



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI
PERSOANELOR VĂRSTNICE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



ROMÂNIA
MINISTERUL EDUCAȚIEI, CERCETĂRII, TINERETULUI ȘI SPORTULUI
UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS DIN GALAȚI

Strada Domnească nr. 47, cod poștal 800008
Galați, România
E-mail: rectorat@ugal.ro



Tel.: (+4) 0336-130.109; 0336-130.108; 336-130.104
Fax: (+4) 0236 - 461.353
www.ugal.ro

UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” GALAȚI
ȘCOALA DOCTORALĂ DE INGINERIE

REZUMAT
TEZĂ DE DOCTORAT
ANALIZA NIVELULUI DE PERFORMANȚĂ A MATERIALELOR
FONOABSORBANTE ȘI ANTIVIBRATILE PENTRU CONSTRUCȚII
ÎN VEDEREA ATESTĂRII DE CONFORMITATE

Doctorand
Ing. Ana GHEORGHE

Conducător Științific
Prof.univ.dr.ing.dr.h.c. Polidor BRATU
Membru al Academiei de Științe Tehnice din România

Seria I 6: Inginerie mecanică Nr. 1
Galați
2013



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI
PERSOANELOR VĂRSTNICE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



ROMÂNIA
MINISTERUL EDUCAȚIEI, CERCETĂRII, TINERETULUI ȘI SPORTULUI
UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

Strada Domnească nr. 47, cod poștal 800008
Galați, România
E-mail: rectorat@ugal.ro



Tel.: (+4) 0336-130.109; 0336-130.108; 336-130.104
Fax: (+4) 0236 - 461.353
www.ugal.ro

UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” GALAȚI
ȘCOALA DOCTORALĂ DE INGINERIE

REZUMAT

TEZĂ DE DOCTORAT

*ANALIZA NIVELULUI DE PERFORMANȚĂ A MATERIALELOR
FONOABSORBANTE ȘI ANTIVIBRATILE PENTRU CONSTRUCȚII
ÎN VEDEREA ATESTĂRII DE CONFORMITATE*

Doctorand
Ing. Ana GHEORGHE

Conducător științific, **Prof.univ.dr.ing.dr.h.c. Polidor BRATU,**
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați

Președinte, **Conf.univ.dr.ing. Cristian SIMIONESCU,**
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați

Referenți științifici, **Prof.univ.dr.ing. Ioan MAGHEȚI,**
Universitatea “Politehnica” București
Prof.univ.dr.ing. Cristian PAVEL,
Universitatea Tehnică de Construcții București
Prof.univ.dr.ing. Eugen-Victor-Cristian RUSU,
Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați

Seria I 6: Inginerie mecanică Nr. 1

Galați
2013

Seriile tezelor de doctorat sustinute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:

Domeniul ȘTIINȚE INGINEREȘTI

Seria I 1: **Biotehnologii**

Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**

Seria I 3: **Inginerie electrică**

Seria I 4: **Inginerie industrială**

Seria I 5: **Ingineria materialelor**

Seria I 6: **Inginerie mecanică**

Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**

Seria I 8: **Ingineria sistemelor**

Domeniul ȘTIINȚE ECONOMICE

Seria E 1: **Economie**

Seria E 2: **Management**

Domeniul ȘTIINȚE UMANISTE

Seria U 1: **Filologie- Engleză**

Seria U 2: **Filologie- Română**

Seria U 3: **Istorie**



ROMÂNIA
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE

Către



Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați vă face cunoscut că, în data de _____, ora _____, în _____, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată: „ANALIZA NIVELULUI DE PERFORMANȚĂ A MATERIALELOR FONOAORBANTE ȘI ANTIVIBRATILE PENTRU CONSTRUCȚII ÎN VEDEREA ATESTĂRII DE CONFORMITATE”, elaborată de doamna/domnul **GHEORGHE ANA**, în vederea conferirii titlului științific de doctor în domeniul de doctorat **Inginerie mecanică**.

Comisia de doctorat are următoarea componență :

- 1. Președinte** Conf.univ.dr.ing. Cristian SIMIONESCU
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
- 2. Conducător de doctorat** Prof.univ.dr.ing. Polidor-Paul BRATU
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
- 3. Referent oficial** Prof.univ.dr.ing. Ioan MAGHEȚI
Universitatea POLITEHNICA București
- 4. Referent oficial** Prof.univ.dr.ing. Cristian PAVEL
Universitatea Tehnică de Construcții București
- 5. Referent oficial** Prof.univ.dr.ing. Eugen-Victor-Cristian RUSU
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Cu această ocazie vă transmitem rezumatul tezei de doctorat, și vă invităm să participați la susținerea publică. În cazul în care doriți să faceți eventuale aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării, vă rugăm să le transmiteți în scris pe adresa universității, str. Domnească nr. 47, 800008 Galați, Fax - 0236 / 461353, e-mail rectorat@ugal.ro.

Rector,

Prof. univ. dr. ing. Iulian Gabriel BÎRSAN



Cuvânt de mulțumire

În activitatea de pregătire, întocmire și finalizare a tezei de doctorat am fost permanent sprijinită de Dl. Prof. Univ. Dr. h.c. Polidor BRĂTU – Președinte Director-General ICECON SA București, față de care îmi exprim cele mai sincere mulțumiri și profunda mea recunoștință pentru încrederea și coordonarea științifică acordată.

Mulțumiri speciale Domnului Șef Lucrări Dr. Ing. Ovidiu VASILE – Director Științific al Departamentului “Laborator de încercări ICECON TEST” din cadrul ICECON SA București, pentru sprijinul acordat în realizarea cercetărilor experimentale.

De asemenea, doresc să mulțumesc Doamnei Ing. Genica ANTOHE - Director Executiv și colegelor din Departamentul de certificare ICECON CERT, pentru sprijinul acordat în realizarea studiilor privind certificarea produselor ce intra sub incidența Directivei 2000/14/CE – privind nivelul emisiilor de zgomot în mediu produs de echipamente destinate utilizării în exteriorul clădirilor.

Teza de doctorat a fost elaborată în cadrul Proiectului POSDRU/107/1.5/S/76822, cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013, Domeniul Major de Intervenție: 1.5 „Programe doctorale și postdoctorale în sprijinul cercetării”.

Alese mulțumiri distinșilor profesori, membri ai comisie de doctorat pentru solitudinea și probitatea profesională cu care au analizat prezenta lucrare, cât și pentru aprecierile și observațiile juste.

Mulțumesc familiei pentru sprijinul moral și emoțional acordat pe întreaga perioadă de desfășurare a pregătirii doctorale.

Ing. Ana GHEORGHE

Cuprins

Abrevieri.....	6
Lista figurilor.....	7
Lista tabelelor.....	10
Introducere.....	12
Obiectivele tezei de doctorat.....	13
Structura tezei de doctorat.....	14
Capitolul 1. Cerințe de calitate și performanță pentru panouri de reducere a zgomotului.....	16
1. Cerințe parametrice pentru reducerea zgomotului prin fonoabsorbție și fonoizolare.....	16
1.1 Noțiuni introductive.....	16
1.2 Caracteristicile sunetului.....	19
1.3 Spectrul audibil.....	19
1.4 Reflexia și transmisia (refracția) undelor.....	29
2. Cerințe tehnologice de realizare a dispozitivelor de reducere a zgomotului în vederea asigurării calității.....	32
2.1 Noțiuni introductive privind dispozitivele de reducere a zgomotului.....	32
2.2 Măsuri de combatere a zgomotului.....	34
2.3 Definierea tipurilor de bariere de zgomot și materiale folosite pentru construcția acestora.....	37
2.3.1 Denivelările naturale de teren.....	38
2.3.2 Bariera de zgomot compusă din pereți verticali și denivelări de teren..	39
2.3.3 Bariere de zgomot din elemente modulare.....	40
2.3.4 Alte tipuri de bariere acustice.....	40
2.3.5 Concluzii.....	45
2.4 Condiții de realizare a parametrilor acustici pentru barierele de zgomot.....	46
3. Cerințe de amplasare și montare a dispozitivelor de reducere a zgomotului în spații rutiere extra-urbane și urbane.....	48
Capitolul 2. Analiza nivelului de performanță a sistemelor de reducere a zgomotului.....	51
2.1 Conceperea și stabilirea performanțelor funcțional-constructive și de eficiență a reducerii zgomotului.....	51
1.1 Prevederi generale ale nivelului de performanță a sistemelor de reducere a zgomotului.....	51
1.2 Conținutul și transpunerea documentelor normative din domeniul zgomotelor și vibrațiilor.....	52
1.3 Nivelul de protecție la zgomot – stadiul actual.....	57
1.3.1 Măsuri de reducere a efectului global al zgomotului.....	58
1.4 Rolul și importanța analizei nivelului de performanță în raport cu prevederile din documentele de referință.....	59
1.4.1 Definiții și terminologie specifică dispozitivelor de reducere a zgomotului.....	60
1.4.2 Parametrii fizici, mecanici și acustici ai dispozitivelor de reducere a zgomotului.....	64
1.4.3 Parametrii funcționali-constructivi ai dispozitivelor de reducere a	

zgomotului.....	65
1.5 Influența acțiunilor exterioare asupra performanțelor de izolare și absorbție acustică.....	67
2.2 Sisteme, structuri și elemente fonoabsorbante și antivibratile.....	68
2.1 Materiale fonoabsorbante. Parametrii acustici	68
2.2 Performanța materialelor fonoabsorbante.....	71
2.3 Materiale compozite fonoabsorbante cu proprietăți de amortizare a vibrațiilor structurale.....	71
2.3.1 Materiale antivibratile.....	71
2.3.1.1 Determinarea caracteristicilor de amortizare a materialelor antivibratile.....	72
2.3.2 Evaluarea nivelului de amortizare structurală.....	78
2.3.3 Materiale fonoabsorbante.....	80
2.4 Alegerea materiei prime pentru realizarea materialelor fonoabsorbante.....	82
2.4.1 Rumegușul – deșeu reciclabil.....	82
2.4.2 Granule de cauciuc reciclat.....	83
2.4.3 Liant.....	83
2.5 Concluzii.....	83
3. Evaluarea performanțelor acustice pentru reducerea zgomotului pentru structurile compozite realizate din materiale reciclabile.....	84
3.1 Influența structurilor compozite asupra coeficientului de absorbție acustică...	93
3.2 Influența procesului de îngheț-dezgheț asupra coeficientului de absorbție al materialelor realizate.....	99
3.3 Coeficientul de absorbție acustică pentru materialele multistrat perforate.....	101
3.4 Concluzii.....	102
Capitolul 3. Evaluarea experimentală a capacității fonoabsorbante.....	103
3.1 Determinarea absorbției prin metoda determinării coeficientului de absorbție acustică – TUB KUNDT.....	103
3.1.1 Domeniul de aplicare a metodei, termeni și definiții.....	103
3.1.2 Principiul metodei de încercare.....	104
3.1.2.1 Principii fundamentale privind metoda de măsurare.....	105
3.1.2.2 Echipament folosit pentru realizarea încercărilor în laborator..	106
3.1.2.3 Condiții de realizare a încercărilor de laborator.....	107
3.1.2.4 Reguli de procedură privind modul de lucru.....	109
3.2 Caracteristica experimentală necesară pentru stabilirea amplasării dispozitivelor de reducere a zgomotului.....	110
3.2.1 Introducere.....	110
3.2.2 Lucrări de construcții executate în spații largi și fronturi deschise.....	111
3.2.3 Alegerea pozițiilor microfoanelor în conformitate cu prevederile Directivei 2000/14/CE.....	113
3.2.4 Evaluarea rezultatelor experimentale.....	115
4 Concluzii.....	124
Capitolul 4. Soluții inovative de reducere a nivelului de zgomot în exteriorul clădirilor.....	126
4.1 Noțiuni introductive.....	126
4.2 Corelații și soluții parametrice.....	126
4.2.1 Transmisia sonoră.....	126
4.2.2 Absorbția sonoră.....	127
4.2.3 Recomandări pentru adoptarea soluțiilor tehnice.....	127

4.2.3.1	Înălțimea ecranului.....	127
4.2.3.1	Locul de amplasare în raport cu sursa.....	128
4.2.3.2	Locul de amplasare în raport cu receptorul.....	128
4.3	Recomandări tehnice cu privire la izolarea acustică a căilor ferate.....	131
4.3.1	Elemente de acustică specifice zgomotului feroviar.....	131
4.3.2	Capacitatea de reducere a zgomotului pentru un dispozitiv de cale ferată.....	131
4.3.2.1	Panouri fonoabsorbante destinate protecției împotriva zgomotului de trafic.....	132
4.3.2.2	Determinarea performanțelor neacustice pentru panoul fonoabsorbant.....	136
4.3.2.2.1	Considerații generale.....	136
4.3.2.2.2	Determinarea deformațiilor la încărcarea sub sarcină din greutate proprie și greutate suplimentară.....	137
4.3.2.2.3	Determinarea adâncimii amprentei la încercarea pentru impactul cu agregate.....	139
4.3.2.3	Determinarea performanțelor acustice pentru panoul fonoabsorbant.....	141
4.3.2.3.1	Determinarea curbei de absorbție acustică.....	141
4.3.2.3.2	Determinarea „in situ” a pierderii prin inserție a panourilor acustice.....	143
4.3.2.3.3	Determinarea izolării la zgomot aerian.....	146
4.4	Caracteristici experimentale pentru un ecran modular fonoizolator utilizat pentru realizarea elementelor cu geometrie adaptabilă.....	152
4.4.1	Noțiuni introductive.....	152
4.4.2	Proiectare model element acustic funcțional.....	152
4.4.3	Materiale utilizate pentru realizare element acustic.....	153
4.4.4	Realizarea variantelor de ecrane.....	154
4.4.5	Aparatura utilizată.....	158
4.4.6	Prezentare rezultate experimentale.....	158
4.4.7	Concluzii.....	160
4.5	Propagarea undelor acustice prin pereți, modelați ca elemente elastic neinerțiale.....	161
4.5.1	Concluzii.....	163
4.6	Armonizarea criteriilor normative cu cerințele tehnice de performanță pentru procesele vibroacustice.....	165
4.6.1	Introducere.....	165
4.6.2	Evaluarea conformității.....	165
4.6.3	Evaluarea performanței materialelor fonoabsorbante.....	166
4.6.4	Controlul producției în fabrică.....	169
4.6.5	Concluzii parțiale.....	169
Capitolul 5. Concluzii generale, contribuții și direcții de cercetare.....		170
5.1	Concluzii generale.....	170
5.2	Contribuții personale.....	174
5.3	Direcții viitoare de cercetare.....	174
Bibliografie.....		176
Anexe.....		181
Lucrări științifice publicate și comunicate.....		196

Teza de doctorat cuprinde 5 capitole dezvoltate pe 197 pagini, cu un numar total de 106 figuri și 42 tabele, încheindu-se cu lista celor 116 referințe. **Rezumatul lucrării de doctorat păstrează structura acesteia în ceea ce privește numerotarea capitolelor, figurilor, tabelelor, relațiilor și referințelor bibliografice.**

OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Obiectivul fundamental al tezei de doctorat îl reprezintă analiza nivelului de performanță a materialelor fonoabsorbante și antivibratile pentru construcții în vederea atestării conformității.

În consecință, prezenta lucrare înglobează rezultatele cercetărilor efectuate privind definirea și performanța evaluată și verificată pentru următoarele direcții de cercetare:

- stabilirea unor categorii de materiale alcătuite în structuri fonoabsorbante, într-o mare varietate de combinații;
- stabilirea nivelului de zgomot pentru echipamente supuse limitării de zgomot cu utilizare în exteriorul clădirilor raportat la necesitatea instalării de dispozitive de reducere a zgomotului în spațiile din apropierea zonelor de locuit;
- determinarea performanțelor neacustice (determinarea deformațiilor la încărcarea sub sarcină din greutate proprie și greutate suplimentară, determinarea adâncimii amprente la încercarea impactului cu pietre) și acustice (determinarea curbei de absorbție acustică, determinarea „in situ” a pierderii prin inserție, determinarea performanței de izolare la zgomot aerian) pentru un panou acustic ce urmează a fi integrat într-un Dispozitiv de protecție la zgomot cu sistem propriu de fixare în teren;
- stabilirea și realizarea soluțiilor tehnice de proiectare și execuție a două variante constructive de element acustic, realizat din beton/tablă de oțel pe care s-au aplicat plăci de fibre de lemn liate cu ciment, „Heraklith-C”, și determinarea nivelului de presiune sonoră pentru acestea înainte și după aplicarea plăcilor de „Heraklith-C”;
- stabilirea (experimental și numeric) frecvenței critice, în vederea determinării frecvențelor ce corespund pierderilor de izolare fonică, pentru un perete realizat din beton / cauciuc;
- stabilirea nivelului de performanță, pe baza documentelor normative și de reglementare, pentru materialele fonoabsorbante din componența dispozitivelor de reducere a zgomotului, astfel încât să poată fi definite, încercate și stabilite soluții tehnice fezabile pentru protecția fonoabsorbantă și antivibratilă, printr-o diseminare largă a rezultatelor cât și prin asigurarea cerințelor de realizare a transferului tehnologic de fabricație. Asigurarea cerințelor de realizare a transferului tehnologic de fabricație poate fi concretizată prin atingerea următoarelor deziderate:
- analiza stadiului actual al cercetărilor specializate pentru atingerea unei coerențe și eficiențe predictibile, privind sistemele pasive de protecție la zgomot realizate într-o varietate mare de alcătuire a materialelor cât și printr-o realizare semnificativă și eficientă a structurilor;
- stabilirea categoriilor de materiale, sisteme, structuri și tehnologii de realizare a panourilor fonoabsorbante în configurație geometrică modulară, ca elemente de bază ale sistemelor de protecție pasivă. Cercetările în acest domeniu sunt de natură empiric științifică, cu ipoteze preliminare, cu rezultate parametrice așteptate, cu metode simple și evaluate precum și analize de sistematizare, clasificare și caracterizare criterială.

Toate activitățile specifice acestui domeniu empiric științific de abordare, constituie cercetări preliminare de clarificare și cercetare a activităților ulterioare;

- integrarea modelului structural, sub formă de panou fonoabsorbant, într-un sistem pasiv, specific domeniului de protecție stabilit pentru zone urbane, rurale, industriale sau sub formă de bariere antizgomot ca panouri interioare/exterioare pentru clădiri publice;
- definirea și stabilirea încercărilor experimentale prin metode specifice de laborator și „in situ”. Acestea trebuie să poată caracteriza sursele de zgomot, exterioare pozițiilor de localizare a activității lucrative sau a locuirii, prin niveluri de presiune sonoră măsurate și reprezentate în benzi de frecvență, conform reglementărilor în vigoare. De asemenea, experimentările în laborator trebuie realizate pe baza standardelor în vigoare privind determinarea coeficientului de absorbție α , cât și a factorului de amortizare a vibrațiilor structurale η ;

Pentru atingerea obiectivelor propuse sunt necesare metode și elaborare de studii, tehnici de încercare, soluții tehnice privind materialele, tehnologiile, alcătuirea structural fonoabsorbantă, precizări privind configurația geometrică și efectele fizico-mecanice ale sistemelor de protecție. Toate acestea implică următoarele activități de analiză și decizie:

- ✓ evaluarea efectelor asupra sănătății, sub aspect fiziologic și psiho-senzorial, cu consecințe privind capacitatea de muncă, odihnă și echilibrul psiho-social, cauzate de nivelul de intensitate sonoră, precum și de natura zgomotului de joasă frecvență, sub 1000 Hz, sau a zgomotului de înaltă frecvență, peste 2000 Hz;
- ✓ stabilirea unor soluții tehnice, cu caracter experimental și exploratoriu, privind varietatea sistemelor de protecție acustică, folosind panouri fonoabsorbante interioare/exterioare de protecție în configurația geometrică curbă sau plană, precum și în sistem modular de alcătuire. Stabilirea și caracterizarea materiei prime necesare realizării structurilor fonoabsorbante.
- ✓ caracterizarea surselor de zgomot din mediul ambiental, urban, rural și industrial și a surselor din traficul rutier, feroviar, aerian. Cele mai semnificative surse de zgomot analizate, în cadrul lucrării, sunt de proveniență deterministă, ca urmare a unor activității programate cu repetabilitate constantă sau de proveniență aleatoare cu surse de zgomot semnificative, ce provin din activității în construcții, industrie, transporturi precum și din fenomene climatice din mediul ambiental (vânt, ploaie, soare) cu distribuție probabilistică.

Având în vedere noțiunile specificate anterior cât și rezultatele cercetărilor în domeniu, **structura tezei de doctorat** este alcătuită astfel:

Capitolul 1. Cerințe de calitate ale realizării panourilor fonoabsorbante în care vor fi analizate aspecte privind: cerințe parametrice pentru reducerea zgomotului prin fonoabsorbție și fonoizolare; cerințe tehnologice de realizare în vederea asigurării calității; cerințe de amplasare și montare în spații rutiere extra-urbane și urbane;

Capitolul 2. Analiza nivelului de performanță stabilește criteriile care permit clasificarea dispozitivelor de reducere a zgomotului provenit din traficul rutier și a zgomotului din interiorul/exteriorul clădirilor și asigură informațiile necesare proiectării, execuției și administrării căilor de trafic rutier echipate cu dispozitive de reducere a zgomotului prin: conceperea și stabilirea performanțelor funcțional-constructive și de eficiență a reducerii zgomotului; soluții tehnice existente pentru structuri fonoabsorbante și fonoizolante în vederea reducerii zgomotului interior și

soluții tehnice existente pentru panourile fonoabsorbante; soluții tehnice inovative pentru sisteme fonoabsorbante și fonoizolante pe baza utilizării materialelor reciclabile; evaluarea performanțelor acustice pentru reducerea zgomotului pentru structurile compozite din materiale reciclabile.

Capitolul 3. Determinări experimentale privind eficiența fonoabsorbantă a materialelor compozite care pot fi încorporate barierelor de zgomot, prin: determinarea absorbției (metoda determinării coeficientului de absorbție acustică – tubul Kundt); determinarea absorbției și a reducerii nivelului de zgomot pentru panou (reverberație); caracteristica experimentală a capacității de reducere a zgomotului pentru panouri amplasate în spații rutiere; caracteristica experimentală a capacității de reducere a zgomotului pentru panouri amplasate în spații urbane.

Capitol 4. Soluții inovative de reducere a nivelului de zgomot în exteriorul clădirilor, prin: amplasare de panouri acustice pe căile rutiere sau izolare fonoabsorbantă a pereților interiori.

Capitol 5. Concluzii generale. Evidențierea concluziilor rezultate în urma studiilor și cercetărilor efectuate. Contribuțiile proprii și direcții de viitoare cercetare.

Teza de doctorat este însoțită de o *Lista bibliografică* în care sunt trecute toate materialele consultate pe parcursul elaborării tezei.

Atașat tezei de doctorat se vor regăsi Lucrările publicate și comunicate, de autoare, pe toată perioada stagiului de pregătire și realizare a tezei.

CAPITOLUL 1.

CERINȚE DE CALITATE ȘI PERFORMANȚĂ PENTRU PANOURI DE REDUCERE A ZGOMOTULUI

1. Cerințe parametrice pentru reducerea zgomotului prin fonoabsorbție și fonoizolare

1.1 Noțiuni introductive

Undele sonore se pot defini ca fiind “*mișcarea oscilatorie imprimată unor particule ale unui mediu elastic care se propagă din aproape în aproape în toate punctele sale ce aparțin unui volum de propagare*”. Procesul de propagare a oscilației poartă denumirea de *undă* [Net 01].

Pentru a putea fi percepute de urechea umană, undele sonore sunt grupate în funcție de domeniul frecvențelor și intensităților sonore, după cum urmează, [13]:

- ✓ *Infrasunete* având frecvențe cuprinse între 0 și 20 Hz ($0 < f < 20$ Hz);
- ✓ *Sunetele*, reprezintă vibrațiile sonore cu frecvențe cuprinse între 20 Hz și 20.000 Hz ($20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ KHz}$);
- ✓ *Vibrațiile sonore* cu frecvența cuprinsă între 20 kHz și 600 MHz ($20 \text{ KHz} < f < 600 \text{ MHz}$) produc numai senzația de durere asupra urechii umane și se numesc *ultrasunete*.

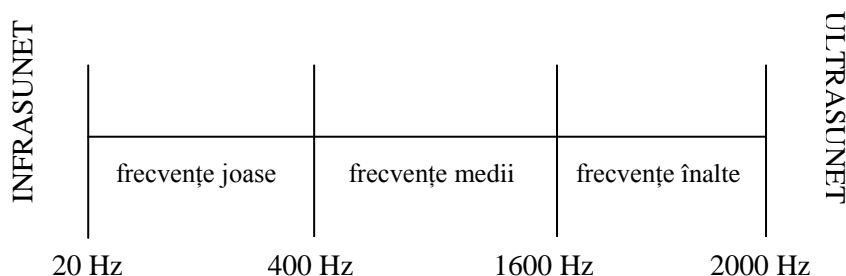


Figura 1.1 Gruparea undelor sonore

1.2 Caracteristicile sunetului

Pentru a înțelege efectele zgomotului este necesar să înțelegem natura sunetului, astfel sunetul trebuie analizat și din punctul de vedere al răspunsului psihologic la percepția acustică a ascultătorului otologic. Sunetul este o formă de energie fizică creată de obiectele care vibrează. Aceste vibrații se transmit sub forma unor "valuri" de presiune crescută sau scăzută care iradiază de la suprafața obiectului. Caracteristicile fizice ale sunetului sunt, [13]: **frecvența, intensitatea, durata sunetului, timbrul.**

1.3 Spectrul audibil

Senzația auditivă reprezintă un fenomen subiectiv, divers recepționat de către diferiți oameni, astfel se definește noțiunea de *ascultător otologic normal*, caz în care ascultătorul este reprezentat de un om cu vârsta cuprinsă între 18-25 ani, cu auz normal și fără afecțiuni ale organului auditiv, [13].

