

IOSUD – UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială



TEZĂ DE DOCTORAT

- REZUMAT -

**CERCETĂRI PRIVIND EVALUAREA
POTENȚIALULUI APLICATIV AL
SPUMELOR PE BAZĂ DE FIBRE
CELULOZICE ÎN DOMENIUL
PROTECȚIEI ACUSTICE**

Doctorand,

Ing. SECIUREANU Mihai

Conducător științific,

Prof.univ.dr.ing.habil. NĂSTAC Silviu Marian

Seria I 6: Inginerie mecanică nr. 85

GALAȚI

2026

IOSUD – UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială



TEZĂ DE DOCTORAT

- REZUMAT -

**CERCETĂRI PRIVIND EVALUAREA POTENȚIALULUI APLICATIV AL
SPUMELOR PE BAZĂ DE FIBRE CELULOZICE ÎN
DOMENIUL PROTECȚIEI ACUSTICE**

Doctorand

Ing. SECIUREANU Mihai

Președinte,

Prof.univ.dr.ing.habil. GOANȚĂ Adrian Mihai

Decan al Facultății de Inginerie și Agronomie din Brăila,
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Conducător științific,

Prof.univ.dr.ing.habil. NĂSTAC Silviu Marian

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Referenți științifici,

Prof.univ.dr.ing.habil. ROȘCA Ioan Călin

Universitatea Transilvania din Brașov

Prof.univ.dr.ing.habil. VASILE Ovidiu

Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA
București

Prof.univ.dr.ing.habil. DRĂGAN Nicușor

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Seria I 6: Inginerie mecanică nr. 85

GALAȚI

2026

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

Domeniul fundamental 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**
- Seria I 9: **Inginerie și management în agicultură și dezvoltare rurală**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE SOCIALE

- Seria E 1: **Economie**
- Seria E 2: **Management**
- Seria E 3: **Marketing**
- Seria SSEF: **Știința sportului și educației fizice**
- Seria SJ: **Drept**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE UMANISTE

- Seria U 1: **Filologie- Engleză**
- Seria U 2: **Filologie- Română**
- Seria U 3: **Istorie**
- Seria U 4: **Filologie - Franceză**

Domeniul fundamental MATEMATICĂ ȘI ȘTIINȚE ALE NATURII

- Seria C: **Chimie**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE BIOMEDICALE

- Seria M: **Medicină**
- Seria F: **Farmacie**

Mulțumiri

Pe aceasta cale doresc să adresez, cu mult respect, mulțumiri conducătorului științific al tezei, d-lui Prof.univ.dr.ing.habil. Silviu Marian Năstac și să îmi exprim deosebita recunoștință pentru întreaga activitate de coordonare, pentru încurajările permanente și încrederea acordată, respectiv pentru sprijinul susținut oferit în cadrul stagiului doctoral, pe tot parcursul desfășurării cercetărilor și al elaborării tezei de doctorat.

Mulțumesc de asemenea domnilor Prof.univ.dr.ing.habil. Ioan Călin Roșca de la Universitatea Transilvania din Brașov, Prof.univ.dr.ing.habil. Ovidiu Vasile de la Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București și Prof.univ.dr.ing.habil. Nicușor Drăgan de la Universitatea Dunărea de Jos din Galați pentru onoarea pe care mi-au făcut-o, acceptând să fie referenți oficiali, răpind din timpul prețios al domniilor lor pentru a analiza cele expuse de mine în teza de doctorat.

Mulțumirile mele se îndreaptă și către membrii comisiei de îndrumare și integritate academică, Prof.univ.dr.ing.habil. Carmen Nicoleta Debeleac, Conf.univ.dr.ing. Maria Violeta Guiman și Conf.univ.dr.ing. Adrian Leopa, pentru sprijinul competent, susținut și permanent oferit pe durata stagiului doctoral, respectiv pentru indicațiile, sugestiile și îndrumarea oferite în perioada elaborării tezei.

În mod deosebit, aduc mulțumiri colaboratorilor din cadrul Centrului de Cercetări pentru Mecanica Mașinilor și Echipamentelor Tehnologice – MECMET, Facultatea de Inginerie și Agronomie din Brăila, Universitatea Dunărea de Jos din Galați, în special d-nei Prof.univ.dr.ing.habil. Petronela Nechita, pentru suportul științific și logistic acordat în toate etapele stagiului doctoral.

De asemenea, doresc să mulțumesc d-lui Prof.univ.dr.ing.habil. Ioan Călin Roșca și d-nei Conf.univ.dr.ing. Maria Violeta Guiman, de la Universitatea Transilvania din Brașov, care m-au ajutat în realizarea unor serii de cercetări experimentale, pentru sprijinul acordat, amabilitate și dotarea tehnică pusă la dispoziție.

Nu în ultimul rând, doresc să adresez mulțumiri familiei mele pentru susținerea necondiționată și permanentă în toți acești ani ai pregătirii mele în școala doctorală.

Mihai Seciureanu

Rezumatul tezei

Subiectul acestei teze de doctorat se încadrează în domeniul acusticii aplicative și constă în evaluarea performanțelor de protecție acustică a spumelor pe bază de fibre celulozice, virgine și/sau reciclate, în vederea utilizării acestora în soluții practice de reducere a nivelului de zgomot.

În primul capitol, destinat introducerii în domeniul studiului, sunt prezentate următoarele aspecte: stadiul actual al cercetărilor în domeniul obținerii și utilizării spumelor din fibre celulozice în aplicații specifice protecției împotriva zgomotului, justificarea utilizării acestor tipuri de spume în domeniul acusticii argumentată pe baza caracteristicilor potențiale și a ansamblului avantajelor oferite, respectiv scopul și obiectivele tezei de doctorat.

În capitolul al doilea, denumit generic aspecte teoretice, sunt prezentate sintetic următoarele aspecte cu utilitate directă în dezvoltările ulterioare, atât teoretic-computaționale, cât și experimentale și anume: modelele numerice utilizate în acustica computațională și respectiv formulările operaționale ale acestora, evaluarea variabilității coeficientului de absorbție acustică pe baza unui model fenomenologic consacrat în literatura de specialitate, elementele de bază privind utilizarea metodei matricelor de transfer în evaluarea parametrilor acustici pe baza încercărilor experimentale în tubul acustic de impedanță, evaluări ale coeficientului de absorbție cu ajutorul metodei elementelor finite și a modelelor empirice comportamentale, respectiv principiile de bază folosite în determinarea proprietăților geometrice și de transport specifice materialelor de tip spumă pe bază de fibre.

Capitolul al treilea este destinat evaluării experimentale a caracteristicilor acustice cu relevanță în aplicațiile destinate controlului zgomotului și protecției acustice. Astfel, sunt prezentate succint câteva considerente generale referitoare la procedeul inovativ de formare în spumă, apoi sunt detaliate rezultatele experimentale obținute pentru diverse categorii de spume pe bază de fibre celulozice. Prezentarea și analiza rezultatelor experimentale este realizată atât în mod individual, cât și comparativ, pentru trei situații distincte referitoare la variabilitatea parametrilor principali în formarea spumelor, respectiv influența agentului de spumare, a tipului de pastă celulozică primară și a tratamentelor suplimentare cu rol de îmbunătățire a performanțelor în utilizare. În finalul capitolului este prezentată o analiză multicriterială a capabilităților spumelor celulozice ținând cont de ansamblul de factori variabili în formarea și obținerea materialului final.

O analiză detaliată și coerentă bazată pe modelări numerice și simulări computaționale constituie subiectul principal al capitolului patru al lucrării. Astfel sunt realizate simulări comparative pe baza modelelor comportamentale și fenomenologice consacrate, sunt evidențiate legăturile funcționale dintre parametrii porozitate și respectiv tortuozitate, sunt prezentate rezultatele investigațiilor morfologice asupra spumelor celulozice pe baza tehnicilor computaționale de generare și analiză a unui volum de material, precum și de analiză imagistică a unor secțiuni specifice ale spumei.

În final, în capitolul al cincilea, sunt prezentate concluziile finale, contribuțiile personale ale autorului și respectiv provocările și perspectivele viitoare de cercetare în acest domeniu.

Thesis summary

The subject of this doctoral thesis falls within the field of applied acoustics and consists of evaluating the acoustic protection performance of foams based on cellulose fibers, virgin and/or recycled, with a view to their use in practical solutions to reduce noise levels.

In the first chapter, intended to introduce the field of study, the following aspects are presented: the current state of research in the field of obtaining and using cellulose fiber foams in specific noise protection applications, the justification for the use of these types of foams in the field of acoustics argued based on the potential characteristics and the set of advantages offered, respectively the purpose and objectives of the doctoral thesis.

