare,

mai exact, incinta neizolată, incinta izolată cu vată minerală de sticlă cașerată cu folie de aluminiu și incinta izolată cu vata minerală peste care i-a fost adăugat burete cofrat fonoabsorbant s-a observat că nivelul cel mai scăzut de zgomot a fost măsurat în cazul incintei izolate cu vată și burete valoarea nivelului de zgomot LAeq fiind cu 10-15 dB mai mică în comparație cu incinta neizolată.

Diferența dintre valorile nivelului de zgomot pentru cazurile incintei izolate cu vată și izolate cu straturile de vată și burete au fost destul de mici cuprinse într-un interval de 1-4 dB.

În urma măsurătorilor facute cu tubul de impedanță valoarea cea mai bună a coeficientului de absorbție fonică a fost în rândul probei AF1, mai exact de 0.994, dar apropiată de valorile probelor AF2 și a celor mixte (burete și vată). Rezultând că pentru a avea un coeficient de absorbție fonică bun, este suficient utilizarea vatei minerale de sticlă cașerată cu aluminiu.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Romina del Rey, Jesus Alba, Jorge P. Arenas, Vicente J S. An empirical modelling of porous sound absorbing materials made of recycled foam, *Applied Acoustics*, Elsevier 2012:73, p. 604-609.
- [2] Bratu, P., Dragan, N., Vasile, O., Experimental studies of sound absorption coefficient of composite materials used for acoustic treatments of the cabins, The 11-th International Congress on Automotive and Transport Engineering CONAT 2010, *Proceedings – Volume III "Automotive Vehicles and Environment"*, ISSN 2069-0401, pag. 177-184
- [3] Stanciu M D., Timar J, Curtu I, Rosca I C. Evaluation of acoustics properties of composite materials with potential application in the sound barriers structures. In *Proceedings Vol IV – Advanced Transport Systems and Road Traffic of the 11th International Congress on Automotive and Transport Engineering CONAT2010*; 2010; p. 91 – 96.
- [4] Asdrubali Fr, Baldinelli G, D'Alessandro Fr. Evaluation of the acoustic properties of materials made from recycled tyre granules. In *Proceedings of 36th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*, August 28-31, Istanbul, 2007.
- [5] Glé P, Gourdon E, Arnaud L. Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales, of porosity, *Applied Acoustics*, 2011:72, p. 249 – 259.
- [6] Oldham D, Egan C, Cookson R. Sustainable acoustic absorbers from the biomass, *Applied Acoustics* 2011; 72:6, p. 350-363.
- [7] Bratu M, Ropota I. Noise Attenuation using Panels Made of Polymer Composite Materials. In *Proceedings of Commission Sessions of Acoustics SISOM 2010*.
- [8] ISO 10534-1:1996 Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes – Part 1: Method using standing wave ratio.
- [9] Sung Soo Jung, Yong Tae Kim, Yong Bong Lee. (2008) Measurement of Sound Transmission Loss by Using Impedance Tube. *Journal of Korean Physical Society*, Vol. 53, No. 2, August 2008, p. 596 – 600
- [10] Stanciu M D, Curtu I, Lica D. Evaluating the Efficiency of Recycling Composite Panels Made from ABS to Reduce the Traffic Noise. In *Proceedings of the 5th International Conference "Computational mechanics and Virtual Engineering – COMEC 2013*, 24-25 October 2013, p. 489-492.
- [11] Xiaodong Zhu, Birm June Kim, Qingwen Wang, Qinglin Wu. Recent Advances in the Sound Insulation Properties of Bio-based Materials. *BioResources* 2014; 9:1, p. 1764-1786.
- [12] Stanciu M. D., Curtu Ioan, Cosereanu C., Lica D. (2015) Soundproofing Performance Evaluation Of Panels Made Of Fibers Of Acrylonitrile Butadiene Styrene Copolymer (ABS), *Procedia Technology*, Volume 19, 2015, Pages 260–267 8th International Conference Interdisciplinarity In Engineering, INTER-ENG 2014, 9-10 October 2014, Tirgu Mures, Romania, Doi:10.1016/J.Protcy.2015.02.038, ISSN 2212-0173
- [13] Cosereanu C., Lăzărescu C., Curtu I., Lică D., Șova D., Brenci L.M., Stanciu M.D. (2010), Research on New Structures to Replace Polystyrene used for Thermal Insulation of Buildings, *Materiale Plastice* 47(3), 2010, pp. 341-345
- [14] Curtu I., Stanciu M.D., Cosereanu C., Vasile O., (2012) Assessment of acoustic properties of biodegradable composite materials with textile inserts, *Materiale Plastice* 49(1), 2012, p. 68-72
- [15] Tămaș-Gavrea D-R, Dénes T-O, Iștoan R, Tiuc AE, Manea DL, Vasile O. A Novel Acoustic Sandwich Panel Based on Sheep Wool. *Coatings*. 2020; 10(2):148. <https://doi.org/10.3390/coatings10020148>