1.4 Reflexia și transmisia (refracția) undelor

Fenomenul de *reflexie*, este fenomenul de întoarcere a undei în mediul din care provine, atunci când întâlnește suprafața de separație a unui alt mediu, [65].

Fenomenul de *refracție* apare la suprafața de separare a două medii datorită schimbării direcției de propagare a undei sonore, [65].

2. Cerințe tehnologice de realizare a dispozitivelor de reducere a zgomotului în vederea asigurării calității

2.1 Noțiuni introductive privind dispozitivele de reducere a zgomotului

Luând în considerare modalitățile de diminuare a zgomotului transmis se definește caracteristica fonoizolantă și caracteristica fonoabsorbantă a dispozitivelor de reducere a zgomotului astfel, [8]: *capacitatea fonoizolantă, capacitatea fonoabsorbantă.*

2.2 Măsuri de combatere a zgomotului

Una din măsurile legislative privind evaluarea și gestionarea zgomotului ambiental este HG 321/2005 [41] care abordează evitarea, prevenirea și reducerea efectelor dăunătoare provocate de zgomotul ambiental, inclusiv a disconfortului ambiental.

2.3 Definire tipurilor de bariere de zgomot și materiale folosite pentru construcția acestora

Se prezintă exclusiv ecranele verticale și denivelările de pământ, cu rol de ecran fonoizolator, acestea pot fi, [47]: ecrane înalte, ecrane cu înălțime medie, ecrane joase; în funcție de caracteristicile acustice, pereții verticali se clasifică astfel: ecrane absorbante, ecrane reflectante, denivelările de pământ sau soluțiile mixte "ecrane plus denivelare", acoperirile totale sau parțiale ale căilor rutiere, elemente de protecție montate pe marginea căilor ferate.

2.3.1. Denivelările naturale de teren

2.3.2 Bariera de zgomot compusă din pereți verticali și denivelări de teren, [47].

2.3.3. Bariere de zgomot din elemente modulare

2.3.4. Alte tipuri de bariere acustice

Numărul tipurilor de ecrane acustice este foarte mare, astfel acestea se pot clasifica în: *ecrane reflectante, compacte*, [47].

Altă categorie de ecrane acustice sunt ecranele *fonoabsorbante*. Categoria ecranelor fonoabsorbante poate fi împărțită, astfel, [47]: ecrane absorbante a căror structură este formată dintr-un material cu proprietăți fonoabsorbante; ecrane absorbante formate dintr-o structură portantă rigidă, și un material distinct, cu proprietăți fonoabsorbante.

Se mai pot defini și alte tipuri de *Bariere de zgomot astfel: bariere de zgomot din materiale reciclate, bariere de zgomot formată din gabioane cu pietriș, bariere de zgomot din materiale plastice, bariere de zgomot metalice, bariere de zgomot din vegetație naturală*.

2.3.5 Concluzii

Principalele caracteristici de către trebuie să se țină seama atunci când se dorește proiectarea și alegerea unui anumit tip de barieră de zgomot, care se dorește a fi folosit, sunt: *alegerea materialului care trebuie să țină seama de: transmisibilitatea acestuia, absorbția; înălțimea ecranului; locul de amplasare a barierei în raport cu sursa de zgomot; locul de amplasare a barierei în raport cu receptorul de zgomot; greutatea proprie a structurii ecranului acustic; încărcarea datorată vântului; natura și tipul fundației*.

Analizând aspectele prezentate mai sus se constată că proiectarea unei bariere de zgomot este dependentă de înălțimea sa, de distanța de la sursă la receptor și invers și de tipurile de materiale folosite la construcția ei.

2.4 Condiții de realizare a parametrilor acustici pentru barierele de zgomot

Pentru a indica performanțele acustice și de izolare la zgomote aeriene, se definesc următorii indici în funcție de spectrul sonor standardizat al circulației:

1) *Indicele unic de evaluare a absorbției acustice DL_α* , dat de următoarea formulă, [82]:

$$DL_\alpha = -10 \log \left| 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{Si} 10^{0.1L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0.1L_i}} \right|, i=1,2,\dots,18 \quad (1.33)$$

unde DL_α este indicele unic de evaluare a performanței de absorbție acustică, exprimat sub forma unei diferențe de nivel de presiune acustică ponderată A, în dB;

α_{Si} - coeficientul de absorbție în banda spectrală de 1/3 octavă, centrată pe frecvența f_i ;

L_i - nivelul presiunii acustice standardizate ponderată A, exprimat în dB, a zgomotului de circulație în banda spectrală de 1/3 octavă, centrată pe frecvența f_i .

Pentru încadrarea rezultatelor performanțelor de izolare se utilizează categoriile definite în standardul de referință SR EN 1793-1:1999, [82].

2) *Indicele unic de evaluare a performanței de izolare la zgomote aeriene DL_R* , în dB, calculat cu următoarea formulă, [83]:

$$DL_R = -10 \log \left| 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0.1L_i} 10^{-0.1R_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0.1L_i}} \right|, i=1,2,\dots,18. \quad (1.46)$$

unde R_i este indicele de reducere sonoră în banda spectrală de 1/3 octavă; centrată pe frecvența f_i ;

L_i - nivelul presiunii acustice standardizate, ponderat A, normalizat, al spectrului zgomotului provenit de la traficul stradal, în banda spectrală de 1/3 octavă, centrată pe frecvența f_i , exprimat în dB.

Pentru încadrarea rezultatelor performanțelor de izolare la zgomote aeriene se utilizează categoriile din standardul de referință SR EN 1793-2:1999, [83].

CAPITOLUL 2.

ANALIZA NIVELULUI DE PERFORMANȚĂ A SISTEMELOR DE REDUCERE A ZGOMOTULUI

2.1. Conceperea și stabilirea performanțelor funcțional-constructive și de eficiență a reducerii zgomotului

1.1 Prevederi generale ale nivelului de performanță a sistemelor de reducere a zgomotului

Analiza nivelului de performanță pentru sistemele de reducere a zgomotului, necesită parcurgerea următoarelor etape semnificative:

- ✚ stabilirea elementelor descriptive, parametrice și de performanță a dispozitivelor de reducere a zgomotului ca **produs**;
- ✚ stabilirea, prezentarea și fundamentarea ipotezelor de calcul precum și a relațiilor parametrice ce definesc produsele;
- ✚ conceperea unor reguli procedurale, schematizarea modelelor de calcul menite să asigure definirea comportării în exploatare atât pe baza datelor experimentale cât și pe baza simulării numerice în timp real;
- ✚ conceperea și elaborarea procedurii tehnice privind integrarea compatibilă a dispozitivelor de reducere a zgomotului cu elementele structurale ale căilor de trafic rutier;
- ✚ stabilirea cerințelor specifice pentru execuția sistemului de echipare ce înglobează dispozitive de reducere a zgomotului;
- ✚ precizarea cerințelor specifice pentru atestarea conformității produsului transpuse pentru o mai bună înțelegere a unei aplicări procedurale;
- ✚ formularea, stabilirea și definirea unor reguli procedurale pentru administrarea echipării cu dispozitive de reducere a zgomotului.

1.2 Conținutul și transpunerea documentelor normative din domeniul zgomotelor și vibrațiilor

- Directiva 89/106/CEE și Documentele Interpretative aprobate la 30 noiembrie 1993
- Legea 10/1995 (actualizată), prin care se impune pe toată durata de existență a construcțiilor, protecția împotriva zgomotelor.
- Directiva 2000/14/CE a Consiliului Parlamentului European privind nivelul emisiilor de zgomot în mediul produs de echipamentele destinate utilizării în exteriorul clădirilor, [28].

1.3 Nivelul de protecție la zgomot – stadiul actual.

Zgomotele motoarelor au tonalități diferite în funcție de fiecare model de vehicul, ducând la generarea de factori poluanți în domeniul acustic. În afară de zgomotul motorului de acționare, zgomotul este determinat în principal de tipul anvelopei (profilul anvelopei) și de structura îmbrăcăminții șoselei, [9].

1.3.1 Măsuri de reducere a efectului global al zgomotului

Hotărârea de Guvern HG 321/2005,[41], abordează aspecte legate de evaluarea și gestionarea zgomotului ambiental prin implementarea următoarelor măsuri: monitorizarea problemelor de mediu prin întocmirea hărților de zgomot; punerea la dispoziția publicului a informațiilor privind

zgomotul ambiental și efectele sale; adoptarea, pe baza datelor din hărțile de zgomot, a planurilor de acțiune.

1.4.1 Definiții și terminologie specifică dispozitivelor de reducere a zgomotului

Se utilizează definițiile din STAS 1957/1-88, [95], STAS 1957/2-88, [96], STAS 1957/3-88, [97], și a standardelor conexe, dar și definițiile termenilor generali utilizați, stabilite prin Legea 10/1995, [49]. Se definesc măsurile și unitățile utilizate, în SR EN ISO 80000-4:2010 “Mărimi și unități. Partea 4: Mecanică” și SR EN ISO 80000-8:2007 “Mărimi și unități. Partea 8: Acustică”, și parametrii specifici privind cerințele generale de securitate și mediu, caracteristicile acustice și cele neacustice.

1.4.2 Parametrii fizici, mecanici și acustici ai dispozitivelor de reducere a zgomotului

Parametrii mecanici specifici procesului acustic al zgomotelor cu caracter poluant definesc sursele de vibrații care transmit zgomote structurale obiectelor și mobilierului de echipare ambientală urbană din vecinătatea surselor de zgomot. Definirea parametrilor acustici are la bază efectul global asupra organului auditiv al omului cât și asupra organelor interne și sistemului nervos, exprimându-se sub formă de niveluri, [9].

1.4.3 Parametrii funcționali-constructivi ai dispozitivelor de reducere a zgomotului

Parametrii compoziției spectrale se pot defini prin analiza compoziției spectrale a zgomotului din traficul urban care presupune existența unor înregistrări experimentale care se vor detalia în funcție de categoriile generale de străzi.

Parametrii constructivi și funcționali ai dispozitivelor de reducere a zgomotului se referă în principal la elementele fundamentale și de definire a unui dispozitiv. Parametrii constructivi definesc formă geometrică a dimensiunilor globale și de amănunt ale configurației geometrice. Parametrii funcționali se definesc ca fiind expresia măsurabilă a caracteristicilor acustice și mecanice de montaj privind rezistența și stabilitatea de poziționare față de sursele de zgomot din trafic. **Durabilitatea** este factorul esențial privind asigurarea capacității de funcționare într-o durată de timp determinată astfel încât performanțele acustice să fie în domeniul acceptat, [91].

1.5 Influența acțiunilor exterioare asupra performanțelor de izolare și absorbție acustică

În raport cu agenții climatici naturali și antropici performanțele de izolare și absorbție acustică ale dispozitivelor de reducere a zgomotului pot fi influențate de acțiunea factori naturali și/sau antropici, astfel: a) *factori naturali*: viteza vântului, a zăpezii, depunerile de chiciură, precipitațiile sub formă de ploaie, cutremure de pământ, radiații infraroșu, precum și căderi de teren prin tasări inegale; b) *factori antropici*: emanații de gaze emise în atmosferă, uleiuri volatile, pulberi, praf, acțiuni de vandalism.

CAPITOLUL 2.

2.2 Sisteme, structuri și elemente fonoabsorbante și antivibratile

2.1 Materiale fonoabsorbante. Parametrii acustici.

Principalele proprietăți ce definesc materialele fonoabsorbante sunt, [56]: porozitatea, [19]; rezistența la trecerea curenților de aer, [27]; tortuozitatea, [42]; constantă de propagare; grosimea materialului, [22]; comprimarea materialului, [18]; modul de amplasare a materialului, [5].

2.2 Performanța materialelor fonoabsorbante

În scopul celor prezentate mai sus, se constată că performanța acustică a materialelor fonoabsorbante este definită de coeficientul de absorbție, constantă de propagare, pierderile de transmisie și coeficientul de reflexie, [1].

2.3 Materiale compozite fonoabsorbante cu proprietăți de amortizare a vibrațiilor structurale

2.3.1 Materiale antivibratile

La materialele fonoabsorbante se impune cunoașterea variației coeficientului de absorbție în funcție de frecvență, [1].

În acest caz se au în vedere două direcții principale de încercare experimentală, [3]:

- 1) Determinarea caracteristicilor antivibratile;
- 2) Determinarea caracteristicilor fonoabsorbante.

În cazul structurilor antivibratile, compuse pe bază de materiale simple, este necesar să se efectueze probe de laborator pentru a se determina coeficientul de amortizare a undelor sonore, care constituie un important indicator al proprietăților antivibratile. Se ia în considerare faptul că modulul de elasticitate are două componente în cvadratură: una de natură elastică și cealaltă disipativă de natură vâscoasă, astfel, [10]:

$$G^* = G_0(1 + j\eta) \quad (2.2.7)$$

în care η este factorul disipativ de natură vâscoasă (coeficientul de amortizare);

$j = \sqrt{-1}$ - unitatea imaginară;

G_0 - modulul de elasticitate transversal corespunzător comportării elastice.

2.3.1.1 Determinarea caracteristicilor de amortizare a materialelor antivibratile

Determinarea experimentală a caracteristicilor antivibratile se exprimă, convenabil, prin *decrementul logaritmic*, definit ca și logaritmul natural al raportului dintre două amplitudini succesive. Amortizarea din sistem poate fi definită printr-o mărime adimensională, egală cu raportul dintre coeficientul de amortizare real și cel critic, denumit și *raport de amortizare*, [13].

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \quad (2.2.8)$$

Decrementul logaritmic se poate defini cu ajutorul relației 2.2.9, astfel:

$$\Delta = \ln \frac{A_1}{A_2} = \zeta \cdot \omega_n \cdot T_d = \frac{2\pi \cdot \zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (2.2.9)$$

unde T_d este perioada de oscilație, calculată astfel:

$$T_d = \frac{2\pi}{\omega_n \cdot \sqrt{1-\zeta^2}} = \frac{2\pi}{\omega_d} \quad (2.2.10)$$

A_1 și A_2 sunt amplitudini succesive.

$$\text{Pentru } \zeta \ll 1, \text{ decrementul logaritmic este aproximativ } \Delta \cong 2\pi\zeta. \quad (2.2.11)$$

Testarea materialelor antivibratile s-a realizat în Laboratorul de Acustică și Vibrații al ICECON TEST aparținând de ICECON SA București. Structurile antivibratile pentru care s-a determinat decrementul logaritmic au fost realizate și puse la dispoziție pentru schimb de experiență privind încercările de laborator de Drd.ing. Ancuța Borlea (Tiuc) Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Știință și Ingineria Materialelor.

Structurile antivibratile supuse testării sunt: **Etalon**-lamelă fără material, **Proba 1**–Lamelă+MS10 (materialul MS10 alcătuit din granule de cauciuc reciclat și liant 15% și un strat de

plută, grosime structură 18 mm); **Proba 2**-Lamelă+MS11 (materialul MS11 alcătuit din granule de cauciuc reciclat și liant 15% și un strat de pâslă, grosime structură 18 mm); **Proba 3**-Lamelă+MS14 (materialul MS14 alcătuit dintr-un strat realizat dintr-un amestec de rumeguș de brad și liant 15% și un strat realizat din granule de cauciuc reciclat și liant 15%, grosime structură 30 mm); **Proba 4**-Lamelă+MS16 (materialul MS16 alcătuit dintr-un strat realizat dintr-un amestec de rumeguș de brad și liant 15%, un strat realizat din granule de cauciuc reciclat și liant 15% și un strat de pâslă, grosime structură 33 mm); **Proba 5**-Lamelă+MS15 (materialul MS15 alcătuit dintr-un strat realizat dintr-un amestec de rumeguș de brad și liant 15%, un strat realizat din granule de cauciuc reciclat și liant 15% și un strat de plută, grosime structură 33 mm). În figura 2.2.2 sunt prezentate probele pentru care au fost efectuate încercările.

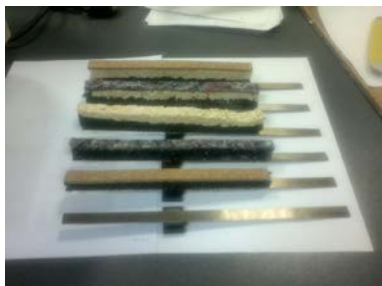
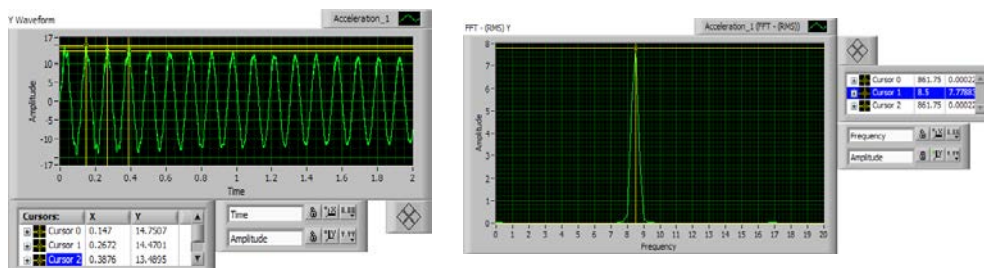


Figura 2.2.2 Probe cu materiale antivibratile supuse testării

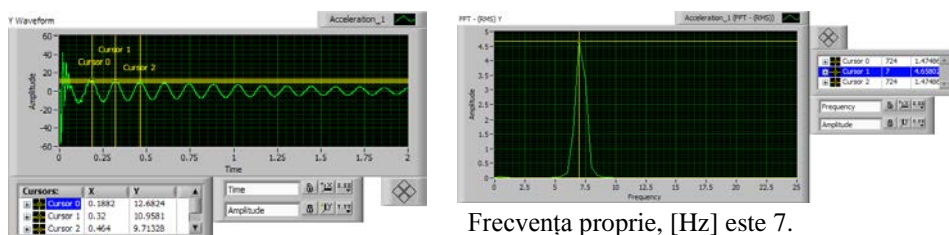
În continuare se prezintă rezultatele experimentale obținute pentru amplitudinea deplasării și frecvența proprie corespunzătoare celor șase încercări efectuate, [12].

1) Rezultatele încercărilor efectuate pe proba Etalon



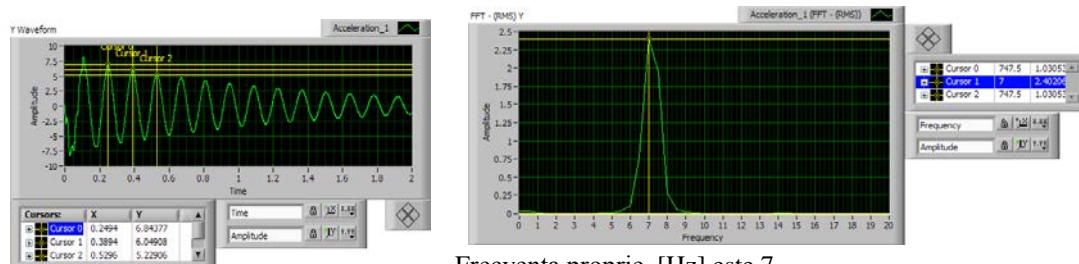
Frecvența proprie, [Hz] este 8,5.

2) Rezultatele încercărilor efectuate pe Proba 1



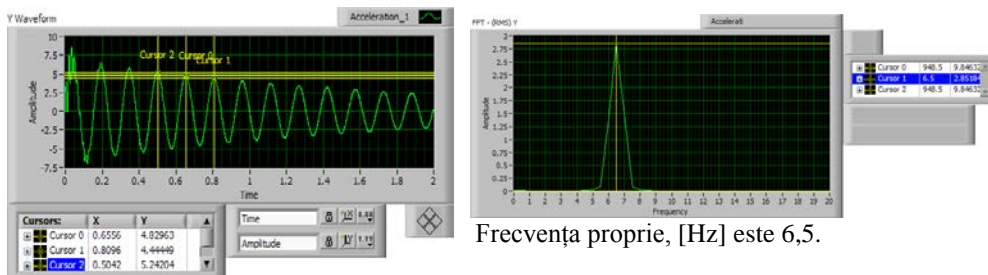
Frecvența proprie, [Hz] este 7.

3) Rezultatele încercărilor efectuate pe Proba 2



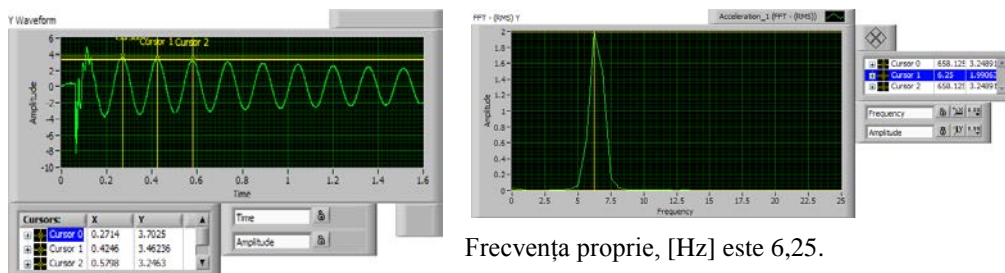
Frecvența proprie, [Hz] este 7.

4) Rezultatele încercărilor efectuate pe Proba 3



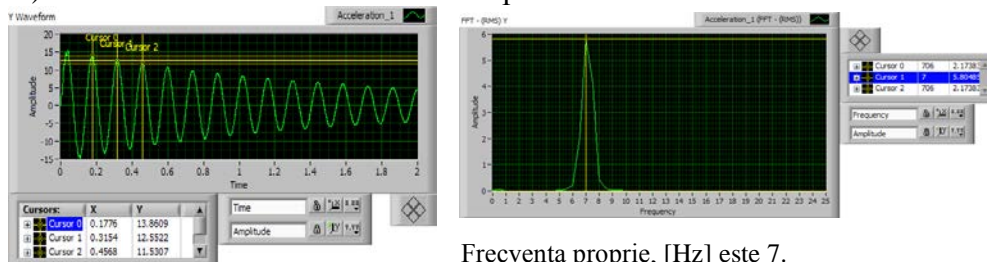
Frecvența proprie, [Hz] este 6,5.

5) Rezultatele încercărilor efectuate pe Proba 4



Frecvența proprie, [Hz] este 6,25.

6) Rezultatele încercărilor efectuate pe Proba 5



Frecvența proprie, [Hz] este 7.

Centralizarea datelor experimentale este prezentată în tabelul 2.2.1.

Tabel 2.2.1

Proba/grosime probă, mm	Raport de amortizare, ζ	Frecvența proprie, [Hz]
Etalon/0	0,005873943	8,5
1/18	0,020780131	7
2/18	0,019944827	7
3/30	0,017606924	6,5
4/33	0,010311316	6,25
5/33	0,014685212	7

Odata cu creșterea masei materialului lipit pe lamelă scade frecvența proprie a materialului.

Pe baza determinărilor experimentale și din calculul coeficientului de amortizare critic, se constată că materialele MS10 și MS11, corespunzătoare probelor 1 și 2, au cele mai bune proprietăți de amortizare. Materialele realizate din trei straturi astfel: un strat realizat din rumeguș de brad și liant, un strat realizat din granule de cauciuc reciclat și un strat realizat din pâslă/plută (MS16 și MS15) sunt mai rigide decât cele realizate doar din rumeguș de brad și liant și/sau granule de cauciuc reciclat și liant/ un strat de plută/un strat de pâslă. Toate cele cinci materiale au raportul de amortizare superior față de cel al lamelei goale.

2.3.2 Evaluarea nivelului de amortizare structurală

Pentru calculul nivelului de amortizare, se pot utiliza două metode de calcul, astfel:

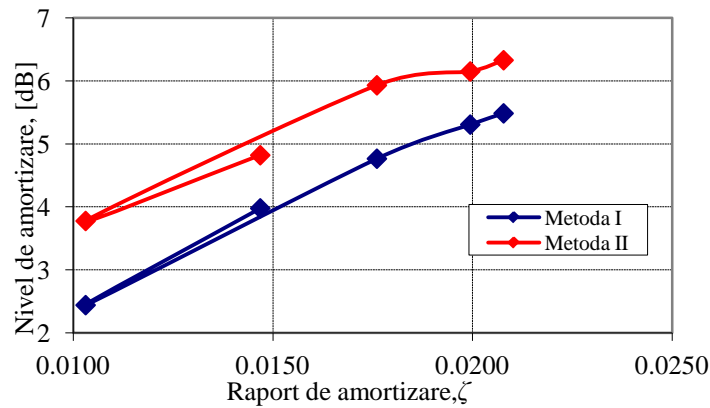
- Metoda I, folosind relația 2.2.19

$$L_{\zeta_j}^{(j)} = 10 \log \frac{\zeta_j}{\zeta_0}; j=1,2 \quad (2.2.20)$$

- Metoda II,

știind că: $\zeta_j = \frac{c_j}{4\pi m_j f_j}$ și $\zeta_0 = \frac{c_0}{4\pi m_0 f_0} \Rightarrow \frac{\zeta_j}{\zeta_0} = \frac{c_j}{c_0} \cdot \frac{m_0}{m_j} \cdot \frac{f_0}{f_j}$. În aceste condiții relația (2.2.20), devine:

$$L_{\zeta_j}^{(j)} = 10 \log \frac{\zeta_j}{\zeta_0} = 10 \log \left(\frac{c_j}{c_0} \cdot \frac{m_0}{m_j} \cdot \frac{f_0}{f_j} \right); j=1,2 \quad (2.2.21)$$



2.3.3 Materiale fonoabsorbante

Interacțiunea dintre undă sonoră și structura absorbantă a materialelor, se poate descrie astfel, [6]:

- Dacă rezistența structurii absorbante este prea mică, diminuarea energiei va fi mică, iar cea mai mare parte a energiei va fi reflectată de materialul acustic în apropierea sa.
- Dacă rezistența structurii absorbante este prea mare, cea mai mare parte a energiei se va reflecta de pe suprafața structurii, diminuarea energiei în cadrul structurii fiind în mod corespunzător mică.