In the second chapter, generically called theoretical aspects, the following aspects with direct utility in subsequent developments, both theoretical-computational and experimental, are synthetically presented, namely: the numerical models used in computational acoustics and respectively their operational formulations, the evaluation of the variability of the acoustic absorption coefficient based on a phenomenological model established in the specialized literature, the basic elements regarding the use of the transfer matrix method in the evaluation of acoustic parameters based on experimental tests in the acoustic impedance tube, evaluations of the absorption coefficient using the finite element method and empirical behavioral models, respectively the basic principles used in determining the geometric and transport properties specific to fiber-based foam materials.

The third chapter is intended for the experimental evaluation of the acoustic characteristics relevant to noise control and acoustic protection applications. Thus, some general considerations regarding the innovative foam forming process are briefly presented, then the experimental results obtained for various categories of foams based on cellulose fibers are detailed. The presentation and analysis of the experimental results is carried out both individually and comparatively, for three distinct situations regarding the variability of the main parameters in foam formation, namely the influence of the foaming agent, the type of primary cellulose pulp and additional treatments with a role in improving performance in use. At the end of the chapter, a multicriteria analysis of the capabilities of cellulose foams is presented, taking into account the set of variable factors in the formation and obtaining of the final material.

A detailed and coherent analysis based on numerical modeling and computational simulations is the main subject of chapter four of the paper. Thus, comparative simulations are performed based on established behavioral and phenomenological models, functional regularities between the porosity and tortuosity parameters are highlighted, and the results of morphological investigations on cellulose foams are presented based on computational techniques for generating and analyzing a volume of material, as well as imaging analysis of specific sections of the foam.

Finally, in the fifth chapter, the final conclusions, the author's personal contributions and, respectively, the challenges and future research perspectives in this field are presented.

CUPRINS

1	Introducere	1
1.1	Generalități	1
1.2	Stadiul actual în domeniul utilizării spumelor celulozice în aplicații specifice protecției acustice	2
1.3	Investigații actuale în domeniul îmbunătățirii performanțelor spumelor pe bază de fibre celulozice	6
1.4	Oportunitatea utilizării spumelor celulozice pe baza sintezei caracteristicilor specifice	8
1.5	Scopul și obiectivele studiului	(1)11
2	Aspecte teoretice	(3)15
2.1	Generalități privind modelele numerice pentru evaluarea materialelor poroase	(3)15
2.2	Formulări operaționale în evaluarea computațională a performanțelor acustice	16
2.3	Evaluarea coeficientului de absorbție cu ajutorul modelului JCA	(3)20
2.4	Evaluarea experimentală a parametrilor acustici pe baza metodei matricelor de transfer	(5)25
2.5	Evaluarea coeficientului de absorbție cu ajutorul FEM și a modelelor empirice comportamentale	33
2.6	Evaluarea proprietăților geometrice	(6)35
2.7	Evaluarea proprietăților de transport	(6)39
3	Evaluarea experimentală a caracteristicilor acustice	(9)45
3.1	Aspecte generale referitoare la formarea în spumă	45
3.2	Evaluarea influenței agentului de spumare	(9)46
3.3	Evaluarea influenței tipului de pastă celulozică	(17)60
3.4	Evaluarea influenței tratamentelor suplimentare asupra spumelor celulozice	(19)65
3.5	Analiza multicriterială a performanțelor spumelor celulozice în domeniul controlului zgomotului	(24)77
4	Analiza computațională a caracteristicilor spumelor celulozice	(31)87
4.1	Estimarea computațională a coeficientului de absorbție acustică	(31)87
4.2	Analiza comparativă a estimărilor modelului JCA cu formulările DB și JCAPL	(31)89
4.3	Estimarea parametrilor specifici ai spumelor celulozice	(34)93
4.4	Analiza morfologică a spumelor celulozice prin mijloace computaționale ..	(39)102
4.5	Analiza morfologică a unui volum de spumă celulozică cu LBM	(42)108
4.6	Simularea realistă a unui volum de spumă celulozică cu ajutorul LBM	(45)111
4.7	Estimarea proprietăților de material ale spumelor celulozice pe baza analizei imaginilor secționale	(46)116
5	Concluzii, contribuții personale și direcții viitoare de cercetare	(49)119
5.1	Concluzii finale	(49)119
5.2	Contribuții personale	(50)120
5.3	Provocări și perspective viitoare de cercetare	(50)120
	Listă lucrări publicate / prezentate	(51)121
	Bibliografie	(54)124

CONTENTS

1 Introduction	1
1.1 Generalities	1
1.2 Current status in the field of using cellulose foams in specific acoustic protection applications	2
1.3 Current investigations in the field of improving the performance of cellulose fiber-based foams	6
1.4 The opportunity to use cellulose foams based on the synthesis of specific characteristics	8
1.5 The purpose and objectives of the study.....	(1)11
2 Theoretical aspects	(3)15
2.1 Generalities regarding numerical models for the evaluation of porous materials	(3)15
2.2 Operational formulations in computational evaluation of acoustic performances	16
2.3 Evaluation of the absorption coefficient using the JCA model	(3)20
2.4 Experimental evaluation of acoustic parameters based on the transfer matrix method	(5)25
2.5 Evaluation of the absorption coefficient using FEM and empirical behavioral models	33
2.6 Evaluation of geometric properties.....	(6)35
2.7 Evaluation of transport properties	(6)39
3 Experimental evaluation of acoustic characteristics	(9)45
3.1 General aspects of foam formation	45
3.2 Evaluation of the influence of the foaming agent.....	(9)46
3.3 Evaluation of the influence of the type of cellulose slurry pulp.....	(17)60
3.4 Evaluation of the influence of additional treatments on cellulose foams	(19)65
3.5 Multicriteria analysis of the performances of cellulose foams in the field of noise control	(24)77
4 Computational analysis of the characteristics of cellulose foams	(31)87
4.1 Computational estimation of the acoustic absorption coefficient	(31)87
4.2 Comparative analysis of the estimates of the JCA model with the DB and JCAPL formulations	(31)89
4.3 Estimation of specific parameters of cellulose foams	(34)93
4.4 Morphological analysis of cellulose foams by computational means	(39)102
4.5 Morphological analysis of a foam volume cellulose with LBM	(42)108
4.6 Realistic simulation of a volume of cellulose foam using LBM.....	(45)111
4.7 Estimation of material properties of cellulose foams based on cross-sectional image analysis.....	(46)116
5 Conclusions, personal contributions and future research directions.....	(49)119
5.1 Final conclusions	(49)119
5.2 Personal contributions	(50)120
5.3 Challenges and future research perspectives	(50)120
List of published / presented works	(51)121
Bibliography	(54)124

CAPITOLUL 1 INTRODUCERE

1.5 Scopul și obiectivele studiului

Conform sintezelor prezentate în subcapitolele anterioare, deși materialele și compozitele formate în spumă pe bază de fibre de celuloză oferă numeroase avantaje, există încă provocări de abordat. Obținerea unei distribuții uniforme a fibrelor de celuloză în cadrul structurii spumei și optimizarea procesului de formare a spumei necesită încă cercetări și dezvoltări suplimentare. Îmbunătățirea rezistenței la umiditate / hidrofobicității, respectiv a stabilității și integrității structurale a acestor compozite este un alt domeniu de investigat susceptibil de progres în acest domeniu.

Astfel, având în vedere buna compatibilitate a xylanului cu fibrele de celuloză, devine interesantă utilizarea acestuia și/sau a unor derivați ai săi pentru a îmbunătăți hidrofobicitatea suprafeței libere și respectiv integritatea structurală a spumelor pe bază de fibre de celuloză. Această îmbunătățire permite încorporarea materialelor în aplicații specifice de control al zgomotului și protecție acustică. În cadrul studiilor întreprinse, autorul a participat la o serie de investigații referitoare la utilizarea xylanului și a unor derivați ai acestuia pentru îmbunătățirea caracteristicilor spumelor pe bază de fibre celulozice – sinteza rezultatelor obținute vor fi prezentate în capitolele următoare ale lucrării.

Pentru a atinge acest obiectiv, hemiceluloza tip xylan nativ, din lemn de esență tare, împreună cu derivații săi acetilați și hidrofobizați, au fost aplicate sub formă de acoperiri într-un strat subțire, ca tratament adițional al suprafeței libere a spumelor pe bază de fibre celulozice. Probele tratate suplimentar au fost supuse analizelor pentru a evalua caracteristicile și performanța absorbției acustice, cu scopul de a evalua impactul acoperirilor pe bază de xylan asupra capabilităților inițiale de control al zgomotului. Această evaluare a implicat o comparație cu probe pe bază de fibre celulozice netratate și, respectiv, cu o serie de probe din materiale sintetice disponibile comercial și utilizate în mod obișnuit în aplicații de protecție acustică.