2.3 Alegerea materiei prime pentru realizarea materialelor fonoabsorbante

Reciclarea deșeurilor este importantă atât pentru protecția mediului cât și pentru sănătatea populației, prin prevenirea sau reducerea efectelor adverse determinate de generarea și gestionarea acestora, dar și pentru reducerea efectelor generale ale folosirii resurselor și creșterea eficienței folosirii acestora, [34].

2.4 Concluzii

În sensul celor prezentate mai sus, se poate concluziona că odată cu creșterea grosimi materialului crește și absorbția sunetului la frecvențe joase. Pentru o utilizare eficientă a materialelor fonoabsorbante, trebuie avut în vedere atât caracteristicile fiecărui tip de material cât și caracteristicile zgomotului din zona în care dorim să folosim materialul respectiv. Obținerea unui material fonoabsorbant din deșeuri lemnoase și granule de cauciuc reciclat, cu caracteristici fonoabsorbante bune, la un preț scăzut și cu un impact cât mai mic asupra mediului, reprezintă un pas în reducerea zgomotului și a cantității de deșeuri.

Astfel, concluzionăm că pentru a obține materiale fonoabsorbante cu proprietăți calitative superioare, trebuie să se țină cont de natură, dimensiunea și proporția materialului de armare, de procentul și natura liantului și nu în ultimul rând, de tehnologia de fabricație.

3 Evaluarea performanțelor acustice pentru reducerea zgomotului pentru structurile compozite realizate din materiale reciclabile

Coeficientul de absorbție acustică pentru structurile compozite, multistrat, realizate din materiale reciclabile s-a determinat în Laboratorul de Acustică și Vibrații al ICECON TEST. Structurile compozite multistrat, au fost realizate și puse la dispoziție pentru schimb de experiență privind încercările de laborator de Drd.ing. Anuța Borlea (Tiuc) Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Știință și Ingineria Materialelor. Metoda folosită pentru determinare este metoda tubului de impedanță (tub Kundt – metoda undelor staționare).

Măsurătorile s-au bazat pe metoda funcției de transfer, și s-au efectuat în conformitate cu SR EN ISO 10534-2:2005,[79] pe probe de formă circulară cu diametrul de 63,5 mm. Domeniul de frecvență în care s-au efectuat determinările a fost 100 Hz÷3200 Hz. În urma efectuării măsurătorilor, datele obținute au fost prelucrate și trasate graficele variației coeficientului de absorbție acustică în funcție de frecvență în format FFT.

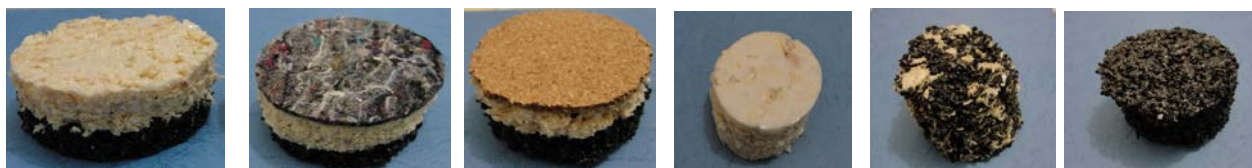


Figura 2.3.1 Exemple de materiale care au stat la baza realizării probelor multistrat pentru care s-a determinat coeficientul de absorbție acustică

- **Coeficientul de absorbție acustică pentru materiale multistrat realizate din straturi de rumeguș de brad și liant în combinație cu straturi de plută sau/și pâslă**

Materialele utilizate au fost:

- 1) rumeguș de brad RB4 cu dimensiune mai mare de 4 mm, rumeguș de brad RB2 cu dimensiune 2÷4 mm, rumeguș de brad RB1 cu dimensiune 1÷2 mm și liant 30%;
- 2) și plută sau/și pâslă

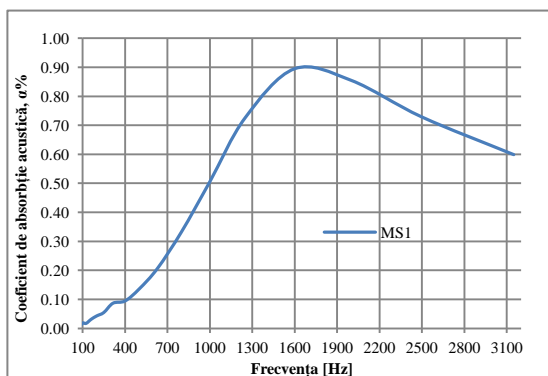


Figura 2.3.2 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat MS1

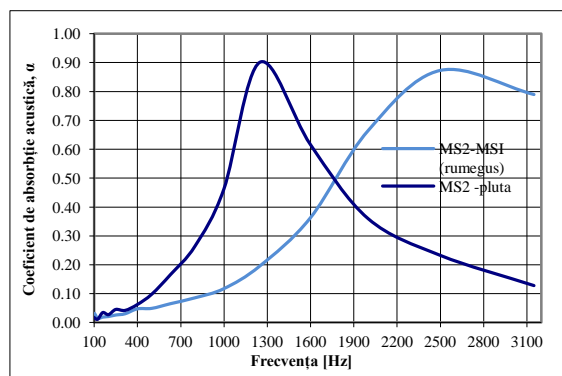


Figura 2.3.3 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat MS2

Proba MS1 a fost realizată dintr-un amestec de rumeguș de brad RB4, RB2, RB1 și liant 15%, având grosimea de 15 mm. Se observă creșterea coeficientului de absorbție acustică odată cu creșterea frecvenței, în gama de frecvență 0÷1600 Hz, o ușoară staționare în gama de 1600÷1800 Hz, frecvență la care coeficientul atinge valoarea maximă de 0,895, după care începe să scadă. Se constată că materialul are proprietăți fonoabsorbante ridicate în gama de frecvență cuprinsă între 1000÷3200 Hz.

Pentru proba MS2, realizată dintr-un strat de MS1 la care s-a adăugat suplimentar un strat de plută, având grosimea de 18 mm, au fost efectuate măsurători pe ambele fețe ale acesteia. Din grafic se observă că pentru stratul realizat din plută, coeficientul de absorbție are proprietăți fonoabsorbante mai bune pentru frecvențe până la 1700 Hz, în timp ce pentru stratul realizat din MS1 (rumeguș) proprietățile fonoabsorbante sunt mai bune după această frecvență. Valoarea coeficientului de absorbție pentru stratul de rumeguș atinge valoarea maximă la frecvența de 2500 Hz și este de 0.873, iar pentru stratul de plută atinge valoarea maximă la 1250 Hz și este de 0,901.

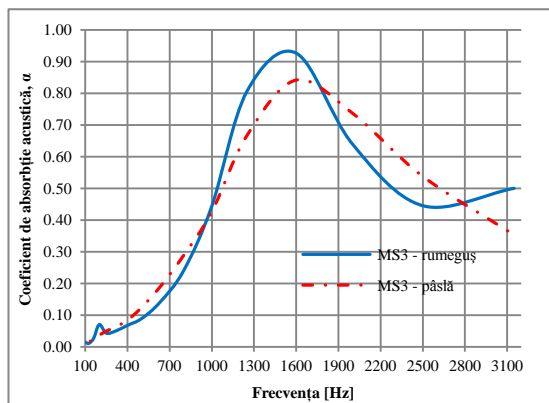


Figura 2.3.4 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat MS3

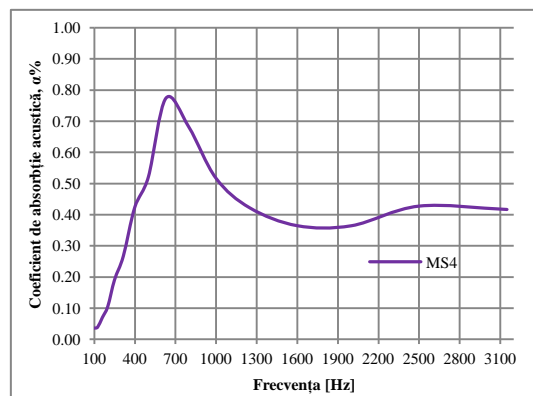


Figura 2.3.5 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat MS4

Pentru proba MS3, realizată dintr-un strat de rumeguș și un strat de păsă, având grosimea de 18 mm, s-au efectuat încercări pentru ambele părți ale acesteia. Se observă că pentru ambele părți ale probei, coeficientul de absorbție are valori foarte apropiate până la frecvența de 1000 Hz, atingând valoarea maximă la frecvența de 1600 Hz, respectiv 0,926 pentru stratul de rumeguș și 0,841 pentru stratul de păsă, iar după această frecvență încep să scadă lent pentru stratul de păsă și mai rapid pentru stratul de rumeguș. Cu toate acestea în gama de frecvențe în care se înregistrează scăderi, valorile coeficientului de absorbție rămân apropiate. Pentru gama de frecvențe de mai mari de 2200 Hz, pentru stratul de rumeguș, coeficientul de absorbție înregistrează creșteri.

Pentru proba MS4, realizată din două straturi de MS1 despărțite de un strat de plută, având grosimea de 33 mm, fiind realizată din două straturi de MS1 s-a efectuat măsurătoarea numai pentru o parte și s-a constatat că valoarea maximă a acestuia se înregistrează la 800 Hz, 0,774, după care apare o scădere a acestuia până la frecvența de 1600 Hz. În gama de 1600÷2000 Hz se înregistrează o stagnare a acestuia, 0,364, urmată de o creștere ușoară până la frecvența de 2500 Hz, după care începe din nou să scadă.

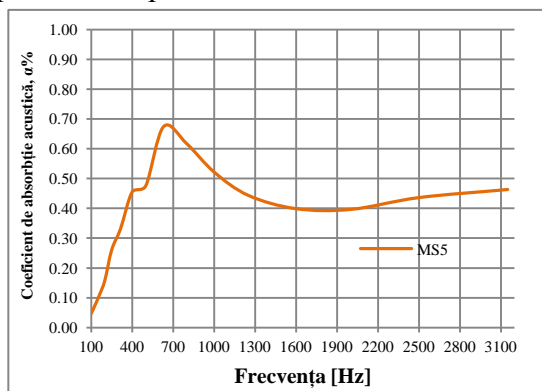


Figura 2.3.6 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat MS5

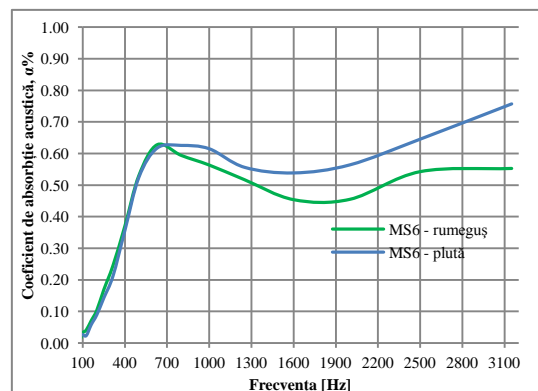


Figura 2.3.7 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat MS6

Pentru proba MS5, realizată din două straturi de MS1 despărțite de un strat de pâslă, având grosimea de 33 mm, fiind realizată din două straturi de MS1 s-a efectuat măsurătoarea pentru determinarea coeficientului de absorbție acustică numai pentru o parte și s-a constatat că valoarea maximă a acestuia se înregistrează la frecvența de 600 Hz, 0,675, după care apare o scădere a acestuia până la frecvența de 1600 Hz. În gama de frecvențe cuprinsă între 1600÷2000 Hz se înregistrează o ușoară scădere a acestuia aproape insesizabila, 0,399 la 1600 Hz și 0,396 la 2000 Hz, urmată de o creștere la frecvențe mai mari de 2000 Hz.

Pentru proba MS6, realizată dintr-un strat de MS1, un strat de plută, un strat de MS1 și un strat de plută, având grosimea de 36 mm, măsurătoarea pentru determinarea coeficientului de absorbție acustică s-a efectuat pentru ambele părți și s-au constatat următoarele: la frecvențe mai mici de 700 Hz, valorile pentru ambele părți sunt aproape identice, după care încep să scadă pentru partea realizată din rumeguș cu valori cuprinse între 0,6÷0,5 pentru frecvențe cuprinse între 800÷1100 Hz și scad pentru frecvențe cuprinse între 1100÷1600 Hz, iar pentru partea realizată din plută încep să scadă, pentru frecvențe cuprinse între 800÷2000 Hz, cu valori cuprinse între 0,62÷0,56. Pentru frecvențe mai mari de 2000 Hz pentru ambele părți ale materialului coeficientul de absorbție începe să crească.

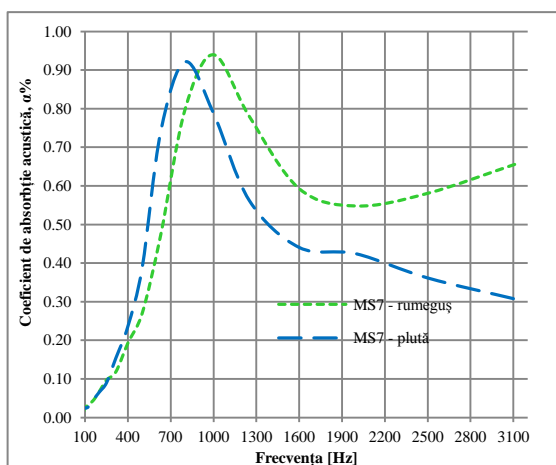


Figura 2.3.8 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat MS7

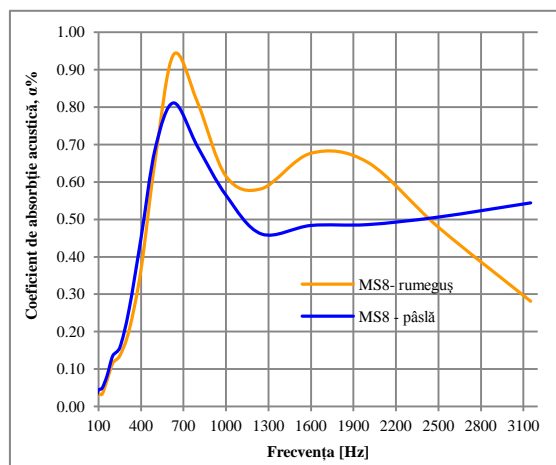


Figura 2.3.9 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat MS8

Pentru proba MS7, realizată dintr-un strat de MS1, un strat de pâslă, un strat de MS1 și un strat de plută, având grosimea de 36 mm, măsurătoarea pentru determinarea coeficientului de absorbție acustică s-a efectuat pentru ambele părți și s-au constatat următoarele: coeficientul de absorbție al sunetului are valori mai mari în cazul în care măsurătoarea s-a efectuat pentru stratul de plută pentru frecvențe mai mici de 800 Hz, atinge valoarea maximă la frecvența de 800 Hz, 0,921, după care începe să scadă. În cazul în care măsurătoarea s-a efectuat pentru stratul de rumeguș, coeficientul atinge valoarea maximă la frecvența de 1000 Hz, 0,939, după care începe să scadă dar cu valori mai mici decât în cazul stratului de plută, stabilindu-se astfel că stratul realizat din rumeguș are proprietăți de absorbție a sunetului pentru frecvențe mai mari de 1000 Hz.

Pentru proba MS8, realizată dintr-un strat de MS1, un strat de plută, un strat de MS1 și un strat de pâslă, având grosimea de 36 mm, măsurătoarea s-a efectuat pentru ambele fețe ale materialului. Din reprezentarea grafică se poate observa că s-a obținut, pentru ambele părți ale materialului, o curbă asemănătoare până la frecvența de 2000 Hz. După această frecvență pentru partea realizată din rumeguș, coeficientul de absorbție a sunetului începe să scadă, iar pentru partea realizată din pâslă acesta începe să crească.

• **Coeficientul de absorbție acustică pentru materiale multistrat realizate din straturi de granule de cauciuc reciclat și liant în combinație cu straturi de plută sau/și pâslă**

Materialele utilizate au fost, [36]:

- 1) granule de cauciuc reciclat cu dimensiunea de 1÷3 mm și liant 15%; grosimea stratului realizat este de 15 mm și notat MS9.
- 2) și plută sau/și pâslă

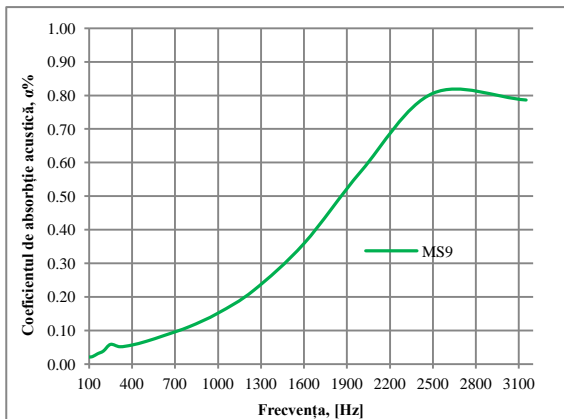


Figura 2.3.10 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat MS9

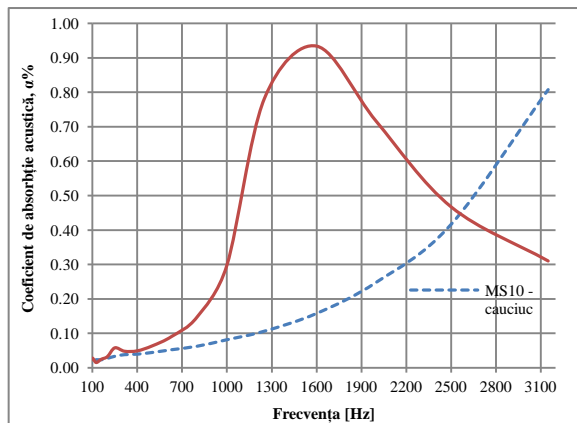


Figura 2.3.11 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat MS10

Pentru proba MS9, se poate observa creșterea absorbției sunetului odată cu creșterea frecvenței până la valoarea de 2500 Hz, în acel punct atingând valoarea maximă de 0,806. După această frecvență, coeficientul începe să scadă ușor.

Pentru proba MS10, realizată dintr-un strat de MS9 și un strat de plută, având grosimea de 18 mm, măsurătoarea s-a efectuat pe ambele părți ale materialului și s-au constatat următoarele că pentru partea realizată din plută coeficientul de absorbție a sunetului crește ușor până la frecvențe mai mici de 1000 Hz. După această frecvență acesta crește brusc până la frecvența de 1600 Hz, unde atinge valoarea maximă de 0,934, iar apoi începe să scadă moderat. Pentru partea realizată din cauciuc s-a constatat creșterea coeficientului de absorbție, lent până la frecvența de 2000 Hz. După această frecvență creșterea este mai rapidă cu aproximativ 0,25 pentru fiecare 1/3 octavă.

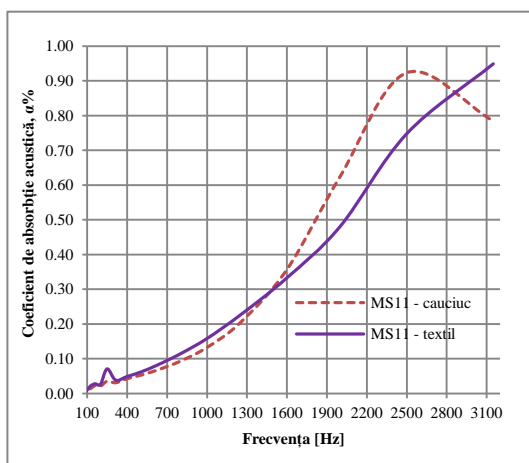


Figura 2.3.12 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat MS11

Pentru proba MS11, realizată dintr-un strat de MS9 și un strat de pâslă, având grosimea de 18 mm, măsurătoarea pentru determinarea coeficientului de absorbție a sunetului au fost efectuate pentru ambele părți ale materialului și s-a constatat că la frecvențe mai mici de 1600 Hz, absorbția sunetului este aproximativ la fel de eficientă pentru ambele părți ale probei, după această frecvență absorbția sunetului fiind mai eficientă pentru partea realizată din cauciuc.

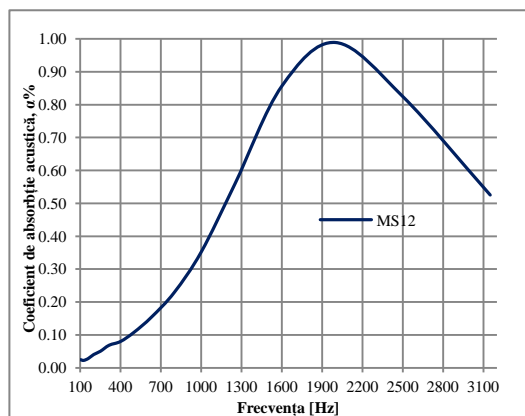


Figura 2.3.13 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat MS12

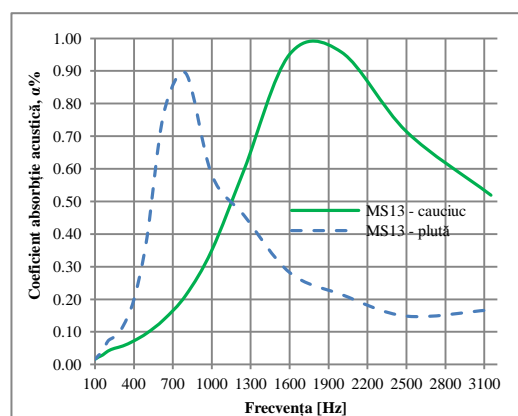


Figura 2.3.14 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat MS13

Pentru proba MS12, realizată din două straturi de MS9 despărțite de un strat de pâslă, având grosimea de 33 mm, fiind realizată din două straturi de MS9 măsurătoarea s-a efectuat numai pentru o parte și s-a constatat ca valoarea coeficientului crește odată cu creșterea frecvenței, atingând valoarea maximă la frecvența de 2000 Hz, 0,989, după această frecvență valoarea acestuia începând să scadă.

Pentru proba MS13, realizată dintr-un strat de MS9, un strat de pâslă, un strat de MS9 și un strat de plută, având grosimea de 36 mm, măsurătoarea s-a efectuat pentru ambele părți ale probei și s-a constatat: pentru partea realizată din plută proba are proprietăți de absorbție mai bune pentru frecvențe mai mici de 800 Hz, punct în care atinge valoarea maximă de 0,893, iar pentru partea realizată din cauciuc proba are proprietăți de absorbție mai bune pentru frecvențe mai mari de 1200 Hz, atingând valoarea maximă de 0,957 la frecvența de 2000 Hz.

- **Coefficientul de absorbție acustică pentru materiale multistrat realizate dintr-un strat de rumeguș și liant, un strat de granule de cauciuc reciclat și liant în combinație cu straturi de plută sau/și pâslă**

Materialele utilizate au fost:

- 1) rumeguș de brad RB4 cu dimensiune mai mare de 4 mm, rumeguș de brad RB2 cu dimensiune 2÷4 mm, rumeguș de brad RB1 cu dimensiune 1÷2 mm și liant 30%;
- 2) granule de cauciuc reciclat cu dimensiunea de 1÷3 mm și liant 15%; grosimea stratului realizat este de 15 mm și notat MS9.
- 3) și plută sau/și pâslă

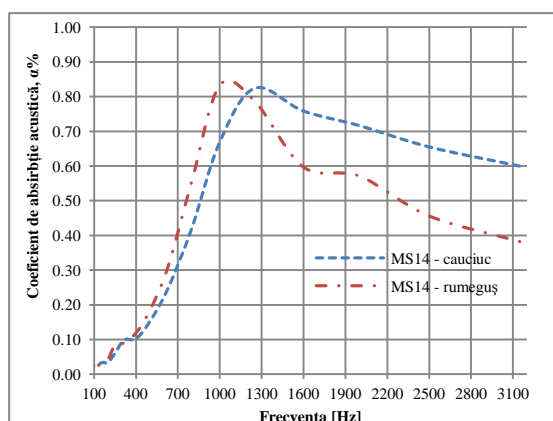


Figura 2.3.15 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat S14

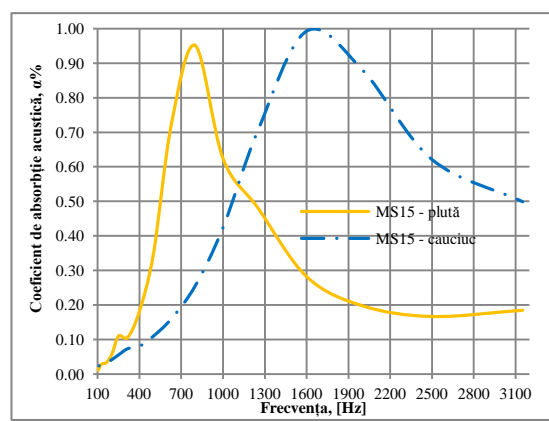


Figura 2.3.16 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat MS15

Pentru proba MS14, realizată dintr-un strat de MS1 și un strat de MS9, având grosimea de 30 mm, determinarea coeficientului de absorbție acustică s-a efectuat pentru ambele părți ale acesteia și s-a: pentru frecvențe mai mici de 1200 Hz ambele părți ale probei au proprietăți de absorbție a sunetului la fel de eficiente, partea realizată din rumeguș atingând valoarea maximă la frecvența de 1000 Hz, 0,833. Pentru frecvențe mai mari de 1200 Hz, partea realizată din cauciuc are absorbția mai eficientă, atingând valoarea maximă la frecvența de 1300 Hz, 0,824.

Pentru proba MS15, realizată dintr-un strat MS1, un strat de MS9 și un strat de plută, având grosimea de 33 mm, determinarea s-a efectuat pentru ambele părți ale probei și s-a constatat: pentru frecvențe mai mici de 1100 Hz partea realizată din plută are proprietăți de absorbție mai eficiente, coeficientul de absorbție atingând valoarea maximă la de 800 Hz, 0,951, iar pentru frecvențe mai mari de 1100 Hz partea realizată din cauciuc are proprietăți de absorbție mai eficiente, atingând valoarea maximă de 0,993, la frecvența de 1600 Hz.

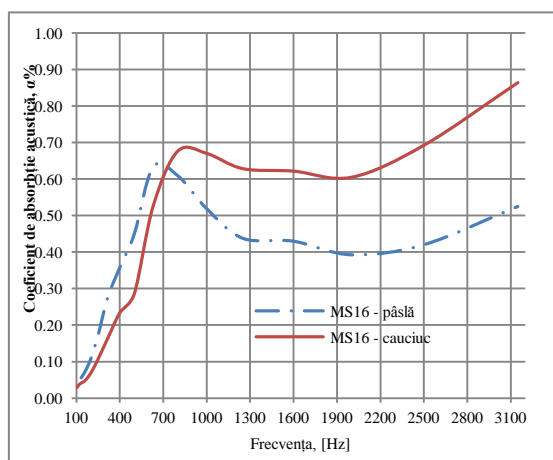


Figura 2.3.17 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru proba multistrat MS16

Pentru proba MS16, realizată dintr-un strat de MS1, un strat de MS9 și un strat de păsă, având grosimea de 33 mm, determinarea s-a efectuat pentru ambele părți ale probei constanându-se: pentru frecvențe mai mici de 700 Hz, partea realizată din păsă are proprietăți de absorbție mai eficiente, atingând valoarea maximă la frecvența de 700 Hz, 0,633, iar la frecvențe mai mari de 700 Hz partea realizată din cauciuc are proprietățile de absorbție mai eficiente, atingând valoarea maximă de 0, 676, la frecvența de 800 Hz. S-a constatat ca pentru frecvențe mai mari de 2500 Hz, aceasta parte are cele mai bune proprietăți de absorbție.

3.1. Influența structurilor compozite asupra coeficientului de absorbție acustică

Pentru a putea observa modul în care este influențat coeficientul de absorbție acustică, al materialelor multistrat realizate s-au realizat comparații între aceste structurile realizate din aceste materiale. În figura 2.3.18 este prezentată variația coeficientului de absorbție acustică pentru trei probe realizate (MS1, MS2 și MS3) măsurată pentru partea realizată din rumeguș.

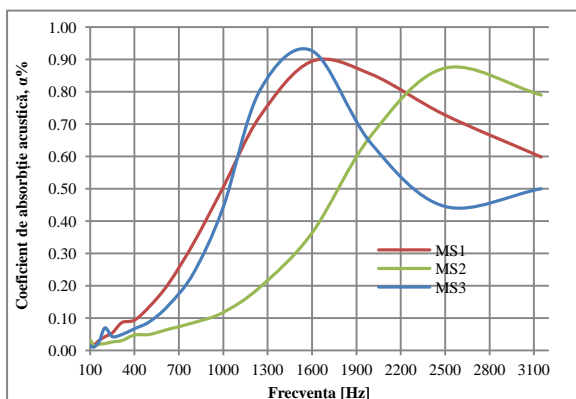


Figura 2.3.18 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru probele multistrat MS1, MS2 și MS3 măsurate pe partea cu rumeguș

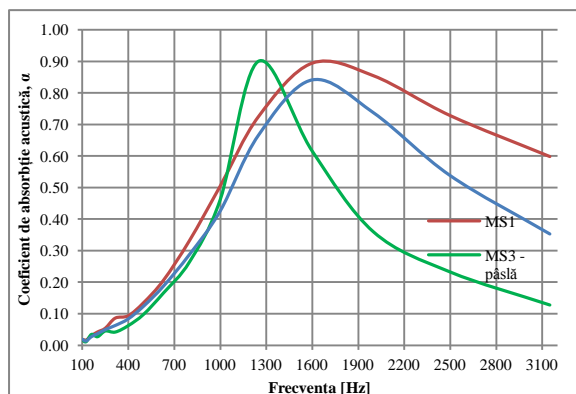


Figura 2.3.19 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru probele multistrat MS1, MS2 și MS3 măsurate pe partea cu rumeguș/plută/păsă

Până la frecvențe de 1100 Hz, probele MS1 și MS3 au proprietăți de absorbție apropiate ca valoare, în timp ce proba MS2 pe această gamă de frecvențe are cele mai slabe valori ale coeficientului, în gama de 1200÷1700 Hz proba MS3 (care are un strat de păsă în plus față de MS1) este cea mai eficientă din punct de vedere al absorbției sunetului, iar la frecvențe mai mari de 2000 Hz proba MS2 (care are un strat de plută în plus față de MS1) are cele mai bune proprietăți.

În figura 2.3.19 este prezentată variația coeficientului de absorbție acustică pentru MS1, MS2 și MS3, măsurată pentru partea din rumeguș/plută/păsă. Pentru frecvențe mai mici de 1000 Hz, toate probele au valori apropiate pentru coeficientul de absorbție, în timp ce pentru gama de frecvențe cuprinsă între 1000÷1400 Hz proba MS3 (partea din păsă) are cele mai bune proprietăți de absorbție. Pentru frecvențe mai mari de 1400 Hz, probele MS2 (partea din plută) și MS1 au o absorbție a sunetului mai bună.

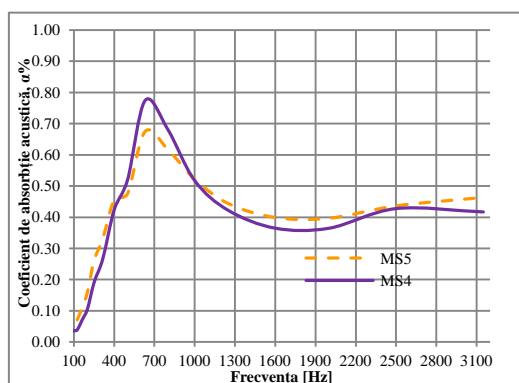


Figura 2.3.20 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru probele multistrat MS4 și MS5

În figura 2.3.20 este prezentată variația coeficientului de absorbție acustică pentru probele MS4 și MS5 (fiecare probă fiind realizată din doua straturi de MS1 despărțite de un strat de plută, (MS4), și un strat de păsă, (MS5)). Ambele probe au valori ale coeficientului de absorbție apropiate pe toată gama de frecvențe, exceptând gama 600÷800 Hz, unde MS4, care are stratul despărțitor din plută, are proprietăți de absorbție mai bune, iar în gama 1200÷2400 Hz, mai eficientă este proba MS5 care are stratul despărțitor din păsă.

În figura 2.3.21 este prezentată variația coeficientului de absorbție acustică sub influența materialului din care sunt realizate MS1, MS9 și MS14. Proba MS1 (rumeguș și liant) are cele mai bune proprietăți de absorbție pe întreaga gamă de frecvențe studiate, comparativ cu proba MS9 (granule de cauciuc reciclat) și cu proba MS14 (realizată dintr-un strat de MS1 și un strat de MS9).

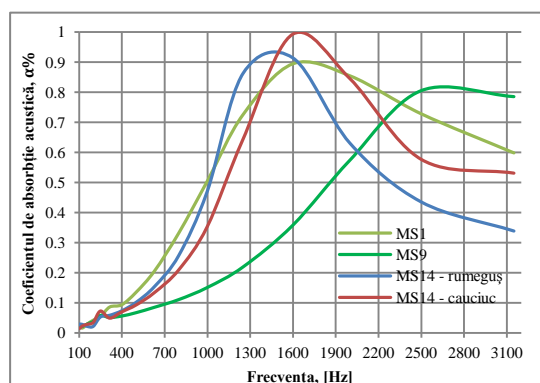


Figura 2.3.21 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru probele multistrat MS1, MS9 și MS14

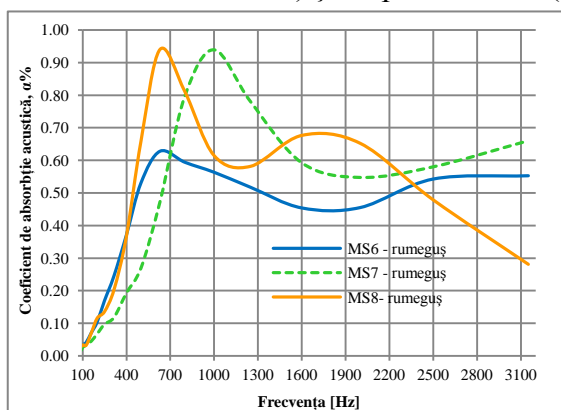


Figura 2.3.22 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru probele multistrat MS6, MS7 și MS8 măsurate pe partea realizată din rumeguș

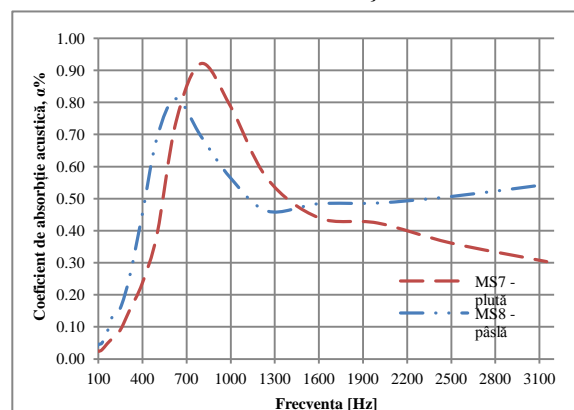


Figura 2.3.23 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru probele multistrat MS7 și MS8 măsurate pe partea realizată din plută/păsă

În figura 2.3.22 este prezentată variația coeficientului de absorbție acustică pentru materialele la care s-a variat alternanța stratului de MS1 cu stratul de pâslă și plută. Se observă că în gama de frecvențe 600÷800 Hz, proba MS8 (realizată dintr-un strat de MS1, un strat de plută, un strat de MS1 și un strat de pâslă) are cele mai bune proprietăți de absorbție, comparativ cu celelalte două probe. În gama de frecvențe 800÷1600 Hz, proba MS7 (realizată dintr-un strat de MS1, un strat de pâslă, un strat de MS1 și un strat de plută) are cele mai bune proprietăți de absorbție. Proba MS6 (realizată dintr-un strat de MS1, un strat de plută, un strat de MS1 și un strat de plută) are acoperită toată gama de frecvențe studiată, dar cu valori mai mici comparativ cu celelalte două probe. Pentru gama de frecvențe 1600÷2400 Hz, proba MS8 este cea mai eficientă, iar pentru frecvențe mai mari de 2400 Hz probele MS6 și MS7 sunt mai eficiente.

În figura 2.3.23 este prezentată variația coeficientului de absorbție acustică pentru materialele la care s-a variat alternanța stratului de pâslă cu stratul de plută. Se poate observa că proba MS7 (realizată dintr-un strat de MS1, un strat de pâslă, un strat de MS1 și un strat de plută) măsurată pe partea realizată din plută are proprietăți de absorbție mai bune pentru gama de frecvențe 600÷1400 Hz, comparativ cu proba MS8 (realizată dintr-un strat de MS1, un strat de plută, un strat de MS1 și un strat de pâslă) care are proprietăți de absorbție mai bune pentru gama de frecvențe mai mici de 600 Hz și mai mari de 1400 Hz.

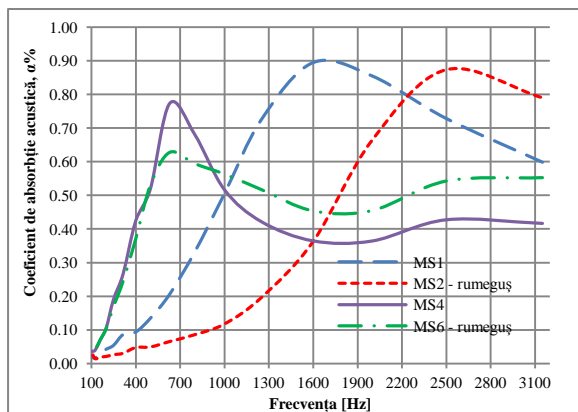


Figura 2.3.24 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru probele multistrat MS1, MS2, MS4 și MS6 măsurate pe partea realizată din rumeguș

În figura 2.3.24 este prezentată variația coeficientului de absorbție acustică pentru materialele MS1, MS2 (partea de rumeguș), MS4 și MS6 (partea de rumeguș). Se observă că adăugând un strat de plută (MS2) peste stratul de MS1 nu se modifică semnificativ proprietățile de absorbție. Dacă peste stratul de plută se mai adaugă un strat de MS1 (MS4) se obține o îmbunătățire a coeficientului de absorbție pentru frecvențe mai mici de 1000 Hz, comparativ cu materialul MS1 și la frecvențe mai mici de 1600 Hz comparativ cu materialul MS2. Dacă peste MS4 (realizat din două straturi de MS1 despărțite de un strat de plută) se adaugă un strat de plută (MS6) se observă că pentru frecvențe mai mici de 600 Hz proprietățile de absorbție sunt aproape identice cu cele ale MS4, pentru frecvențe între 600÷1000 Hz proprietățile de absorbție scad dar nu semnificativ comparativ cu MS4, iar pentru frecvențe mai mari de 1000 Hz proprietățile de absorbție cresc pentru materialul MS6 comparativ cu ale materialului MS4.

În figura 2.3.25 este prezentată variația coeficientului de absorbție acustică pentru materialele MS1, MS3, MS5 (partea din rumeguș) și MS7 (partea din rumeguș). Se observă că pentru frecvențe mai mari de 1600 Hz materialul MS1 (realizat numai din rumeguș) are cele mai eficiente proprietăți de absorbție. Adăugarea unui strat suplimentar de pâslă peste stratul de MS1

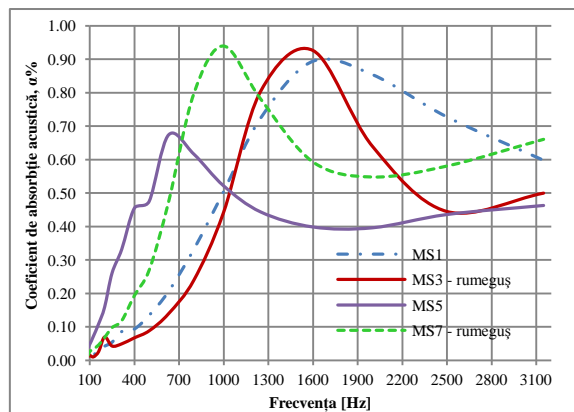


Figura 2.3.25 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru probele multistrat MS1, MS3, MS5 și MS7 măsurate pe partea realizată din rumeguș

(MS3) îmbunătățește absorbția în gama de frecvențe de 1200÷1600 Hz. Dacă peste MS3 se adaugă un strat de MS1 (MS5) absorbția este mai eficientă pentru frecvențe mai mici de 700 Hz. Dacă peste MS5 se adaugă un strat de plută (MS7) coeficientul de absorbție are valori mai bune pentru gama de frecvențe de 700÷1200 Hz.

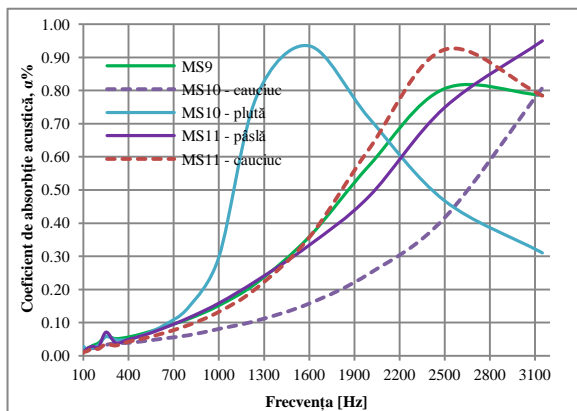


Figura 2.3.26 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru probele multistrat MS9, MS10 și MS11

În figura 2.3.26 este prezentată variația coeficientului de absorbție acustică pentru MS10 și MS11, materiale pentru care s-a adăugat suplimentar un strat de plută/pâslă peste stratul de MS9 (granule de cauciuc). Adăugarea stratului de plută (MS10) îmbunătățește considerabil proprietățile de absorbție în gama de frecvențe de 700÷2000 Hz, iar adăugarea stratului de pâslă îmbunătățește proprietățile de absorbție pentru frecvențe mai mari de 2200 Hz. Pentru frecvențe mai mici de 700 Hz, toate materialele au proprietăți de absorbție relativ egale.

În figura 2.3.27 este prezentată variația coeficientului de absorbție acustică pentru materialele care au la bază unul sau doua straturi de MS9, MS11 (care are în plus un strat de pâslă), MS13 (care are în plus un strat de pâslă și un strat de plută) și MS12 (care are în plus un strat de plută). Adăugarea unui strat de pâslă duce la creșterea coeficientului de absorbție pentru frecvențe mai mari de 2400 Hz (MS11), adăugarea unui strat de plută duce la creșterea coeficientului de absorbție pentru frecvențe mai mici de 2400 Hz (MS12), iar adăugarea unui strat de pâslă și a unui strat de plută în realizarea aceluiași material modifică, dar nu semnificativ comparativ cu materialul MS12, proprietățile de absorbție în gama de frecvențe de 1200÷2000 Hz (MS13).

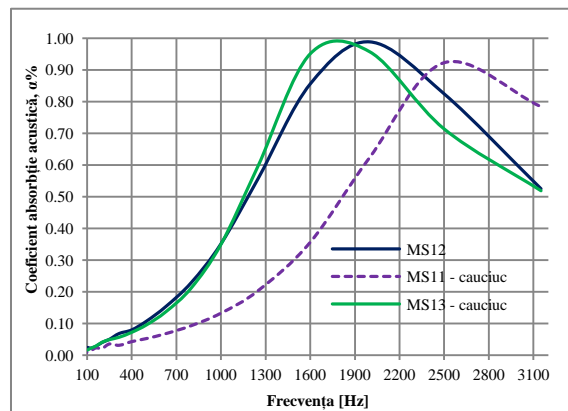


Figura 2.3.27 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru probele multistrat MS11, MS12 și MS13

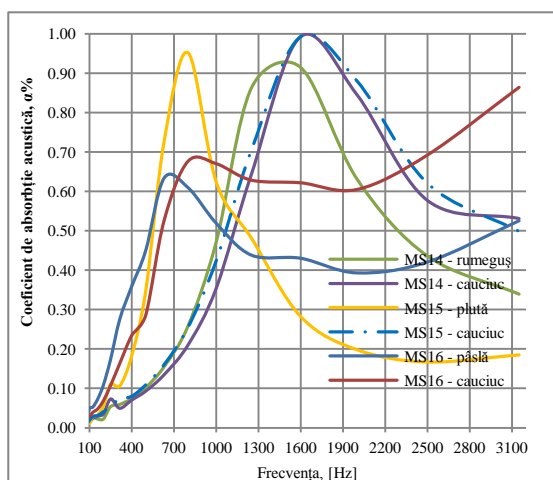


Figura 2.3.28 Variația coeficientului de absorbție acustică pentru probele multistrat MS14, MS15 și MS16

În figura 2.3.28 este prezentată variația pentru materialele realizate dintr-un strat de MS1 și un strat de MS9 la care a fost adăugat suplimentar un strat de plută sau de pâslă. Observăm că, atunci când măsurătoarea a fost efectuată pentru stratul realizat din cauciuc pentru MS14 și MS15 (care are în plus față de MS14 un strat de plută) proprietățile de absorbție sunt aproape identice pe toată gama de frecvențe studiată. Atunci când se adaugă un strat de pâslă (MS16 realizat din MS14 plus stratul de pâslă) proprietățile de absorbție sunt mai bune pentru frecvențe mai mici de 1000 Hz și mai mari de 2400 Hz.

Dacă măsurătoarea a fost efectuată pe partea cu rumeguș/plută/pâslă observăm că pentru frecvențe mai mici de 600 Hz proprietățile de absorbție sunt mai bune pentru partea realizată din pâslă, pentru 600÷1100 Hz proprietățile de absorbție sunt mai bune pentru partea din plută, iar pentru frecvențe de 1100÷2500 Hz proprietățile de absorbție sunt mai bune pentru partea din rumeguș, după care încep să crească pentru partea realizată din pâslă.

Analizând graficele prezentate putem afirma că absorbția sunetului este mai eficientă pentru gama de frecvențe mai mici de 1200 Hz, dacă măsurătorile se efectuează pentru materialele din rumeguș într-un singur strat la care a fost adăugat suplimentar un strat de pâslă/plută, exceptând cazul materialelor MS1, MS2 și MS3 care au proprietăți de absorbție mai bune pentru frecvențe mai mari de 1600 Hz. Pentru frecvențe mai mari de 1600 Hz absorbția sunetului este mai eficientă dacă materialele sunt realizate din mai multe straturi din granule de cauciuc.

3.2. Influența procesului de îngheț-dezghet asupra coeficientului de absorbție al materialelor realizate

Pentru a putea determina mai exact domeniul de utilizare al materialelor fonoabsorbante realizate, am testat influența procesului de îngheț-dezghet asupra coeficientului de absorbție. Procesul de îngheț-dezghet a fost aplicat asupra materialelor MS1, MS9 și MS14. Alegerea materialelor este justificată de faptul că s-a dorit observarea influenței procesului de îngheț-dezghet asupra materialelor realizate din rumeguș de brad și liant, granule de cauciuc și liant și combinarea celor două straturi. Măsurătoarea pentru determinare a fost realizată conform SR EN 1367-1:2007.

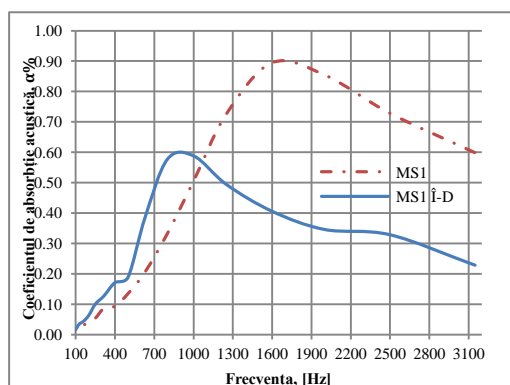


Figura 2.3.29 Influența procesului de îngheț-dezghet pentru materialul MS1 asupra coeficientului de absorbție acustică

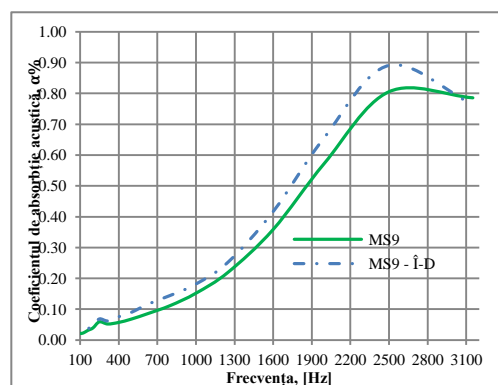


Figura 2.3.30 Influența procesului de îngheț-dezghet pentru materialul MS9 asupra coeficientului de absorbție acustică

În figura 2.3.29, în cazul materialelor realizate din rumeguș de brad și liant, coeficientul de absorbție suferă o scădere considerabilă comparativ cu materialul inițial. Pentru frecvențe mai mici de 1000 Hz, apare o ușoară creștere, valoarea maximă fiind atinsă la frecvența de 1000 Hz, 0,588, comparativ cu valoarea maximă atinsă pentru materialul inițial la frecvența de 1600 Hz, 0,895. Pentru frecvențe mai mari de 1000 Hz, coeficientul de absorbție al materialului supus procesului de îngheț-dezghet, înregistrează scăderi.

În figura 2.3.30, în cazul materialelor realizate din granule de cauciuc reciclat, procesul de îngheț-dezghet nu influențează considerabil coeficientul de absorbție. Ca și în cazul materialului inițial, la materialul supus procesului de îngheț-dezghet, coeficientul de absorbție crește liniar cu creșterea frecvenței, atingând valoarea maximă la frecvența de 2500 Hz, 0,891, comparativ cu materialului inițial care atinge valoarea maximă la aceeași frecvență, 0,806. La frecvența de 3000 Hz, materialul supus procesului de îngheț-dezghet se înregistrează scăderi ale coeficientului, α .

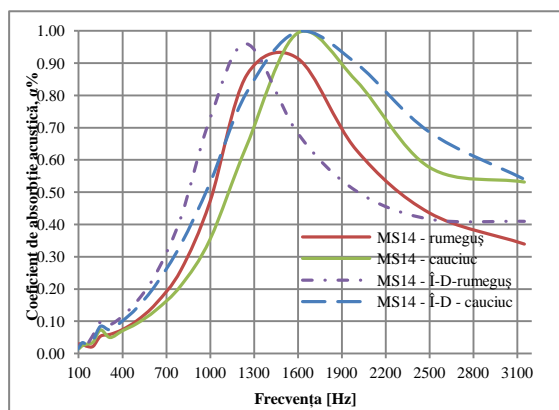


Figura 2.3.31 Influența procesului de îngheț-dezgheț pentru materialul MS14 asupra coeficientului de absorbție acustică

În figura 2.3.31, în cazul materialelor realizate dintr-un strat de granule de cauciuc reciclat și liant și un strat de rumeguș de brad și liant, dacă măsurătoarea s-a efectuat pe partea realizată din cauciuc, în urma procesului de îngheț-dezgheț se observă că acest proces nu influențează considerabil coeficientul de absorbție acustică, valorile fiind apropiate pe toată gama de frecvențe studiate, dar fiind mai eficiente pentru materialul supus procesului de îngheț-dezgheț.