Scopul cercetărilor este evaluarea capacității potențiale și a performanțelor operaționale ale spumelor pe bază de fibre celulozice virgine și/sau reciclate, în domeniul protecției acustice, cu impact direct asupra utilizării acestora în soluții practice de control și reducere a nivelului de zgomot.

În acest context, autorul prezintă rezultatele cercetărilor teoretice, experimentale și computaționale întreprinse utilizând o serie de categorii de materiale formate în spumă pe bază de fibre celulozice. Pentru aceasta au fost considerate suspensii celulozice din fibre virgine lungi (fibre de rășinoase), cu grade diferite de batere (măcinare) caracterizate conform metodei Shopper-Riegler, niveluri diferite de spumare obținute prin utilizarea unor procente variabile de surfactant (agent de spumare) și utilizând o procedură de bază specifică formării în spumă, aplicabilă în condiții de laborator. În cadrul cercetărilor pentru îmbunătățirea proprietăților de hidrofobicitate și respectiv integrității structurale au fost

utilizate hemiceluloză nativă tip xylan, precum și doi derivați ai acesteia: xylanul acetilat, respectiv xylanul hidrofobizat. Rezultatele sunt prezentate și analizate în funcție de caracteristicile acustice, configurația structurală internă și respectiv parametrii materialului. De asemenea, sunt prezentate analize corelative ținând cont de variațiile simultane ale unor parametri specifici. O altă componentă în prezentarea rezultatelor obținute este analiza comparativă între materialele propuse și o gamă de materiale sintetice utilizate în mod uzual în astfel de aplicații protective (polistirenul expandat/extrudat, poliuretan, polietilenă expandată). Performanțele identificate pentru spumele celulozice tratate cu xylan au fost comparate cu cele ale probelor martor netratate.

Noutatea și originalitatea acestui studiu sunt justificate de următoarele aspecte:

- (i) considerarea spumelor din fibre de celuloză pentru implementări în aplicații specifice de control al zgomotului și reducere a poluării acustice,
- (ii) analiza comparativă și corelativă a performanțelor de protecție acustică, în funcție de variațiile parametrilor materialului,
- (iii) analiza comparativă cu unele dintre cele mai utilizate materiale sintetice în momentul actual,
- (iv) utilizarea hemicelulozelor, subproduse ale industriei celulozei și hârtiei, polizaharidele tip xylan fiind cel mai abundent tip de hemiceluloză, pentru îmbunătățirea capacității de utilizare efectivă (rezistența la condiții de mediu),
- (v) simplitatea și respectul față de mediu al procesului de formare utilizat pentru obținerea spumelor din fibre celulozice.

Obiectivele urmărite pe tot parcursul investigațiilor teoretice, computaționale și experimentale circumscriu, atât scopului propus și formulat inițial, cât și aspectelor luate în considerare în cadrul cercetărilor, precum și elementelor de noutate și originalitate identificate în analiza situației actuale în domeniul considerat. Aceste obiective pot fi formulate sintetic astfel

- Identificarea oportunității utilizării spumelor din fibre celulozice în aplicații protective din punct de vedere acustic.
- Identificarea tipului de fibre celulozice utilizabile în cadrul acestui studiu, pe baza conformității cu performanțele de absorbție acustică preconizate.
- Stabilirea configurației operaționale și respectiv procedurale a procesului de formare în spumă aplicabil în condiții de laborator, în condițiile obținerii unor materiale conforme cu cerințele de analiză și evaluare a caracteristicilor de absorbție acustică.
- Formularea ansamblului de parametri care vor fi analizați comparativ și corelativ, precum și stabilirea domeniilor optime de variație a acestora.
- Identificarea tipurilor de tratamente suplimentare în scopul optimizării performanțelor operaționale.
- Identificarea modelelor computaționale disponibile, cu adoptarea celor adecvate scopului propus și implementarea acestora în aplicații funcționale.
- Realizarea ansamblului testelor și încercărilor experimentale, al simulărilor computaționale, cu prelucrarea datelor obținute.
- Analiza individuală, comparativă și corelativă, după caz, a seturilor de date brute, cu evaluarea rezultatelor parțiale/finale și identificarea celor cu relevanță în conformitate cu scopul propus inițial.
- Formularea concluziilor parțiale și a celor finale ale acestui studiu.

CAPITOLUL 2

ASPECTE TEORETICE

2.1 Generalități privind modelele numerice pentru evaluarea materialelor poroase

Modelele empirice sau multiparametrice – *modelul Delany-Bazley*, *modelul Biot*, *modelul Miki*, *grupul de modele Johnson-Champoux-Allard* etc., sunt utilizate la scară largă pentru predicția coeficientului de absorbție a sunetului, luând în considerare porozitatea și rezistivitatea la curgere a materialelor testate [38,173,174]. Pe de altă parte, abordarea inversă a identificării comportării materialelor pe baza performanțelor acustice (coeficientul de absorbție sau rezistența la curgere) a fost testată și simulată folosind date experimentale prin intermediul abordării bazată pe inferența statistică bayesiană [7,175-177]. Abordările pe baza *Elementului Volumic Reprezentativ* (engl. *Representative Volume Element* – RVE), tehnicilor numerice de tip *Metoda Elementului Finit* (engl. *Finite Element Method* – FEM) sau *Metoda Elementului de Frontieră* (engl. *Boundary Element Method* – BEM) oferă instrumente puternice pentru estimarea comportamentului acustic al materialelor fonoabsorbante.

2.3 Evaluarea coeficientului de absorbție cu ajutorul modelului JCA

Cu ajutorul modelului fenomenologic Johnson-Champoux-Allard și pe baza metodei matricelor de transfer (engl. *Transfer Matrix Method* – TMM) a fost obținută diagrama din figura 2.1, care reprezintă coeficientul de absorbție acustică în funcție de frecvență. Datele de intrare pentru această simulare au fost următoarele: grosimea stratului de material = 0.04 m; porozitatea = 0.75; rezistivitatea la curgere = 15000 Pa·s/m²; tortuozitate = 1.5; lungimea vâscoasă = 50e-6 m; lungimea termică = 100e-6 m. Comparativ, în figura 2.2 sunt reprezentate rezultatele obținute cu ajutorul modelelor Delany-Bazley și respectiv Johnson-Champoux-Allard. Datele utilizate în cadrul simulării computaționale sunt cele prezentate în paragraful anterior (pentru modelul empiric DB sunt adoptate exclusiv valorile parametrilor implicați și anume: grosimea și rezistivitatea la curgere). Prin adoptarea formulării complexe tip Johnson-Champoux-Allard-Pride-Lafarge și a datelor suplimentare de intrare impuse de acest model fenomenologic a fost obținută diagrama coeficientului de absorbție acustică prezentată în figura 2.3. Datele suplimentare sunt următoarele: permeabilitatea vâscoasă = 1.3e-6 m²; permeabilitatea termică = 2.5e-9 m².

Ținând cont de faptul că cele trei cazuri prezentate anterior (a se vedea fig. 2.1 ... 2.3) au fost analizate pentru același set de valori ai parametrilor implicați (selectiv, după caz), o analiză comparativă pertinentă poate fi realizată cu ajutorul reprezentării din figura 2.4. Se observă clar faptul că cele două modele fenomenologice prezintă diferențe nesemnificative între ele, pentru întreg domeniu de valori considerat, în timp ce modelul empiric DB prezintă o diferență majoră pentru frecvențe sub 500 Hz și respectiv diferențe semnificative pentru frecvențe superioare valorii de 2000 Hz (comparativ cu celelalte două modele utilizate).