Pentru partea din rumeguș se observă că în urma procesului de îngheț-dezgheț, coeficientul de absorbție crește pentru frecvențe mai mici de 1400 Hz și scade pentru frecvențe mai mari de 1400 Hz, în timp ce pentru materialul inițial, fenomenul se întâmplă exact invers, coeficientul scade pentru frecvențe mai mici de 1400 Hz și crește pentru frecvențe mai mari de 1400 Hz. Analizând influența procesului de îngheț-dezgheț asupra materialelor supuse testării putem afirma că materialele realizate numai din rumeguș de brad și liant sunt afectate într-o mai mare măsură, din punct de vedere al performanței fonoabsorbante, comparativ cu materialele care au în compoziția lor numai granule de cauciuc reciclat sau sunt realizate numai din acesta.

3.1. Coeficientul de absorbție acustică pentru materialele multistrat perforate

Pentru a putea observa influența perforațiilor asupra coeficientului de absorbție acustică a materialului multistrat MS2 (un strat de MS1 la care s-a adăugat suplimentar un strat de pluta) și s-au aplicat perforații, realizându-se găuri cu diametrul de 2 mm și 4 mm. Analizând figura 2.3.32 se observă că aplicarea perforațiilor cu diametrul $\varnothing 2$ și $\varnothing 4$ mm pe material, duce la îmbunătățirea performanțelor acustice pentru frecvențe mai mari de 1000 Hz. Pentru frecvențe mai mici de 1000 Hz, proprietățile de absorbție sunt mai bune pentru materialul neperforat, curba acestora înregistrând un pliu la frecvența de 800 Hz.

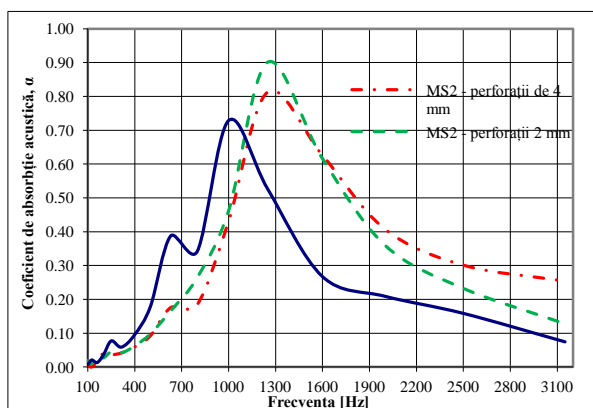


Figura 2.3.32 Influența perforațiilor într-un material asupra coeficientului de absorbție acustică

3.4 Concluzii

Analizând datele experimentale prezentate mai sus, se constată că absorbția sunetului este mai eficientă pentru materialele realizate dintr-un singur strat de rumeguș și liant pentru toată gama

de frecvențe studiată. Dacă la acest strat se mai adaugă un strat de plută și/sau pâslă absorbția sunetului este mai eficientă pentru frecvențe mai mici de 1200 Hz.

Pentru materialele realizate din granule de cauciuc și liant 15%, absorbția acustică este mai eficientă pentru frecvențe mai mari de 1600 Hz, indiferent dacă la acestea se mai adaugă un strat de pâslă și/sau plută. Pentru materialele realizate dintr-un strat de rumeguș și unul de cauciuc, dacă se adaugă un strat de plută coeficientul de absorbție acustică pentru frecvențe mai mari de 1100 Hz, pentru partea realizată din cauciuc, are proprietăți de absorbție mai eficiente comparativ cu cazul în care se adaugă un strat de pâslă unde proprietățile de absorbție sunt mai eficiente pentru frecvențe mai mari de 700 Hz și 2500 Hz. Influența procesului de îngheț-dezghet asupra materialelor realizate numai din rumeguș de brad și liant sunt afectate într-o mai mare măsură din punct de vedere al performanței fonoabsorbante, comparativ cu materialele care au în compoziția lor numai granule de cauciuc reciclat sau sunt realizate numai din acesta.

Aplicarea perforațiilor cu $\varnothing 2$ și $\varnothing 4$ mm pe material duce la îmbunătățirea performanțelor acustice pentru frecvențe mai mari de 1000 Hz. Pentru frecvențe mai mici de 1000 Hz, proprietățile de absorbție sunt mai bune pentru materialul neperforat, curba acestora înregistrând un pliu la frecvența de 800 Hz.

CAPITOLUL 3.

EVALUAREA EXPERIMENTALĂ A CAPABILITĂȚII FONOABSORBANTE

3.1 Determinarea absorbției prin metoda determinării coeficientului de absorbție acustică – TUB KUNDT

3.1.1 Domeniul de aplicarea a metodei, termeni și definiții

Evaluarea experimentală a capabilității fonoabsorbante a materialelor utilizate pentru realizarea structurilor fonoabsorbante și fonoizolante se realizează prin încercări de laborator prin care se determină coeficientul de absorbție acustică, coeficientul de reflexie a presiunii acustice și a impedanței acustice de suprafață sau a admitanței acustice de suprafață a materialelor, structurilor complexe compozite și a obiectelor prin metoda tubului Kundt, în conformitate cu prevederile din SR EN ISO 10534-1:2002, [78] și SR EN ISO 10534-2:2005, [79]. Conform acestor standarde, metoda permite:

- Determinarea coeficientului de absorbție al absorbanților acustici la incidența acustică normală;
- Determinarea impedanței suprafeței și a admitanței suprafeței materialelor absorbante acustic;
- Studiul parametrilor acustici prin determinări experimentale pe eșantioane mici de material absorbant;
- Compararea diferitelor rețete sau structuri de materiale absorbante și urmărirea variației în timp a proprietăților fonoabsorbante ale acestora;
- Studiul materialelor cu reacții locale, prin determinarea coeficientului de absorbție acustică la incidența difuză, prin estimarea din rezultatele măsurătorilor obținute.

Tot în scopul folosirii acestei metode de determinare este necesar să se identifice în mod clar termenii folosiți, astfel conform SR EN ISO 10534-2:2002, [79], avem următorii termeni:

- **coeficient de absorbție acustică**, „ α ”. Coeficientul de absorbție acustică α pentru unda plană este de forma:

$$\alpha = 1 - |r|^2 \quad (1.14)$$

unde $|...|$ indica modulul unei mărimi complexe.

- coeficient de reflexie a presiunii acustice la incidența normală, „ r ”;
- plan de referință;
- impedanța acustică specifică, $Z(x)$;
- număr de undă în câmp liber, k_0 – definit prin:

$$k_0 = \frac{\omega}{c_0} = \frac{2\pi f}{c_0} \quad (3.1.1)$$

unde ω este pulsația; f este frecvența; c_0 este viteza sunetului.

- secțiune de încercare;
- domeniu util de frecvență, f – intervalul de frecvență în care măsurătorile pot să fie efectuate într-un tub interferometru dat:

$$f_l < f < f_u \quad (3.1.2)$$

unde f_l și f_u sunt frecvențele limită inferioară și respectiv limită superioară.

- secțiune de montare.

3.1.2 Principiul metodei de încercare

Determinarea coeficientul de absorbție acustică, α , a coeficientului de reflexie a presiunii acustice și a impedanței acustice de suprafață sau a admitanței acustice la suprafață a materialelor și obiectelor prin metoda tubului Kundt (interferometrului acustic) trebuie să respecte cerințele din SR EN ISO 10534-1:2002 , [78] și SR EN ISO 10534-2:2002, [79].

3.1.2.1 Principii fundamentale privind metoda de măsurare

Unda staționară sinusoidală incidentă p_i este produsă de un difuzor amplasat la cealaltă extremitate a tubului. Prin suprapunerea undei incidente p_i cu unda reflectată p_r se produce un sistem de unde staționare $p = p_i + p_r$ în tub. Evaluarea se bazează pe valorile măsurate (pe o scară liniară sau logaritmică) a nivelurilor de presiune acustică minime $|p(x_{min})|$ (unul sau mai multe) și pe nivelul de presiune acustică maxim $|p(x_{max})|$.

3.1.2.2 Echipament folosit pentru realizarea încercărilor în laborator

Echipamentul folosit este prezentat în figura 3.3.

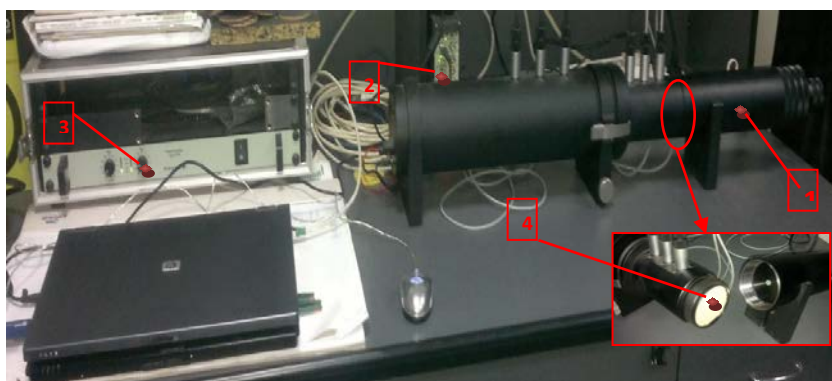


Figura 3.3 Aparatură utilizată pentru analiza probelor în Laboratorul LAU – ICECON TEST:
1 – Tub de impedanță, 2 – Generator de zgomot, 3 – Amplificator de semnal, 4 – Proba de încercat

3.1.2.2 Reguli de procedură privind modul de lucru

Înainte de începerea măsurătorilor în laborator trebuie verificate interconexiunile dintre modulele componente: Sistem multianalizor PULSE Brüel & Kjær, tip 3560-B-030 cu 5/1 canale, interferometrul acustic 4206-A (50 Hz÷3.2 kHz) și amplificator de putere tip 2716C.

3.2 Caracteristica experimentală necesară pentru stabilirea amplasării dispozitivelor de reducere a zgomotului

3.2.1. Introducere

Impactul direct al zgomotului asupra personalului muncitor poate fi caracterizat, după cum urmează:

- influența zgomotului și vibrațiilor pentru personalul muncitor ce manevrează echipamentele tehnologice, aflat în cabină, platforme, postul de lucru în interior sau exterior.
- influența zgomotelor și vibrațiilor pentru muncitori datorită proceselor tehnologice ca rezultat al interacțiunii mașină-mediu de prelucrat.

3.2.2. Lucrări de construcții executate în spații largi și fronturi deschise

a) Surse de zgomot. Pe șantierele de construcții în spații închise din zona urbană, în principal pot fi reținute ca poluante următoarele categorii de lucrări, [55]:

I) 1) Spații largi și fronturi deschise constau în lucrările de construcție executate, astfel: Lucrările de terasamente și fundații generatoare de zgomot sunt: săpături cu excavatorul; nivelare și transport cu autogrederul și buldozerul, etc; Lucrări de procesare a materialelor pentru punere în operă pe șantier: betoane; mixturi asfaltice; agregate minerale de balastieră și carieră; Lucrări de drumuri.

2) Lucrări de construcții în spații închise (interiorul anvelopelor clădirilor), astfel: tăierea și găurirea betoanelor: rotopercutante, freze-disc, găuritoare; asamblarea elementelor metalice prin autofiletare pentru plăci din gips-carton, panouri sandwich.

b) Niveluri de zgomot măsurate pe șantier. Factorul poluant prin zgomot a fost măsurat în diverse situații de lucru, iar rezultatele în sinteză sunt date mai jos, [55]:

II) Șantier deschise - surse de zgomot

a) Echipamente tehnologice de construcții pentru lucrări de terasamente și fundații: procedee tehnologice generatoare de zgomot: demolarea resturilor de beton + cărămidă; încărcare - descărcare; fôrarea piloților pentru îmbunătățirea terenului de fundare;

- simultaneitatea funcționării echipamentelor aprox. 80%;
- nivel de zgomot : $Leq = 83 - 92 \text{ dB(A)}$.

b) Reparații de drumuri: decopertare, frezare asfalt, curățire teren de resturi beton, etc; freze asfalt, ciocane, încărcătoare-excavatoare; mașini de asfaltat, nivelat compactat;

- simultaneitatea 78%;
- nivel de zgomot : $Leq = 85 - 90 \text{ dB(A)}$.

Pentru astfel de lucrări sunt utilizate scule electrice ce produc zgomot cu rezultate ale măsurărilor în procesul tehnologic. Astfel, se prezintă următoarele tipologii de scule și procedee cu nivelul de zgomot determinat:

- scule portabile electrice (găurit, înșurubat, tăiat, polizat, șlefuit, rotopercutante);
- procese tehnologice: găurire, tăiere, șlefuire;
- grade de simultaneitate 60%;
- nivel de zgomot: $Leq = 78 - 85 \text{ dB(A)}$.

Pentru a determina necesitatea instalării de dispozitive de reducere a zgomotului în spațiile aferente șantierele de construcții aflate în apropierea zonelor urbane, în cele ce urmează se prezintă rezultatele testelor efectuate pentru determinarea inițială a nivelului de zgomot pentru echipamente supuse limitării de zgomot cu utilizare în exteriorul clădirilor, echipamente aparținând de SC ITALIA STAR COM DUE SRL. Măsurătorile au fost efectuate cu echipamentele de

măsurare din dotarea Laboratorului de Acustică și Vibrații al ICECON TEST aparținând de ICECON SA București.

3.2.3. Alegerea pozițiilor microfoanelor în conformitate cu prevederile Directivei 2000/14/CE

Măsurătorile au fost efectuate cu respectarea prevederilor Directivei 2000/14/CE, [28]. Conform Directivei se poate folosi un set de 12 microfoane distribuite pe suprafața unei emisfere de rază „r”. Numărul microfoanelor folosite pentru efectuarea măsurătorilor poate fi redus la 6, microfoanele din pozițiile 2,4,6,8,10 și 12 fiind obligatorii în toate cazurile. Dimensiunea caracteristică d_0 a sursei, pentru măsurarea pe un plan reflectant, se calculează cu relația:

$$d_0 = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2 + h^2} \quad (3.2.1)$$

unde L , l și h sunt dimensiunile de gabarit ale utilajului supus determinării nivelului de putere acustică generat de acesta.

Raza „r” a emisferei este egală sau mai mare decât dublul celei mai mari dimensiuni a paralelipipedului de referință. Raza emisferei se rotunjește la valoarea superioară cea mai apropiată de următoarele valori: 4, 10, 16 m, [28].


Raza minimă a emisferei suprafeței de măsurare este: $r_{min}=2*d_0$, unde d_0 este calculat cu relația (3.2.1) și $r=4$ m.

3.2.4. Evaluarea rezultatelor experimentale

a) Placă vibro-compactoare reversibilă Bisonte PCR 160

Este un utilaj, care tasează pământul și are scopul de a face suprafață fină, prin transmiterea vibrațiilor prin placa vibratoare, care este alimentată de la un sigur motor poziționat în caseta vibratorului. Dimensiunea caracteristică d_0 a sursei este 1,18 m. Rezultatele obținute sunt:


Tabel 3.2.3

Meas. Time [s]	L _p 1 dB(A)	L _p 2 dB(A)	L _p 3 dB(A)	L _p 4 dB(A)	L _p 5 dB(A)	L _p 6 dB(A)	L _p dB(A)	K1 dB(A)	L _p dB(A)	L _w dB(A)
15	58.7	64.5	66.7	67.4	68.7	68.9	66.83			
15	55.9	59.4	65	64.6	63.9	65				
15	80.6	84.6	81.7	80.7	81.3	86.1	83.05	0	83.05	103.1
										103.3

b) Placă vibro-compactoare unidirecțională Bisonte PC 100

Este un utilaj care tasează pământul și are scopul de a face suprafața plană, prin transmiterea vibrațiilor din placa vibratoare, care este alimentată de la un sigur motor poziționat pe caseta vibro-compactoare. Dimensiunea caracteristică d_0 a sursei este 0,835 m. Rezultate obținute sunt:


Tabel 3.2.4

Meas. Time [s]	L _p 1 dB(A)	L _p 2 dB(A)	L _p 3 dB(A)	L _p 4 dB(A)	L _p 5 dB(A)	L _p 6 dB(A)	L _p dB(A)	K1 dB(A)	L _p dB(A)	L _w dB(A)
15	54.2	56.2	56.2	55.5	58.4	58.7	56.82			
15	54.6	59.6	56.9	58.2	61.1	67				
15	84.5	87.6	86.7	85.4	84.7	87.7	86.29	0	86.29	106.3
										106.2

c) Placă vibro-compactoare unidirecțională Bisonte PC 65

Este un utilaj care tasează pământul și are scopul de a face suprafața plană, prin transmiterea vibrațiilor din placa vibratoare, care este alimentată de la un sigur motor poziționat pe caseta vibro-compactorului. Dimensiunea caracteristică d_0 a sursei este 0,766 m. Rezultate obținute sunt:

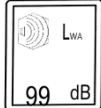
Tabel 3.2.5

Meas. Time [s]	L _p 1 dB(A)	L _p 2 dB(A)	L _p 3 dB(A)	L _p 4 dB(A)	L _p 5 dB(A)	L _p 6 dB(A)		L _p dB(A)	K1 dB(A)	L _p dB(A)	L _w dB(A)
15	57	63.4	60.5	58.9	60.8	67.6		62.84			
15	57.5	65.7	65.1	72.1	71.6	74.1					
15	79.3	80.9	80.8	80.9	81	82		80.89	0	80.89	100.9
											100.7

d) Placă vibro-compactoare unidirecțională Bisonte PC 90

Este un utilaj care tasează pământul și are scopul de a face suprafața plană, prin transmiterea vibrațiilor din placa vibratoare, care este alimentată de la un sigur motor poziționat pe caseta vibro-compactorului. Dimensiunea caracteristică d_0 a sursei este 0,708 m. Rezultate obținute sunt:

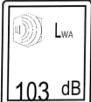
Tabel 3.2.6

Meas. Time [s]	L _p 1 dB(A)	L _p 2 dB(A)	L _p 3 dB(A)	L _p 4 dB(A)	L _p 5 dB(A)	L _p 6 dB(A)		L _p dB(A)	K1 dB(A)	L _p dB(A)	L _w dB(A)
15	55.2	57.3	58.7	59	60.2	61.6		59.12			
15	62.9	68.8	69.5	67	71.1	74.9					
15	76.7	78.8	78.9	78.8	77.8	80		78.62	0	78.62	98.6
											98.9

e) Mai Compactor Bisonte MC 75

Este un instrument solid de compactare capabil să aplice o forță mare la impacturile consecutive pe suprafața solului. Dimensiunea caracteristică d_0 a sursei este 1,13 m. Rezultate obținute sunt:

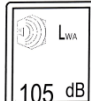
Tabel 3.2.7

Meas. Time [s]	L _p 1 dB(A)	L _p 2 dB(A)	L _p 3 dB(A)	L _p 4 dB(A)	L _p 5 dB(A)	L _p 6 dB(A)		L _p dB(A)	K1 dB(A)	L _p dB(A)	L _w dB(A)
15	53	51.7	53.3	55.7	55.4	55.8		54.42			
15	54.2	57.6	57.9	56.4	61.2	61.7					
15	82.4	82.2	81.3	83.4	80.9	84		82.5	0	82.5	102.5
											102.55

f) Mai Compactor Bisonte MC 80

Este un instrument solid de compactare capabil să aplice o forță mare la impacturile consecutive pe suprafața solului. Dimensiunea caracteristică d_0 a sursei este 1,20 m. Rezultate obținute sunt:


Tabel 3.2.8

Meas. Time [s]	L _p 1 dB(A)	L _p 2 dB(A)	L _p 3 dB(A)	L _p 4 dB(A)	L _p 5 dB(A)	L _p 6 dB(A)		L _p dB(A)	K1 dB(A)	L _p dB(A)	L _w dB(A)
15	50.9	56.8	54.2	53.9	55.4	61.9		57			
15	54.8	62.3	58	64.7	64.7	69					
15	83.3	85.8	83.9	83.1	82.8	88.5		85.1	0	85.1	105.1
											104.65

g) Placă vibro-compactoare reversibilă Bisonte PCR 255

Este un utilaj care tasează pământul și are scopul de a face suprafața plană, prin transmiterea vibrațiilor din placa vibratoare, care este alimentată de la un sigur motor poziționat în caseta vibratorului. Dimensiunea caracteristică d_0 a sursei este 1,25 m. Rezultate obținute sunt:

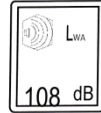
Tabel 3.2.9

Meas. Time [s]	L _p 1 dB(A)	L _p 2 dB(A)	L _p 3 dB(A)	L _p 4 dB(A)	L _p 5 dB(A)	L _p 6 dB(A)		L _p dB(A)	K1 dB(A)	L _p dB(A)	L _w dB(A)
15	59.8	62.3	62.5	61.2	63.9	64.3		62.59			
15	52.1	54.4	54.5	56.9	57.7	57.8					
15	85.6	88.7	85.5	86.5	86.8	89		87.24	0	87.24	107.3
											107.35

h) Placă vibro-compactoare reversibilă Bisonte PCR 320

Este un utilaj care tasează pământul și are scopul de a face suprafața plană, prin transmiterea vibrațiilor din placa vibratoare, care este alimentată de la un sigur motor poziționat în caseta vibratorului. Dimensiunea caracteristică d_0 a sursei este 1,24 m. Rezultate obținute sunt:

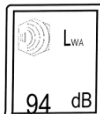
Tabel 3.2.10

Meas. Time [s]	L _p 1 dB(A)	L _p 2 dB(A)	L _p 3 dB(A)	L _p 4 dB(A)	L _p 5 dB(A)	L _p 6 dB(A)		L _p dB(A)	K1 dB(A)	L _p dB(A)	L _w dB(A)
15	55.8	59.6	57.8	60.1	65.4	69.2		63.89			
15	62.4	64.9	63.6	66.3	72.2	70.3					
15	86.8	87.7	87.6	88.5	89.6	89.6		88.42	0	88.42	108.4
											108.4

i) Generator isonorizat Bisonte G165-C

Utilajul asigură generarea de curent pentru diverși consumatori. Puterea maximă este de 4,2 kW pentru 230 V. Greutatea generatorului este de 98 kg. Puterea maximă a motorului este de 7,75 CP. Dimensiunea caracteristică d_0 a sursei este 0,81 m. Rezultate obținute sunt:

Tabel 3.2.11

Meas. Time [s]	L _p 1 dB(A)	L _p 2 dB(A)	L _p 3 dB(A)	L _p 4 dB(A)	L _p 5 dB(A)	L _p 6 dB(A)		L _p dB(A)	K1 dB(A)	L _p dB(A)	L _w dB(A)
15	52.6	55.5	56.1	54.3	57	56.5		55.57			
15	58.4	60.3	59.5	59.4	61.8	67.6					
15	71.7	74.6	73.1	72.3	73	75.9		73.68	0	73.68	93.7
											93.65

4. Concluzii

Având în vedere că echipamentele indicate mai sus au fost proiectate în conformitate cu cerințele producătorului detaliate în documentația tehnică a fiecărui utilaj, și faptul că măsurătorile privind nivelul de zgomot nu indică depășirea valorilor limită indicată de HG 1756/2006, art. 12 – Echipamente supuse limitărilor de zgomot tabel 3.2.12, dar depășesc limitele admise de Ordinul nr. 536/1997 (*actualizat*), [60]. Soluțiile necesare reducerii nivelului de zgomot pot fi: măsuri de protecție la sursă (pentru echipamente) însoțită de ecrane fonoizolatoare la limita incintei societății. O măsură de protecție la sursă ar putea consta în carcasarea utilajelor, care poate fi nevizibilă cu pereți amovibili (pentru fiecare utilaj în parte) fie vizibilă (pentru grupuri de utilaje).

În ceea ce privește amplasarea ecranelor fonoizolatoare la limita incintei societății, pentru a fi eficient (pentru a fi micșorat efectul difracției), ecranul trebuie să aibă o înălțime cu aproximativ 5,00 m peste înălțimea clădirii. Se preconizează că un astfel de ecran, cu înălțime mai mare cu cca 5,00 m decât cea a clădirilor învecinate, poate aduce o izolare la zgomot aerian de cca 15 – 17 dB.

Tabel 3.2.12

Nr. crt.	Echipament	Putere motor	Nivel de putere acustică admis (dB)	Nivel de putere acustică măsurat (dB)
1	Mai Compactor Bisonte MC 75	4 CP (2,9 kW)	108	103
	Mai Compactor Bisonte MC 80	5,5 CP (4,0 kW)		105
2	Placă vibratoare Bisonte PC 65	5,7 CP (4,2 kW)	108	101
	Placă vibratoare Bisonte PC 90			99
	Placă vibratoare Bisonte PC 100			106
3	Placă compactoare reversibilă Bisonte PCR 160	7 CP (5,1 kW)	108	103
	Placă compactoare reversibilă Bisonte PCR 255	9 CP (6,6 kW)		107
	Placă compactoare reversibilă Bisonte PCR 320	14 CP (10,3 kW)		108
4	Generator de curent Bisonte G 165-C	7,75 CP (5,7 kW)	98+lg4≈99	94

Față de concluziile prezentate mai sus se impune, ca pentru respectarea legislației în vigoare, să se elaboreze proceduri de lucru cu caracter operațional care să se adreseze în egală măsură tuturor factorilor implicați în asigurarea condițiilor de muncă și sănătate pentru om în șantierele de construcții.

a) Evaluarea nivelului de zgomot și vibrații transmise omului, pentru echipamentele de construcții trebuie să se realizeze de către **laboratoare de încercări acreditate și/sau organisme de certificare notificate**. Evaluarea nivelului de zgomot emis în exterior, a nivelului de zgomot și vibrații transmis mecanicului mașinii pentru echipamentele aflate în exploatare să se realizeze de către **organisme de inspecție acreditate** pe baza rezultatelor încercărilor de către laboratoare acreditate.

c) Măsurarea nivelelor zgomotului și vibrațiilor trebuie să se realizeze de către **laboratoare de testare specializate acreditate și notificate**.

d) Supravegherea îndeplinirii cerințelor pentru încadrarea în limitele admise pentru zgomot și vibrații transmise omului trebuie să se realizeze de către organisme notificate de autoritatea statului.