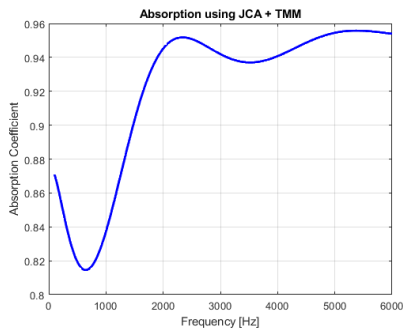


Figura 2.1 Estimarea coeficientului de absorbție cu ajutorul modelului JCA și metodei matricelor de transfer

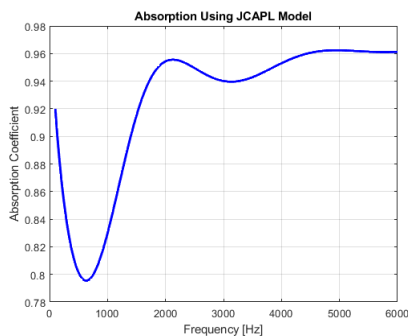


Figura 2.3 Estimarea coeficientului de absorbție cu ajutorul modelului JCAPL și metodei matricelor de transfer

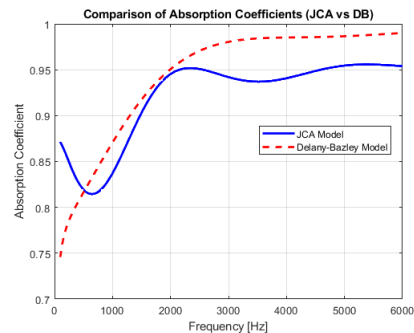


Figura 2.2 Estimarea coeficientului de absorbție cu ajutorul modelului DB și metodei matricelor de transfer

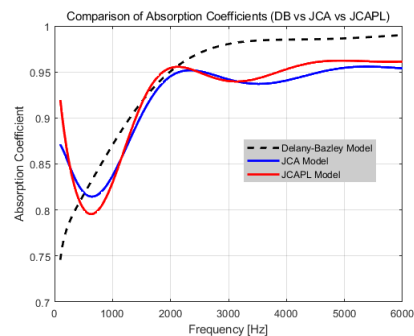


Figura 2.4 Comparație între coeficienții de absorbție acustică estimați cu ajutorul modelelor JCA, JCAPL și DB

În continuare au fost considerați patru parametri variabili și anume: rezistivitatea la curgere, grosimea stratului de material poros, porozitatea și respectiv tortuozitatea materialului. Acești parametri au fost utilizați, alături de domeniul de frecvență al unei acustice incidente, pentru a evalua (prin simulări succesive) variabilitatea coeficientului de absorbție acustică. Domeniile de variație pentru cei patru parametri sunt reprezentate distinct în fiecare set de diagrame obținute. Modelul implementat în aplicația computațională a fost modelul fenomenologic de bază Johnson-Champoux-Allard, ținând cont de complexitatea variantei JCAPL și de faptul că analiza comparativă a prezentat diferențe nesemnificative. Pentru rezistivitate, grosime, porozitate și tortuozitate, rezultatele sunt prezentate respectiv în această ordine, în figurile 2.5, 2.6, 2.7, 2.8. Structura fiecărui grup de diagrame este următoarea: curbele de egal nivel al suprafeței interpolate corespunzătoare valorilor estimate ale coeficientului de absorbție acustică – stânga/sus; reprezentarea corespunzătoare a evoluțiilor coeficientului de absorbție acustică în funcție de frecvență pentru fiecare valoare al celui de al doilea parametru în domeniul de variație considerat (valori discrete echidistante) – dreapta/sus; marcarea valorilor coeficientului de absorbție acustică estimat, pe fiecare curbă de nivel, pentru întreg domeniul de variație al fiecărui parametru variabil considerat – în partea de jos a fiecărei figuri.

Dincolo de aspectul cantitativ al reprezentărilor din fig. 2.5 ... 2.8, cu valori discrete marcate corespunzător pe fiecare curbă de nivel, o privire de ansamblu asupra diagramelor din figura 2.9 poate ajuta la evaluarea facilă a domeniilor de variație a coeficientului de absorbție acustică estimat pentru fiecare situație analizată. Astfel, se observă faptul că cea mai mică variabilitate o generează porozitatea, aceasta manifestându-se exclusiv la frecvențe joase, sub 1000 Hz. Pe de altă parte, tortuozitatea implică cea mai mare variabilitate, manifestată

pe întreg domeniul de frecvență. Celelalte două situații analizate prezintă variabilități relativ mari la frecvențe inferioare valori de aproximativ 1500 Hz, după care situația se stabilizează, în sensul că descrește rapid cu frecvența pentru rezistivitatea la curgere, respectiv se menține în limite rezonabile pentru grosimea stratului de material poros.

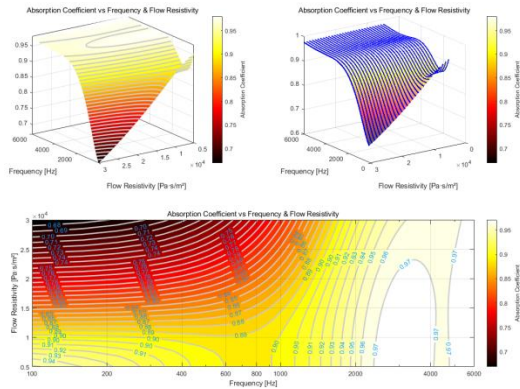


Figura 2.5 Evoluția coeficientului de absorbție acustică în funcție de frecvență și respectiv de rezistivitatea la curgere

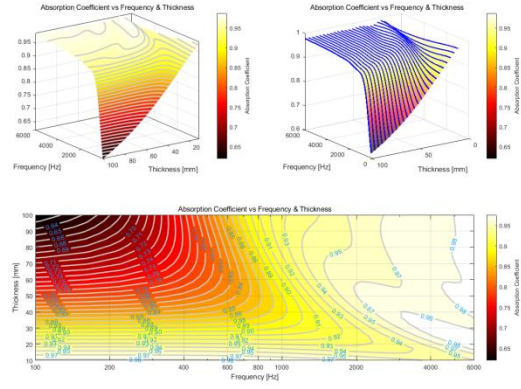


Figura 2.6 Evoluția coeficientului de absorbție acustică în funcție de frecvență și de grosimea stratului de material poros

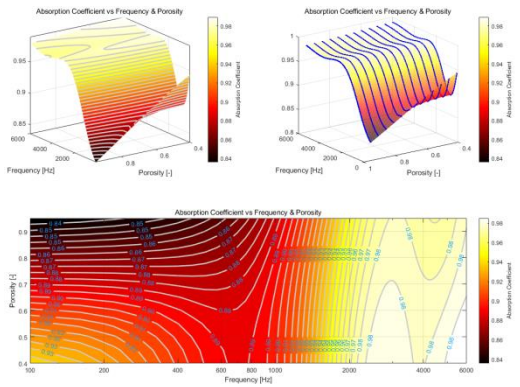


Figura 2.7 Absorbția acustică în funcție de frecvență și porozitate

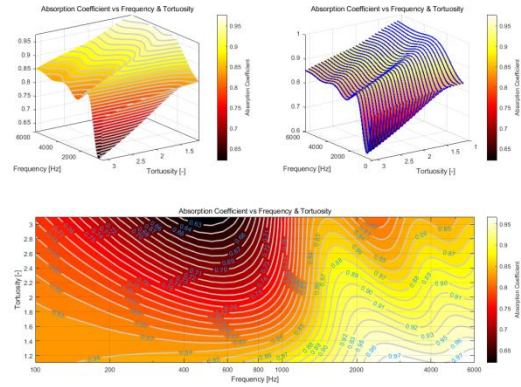


Figura 2.8 Evoluția coeficientului de absorbție acustică în funcție de frecvență și tortuozitate

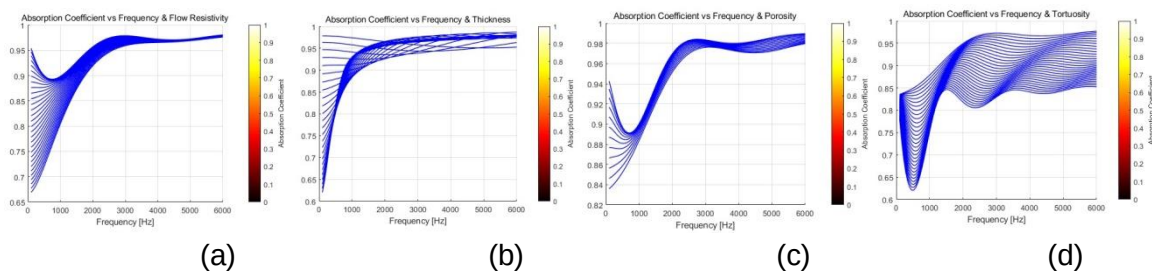


Figura 2.9 Domeniul de variație al coeficientului de absorbție acustică în funcție de rezistivitatea la curgere (a), grosimea materialului (b), porozitate (c) și tortuozitate (d)

2.4 Evaluarea experimentală a parametrilor acustici pe baza metodei matricelor de transfer

Evaluarea performanțelor acustice se realizează de obicei prin măsurarea coeficientului de absorbție acustică, utilizând metode standardizate precum ISO 10534-2 (metoda tubului Kundt) și ISO 354 (camera reverberantă) [39,150]. De asemenea, analiza structurii

microstructurale (SEM), porozitatea totală, și măsurarea rezistenței la flux de aer (ISO 9053) sunt esențiale în corelarea structurii cu performanța acustică [47,182].

2.6 Evaluarea proprietăților geometrice

Pentru ca un material să fie eficient din punct de vedere al absorbției acustice, acesta trebuie să ofere o structură în care să transfere energia și un interval acceptabil de porozitate, astfel încât undele sonore să poată pătrunde suficient de adânc în structura respectivă pentru a permite interacțiuni multiple în interiorul acesteia. Porozitatea deschisă (ϵ_p) este unul dintre cei mai importanți parametri, alături de densitatea materialului și viteza sunetului, în ajustarea performanței unui absorbitor acustic [184]. Lungimea caracteristică vâscoasă, Λ , este legată de dimensiunea interconexiunii dintre cei doi pori din materialul poros și controlează efectele vâscoase la frecvențe medii și înalte. A doua dimensiune caracteristică, lungimea caracteristică termică Λ' , este legată de dimensiunea porilor din materialul poros și controlează efectele termice la frecvențe medii și înalte. Este definită ca un raport dublat între volumul (V_{pore}) și suprafața (S_{pore}) porilor.

2.7 Evaluarea proprietăților de transport

Tortuozitatea este o caracteristică acustică importantă care determină comportamentul acustic al unui strat poros. Din punct de vedere fizic, tortuozitatea implică curbura porilor deschiși și conectați dintr-un material și este o măsură a deviației fibrelor de la cursul normal, referindu-se la raportul dintre traiectoria reală (h_e) parcursă de un sunet de înaltă frecvență prin proba poroasă și grosimea probei d .

O măsurare experimentală a tortuozității poate fi efectuată prin evaluarea vitezei de fază a unei unde ultrasonice în cadrul probei, comparând întârzierea dintre fronturile de undă incidente și undele transmise. Având în vedere ipotezele lui Allard (și că, pentru materialele tipice pentru bariere fonice cu dimensiuni medii ale porilor în jur de 100 μm), acestea vor fi atinse pentru frecvențe mai mari de 25 kHz. A fost adoptată această metodă pentru a evalua tortuozitatea spumelor celulozice. Trebuie menționat că această metodă are o utilizare largă și este legată de implementarea sa relativ ușoară în practică. O schematizare a metodei (a), împreună cu o serie de imagini și detalii ale configurației de laborator (b), sunt prezentate în Figura 2.14.

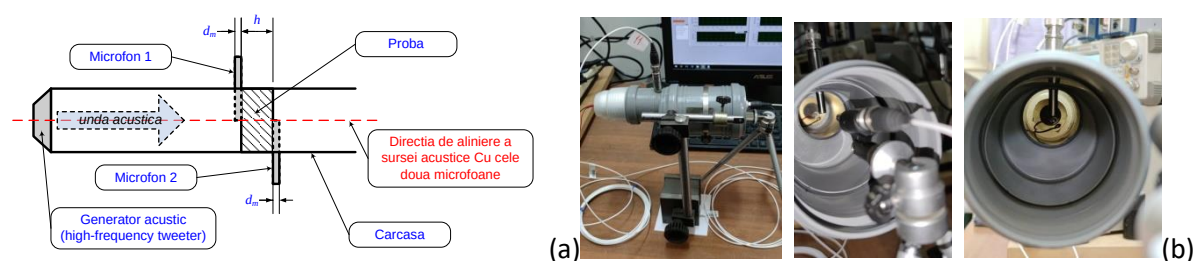


Figura 2.14 Schema de principiu (a) și imagini ale montajului experimental (b) pentru evauarea tortuozității cu ajutorul metodei acustice [61]

Chiar dacă rezistența la curgere este capabilă să caracterizeze performanțele acustice pentru aplicații obișnuite cu materiale omogene din fibre și materiale spumoase cu celule deschise, rezistivitatea la curgere și porozitatea aduc informații suplimentare și pot specifica complet proprietățile acustice. Acest lucru se datorează faptului că sunt utilizate în cadrul modelelor empirice destinate evaluării impedanței și respectiv numărului de undă [184].

Astfel, rezistivitatea fluxului de aer devine un parametru important în proprietățile de izolare fonică în FCM propus. Trebuie menționat că materialele fibroase prezintă pe scară largă anizotropie. Cu toate acestea, în cadrul acestui studiu, a fost luată în considerare doar rezistivitatea la curgere pe direcția normală la probă, iar testele au fost efectuate conform metodei fluxului de aer direct, prevăzută în ISO 9053-1:2018 (*Acustică, Determinarea rezistenței fluxului de aer, Partea 1: Metoda fluxului de aer static*).

CAPITOLUL 3

EVALUAREA EXPERIMENTALĂ A CARACTERISTICILOR ACUSTICE

3.2 Evaluarea influenței agentului de spumare

3.2.1 Materialele utilizate

Pentru acest studiu au fost dezvoltate compozite poroase ușoare într-un mediu de spumă, pe bază de celuloză virgină cu fibre lungi (fibre de tip rășinos). Celuloza de lemn moale albit (care furnizează de obicei o lungime medie a fibrelor de 400–800 μm , cu un diametru de 15–35 μm) a fost utilizată ca sursă de fibre pentru compozite. Pentru această cercetare, s-au adoptat fibre de celuloză cu grad de batere de 20°SR (conform metodei Shopper-Riegler) și pastă de celuloză cu o consistență de 1,98%. Agentul tensioactiv anionic utilizat în scopul formării spumei a fost dodecilsulfatul de sodiu (SDS), utilizat în mod obișnuit în producția de produse cosmetice comerciale. Cu aceste materiale de bază (pastă de celuloză și agent tensioactiv), s-au obținut trei tipuri de compozite ușoare pe bază de celuloză spumată (detalii în paragrafele următoare). [6,187]

3.2.2 Metode practice utilizate pentru formarea probelor

Fibrele de celuloză (fibre de celuloză virgină rășinoasă) cu o greutate predeterminată pentru a obține o pastă de celuloză cu o consistență de 1,98% au fost înmuiate peste noapte (aproximativ 24 h) folosind apă distilată cu 1% hidroxid de sodiu (concentrație 1 N). Apoi, pasta de celuloză a fost amestecată, folosind viteză mare de mixare (până la 2200 rpm) timp de 20 de minute, pentru a crește porozitatea structurii compozite finale prin antrenarea aerului (figura 3.2a). În timpul procesului de agitare, s-a adăugat un procent controlat de surfactant (raportat la greutatea pastei) cu scopul de a forma spumă. Pentru acest studiu s-a propus obținerea și analizarea a trei tipuri de compozite cu diferite conținuturi procentuale de aer. Astfel, au fost utilizate trei cantități diferite de surfactant, după cum urmează: 2%, 4% și 6%, valori raportate la greutatea fibrei din pasta celulozică. [6,187]

Amestecul de spumă și suspensie de fibre a fost filtrat și deshidratat, utilizând o pâlnie Buchner (figura 3.2b), cu diametrul suportului port-probă corelat cu cerințele echipamentului utilizat în investigațiile experimentale de tip acustic (de exemplu, 100, 72 și 28,5 mm). Pe lângă sistemul de filtrare al pâlniei Buchner, s-a folosit o hârtie de filtru poziționată la baza probei, pentru a obține o suprafață a probei cât mai plană. Filtrarea s-a desfășurat la un nivel scăzut de vid, timp de aproximativ 20 de minute, astfel încât să se asigure o deshidratare adecvată, menținând însă integritatea structurală a probei. [6,187]

După deshidratare, probele de compozit au fost transferate cu grijă, cu scopul de a evita alterarea integrității acestora, din pâlnia Buchner pe masa de uscare, într-o matriță cu diametru controlat, în corelație cu valorile necesare echipamentelor utilizate în investigațiile acustice. Probele au fost uscate la temperatura camerei (în jur de 22°C) și la o umiditate

relativă de 50-60%, timp de 24 până la 48 de ore (în funcție de grosimea și diametrul eșantionului de material). [6,187]

3.2.3 Metode de investigare a capacităților acustice

Probele din spume, obținute conform procedurii prezentate anterior, au fost analizate pentru a evalua capacitățile protective din punct de vedere acustic, în termeni de coeficienți de absorbție/reflexie acustică (α , R), pierderi de transmisie a sunetului și impedanță acustică, toți parametrii fiind evaluați la un unghi de incidență normală. [6,187]