CAPITOLUL 4.

SOLUȚII INOVATIVE DE REDUCERE A NIVELULUI DE ZGOMOT ÎN EXTERIORUL CLĂDIRILOR

4.3.1 Elemente de acustică specifice zgomotului feroviar

Condițiile de exploatare impun soluții diferite de ecrane destinate protecției fonice și, din acest motiv, dispozitivele utilizate în cazul surselor feroviare sunt diferite de cele utilizate în cazul surselor provenite din traficul rutier.

Caracteristica esențială a surselor de zgomot din traficul feroviar este aceea a cunoașterii cu precizie a traiectoriei sursei.

4.3.2 Capacitatea de reducere a zgomotului pentru un dispozitiv de cale ferată

Se prezintă soluțiile tehnice de alcătuire, realizare și certificare a panourilor acustice care au fost evaluate în cadrul Institutului pentru Echipamente și Tehnologii în Construcții ICECON SA – București.

4.3.2.1 Panouri fonoabsorbante destinate protecției împotriva zgomotului de trafic

S-a supus încercării elementul „Panouri acustice din beton placate cu fibre de lemn”. Panourile acustice sunt alcătuite dintr-un perete fonoabsorbant prefabricat realizat dintr-un monostrat de lemn-ciment, denumit *Heraklith-C*. Stratul de *Heraklith-C* este fixat pe un strat de beton armat, cu un singur strat de armătură din oțel. Panourile acustice se încastrează între profilele metalice, sprijinite de plăcuța metalică a stâlpului și montate orizontal. Datorită sistemului de îmbinare, rosturile nu sunt vizibile și nu permit pătrunderea apei, nefiind necesare garnituri de etanșare. Grosimea elementelor pentru pereții de protecție antifonică este de 21,5cm dintre care:

- 9 cm reprezintă grosimea peretelui absorbant prefabricat din lemn-ciment (5 cm placă de lemn-ciment *Heraklith-C* și 4 cm placă vată minerală);
- 12,5cm reprezintă grosimea stratului de beton.

Stratul de beton folosit pentru elementul prefabricat a fost realizat din beton având clasa de rezistență C30/37, iar pentru fundație a fost folosit beton cu clasă de rezistență C25/30.

Încărcările de proiectare, sintetizate, conform schemei de calcul sunt, prezentate în tabelul 4.3. În **Anexa 3** se regăsește schema de calcul pentru rezultatele obținute.

Tabel 4.3

Viteza maximă proiectată	km/h	160
Greutate specifică panou fonoabsorbant	kN/m	12,9
Greutate specifică element prefabricat	kN/m	4,5
Efectul aerodinamic din trafic	kN/m ²	0,27
Presiunea maximă a vântului pe suprafețe	kN/m ²	7,72

Proiectarea schematică a dispozitivului de reducere a zgomotului este prezentată în figura 4.5.

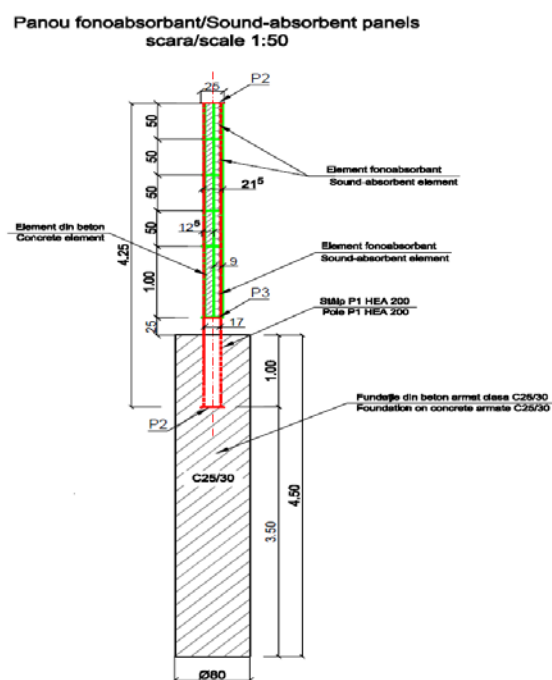


Figura 4.5 Proiectarea schematică a dispozitivului de protecție la zgomot

Dimensiunile de gabarit, aproximative, pentru panoul considerat sunt: $L = 5 \text{ m}$; $l = 0,5 \text{ m}$; $H = 0,22 \text{ m}$ și corespund unui singur element de panou acustic. Acestea se montează în poziție verticală între două profile tip "H" metalice. Profilele metalice sunt fixate într-o fundație proprie pe teren.

4.3.2.2 Determinarea performanțelor neacustice pentru panoul fonoabsorbant

4.3.2.2.1 Considerații generale

Pentru determinarea performanțelor neacustice măsurătorile au fost efectuate în conformitate cu SR EN 1794-1:2011, [85], anexa A, cap. A.2.1., cap. A.2.2., anexa B, cap B.2.1. și anexa E, cap E.3.2.

Au fost efectuate încercări pentru determinarea performanțelor neacustice, referitoare la: verificări la încărcarea din vânt, verificări la încărcarea din presiunea dinamică datorată autovehiculelor, verificarea la încărcarea dinamică datorită dezăpezirii; verificarea la impactul cu pietre. Încărcarea dinamică provocată de dezăpezire a fost simulată prin așezarea de saci cu nisip pe element. Greutatea sacilor pe metru pătrat a corespuns la de 1,5 ori încărcarea dinamică calculată, provocată de dezăpezire pe metru pătrat, mai puțin greutatea panoului pe metru pătrat. Încărcarea a fost repartizată uniform pe o zonă de $2\text{m} \times 2\text{m}$, astfel încât forța rezultantă a încărcării să fie situată la mijlocul distanței dintre stâlpi. Înălțimea rezultantei încărcării a fost cu $1,5 \text{ m}$ deasupra suprafeței drumului.

4.3.2.2.2 Determinarea deformațiilor la încărcarea sub sarcină din greutate proprie și greutate suplimentară

Conform SR EN 1794-1:2011,[85], încovoierea elastică orizontală maximă $d_{h\max}$, sub încărcarea din vânt de proiectare, trebuie să fie mai mică de:

$$d_{h\max} = \frac{L_S}{150} \text{ pentru } H_{\text{nrđ}} > 4,5 \text{ m} \quad (4.1)$$

unde $d_{h\max}$ este încovoierea elastică orizontală maximă, (mm)

L_S = cea mai mare lungime a unui element structural, (mm)

$H_{\text{nrđ}}$ = înălțimea totală a elementelor acustice care constituie ansamblul dispozitivului de reducere a zgomotului, (mm).

În tabelul 4.6 sunt prezentate rezultatele obținute pentru încercările efectuate pentru determinarea deformațiilor la încărcarea sub sarcină.

Tabel 4.6

Nr crt	Caracteristici determinate	Simbol	UM	Valoare obținută		
				1	2	3
1.	Dimensiuni de gabarit	-				
1.1	Lungime	L	m	4,96	4,96	4,97
1.2	Lățime	l	m	0,50	0,51	0,50
1.3	Grosime	h	m	0,21	0,22	0,21
2	Greutate proprie	G_p	daN	950	953	949
3	Săgeata sub greutate proprie (elementul acustic nu trebuie desprins de suportul de care este fixat)	s_p	mm	8,0	8,1	7,6
4	Săgeata sub greutate proprie și sarcină uniform distribuită adăugată până la apariția fisurilor de 0,5 mm	$s_{0,5}$	mm	24,7	24,6	24,6
		$G_{p-a 0,5}$	daN	520		

5	Săgeata sub greutate proprie și sarcină uniform distribuită adăugată până la apariția fisurilor de 0,9 mm	$s_{0,9}$	mm	31,5	32,0	31,5
		$G_{p-a 0,9}$	daN	720		
6	Greutatea maximă corespunzătoare deformației elastice maxime (d_{max} , înc. = $L_S/150 = 33$ mm)	G_{max}	daN	760		
7	Deformația permanentă maximă – după îndepărtarea greutății adăugate (deformație remanentă, $d_{max} < L_S/500$)	d_{max}	mm	18,0	17,2	17,5
8	Greutatea maximă la ruperea panoului	G_{rupere}	daN	1335		

Pe baza rezultatelor obținute se poate concluziona că nu au fost înregistrate fisuri majore, panoul rezistând până la aplicarea unei forțe de rupere de 1335 daN.

4.3.2.2.3 Determinarea adâncimii amprentei la încercarea pentru impactul cu agregate.

Măsurătorile pentru determinarea amprentei la încercarea impactului cu agregate, au fost efectuate în conformitate cu prevederile din SR EN 1794-1:2011, [85], anexa C, cap. C.2 și cap. C.3. Conform, anexei C din SR EN 1794-1:2011, dispozitivele de reducere a zgomotului amplasate în lungul drumurilor sunt expuse impactului cu agregate provenite din îmbrăcămintea rutieră. Pentru efectuarea încercării, [85], se utilizează un percutor de oțel călit. Energia ciocanului de impact trebuie să fie de $30 \text{ Nm} \pm 1 \text{ Nm}$. Cerințele pentru efectuarea încercării în conformitate cu standardul de referință, și care trebuie îndeplinite de laboratorul care efectuează încercarea, sunt definite astfel: impactul pietrelor trebuie să fie simulat prin realizarea unei încercări cu ciocanul mecanic, în trei puncte cuprinse în zona de încercat delimitată printr-o zonă de 125 mm în jurul marginii panoului de încercat, pe fiecare față expusă.

Conform prevederilor standardului, încercările trebuie efectuate în trei puncte, astfel: aproape de un colț al zonei de încercat, aproape de centrul zonei de încercat și într-un alt punct al zonei de încercat ales la întâmplare.

Energia ciocanului de impact, conform cerințelor standardului de referință, a fost realizată prin construirea unui stand propriu cu un ciocan de impact care respectă dimensiunile corespunzătoare capului de lovire reprezentat în standard.




Energia de 30 Nm a fost obținută prin lăsarea liberă de la o înălțime de aproximativ 1 m a ciocanului de impact care are o greutate de 3 kg.

În tabelele 4.7 și 4.8 sunt prezentate rezultatele obținute în urma efectuării încercării pentru impactul cu agregate, pentru toate cele trei zone alese. Au fost efectuate câte trei încercări pentru fiecare zonă de impact aleasă.

Tabel 4.7

Nr crt	Caracteristici determinate	Simbol	UM	Valoare		
				1	2	3
1	Secțiunea transversală a elementului încercat (grosime panou)	h	m	0,21		
2	Energia la impact a percutorului din oțel	E_i	Nm	30		
3	Adâncime aparentă după impact – punctul din colțul stânga sus al panoului - zona 1 de impact	a_h	mm	12,4	11,4	11,9
4	Adâncime aparentă după impact – punct central al panoului – zona 2 de impact	a_h	mm	11,5	11,5	11,2
5	Adâncime aparentă după impact – punctul din colțul din dreapta jos al panoului	a_h	mm	7,5	7,1	7,1

Tabel 4.8

Zonele de impact alese	Rezultate obținute
Zona 1 de impact 	Nici o deteriorare semnificativă pe zona de impact
Zona 2 de impact 	Nici o deteriorare semnificativă pe zona de impact
Zona 3 de impact 	Nici o deteriorare semnificativă pe zona de impact

Conform prescripțiilor cap. C.2 – din SR EN 1794-1, [85] sunt acceptate deteriorările minore în formă de crater produse la suprafața materialelor casante, cu condiția ca adâncimea acestor cratere să fie mai mică decât grosimea peretelui exterior sau decât **20 mm**, luându-se în considerație cea mai mică dintre aceste două valori. Analizând rezultatele obținute și comparându-le cu cerințele din standard observăm că acestea se încadrează în valorile impuse de standard.

4.3.2.3 Determinarea performanțelor acustice pentru panoul fonoabsorbant

Pentru determinarea performanțelor acustice, încercările s-au efectuat în conformitate cu prevederile standardelor: SR EN ISO 10534-1:2002, [78]; SR EN ISO 10534-2:2002, [79]; SR ISO 10847:2001, [80]; SR EN 1793-1:1999, [82]; SR EN 1793-2:1999, [83]; SR EN 1793-3:1999, [84]; SR EN ISO 10140-2:2011, [77]. Măsurătorile au fost efectuate pentru: determinarea curbei de absorbție acustică; determinarea „in situ” a pierderii prin inserție a panourilor acustice; determinarea performanței de izolare la zgomot aerian.

4.3.2.3.1 Determinarea curbei de absorbție acustică

Încercarea privind determinarea curbei de absorbție acustică, s-a efectuat cu respectarea prevederilor și cerințelor din: SR EN ISO 10534-1:2002, [78], SR EN ISO 10534-2:2002, [79] și Procedura de încercare acreditată RENAR (Organismul național de acreditare – Asociația de Acreditare din România), cod PI/LAU 04 [63], ed.2/rev. 3. Determinările privind coeficientul de absorbție acustică s-au efectuat pe două probe din elementul acustic cu grosimi diferite de 25 mm și respectiv 46 mm, iar diametrul probelor este de 63,5 mm. Probele au fost montate în tubul de impedanță fără spațiu de aer. Coeficientul de absorbție acustică, α , în funcție de frecvență, obținut pentru cele două probe din elementul acustic sunt prezentate, după cum urmează, [38]:

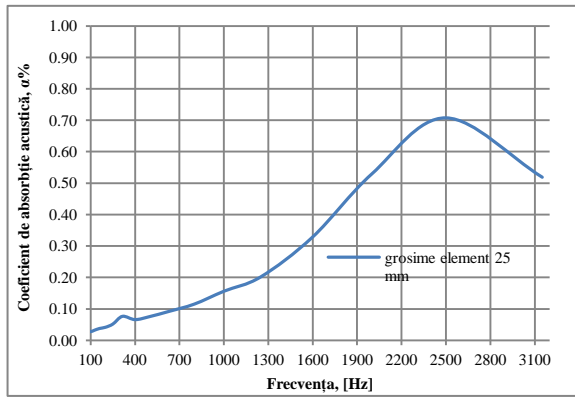


Figura 4.11 Coeficient de absorbție acustică obținut pentru proba cu grosimea de 25 mm

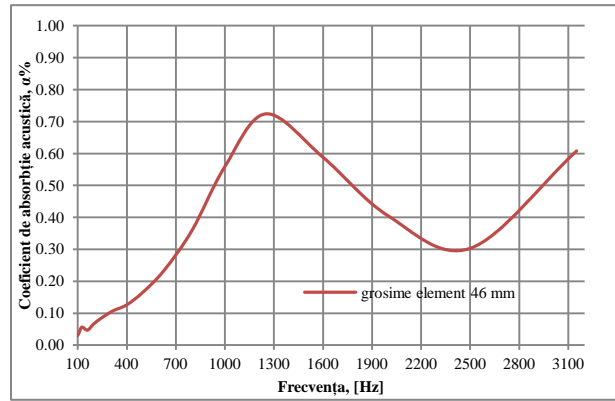


Figura 4.12 Coeficient de absorbție acustică obținut pentru proba cu grosimea de 46 mm

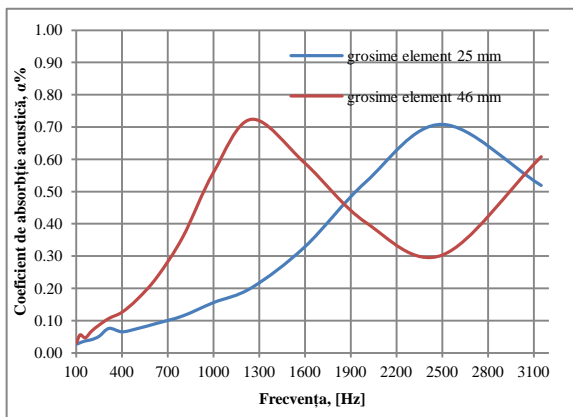


Figura 4.13 Comparație între coeficienții de absorbție acustică obținuți pentru cele două probe
Observație: Valorile coeficientului de absorbție prezentate în tabelele anterioare sunt determinate pe baza metodei funcției de transfer - analiză FFT.

Pentru proba cu grosimea de 25 mm, coeficientul de absorbție are valori în creștere până la frecvența de 2500 Hz, punct în care atinge valoarea maximă de 0,708, după care valorile acestuia încep să scadă. Pentru proba cu grosimea de 46 mm, acesta are valori în creștere până la frecvența de 1250 Hz, punct în care atinge valoarea maximă de 0,724, după care valorile încep să scadă formând un pliu până la frecvența de 2500 Hz, după care încep din nou să crească. Analizând graficele celor 2 probe de material considerate se observă ca aceștia au valori crescute și acoperitoare pentru toată gama de frecvențe considerată.

4.3.2.3.2 Determinarea „in situ” a pierderii prin inserție a panourilor acustice

Pentru determinarea „in situ” a pierderii prin inserție a panourilor acustice considerate, a fost necesar ca măsurătorile să se efectueze la sediul producătorului, SC DUNAPREF SA, cu respectarea condițiilor de punere în operă a acestora. Măsurătorile s-au efectuat conform SR ISO 10847:2001, [80].

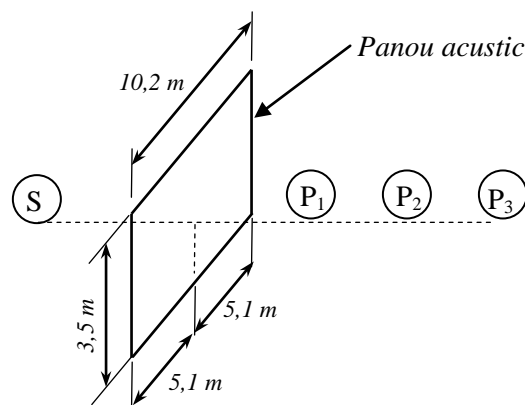


Figura 4.14 Mod de amplasare panou acustic pentru determinarea in situ a pierderii prin inserție

În figura 4.14 este reprezentat modul de amplasare al panoului supus încercării, în care codificarea folosită are următoarea semnificație:

S – Poziția sursei – OmniPower (la 2,5 m înaintea panoului, la o înălțime de 1,5 m),

P₁ – Punctul 1 de măsurare (la distanța de 2 m, față de panoul acustic, la o înălțime 1,5 m),

P₂ – Punctul 2 de măsurare (la distanța de 4 m, față de panoul acustic, înălțime 1,5 m),

P₃ – Punctul 3 de măsurare (la distanța de 6 m, față de panoul acustic, la o înălțime 1,5 m).

Valorile și graficele obținute pentru rezultatele măsurătorilor efectuate în cele 4 puncte de măsurare sunt prezentate în **Anexa 1**.

În figura 4.15 sunt prezentate curbele obținute pentru diferențele de nivel (pierderea prin inserție), între nivelul de zgomot al sursei S și nivelul de zgomot măsurat în punctele P₁, P₂, P₃.

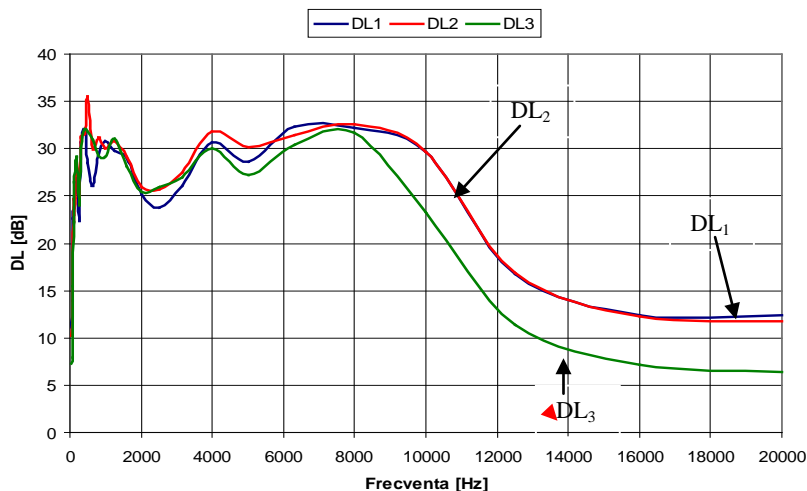


Figura 4.15 Diferențele de nivel (pierderea prin inserție), între nivelul de zgomot al sursei S și nivelul de zgomot măsurat în punctele P₁, P₂, P₃

Concluzii

Analizând graficul curbelor obținute pentru diferențele de nivel (pierderea prin inserție) între nivelul de zgomot al sursei S și nivelul de zgomot măsurat în punctele P₁, P₂, P₃ se observă că pentru intervalul de 0-8000 Hz diferențele de nivel sunt foarte apropiate pentru toate punctele de măsurare. Astfel putem spune că în acest interval nu este foarte importantă distanța la care se montează panoul acustic față de receptor. Pentru frecvențe mai mari de 8000 Hz și distanțe mai mari de 4 m, între panoul acustic și receptor, eficiența panoului acustic începe să scadă datorită înălțimii panoului și a efectului de difracție. Pierderea prin inserție a panoului are valori de cca 30 dB, în intervalul 0÷8500 Hz.

4.3.2.3.3 Determinarea izolării la zgomot aerian

Pentru determinarea izolării la zgomot aerian măsurătorile s-au efectuat conform SR EN 1793-1,2,3:1999, [25, 29, 26] și SR EN ISO 10140-2:2011, [77]. Determinările au fost efectuate între o camera de emisie în care se generează zgomot alb și o cameră de recepție unde se măsoară răspunsul materialelor supuse testării la zgomotul emis. Volumul camerelor este de 38 m³. Dimensiunea probei de încercat este de 10 m². **Au fost măsurati** parametrii principali: nivelul zgomotului de fond (B₂); simultan nivelul zgomotului din camera de emisie și în camera de recepție, în mai multe poziții ale microfonului (L₁ – nivelul de zgomot în camera de emisie/L₂- nivelul de zgomot în camera de recepție); durata de reverberație (T₂). **Au fost calculați** parametrii principali: R – indicele de atenuare acustică, dB(A); T₂ – durata de reverberație, [s].

În tabelul 4.12 sunt prezentate valorile obținute pentru indicele de izolare la zgomot aerian „R”, în funcție de frecvență, iar în figura 4.18 este prezentată curba reală a indicilor de izolare, obținută pe baza curbei maxime de referință, așa cum este precizată în SR EN 717-1, [75]:

Tabel 4.12

Frecvența, f, Hz	Indice de izolare la zgomot aerian, R, în 1/3 octavă, dB
50	
63	
80	
100	27,6
125	28,0
160	29,4
200	29,6
250	30,2
315	30,0
400	29,4
500	31,1
630	38,1
800	39,4
1000	43,7
1250	49,9
1600	55,0
2000	59,3
2500	58,7
3150	61,2
4000	
5000	

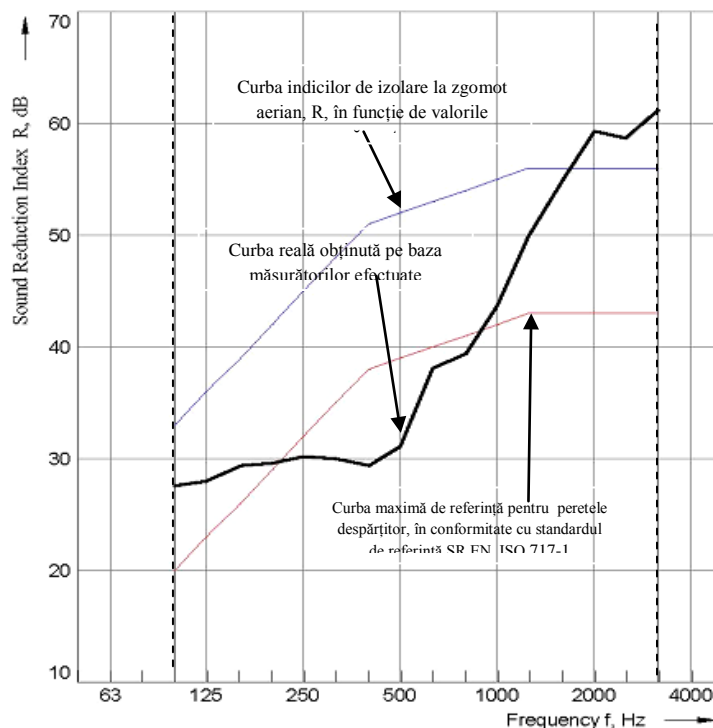


Figura 4.18 Curba reală a indicilor de izolare la zgomot aerian

Indicele „R” de izolare a zgomotul aerian se prezintă sub forma unei curbe cu valori pentru fiecare 1/3 octavă în domeniul util de frecvențe de 100÷3150 Hz. Indicele de izolare la zgomot aerian are valori foarte apropiate pentru frecvențe mai mici de 500 Hz, după care acest începe să crească odată cu creșterea frecvențelor. De asemenea, valoarea curbei de referință a valorilor măsurate, este acoperitoare față de curba de referință a indicilor de izolare la zgomot aerian prevăzută în SR EN 717-1, [75]. Coeficientul de izolare pentru punctul măsurat este de 39 dB (A). Rezultatele obținute pentru factorii de corecție au valoarea $R(C, C_{tr}) = 39 (-1, -4)$.