Investigațiile experimentale au fost efectuate utilizând o configurație de tuburi acustice, având inclusiv capacitatea de evaluare a pierderilor de transmisie, care conține două tipuri de tuburi acustice convenționale (cunoscute sub denumirea de tuburi Kundt), pentru probe cu diametrul exterior de 100 mm și respectiv 28,5 mm (figura 3.3). Domeniile specifice de frecvență pentru fiecare tub sunt (10 - 2000) Hz pentru tubul cu diametru mare (în continuare codificat K1 în acest studiu) și respectiv (100 - 7000) Hz pentru tubul cu diametru mic (în continuare codificat K2 în acest studiu). Ambele echipamente permit reconfigurarea facilă a terminației anechoice montată în capătul semi-tubului din aval și respectiv achiziția simultană a semnalelor de presiune acustică într-o configurație cu patru microfoane. [6,187]

Tuburile includ suporturi adecvate pentru traductoarele acustice tip PCB-130E20 ICP® Electret Array Microphone (PCB, SUA). Achiziția digitală a semnalelor de presiune acustică a fost practic asigurată cu perechea de dispozitive NI-USB-9233 / 9162® (NI, SUA) și gestionată de o aplicație specifică dezvoltată în platforma NI-LabVIEW® (NI, SUA). A fost utilizată o rată de eșantionare ridicată (50 kHz) pentru a asigura o precizie ridicată a semnalelor achiziționate și pentru a permite o procedură de post-procesare computațională consistentă și conformă. Dezvoltările computaționale ulterioare au fost efectuate utilizând un set de aplicații dezvoltate în platforma Matlab® (MathWorks, SUA). Măsurătorile au fost realizate pe baza metodei funcției de transfer, conform standardelor internaționale ISO 10534-2 și ASTM E1050-12 pentru coeficientul de absorbție și ASTM E2611-17 pentru pierderile de transmisie. [6,187]

3.2.4 Rezultatele obținute

3.2.4.1. Compozite poroase ușoare pe bază de fibre de celuloză

Au fost obținute trei tipuri de compozite folosind pastă celulozică din fibre de rășinoase cu un grad de batere de 20°SR. Microfotografiile optice din figura 3.4 prezintă structura fibroasă internă a pastei celulozice înainte de începerea procesului de formare a spumei (a), respectiv cu măsurători marcate pe imagine referitoare la lungimea și respectiv la diametrul fibrelor. Fotografiiile au fost obținute utilizând tehnica microscopiei optice, cu lumină albă transmisă, utilizând un microscop optic triocular DELTA model SZ-450T® (Delta Optical, Germania) și o camera digitală Full HD Bresser MikrOkular® (Bresser GmbH, Germania). Fiecare fotografie oferă o referință dimensională obținută cu ajutorul unei lamele standard dotată cu grilă de calibrare. Densitatea compozitului este puternic legată de structura și rezistența rețelei de fibre, fiind puternic corelată cu numărul de contacte dintre fibre. Bulele de spumă limitează posibila localizare a fibrelor, rezultând astfel pori mai deschiși, dar și mai multe contacte ale fibrelor în zonele dintre bule. Microfotografiile din figura 3.5 arată acest

aspecte, pentru cele trei tipuri diferite de probe. S-a observat faptul că un procent mai mare de SDS duce la bule de spumă mai mari, crescând spațiul gol dintre fibre și, prin urmare, sporind posibilitatea de a obține o porozitate ridicată a compozitului. [6,187]

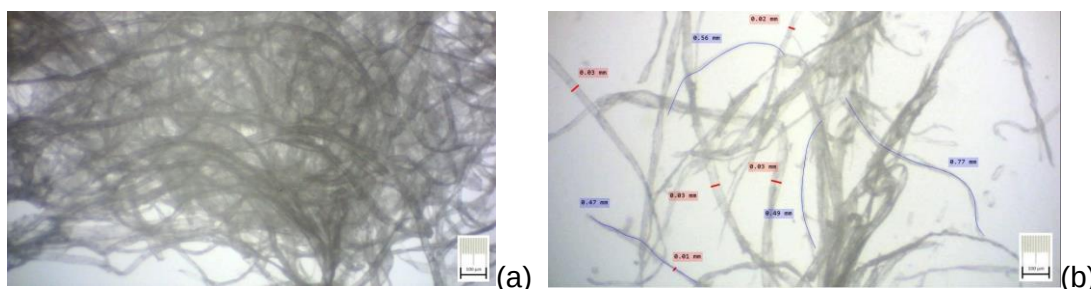


Figura 3.4 Microfotografii ale pastei celulozice utilizată pentru materialul format în spumă: (a) vedere generală; (b) vedere detaliată cu măsurarea lungimii și a diametrului fibrelor [187]

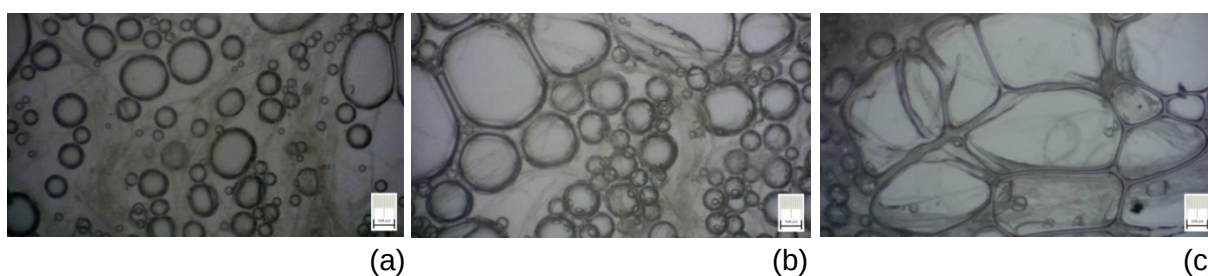


Figura 3.5 Microfotografii ale fibrelor de celuloză în spumă (probe umede, la sfârșitul procesului de agitare), pentru diferite procente de SDS: (a) proba S1 cu 2% SDS; (b) proba S2 cu 4% SDS; (c) proba S3 cu 6% SDS. [187]

Observația din paragraful anterior va fi validată în continuare prin măsurători de masă și densitate. Cu toate acestea, microfotografiile prezentate în figura 3.6, pentru o anumită probă de material, arată o structură fibroasă internă poroasă a compozitului final (după procesele de deshidratare și uscare) comparativ cu structura inițială a celulozei (a se vedea figura 3.4a). Fotografiiile din figurile 3.5 și 3.6a au fost obținute cu aceeași tehnică și același echipament prezentate în paragraful anterior, iar fotografia din figura 3.6b a fost obținută prin tehnica SEM (folosind echipamentul corespunzător disponibil la Universitatea Dunărea de Jos din Galați). [6,187]

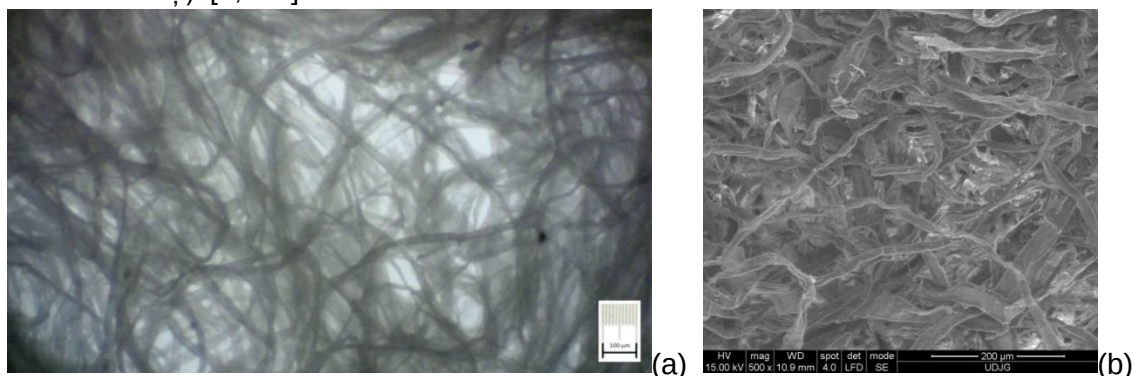


Figura 3.6 Structura fibroasă internă a probei S1 la sfârșitul procesului de uscare: (a) Microfotografie optică; (b) Microfotografie SEM [187]

Pentru investigațiile de tip acustic care utilizează ipoteza incidenței normale, calitatea suprafeței externe este un aspect important. Astfel, în figura 3.7 sunt reprezentate trei

microfotografii aferente fiecărei categorii de material analizat. S-a observat cu ușurință faptul că îmbunătățirea structurii poroase aerate a suprafeței este în concordanță cu creșterea procentului de SDS. Un set de probe din fiecare categorie este prezentat în Figura 3.8, unde probele S(1,2,3) reprezintă procentul de (2, 4, 6) % SDS (relativ la conținutul de fibre al pastei de celuloză) în amestecul inițial de spumare, iar S0 este proba de referință, obținută pur și simplu prin procedura de formare în apă (fără adăugare de agent spumant SDS). Conținutul de aer a fost calculat pentru fiecare probă, pe baza volumului inițial de pastă de celuloză și SDS, respectiv, a volumului final de amestec spumat (evaluat direct după oprirea procesului de amestecare/agitare). [6,187]

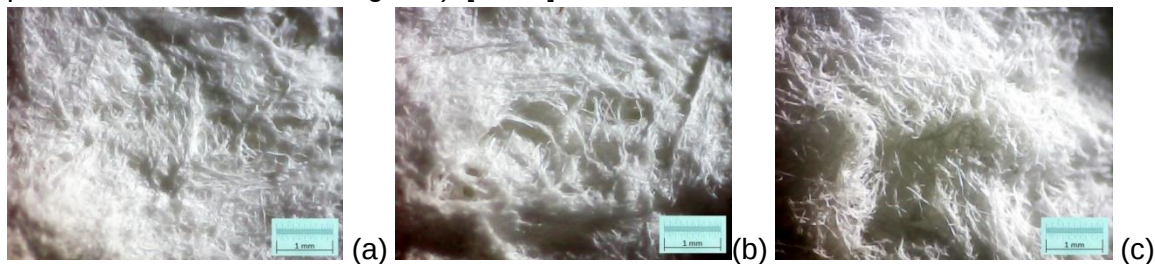


Figura 3.7 Microfotografii optice ale suprafeței externe a probelor (probe uscate și gata de utilizare) pentru: (a) proba S1; (b) proba S2; (c) proba S3 [187]



Figura 3.8 Un set de probe utilizate pentru investigațiile acustice [187]

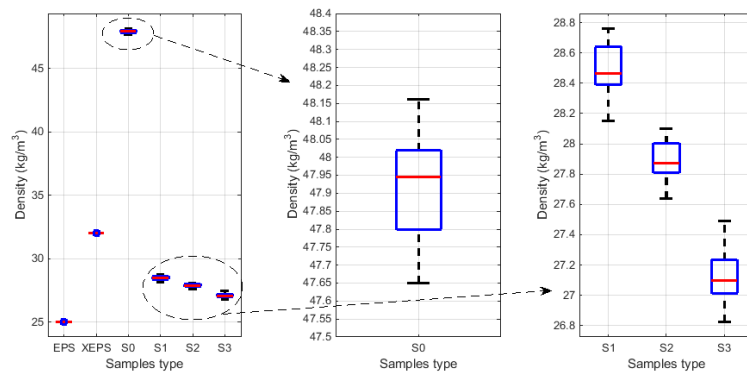


Figura 3.9 Diagrama stocastică referitoare la densitatea probelor (vedere generală pentru toate probele și detalii ale compozitelor formate în apă, respectiv în spumă) [187]

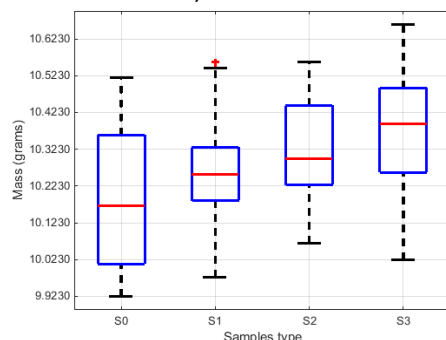


Figura 3.11 Diagrama stocastică referitoare la masa probelor

Densitatea și respectiv masa probelor compozite au fost de asemenea evaluate, iar valorile sunt prezentate în tabelul 3.2 (tabelul conține valorile medii pentru probele S0, S1, S2 și S3). O analiză stohastică a fost efectuată individual, pentru fiecare parametru, iar rezultatele sunt prezentate comparativ sub formă grafică. În acest sens, diagramele boxplot din figura 3.9 prezintă parametrii stochastici pentru densitatea probelor, iar reprezentările bidimensionale, respectiv cele de tip bară din figura 3.10 prezintă comportamentul parametrilor statistici referitori la valorile densității evaluate. În mod similar, diagramele din figurile 3.11 și 3.12 prezintă parametrii statistici în raport cu valorile evaluate pentru masă.

3.2.4.2 Caracteristicile acustice

Rezultatele referitoare la capacitatea de control a zgomotului pentru compozitelor propuse în acest studiu au fost evaluate în funcție de următorii parametri: coeficienții de absorbție (α) respectiv de reflexie (R) acustică la incidența normală, pierderea de transmisie a sunetului la incidența normală (STL) și impedanța la incidența normală (Z). [6,187] Toată gama de parametri a fost evaluată utilizând ambele tuburi acustice de impedanță (K1, K2). Deși este un parametru complex, pentru coeficientul de reflexie R a fost considerată doar mărimea în această lucrare, deoarece aceasta este forma consacrată de prezentare în literatura tehnică de specialitate referitoare la analizele comparative privind capabilitățile de protecție acustică ale diferitelor materiale. Cu toate acestea, parametrul Z , de asemenea complex, a fost prezentat, atât în termeni de mărime, cât și de fază, pentru a evidenția conformitatea evaluărilor spectrului sonor. Toți parametrii au fost reprezentați în funcție de frecvență (corespunzător pentru fiecare tip de tub). Astfel, diagramele au fost grupate după cum urmează: coeficienții de absorbție și reflexie acustică sunt detaliați în figura 3.13, STL în figura 3.14, iar componentele impedanței în figura 3.15. [6,187]

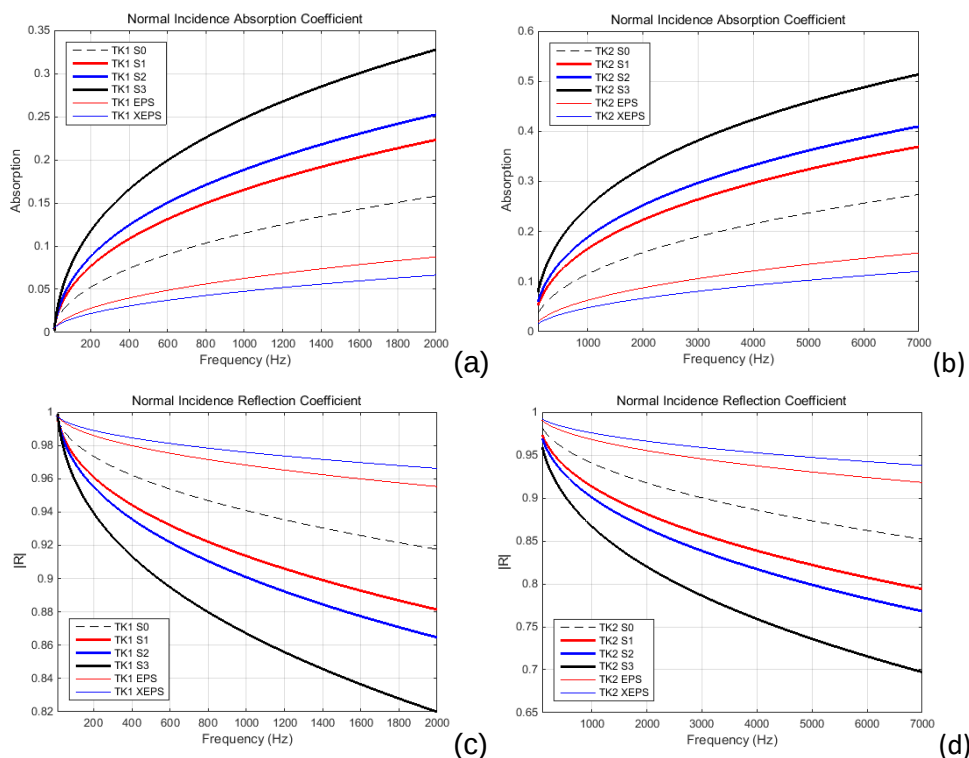


Figura 3.13 Coeficienții de absorbție și de reflexie acustică ai probelor la incidență normală: coeficientul de absorbție înregistrat în tubul K1 (a) și respectiv în tubul K2 (b); coeficientul de reflexie înregistrat în tubul K1 (c) și respectiv în tubul K2 (d). [187]