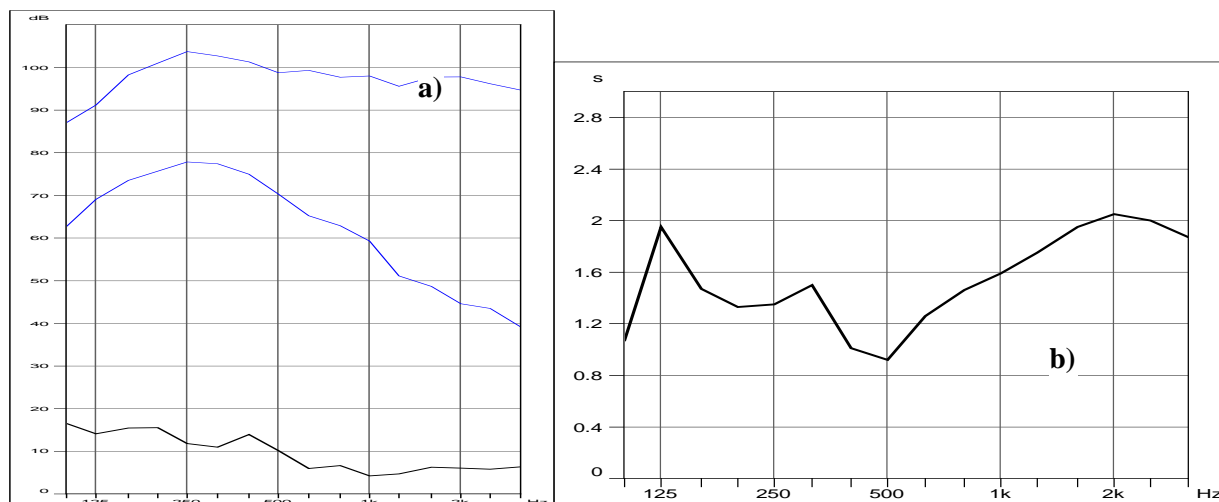


Figura 4.20 Curbele reale obținute pe baza măsurărilor efectuate pentru:

a) nivel de zgomot; b) perioada de reverberație

Pe baza relației (1.46), a claselor de încadrare privind rezultatele performanțelor de izolare la zgomote aeriene, tabel 1.7 și a nivelurilor presiunii acustice ponderate, prevazute de spectrul sonor standardizat al circulației, tabel 1.5 a fost calculat indicele unic de evaluare a performanțelor la zgomote aeriene $DL_R = 35 \text{ dB}$, categoria B₃, conform SR EN 1793-2, [83].

Pe baza relației (1.45), a claselor de încadrare privind rezultatele evaluării performanțelor de absorbție acustică, tabel 1.6 și a nivelurilor presiunii acustice ponderate, prevazute de spectrul sonor standardizat al circulației, tabel 1.5 a fost calculat indicele unic de evaluare a performanței de absorbție acustică $DL_\alpha = 5 \text{ dB}$, categoria A₂, conform SR EN 1793-1, [82].

Rezultatele complete obținute în urma măsurătorilor efectuate este prezentate în **Anexa 2**.

4.4 Caracteristici experimentale pentru un ecran modular fonoizolator utilizat pentru realizarea elementelor cu geometrie adaptabilă

4.4.1 Noțiuni introductive

În prezentul studiu se dorește determinarea caracteristicii experimentale pentru un ecran modular fonoizolator utilizat pentru realizarea elementelor cu geometrie adaptabilă, în vederea reducerii zgomotului exterior produs de surse fixe și/sau mobile din clădiri și ansambluri construite. Așa cum am arătat anterior, pentru realizarea unui indice de atenuare sonoră "R" cât mai mare, trebuie respectat principiul cunoscut în acustică sub numele de "legea masei", conform căruia capacitatea de izolare acustică a unui element de construcție crește odată cu mărirea masei superficiale a acestuia, [13], astfel pentru a fi eficiente, ecranele acustice trebuie alcătuite dintr-o structură de tip sandwich, în care unul dintre straturi - numit strat de bază - să aibă un indice de atenuare acustică $R \geq 20 \text{ dB}$, [40].

4.4.2 Proiectare model element acustic funcțional

S-a efectuat proiectarea unui element acustic realizat din două fețe de beton, clasă de rezistență C20/25, cu grosimi de 5 cm, între care a fost aplicată o inserție din plăci de vată minerală, realizându-se un panou cu grosimea de 22 mm. Stratul de bază al ecranului a fost realizat din panouri cu structură sandwich având cele două fețe din beton cu grosimi de 5 cm și cu inserție din plăci de vată minerală cu densitate de 100 kg/m^3 . Lungimea totală a ecranului este de 12,00 m iar înălțimea este de 3,60 m, [37].

4.4.3 Materiale utilizate pentru realizare element acustic

A. Pentru realizarea ecranelor acustice din cadrul temei de cercetare, s-au utilizat, ca straturi de bază, două variante:

- a) element vertical din tablă cutată de oțel, având grosimea de 0,7 mm,
 $L_e = 14,40 \text{ m}$; $H_e = 2,00 \text{ m}$;
- b) element vertical alcătuit din două fețe de beton având grosimi egale de 5 cm, cu inserție din plăci de vată minerală (grosime panou = 22mm),
 $L_e = 12,00 \text{ m}$; $H_e = 3,60 \text{ m}$.

B. Pentru materialul de acoperire s-au utilizat panouri *HERAKLITH-C* cu dimensiuni în plan de 2,00 m x 0,50 m, din fibre de lemn liate cu ciment (grosime panou = 5 cm), pentru care s-au determinat valorile coeficienților de absorbție a sunetului, α , în Laboratorul de Acustică și Vibrații al ICECON TEST aparținând de ICECON SA București, așa cum este prezentat în figura 5.1:

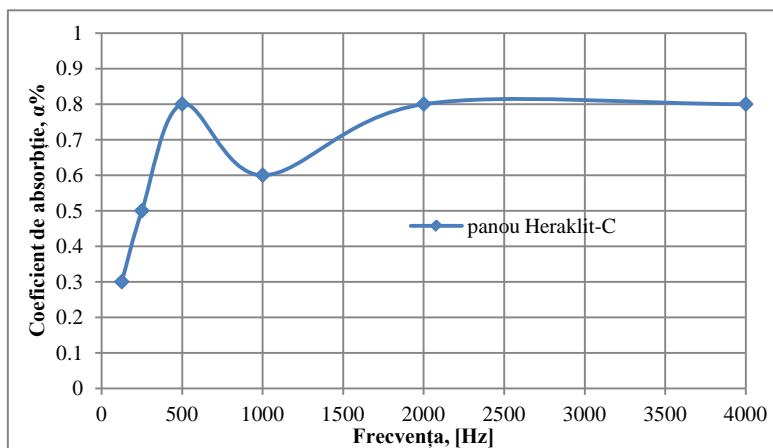


Figura 4.21 Variația coeficientului de absorbție, funcție de frecvență

Se observă că proba supusă încercării are proprietăți bune de absorbție pe toată gama de frecvențe considerată, excelând în gama de frecvențe mai mici de 500 Hz, la frecvența de 500 Hz atinge valoarea maximă de 0,8 la fel ca și în gama de frecvențe de 2000÷4000 Hz, unde valoarea rămâne constantă la valoarea 0,8.

În tema de cercetare, din cadrul tezei de doctorat, s-a realizat un ecran experimental cu lungime de 15 m, din panouri de policarbonat cu dimensiuni în plan de 2,00 m x 0,50 m având grosimea de 10 mm, așezate în structură sandwich, cu spațiu de aer de 20 mm între două plăci consecutive. Din încercările preliminare, efectuate, a rezultat că elementul vertical astfel realizat are un indice de izolare la zgomot aerian mai mic de 15 dB, așa încât nu s-au efectuat experimentări acustice complete pe acest tip de ecran.

4.4.4 Realizarea variantelor de ecrane

a) Varianta I - Element din tablă cutată de oțel

Prima variantă constituită pentru analiza experimentală a fost realizată din tablă cutată de oțel având grosimea de 0,7 mm, realizat ca și strat de bază, montată pe stâlpi din țevă cu diametrul exterior de 75 mm, așezați la distanță de 2,40 m între axele țevilor. Lungimea totală a ecranului realizat este de 14,40 m, iar înălțimea este de 2,00 m.



Figura 4.23 Strat de bază din tablă cutată



Figura 4.24 Plăci de HERAKLITH-C

Pe tabla de oțel au fost așezate plăci din HERAKLITH-C, cu dimensiuni în plan de 2,00 m x 0,50 m având grosimea de 5 cm. Determinările acustice au fost efectuate înainte și după montarea plăcilor din HERAKLITH-C.

b) Varianta II - Element din beton cu inserție de vată minerală

A doua variantă constituită pentru analiza experimentală a fost realizată dintr-un element vertical alcătuit din două fețe de beton având grosimi egale de 5 cm cu inserție din plăci de vată minerală, panoul având grosimea totală de 22 mm. Stratul de bază al ecranului a fost realizat din panouri, cu structură sandwich, având fețele din beton cu grosimi de 5 cm, între care a fost introdusă inserția din plăci de vată minerală cu densitate de 100 kg/m^3 , panoul astfel obținut având grosimea totală de 22mm. Lungimea ecranului a fost de 12,00 m, iar înălțimea de 3,60 m.



Figura 4.28 Strat de bază din beton



Figura 4.30 Ecran din beton acoperit cu plăci de *HERAKLITH-C*

Pe panourile verticale, din beton, au fost așezate plăci din *HERAKLITH-C*, cu dimensiunile prezentate anterior. Determinările acustice au fost efectuate înainte și după montarea plăcilor din *HERAKLITH-C*. Datele experimentale au constat în studii privind:

- măsurări ale nivelului de presiune sonoră propagat prin următoarele tipuri de ecrane:
 - I a) – ecran fonoizolator din tablă cutată de oțel cu grosime de 0,7mm;
 - $L_e = 14,50 \text{ m}$; $H_e = 2,00 \text{ m}$;
 - b) – ecran fonoizolator și fonoabsorbant din tablă de oțel + panouri *HERAKLITH-C* din fibre de lemn liate cu ciment (grosime panou = 5 cm);
 - II a) – ecran fonoizolant din plăci de beton cu inserție din vată minerală (grosime panou = 22mm); $L_e = 12,00 \text{ m}$; $H_e = 3,60 \text{ m}$;
 - b) – ecran fonoizolant și fonoabsorbant din plăci de beton cu inserție din vată minerală + panouri *HERAKLITH* (grosime placă = 5cm);
- calculul indicilor de izolare la zgomot aerian, în diverse situații.

Măsurările s-au efectuat la o înălțime de 1,30 m față de sol, atât în benzi de frecvență de 1/1 octavă, cât și la nivel global, în dB(A).

4.4.5 Aparatura utilizată

Pentru măsurarea nivelului de presiune sonoră s-au utilizat următoarele aparate: generator de zgomot; amplificator de putere; incintă acustică 100 W/ 4 Ohm; sonometru de precizie; microfon omnidirecțional tip 4145.

4.4.6 Prezentare rezultate experimentale

În vederea caracterizării din punct de vedere acustic a celor două tipuri de variante de ecrane, în tabelul 4.15 se prezintă nivelurile de zgomot obținute la măsurările acustice, în cazul ecranului din tablă de oțel, înainte și după montarea plăcilor de *Heraklith-C*, iar în tabelul 4.16

se prezintă nivelurile de zgomot obținute la măsurările acustice, în cazul ecranului din beton cu inserție de vată minerală, înainte și după montarea plăcilor de *Heraklith-C*.

Tabel 4.15

Nr. crt.	Punct de măsurare	Nivel de zgomot (dB) funcție de frecvențe [Hz] – ecran din tablă de oțel														Nivel global, dB(A)	
		63		125		250		500		1000		2000		4000			
		fără HER	cu HER	fără HER	cu HER	fără HER	cu HER	fără HER	cu HER	fără HER	cu HER	fără HER	cu HER	fără HER	cu HER	fără HER	cu HER
1	A	84	83	91	90	89	88,5	85,5	84	79	78	85,3	83	76	74	88,5	87,5
2	B	75	74	78	75	70	68	65	62	54,5	50	58,5	52	47	42	67	61
3	C	80	79	84	83	71,5	72	68,5	67	63,5	62	68,5	66	60	59	74,5	73,5
4	D	73		76,5		65		60		49,5		50		46		64	60
5	E	76,5	77	82	81	70,5	70	66,5	66	63	61	68	65	57,5	58,5	72	72
6	F	71	72	73	72	64	64,5	60,5	61	49	50,5	50	53	46	47	62	60

Tabel 4.16

Nr. crt.	Punct de măsurare	Nivel de zgomot (dB) funcție de frecvențe [Hz] – ecran din beton														Nivel global, [n dB(A)	
		63		125		250		500		1000		2000		4000			
		fără HER	cu HER	fără HER	cu HER	fără HER	cu HER	fără HER	fără HER	cu HER	fără HER	cu HER	fără HER	cu HER	fără HER	cu HER	fără HER
1	Sursa S ₁ în 1	83	82	90	89	88,5	87,5	84	82	78	76	80	78	75	72,5	86,5	85
2	Sursa S ₁ în 2	70	69	75	72	66,5	63	61	55	54	49	55	49	53,5	48	61	54
3	Sursa S ₂ în 2	68		71		66		60,5		52		55		54		63	58
4	Sursa S ₂ în 3	85	85	90,5	90	88,5	89	84,5	84	78	77,5	79	79	76	76	87	87

În vederea punerii în evidență a efectului ecranului acustic asupra mediului ambiant, pe de o parte, și a aplicării plăcilor de *Heraklith-C*, pe de altă parte, sunt prezentate valorile indicilor de izolare la zgomot aerian pentru diferite situații, astfel:

- în tabelul 4.17, sunt prezentate rezultatele obținute pentru indicele de izolare la zgomot aerian în cazul ecranului din tablă de oțel;

- în tabelul 4.17, sunt prezentate rezultatele obținute pentru indicele de izolare la zgomot aerian pentru ecranul din beton.

Tabel 4.17

Nr. crt.	Situația de măsurare		DL _R	
	Emisie	Recepție	Ecran din tablă	Ecran din tablă cu <i>Heraklith-C</i>
1	A	B	21,5	27,5
2	C	D	10,5	14,5
3	E	F	13	16

Tabel 4.18

Nr. crt.	Situția de măsurare		DL_R	
	Emisie	Recepție	Ecran din beton	Ecran din beton cu <i>Heraklith-C</i>
1	S1-1	2	28	35
3	S2-3	2	26	31

4.4.7 Concluzii

Analizând rezultatele obținute și prezentate putem concluziona că poluarea sonoră reprezintă un adevărat flagel al lumii contemporane, care acționează în sens negativ asupra vieții și sănătății oamenilor. Valorile indicilor de izolare la zgomot aerian ai ecranelor fonoizolatoare măsurate variază în funcție de structura ecranului, pe de o parte și de condițiile de amplasare a acestuia, pe de altă parte.

În funcție de materialele pe care sunt aplicate plăcile de *Heraklith-C*, indicii de izolare la zgomot aerian DL_R cresc de la 27,5 dB(A), în cazul aplicării pe tablă, până la 35 dB(A), în cazul aplicării pe beton (valori calculate chiar pe direcția sursei de zgomot).

Atunci când sursa de zgomot este amplasată în apropierea ecranului (nr.crt.1 din tabel 4.17 și nr.crt.1 din tabel 4.18), plăcile de *HERAKLITH-C* au și rol fonoabsorbant; astfel poate fi justificată contribuția mai mare a plăcilor de *HERAKLITH-C* - la poziția 1 din tabel 4.17, diferența este de 7 dB între cazurile în care măsurătoarea a fost efectuată pentru ecranul din beton cu *Heraklith-C* față de cazul în care măsurătoarea a fost efectuată fără, față de cea de la poziția 2 din tabel 4.17, diferența este de 6 dB între cazurile în care măsurătoarea a fost efectuată pentru ecranul din tablă cu *Heraklith-C* față de cazul în care măsurătoarea a fost efectuată fără.

Din cauza fenomenelor de difracție – atât pe deasupra ecranului cât și prin părțile sale laterale (în cazul celui din beton) – izolarea acustică este mai scăzută atunci când punctele de recepție sunt amplasate în câmpul acustic apropiat ecranului (situațiile cu nr. crt. 2 din tabelul 4.17 și nr. crt. 1 din tabelul 4.18). Rezultatele experimentărilor au confirmat faptul că ecranele fonoizolatoare constituie o soluție eficientă de protecție împotriva zgomotului, atât sub aspectul asigurării confortului acustic cât și al izolării fonice în mediul ambiant natural și construit.

4.5 Propagarea undelor acustice prin pereți, modelați ca elemente elastic neinerțiale

Așa cum am arătat anterior, în zonele de înaltă și joasă frecvență pot să apară pierderi de izolare fonică datorate frecvențelor de rezonanță sau coincidență; frecvența la care începe să aibă loc pierderea se definește ca frecvență critică (f_c), valoarea sa putând fi calculată cu relația (1.20), în cazul în care este cunoscută viteza de propagare a sunetului în material cu următoarea relație, [16]:

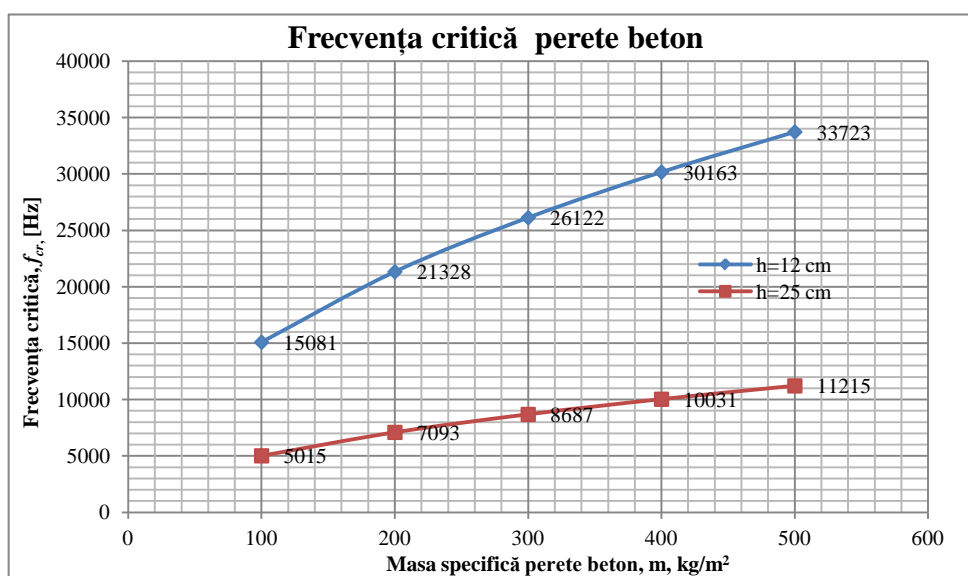
$$(f_{cr})_{min} = \frac{c^2}{2\pi h} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\mu}{Eh}}$$

unde E este modulul lui Young pentru materialele folosite, ν - coeficientul lui Poisson, μ - masa specifică, h - grosimea materialului, c - viteza de propagare a sunetului prin perete.

În tabelele 5.3 și 5.4 sunt prezentate valorile obținute pentru frecvența critică, f_{cr} , calculate în conformitate cu relația (1.20), pentru un perete din beton / cauciuc, fiecare perete realizat având dimensiunile de 3000x2000 mm (Lxl), [35].

Tabel 4.19

Perete Beton						
Nr. crt.	Grosime perete, h, [m]	Masa specifică, μ , [kg/m ²]	Modulul lui Young, E, [N/m ²]	Viteza de propagare, c, m/s	Coeficientul lui Poisson, ν	Frecvența critică, f_{cr} , [Hz]
1	12*10 ⁻²	100	31*10 ⁹	4500	0.15	15081
2		200				21328
3		300				26122
4		400				30163
5		500				33723
6	25*10 ⁻²	100				5015
7		200				7093
8		300				8687
9		400				10031
10		500				11215

Figura 4.31 Curbe frecvența critică, f_{cr} , perete beton

Tabel4.20

Perete Cauciuc						
Nr. crt.	Grosime perete, h, [m]	Masa specifică, μ , [kg/m ²]	Modulul lui Young, E, [N/m ²]	Viteza de propagare, c, m/s	Coeficientul lui Poisson, ν	Frecvența critică, f_{cr} , [Hz]
1	2,5*10 ⁻²	3,75	2*10 ⁷	54	0.5	153
2		7,5				216
3		15				305
4		22,5				374
5		30				431
6	5*10 ⁻²	3,75				54
7		7,5				76
8		15				108
9		22,5				132
10		30				153
11	10*10 ⁻²	3,75				19
12		7,5				27
13		15				38
14		22,5				47

15		30				54
16	$15 \cdot 10^{-2}$	3,75				10
17		7,5				15
18		15				21
19		22,5				25
20		30				29
21	$20 \cdot 10^{-2}$	3,75				7
22		7,5				10
23		15				13
24		22,5				17
25		30				19

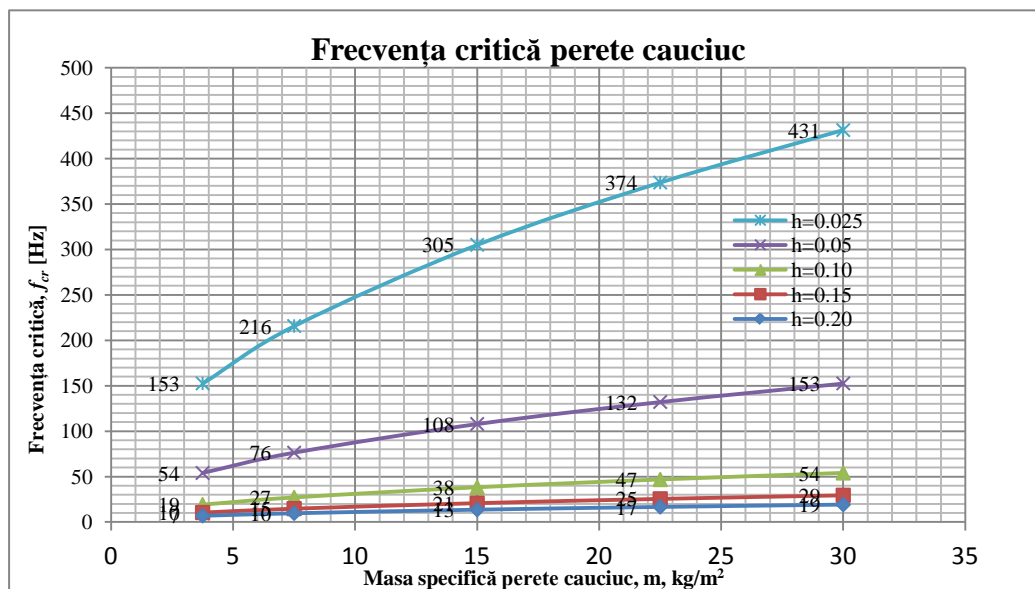


Figura 4.32 Curbe frecvența critică perete cauciuc

4.5.1 Concluzii

Pe baza modelelor fizice adoptate pentru perețele simplu, cu un strat fonoizolant din doua materiale diferite, și a datelor numerice și experimentale, pot fi sintetizate următoarele concluzii: frecvența critică este parametrul fizic care indică faptul că peste această valoare presiunea acustică, pe benzi de frecvență nu este izolată; pentru o buna izolare trebuie ca punctele de interes să fie cuprinse sub curbele trasate, parametrizate prin grosimea h a materialului; familiile de curbe pentru beton și cauciuc evidențiază influența densității materialului, a masei specifice pe unitatea de suprafață și a grosimii plăcii realizate, atât la frecvențe joase cât și la frecvențe înalte; sunetele cu frecvențe joase sunt izolate eficient cu materiale ce au grosimi mari, iar sunetele cu frecvențe înalte pot fi bine izolate cu materiale cu grosimi mici (subțiri).

Rezultatele cercetărilor pot fi utilizate pentru stabilirea soluțiilor tehnice a panourilor anti-zgomot amplasate pe căile rutiere de trafic intens și rapid.

4.6 Armonizarea criteriilor normative cu cerințele tehnice de performanță pentru procesele vibroacustice

Se prezintă modalitatea de evaluare a conformității materialelor fonoabsorbante și antivibratile ținând seama de două cerințe, cu caracter antagonic, privind managementul calității cât și nivelul de performanță cu valori de prag ale produsului, [33].

4.6.1 Introducere

Standardul SR EN 14388, [89] privind dispozitivele de reducere a zgomotului din traficul rutier reglementează cerințele specifice de evaluare a conformității produselor în vederea atestării conformității, cu precizări procedurale privind individualizarea acestora pentru încercarea parametrilor fizico-mecanici, a durabilității, a compatibilității produselor cu factorii de agresivitate a mediului ambiant și a emanării de substanțe periculoase

4.6.2 Evaluarea conformității

Evaluarea conformității trebuie să demonstreze îndeplinirea cerințelor specificate referitoare la un produs, proces, sistem, persoană sau organism. Evaluarea conformității în cazul nostru poate fi aplicată produselor cu funcții de reducere a zgomotului de către acele *organisme care efectuează servicii de evaluare a conformității*. Activitățile de evaluare a conformității pot fi caracterizate ca fiind de “primă parte”, de “secundă parte” sau de “terță parte”. În general pentru fiecare dintre aceste categorii se impune respectarea următoarelor activități: evaluarea conformității sub controlul sau conducerea unei persoane sau unui organism care efectuează servicii de evaluare a conformității, decizia finală pe care se bazează atestarea poate fi efectuată fie de o persoană, fie de un organism care efectuează servicii de evaluare a conformității.

4.6.3 Evaluarea performanței materialelor fonoabsorbante

Evaluarea conformității materialelor fonoabsorbante constă în evaluarea performanțelor componentelor ce intră în structura de alcătuire a dispozitivelor de reducere a zgomotului din trafic.

În tabelul 5.5 se prezintă caracteristicile materialelor fonoabsorbante, pentru care se aplică metoda de încercare cerută de standardul în vigoare, caracteristici necesare stabilirii performanțelor acestor material, [33].

Tabel 4.21

Caracteristică	Metoda de încercare cerută de standard	Formula de calcul	Observații
Absorbția sunetului, DL_α	SR EN 1793-1, [82]	$DL_\alpha = -10 \log \left 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{S_i} 10^{0.1L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0.1L_i}} \right $	Valoarea declarată, în dB, pentru părțile absorbante specificate ale ecranului de absorbție a sunetului, [90].
Izolarea la zgomote aeriene, DL_R	SR EN 1793-2, [83]	$DL_R = -10 \log \left 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0.1L_i} 10^{-0.1R_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0.1L_i}} \right $	Valoarea declarată, în dB. Un indice de evaluare a izolării la zgomote aeriene, trebuie să fie stabilit pentru a indica performanța produsului, [84].
Rezistența la încărcări - greutatea proprie a unui element acustic: ud, cu umiditate redusă sau uscat, determinată pe baza formulelor sau încercărilor	SR EN 1794-1, [85], anexa B,	-Instabilitatea torsiunii locale: - deformarea orizontală d_{hmax} , în mm, nu trebuie să fie mai mare decât $d_{hmax} = \frac{h_{ae}}{50}$, [90] - deformarea verticală: cu element de protecție, așa cum este utilizat în practică, deformarea maximă d_{vmax} , în mm, nu trebuie să fie mai mare decât $d_{vmax} = \frac{L}{400}$, [90]	Valoarea declarată - kN/element pentru condițiile specificate: umiditate, umiditate redusă sau uscat.
Emanare de substanțe periculoase	SR EN 1794-2, [86], anexa C	Producătorul are obligația să declare orice component chimic care ar putea provoca eliminarea unor substanțe toxice în mediul înconjurător	
Durabilitatea prevăzută pentru	SR EN 14389-1, [90]	Pct. 4.3 - Absorbția acustică, izolare fonică, conform SR EN 1793-2, [83], determinate pe	Modificarea indicelui de reflexie a sunetului DL_R și a

parametrii acustici		baza claselor tipice de expunere și condițiilor climatice.	indicele de absorbție a sunetului $DL\alpha$ după (5, 10, 15 și 20 ani) / durată de viață declarată (ani)
Durabilitatea prevăzută pentru parametrii non acustici	SR EN 14389-2, [91]	Atunci când dispozitivul de reducere a zgomotului este supus la condiții de mediu a căror natură și severitatea sunt extrase din standardul SR EN 60721-3-4, [92], toate materialele utilizate la construcția dispozitivului trebuie să fie evaluate în conformitate cu condițiile de durabilitate din standardul de material adecvat fiecărui element.	Durată de viață declarată (ani)
Difracția sunetului	CEN/TS 1793-4, [88]	Rezultatele sunt exprimate în funcție de frecvență, în benzi de 1/3 octavă, între 100 Hz și 5kHz	

4.6.4 Controlul producției în fabrică

Producătorul trebuie să stabilească, să întocmească documentația și să mențină la zi un sistem de control al producției în fabrică pentru a se asigura că produsele introduse pe piață sunt conforme cu caracteristicile de performanță declarate de acesta.

4.6.5 Concluzii parțiale

Pentru evaluarea conformității dispozitivelor de reducere a zgomotului din traficul rutier de către un organism de terță parte, acestea trebuie să își demonstreze funcția acustică, prin încercările efectuate pe elementele componente, și cerințele de proiectare structurală în conformitate cu standardele europene aplicabile, dar și să își mențină performanțele declarate de producător pentru o durată de serviciu garantată, rezonabilă din punct de vedere economic.

CAPITOLUL 5.

Concluzii generale, contribuții și direcții de cercetare

5.1 Concluzii generale

Pe baza studiilor, a datelor experimentale cât și a scenariilor de poluare sonoră se pot formula următoarele concluzii grupate astfel:

- a) stadiul actual al poluării sonore și cerințele de diminuare a acesteia:
 - poluarea fonică se constituie ca fiind una din marile probleme cu care se confruntă, în ultimul timp populația globului, care devine tot mai gravă alături de poluarea deșeurilor. Poluarea fonică are efect nefast asupra stării psihice a omului;
 - nivelul ridicat al zgomotului, poate fi redus prin adoptarea măsurilor de izolare a zgomotului la sursă, izolare a zgomotului pe căile de propagare și măsuri de izolare la receptor;
 - combaterea nivelului de zgomot din traficul rutier și feroviar poate fi realizată prin amplasarea barierelor de zgomot;
 - principalele caracteristici de care trebuie să se țină seama la proiectarea barierelor de zgomot sunt: alegera materialului, înălțimea barierelor, locul de amplasare al acestora în raport cu sursa de zgomot, încărcarea datorată vântului, natura și tipul fundației pe care este amplasată bariera de zgomot;
 - în structura barierelor de zgomot pot fi înglobate materiale fonoabsorbante realizate din deșeuri reciclabile;
- b) caracterizare, evaluare și performanțe ale materialelor fonoabsorbante și fonoizolante:

- principala caracteristică ce definește materialele fonoabsorbante este structura lor poroasă;
 - performanța privind absorbția sunetului în materiale poroase, prin determinarea coeficientului de absorbție, presupune cunoașterea valorilor unor parametri fizici, și anume: porozitatea, tortuozitatea, rezistență la trecerea curenților de aer, grosimea materialului precum și comprimarea acestuia;
 - performanța privind absorbția sunetului în materiale poroase depinde în mare măsură de structura, grosimea și modul de amplasare a materialului;
 - pentru o utilizare eficientă a materialelor fonoabsorbante, trebuie avut în vedere atât caracteristicile fiecărui tip de material cât și caracteristicile zgomotului din zona în care dorim să folosim materialul respectiv;
- c) soluții inovative de structuri compozite ale panoului acustic:
- utilizarea rumegușului de brad, rumegușului de fag și a granulelor de cauciuc reciclat din anvelope uzate la realizarea materialelor fonoabsorbante, reprezintă un pas important în reducerea cantității de deșeuri;
 - spuma poliuretanică folosită ca liant la obținerea materialelor fonoabsorbante, folosite la realizarea structurilor compozite pentru care s-a determinat coeficientul de absorbție acustică „ α ”, a fost utilizată în procente diferite cuprinse între 10÷30 %, în funcție de materialul de bază folosit, astfel: 20÷30% în cazul materialelor realizate din rumeguș, 10÷20% în cazul materialelor realizate din granule de cauciuc reciclat și 15÷25% în cazul materialelor realizate dintr-un amestec de granule de cauciuc și rumeguș;
 - grosimea structurilor compozite realizate este unul dintre parametrii care influențează coeficientul de absorbție acustică, astfel structurile realizate au avut grosimi de 20, 30, 40 mm pentru structurile realizate într-un singur strat și 15÷36 mm în cazul structurilor realizate din mai multe straturi;
 - odată cu creșterea masei materialului lipit pe lamelă, la studiul experimental pentru determinarea amortizării vibrațiilor, începe să scadă frecvența proprie a materialului;
 - cele mai bune proprietăți de amortizare a vibrațiilor s-au obținut pentru materialele realizate din granule de cauciuc reciclat și liant în proporție de 15% și un strat de plută (MS10) și (granule de cauciuc reciclat și liant în proporție de 15% și un strat de pâslă);
 - materialele realizate din trei straturi astfel:, un strat realizat din rumeguș de brad și liant, un strat realizat din granule de cauciuc reciclat și un strat realizat din pâslă/plută (MS16 și MS15) sunt mai rigide decât cele realizate doar din rumeguș de brad și liant și/sau granule de cauciuc reciclat și liant/ un strat de plută/un strat de pâslă;
 - absorbția sunetului este mai eficientă pentru materialele realizate dintr-un singur strat de rumeguș și liant 15%, având grosimea de 15 mm, pentru toata gama de frecvențe studiată. Dacă la acest strat se mai adaugă suplimentar un strat de plută și/sau pâslă absorbția sunetului este mai eficientă pentru frecvențe mai mici de 1200 Hz;
 - pentru materialele realizate din granule de cauciuc și liant 15%, absorbția acustică este mai eficientă pentru frecvențe mai mari de 1600 Hz, indiferent dacă la acestea se mai adaugă suplimentar un strat de pâslă și/sau plută;
 - pentru materialele realizate dintr-un strat de rumeguș și unul de cauciuc, dacă se adaugă suplimentar un strat de plută coeficientul de absorbție acustică pentru frecvențe mai mari de 1100 Hz, pentru partea realizată din cauciuc, are proprietăți de absorbție mai eficiente comparativ

cu cazul în care se adaugă un strat de pâslă unde proprietățile de absorbție sunt mai eficiente pentru frecvențe mai mari de 700 Hz și 2500 Hz.

d) factor climatic care influențează performanța acustică:

- influența procesului de îngheț-dezghet asupra materialelor realizate numai din rumeguș de brad și liant este afectat într-o mai mare măsură din punct de vedere al performanței fonoabsorbante, comparativ cu materialele care au în compoziția lor numai granule de cauciuc reciclat sau sunt realizate numai din acesta;

- procesul de îngheț-dezghet duce la scăderea proprietăților fonoabsorbante pentru materialele realizate doar din rumeguș și liant, față de materialele care au în compoziția lor și granule de cauciuc reciclat;

- aplicarea perforațiilor cu Ø2 și Ø4 mm pe material duce la îmbunătățirea performanțelor acustice pentru frecvențe mai mari de 1000 Hz. Pentru frecvențe mai mici de 1000 Hz, proprietățile de absorbție sunt mai bune pentru materialul neperforat, curba acestora înregistrând un pliu la frecvența de 800 Hz.

e) stabilirea soluțiilor tehnice de reducere a zgomotului cu ajutorul structurilor de panouri carcasate:

- soluțiile necesare reducerii nivelului de zgomot pot fi: măsuri de protecție la sursă (pentru echipamente) însoțită de ecrane fonoizolatoare la limita incintei societății. O măsură de protecție la sursă ar putea consta în carcasarea utilajelor, care poate fi nevizibilă cu pereți amovibili (pentru fiecare utilaj în parte) fie vizibilă (pentru grupuri de utilaje);

- în ceea ce privește amplasarea ecranelor fonoizolatoare la limita incintei societății, pentru a fi eficient (pentru a fi micșorat efectul difracției), ecranul trebuie să aibă o înălțime cu aproximativ 5,00 m peste înălțimea clădirii. Se preconizează că un astfel de ecran, cu înălțime mai mare cu cca 5,00 m decât cea a clădirilor învecinate, poate aduce o izolare la zgomot aerian de cca 15 – 17 dB.

f) evaluarea gradului de poluare prin evaluarea simultană a zgomotului și vibrațiilor:

- evaluarea nivelului de zgomot și vibrații transmise omului, pentru echipamentele de construcții noi produse în România și importate trebuie să se realizeze de către **laboratoare de încercări acreditate și/sau organisme de certificare notificate**;

- evaluarea nivelului de zgomot emis în exterior, a nivelului de zgomot și vibrații transmis mecanicului mașinii pentru echipamentele aflate în exploatare sau importate la mâna a doua să se realizeze de către organisme de inspecție acreditate pe baza rezultatelor încercărilor de către laboratoare acreditate;

g) experimentarea „in situ” pentru evaluarea performanțelor acustice în câmp liber:

- la încercarea privind determinarea „in situ” a pierderii prin inserție analizând diferențele de nivel între nivelul de zgomot al sursei S și nivelul de zgomot măsurat în punctele P1, P2, P3 (aflate la diferite distanțe față de sursă), în cazul panoului fonoabsorbant realizat din beton și un strat de așchii de lemn liate cu ciment, am observat că pentru gama de frecvențe de la 0÷8000 Hz diferențele de nivel sunt foarte apropiate pentru toate punctele de măsurare. Astfel se poate concluziona că în acest interval nu este foarte importantă distanța la care se montează panoul acustic față de receptor;

- pentru frecvențe mai mari de 8000 Hz și distanțe mai mari de 4 m, între panoul acustic și receptor, eficiența panoului acustic începe să scadă datorită înălțimii panoului și a efectului de difracție. Pierderea prin inserție a panoului are valori de cca 30 dB, în intervalul 0÷8500 Hz;

- pentru cele două variante de ecrane fonoizolatore, realizate unul din tablă cutată de oțel și unul din plăci de beton cu inserție de vată minerală, pentru care s-au efectuat încercări pentru determinarea nivelului de zgomot înainte și după aplicarea plăcilor de Heraklith, s-a constatat că atunci când sursa de zgomot este amplasată în apropierea ecranului fonoizolator și sunt aplicate placile de *Heraklith-C* diferența este de 7 dB între cazurile în care măsurătoarea a fost efectuată pentru ecranul din beton cu *Heraklith-C* față de cazul în care măsurătoarea a fost efectuată fără, iar pentru ecranul din tablă diferența este de 6 dB între cazurile în care măsurătoarea a fost efectuată cu plăcile de Heraklith-C față de cazul în care măsurătoarea a fost efectuată fără;

- rezultatele experimentărilor au confirmat faptul că ecranele fonoizolatoare constituie o soluție eficientă de protecție împotriva zgomotului, atât sub aspectul asigurării confortului acustic cât și al izolării fonice în mediul ambiant natural și construit;

- pe baza modelelor fizice adoptate pentru peretele simplu cu un strat fonoizolant din doua materiale diferite, beton sau cauciuc, și a datelor numerice și experimentale, putem spune ca frecvența critică este parametrul fizic care indică faptul că peste această valoare presiunea acustică, pe benzi de frecvență nu este izolată;

- pentru peretele simplu cu un strat fonoizolant din două materiale diferite, beton sau cauciuc, s-a observat influența densității materialului, a masei specifice pe unitatea de suprafață și a grosimea materialului atât la frecvențe joase, cât și la frecvențe înalte;

- pentru evaluarea conformității dispozitivelor de reducere a zgomotului din traficul rutier de către un organism de terță parte, acestea trebuie să își demonstreze funcția acustică, prin încercările efectuate pe elementele componente, și cerințele de proiectare structurală în conformitate cu standardele europene aplicabile, dar și să își mențină performanțele declarate de producător pentru o durată de serviciu garantată, rezonabilă din punct de vedere economic.

5.2 Contribuții personale

Contribuțiile proprii în realizarea prezentei teze sunt următoarele:

a) Studii, evaluării și sinteze ale propagării undelor sonore cu privire la natura, compoziția spectrală și cauzistica specifică zgomotului provenit din traficul rutier, feroviar și de la surse industriale de propagare a undelor sonore

b) Stabilirea unei metode de realizare, specializate în atingerea unei coerențe eficiente și predictibilă, privind sistemele pasive de protecție la zgomot, realizate printr-o varietate mare de alcătuire a materialelor cât și printr-o realizare semnificativă și eficientă a structurilor.

c) Analiza structurilor acustice și neacustice, tipologia și utilizarea barierelor de zgomot, cât și a cerințelor tehnico-funcționale de fabricare și utilizare, prin instalare-montare „in situ”.

d) Analiza nivelului de performanță a sistemelor de reducere a zgomotului pe baza cerințelor de reglementare prevăzute de documentele normative în vigoare, cât și a particularităților specifice.

e) Conceperea și dezvoltarea unei metode hibride de experimentare, evaluare numerică și optimizare pentru dispozitivele de reducere a zgomotului.

f) Conceperea și fundamentarea unei metode de analiză și calcul pentru stabilirea performanțelor neacustice (determinarea deformațiilor la încărcarea sub sarcină din greutate proprie și greutate suplimentară, determinarea adâncimii amprentei la încercarea pentru impactul cu pietre) și acustice (determinarea curbei de absorbție acustică, determinarea „in situ” a pierderii prin inserție, determinarea performanței de izolare la zgomot aerian) pentru un panou acustic ce urmează a fi integrat într-un Dispozitiv de protecție la zgomot cu sistem propriu de fixare în teren).

g) Stabilirea unei soluții tehnice inovative de panou acustic și evaluarea acesteia în două variante constructive, realizate din beton/tablă de oțel pe care s-au aplicat și plăci de fibre de lemn liate cu ciment „Heraklith-C”, și determinarea nivelului de presiune sonoră pentru acestea înainte și după aplicarea plăcilor de „Heraklith-C”. De asemenea, pentru caracterizarea soluției inovative s-a introdus conceptul nivelului de performanță în domeniul reglementat cât și în domeniul voluntar de adoptare a unor soluții noi pentru materialele fonoabsorbante ce intră în componența dispozitivelor de reducere a zgomotului.

5.3 Direcții viitoare de cercetare

Cercetările și datele experimentale, prezentate în cadrul tezei de doctorat, sunt apte să asigure avansarea unor abordări, vizate astfel prin:

a) Perfecționarea și dezvoltarea unor concepte, metode și echipamente de reducere a zgomotului emis de sursele majore, în special vehiculele rutiere și feroviare, precum și a echipamentelor supuse limitării nivelului de zgomot, cu utilizare în exteriorul clădirilor. Pentru zgomotul ambiental ce intră sub incidența cerințelor Directivei 2002/49/CE – Referitoare la evaluarea și managementul zgomotului ambiental, pot fi utilizate rezultatele din prezenta teză de doctorat.

b) Extinderea soluțiilor inovative, prin folosirea deșeurilor reciclate, în realizarea unor panouri fonoabsorbante amplasate pe căi rutiere sau în incinte închise.

c) Crearea unei baze de date pentru perfectarea documentelor de referință.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [1] Alton, E., Pohlmann, F., Ken, C., *Master Handbook of Acoustics*, Fifth Edition, 2009.
- [3] Arenas, J.P., Crocker, M.J., *Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials*, Sound&Vibration, Materials Reference Issue July, 2010.
- [6] Bamber, J. C., *Attenuation and absorption*, Physical Principles of Medical Ultrasonics, Second Edition, pp. 93-166, 2005.
- [7] Bădăraș, E., Grumăzescu, M., *Bazele acusticii moderne*. Editura Academiei Republicii Populare Române, 1961, București
- [12] Borlea (Tiuc), A., Rusu, T., Vasile, O., **Gheorghe, A.**, *Determination of antivibratil properties of some materials made from wastes*, Acta Technica Napocensis, series: Applied Mathematics and Mechanics, vol. 55, Issue II, pp. 373-378, Cluj-Napoca, 2012
- [13] Bratu, P., *Acustica interioară pentru construcții și mașini*, ISBN 973-8132-29-0, Editura IMPULS, București, 2002.
- [14] Bratu, P., Ropotă, I., Vasile, O., Dumitrescu, O., Muntean, M., *Research on the absorbing properties of some new types of composite materials*, Romanian Journal of Materials, vol. 41, nr. 2, pag. 147-154, 2011.
- [25] Crombie, D. H. and D. C. Hothersall, *The performance of multiple noise barriers*, Journal of sound and vibration, vol. 176.4, pp. 459-473, 1994
- [32] **Gheorghe, A.**, *Analiza și impactul zgomotelor, specific spațiului urban în raport cu efectele asupra securității omului*, Raport de cercetare Scoala Doctorala, 2012.
- [33] **Gheorghe, A.**, *Harmonization of normative criteria with technical requirements of performance for vibro-acoustic processes*, Proceedings of the XXIIIth Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics and Session of the Commission of Acoustics SISOM 2012, Bucharest, 30-31 May 2012, Editura Mediamira, ISSN 2068-0481, pag. 370-375.
- [34] **Gheorghe, A.**, BORLEA (TIUC) A., *Evaluation of absorbing performance for composite plates made from recycled waste*, Proceedings of the Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics and Session of the Commission of Acoustics, SISOM 2012, The XXIIIth SISOM 2012, Bucharest, May 30-31 2012, Editura Mediamira, ISSN 2068-0481, pag. 370-375.
- [35] **Gheorghe, A.**, *Non-inertial elastics effects of the vibration insulation panels generated by direct incidence of acoustic wave*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, volume X, issue 1/2013, pp. 29-32, București, ISSN 1584-7284.
- [36] **Gheorghe, A.**, *Acoustic performances analysis of a composite system for noise barriers specific to road traffic*, The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle V, Technologies in Machine Building, Seria Inginerie, ISSN 1221-4566.
- [37] **Gheorghe, A.**, *Enhancing the degree of noise level reduction through the association of fonoinsulating and fonoabsorbent materials when making modular structural elements for plating the acoustic protection systems*, The annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics and Commission of Acoustics of Romanian Academy, SISOM 2013, Bucharest, 21-22 May, 2013.
- [38] **Gheorghe, A.**, *Evaluarea experimentală a panoului acustic cu elemente fonoizolante și fonoabsorbante, realizat din beton, pentru cale ferată*, A 37-a Conferință Națională de Mecanica Solidelor, Acustică și Vibrații CNMSAV XXXVII, Chișinău, 6-8 Iunie, 2013.
- [55] Mindu G., **Gheorghe, A.**, *Evaluarea surselor de zgomot și vibrații pentru stabilirea nivelului de poluare în spații tehnologice de construcții*, A 37-a Conferință Națională de Mecanica Solidelor, Acustică și Vibrații CNMSAV XXXVII, Chișinău, 6-8 Iunie, 2013.
- [57] Nemeș, O., Rusu, T., Soporan, V.F., *Deșeuri și tehnologii de valorificare*, UT Press, Cluj-Napoca, 2008.

-
-
- [102] XIN, F.X., LU, T.J., CHEN, C.Q., *Vibroacoustic behavior of clamp mounted double-panel partition with enclosure air cavity*, Journal of the Acoustical Society of America, vol. 124, pp. 3604–3612, 2008.
- [104] Zent A., Jhon T.L., *Automotive sound absorbing material survey results*, Proceeding of the SAE Noise and Vibration Conference and Exhibition, USA, pp. 2186, 2007.
- [105] Watts G.R., "Acoustic performance of traffic noise barriers. a state of the art review." TRL Published, article no. PA 2090, 1992.

Lucrări științifice publicate și comunicate

Lucrări științifice publicate

- 1) BRATU, P., **GHEORGHE Ana**, *Hysteretic damping for isolation system consisting of elastomeric devices. Experimental analysis*, Proceedings of the Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics and Session of the Commission of Acoustics, SISOM 2011, The XXIIth SISOM 2011, Bucharest, May 25-26 2011, Editura Mediamira, ISSN 1843-5459, pag. 218-222.
- 2) BORLEA (TIUC) A., RUSU T., VASILE O., **GHEORGHE Ana**, *Sound proofing materials whit recycled rubber particles and sawdust*, Proceedings of the Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics and Session of the Commission of Acoustics, SISOM 2012, The XXIIIth SISOM 2012, Bucharest, May 30-31 2012, Editura Mediamira, ISSN 2068-0481, pag. 364-369.
- 3) **GHEORGHE Ana**, BORLEA (TIUC) A., *Evaluation of absorbing performance for composite plates made from recycled waste*, Proceedings of the Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics and Session of the Commission of Acoustics, SISOM 2012, The XXIIIth SISOM 2012, Bucharest, May 30-31 2012, Editura Mediamira, ISSN 2068-0481, pag. 370-375.
- 4) **GHEORGHE Ana**, *Harmonization of normative criteria with technical requirements of performance for vibro-acoustic processes*, Proceedings of the Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics and Session of the Commission of Acoustics, SISOM 2012, The XXIIIth SISOM 2012, Bucharest, May 30-31 2012, Editura Mediamira, ISSN 2068-0481, pag. 376-379.
- 5) **Gheorghe Ana**, *Non-inertial elastics effects of the vibration insulation panels generated by direct incidence of acoustic wave*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, volume X, issue 1/2013, pp. 29-32, București, ISSN 1584-7284.
- 6) BORLEA (TIUC), A., RUSU, T., VASILE, O., **GHEORGHE, Ana**, *"Determination of antivibrational properties of some materials made from wastes"*, Acta Technica Napocensis, series: Applied mathematics and mechanics, vol. 55, issue II, ISSN 1221-5872, Technical University of Cluj-Napoca, 6 pag., 2012.

Lucrări științifice în curs de publicare

- 2) **Gheorghe Ana**, *Acoustic performances analysis of a composite system for noise barriers specific to road traffic*, The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle V, Technologies in Machine Building, Seria Inginerie, ISSN 1221-4566.
- 3) **Gheorghe Ana**, *Enhancing the degree of noise level reduction through the association of fonoinsulating and fonoabsorbent materials when making modular structural elements for plating the acoustic protection systems*, The annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics and Commission of Acoustics of Romanian Academy, SISOM 2013, Bucharest, 21-22 May, 2013.

- 4) Mindu G., **Gheorghe Ana**, *Evaluarea surselor de zgomot și vibrații pentru stabilirea nivelului de poluare în spații tehnologice de construcții*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, volume X, issue 2/2013, pp. 29-32, București, ISSN 1584-7284.
- 5) **Gheorghe Ana**, *Evaluarea experimentală a panoului acustic cu elemente fonoizolante și fonoabsorbante, realizat din beton, pentru cale ferată*, Romanian Journal of Acoustics and Vibration, volume XI, issue 2/2013, ISSN 1584-7284.

Lucrări științifice comunicate la conferințe

- 1) **Gheorghe Ana**, *Modeling a system of acoustic noise of traffic safety in case of a sample panel with low density materials*, The 10th International Conference Acoustics. Vibration, Petroșani, România, 29-30 Septembrie, 2011.
- 2) **Gheorghe Ana**, *The cumulative effect of human perception caused by the presence of multiple noise sources. Case study for traffic on highways*, The 10th International Conference Acoustics. Vibration, Petroșani, România, 29-30 Septembrie, 2011.