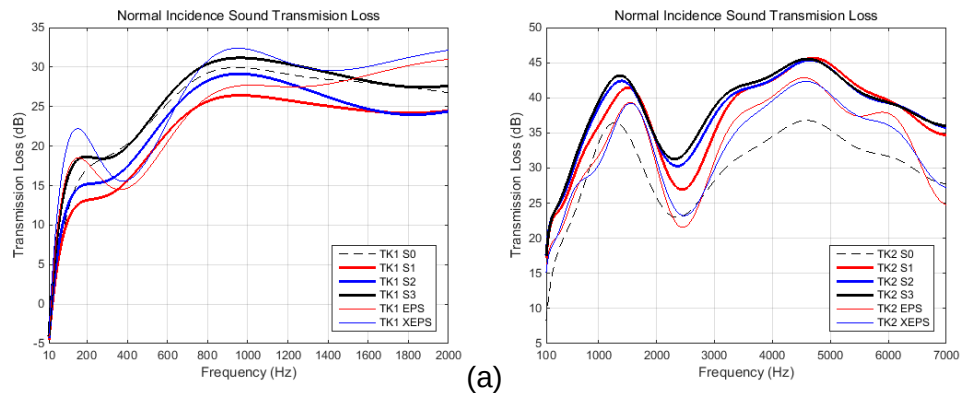


Figura 3.14 Caracteristica pierderii de transmisie a sunetului la incidență normală, înregistrată în tubul K1 (a) și respectiv în tubul K2 (b) [187]

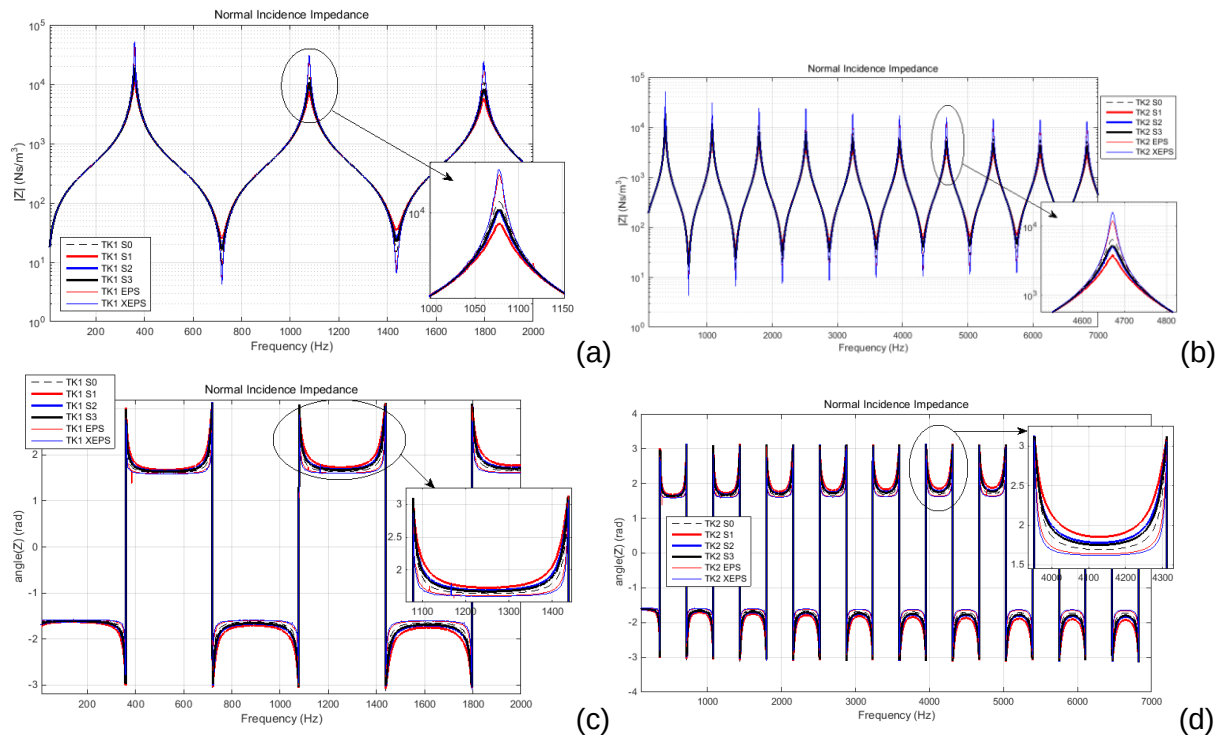


Figura 3.15 Impedanța la incidență normală a sunetului, în termeni de magnitudine a impedanței pentru semnalele înregistrate în tubul K1 (a) și respectiv tubul K2 (b), pentru semnalele înregistrate în tubul K1 (c) și respectiv tubul K2 (d)

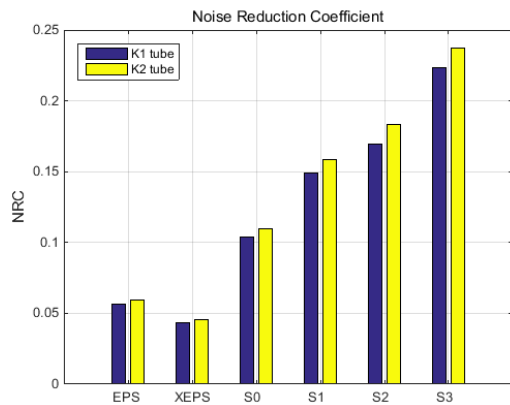


Figura 3.16 Coeficientul de reducere a zgomotului (NRC), în termeni de valori medii, comparativ pentru ambele tuburi acustice de impedanță (K1 și K2) [187]

Pe lângă parametri prezentați anterior, în literatura tehnică de specialitate se utilizează de obicei un indicator suplimentar referitor la capacitatea de reducere a zgomotului pentru diverse materiale, în special pentru frecvențele medii. Acesta este cunoscut sub numele de coeficient de reducere a zgomotului (prescurtat NRC – *engl. Noise Reduction Coefficient*) și reprezintă o valoare numerică unică, cu valori cuprinse între 0,0 și 1,0, care descrie performanța medie de absorbție a sunetului specifică unui material. [6,187] Valorile NRC-ului, pentru fiecare tip de tub și probă, sunt indicate în tabelul 3.3. O reprezentare grafică este dată în figura 3.16 cu scopul de a facilita analiza comparativă.

3.2.5 Discuții asupra rezultatelor

Rezultatele din secțiunea anterioară au arătat clar o structură compozită potrivită pentru aplicații de protecție fonică. Astfel, microfotografiile din figura 3.5 prezintă structura inițială a bulelor (starea umedă în timpul procesului de amestecare a spumei) a compozitului propus, unde creșterea procentului de SDS induce bule mai mari în compozitul pe bază de fibre. Efectul pozitiv al structurii umede și aerisite poate fi observat în starea finală a probelor (a se vedea micrografiile optice și SEM din figura 3.6) comparativ cu starea inițială a pulpei de celuloză (a se vedea figura 3.4a). În plus, microfotografiile de suprafață prezentate în figura 3.7 dezvăluie clar o structură poroasă pentru fiecare tip de compozit, cu un conținut de aer îmbunătățit pe măsură ce procentul de agent SDS crește. Dincolo de conținutul de aer în stare umedă (a se vedea valorile din tabelul 3.1), valorile densității (a se vedea tabelul 3.2) susțin această observație concluzivă, procentul final al conținutului de aer căpătând valori în jurul (70, 74, 80) respectiv pentru tipul de probă (S1, S2, S3). Analiza statistică (a se vedea figurile 3.9 – 3.12) evidențiază o matrice conformă a coeficienților de corelație a rezultatelor, cu valori medii și mediane foarte apropiate, variații și deviații standard cu valori reduse și o matrice de covarianță cu valori foarte mici. [6,187]

O observație concludentă referitoare la compozitele propuse, formate în spumă pe bază de fibre celulozice, poate fi formulată luând în considerare rezultatele din secțiunea 3.2.4. Astfel, un obiectiv a fost atins, în ceea ce privește structura internă suficient de poroasă a materialelor. Trebuie menționat faptul că valoarea superioară a procentului de SDS a fost limitată în funcție de stabilitatea și integritatea structurală a probei obținute (pe baza investigațiilor vizuale efectuate atât în faza umedă, cât, în special, în cea uscată). Testele repetate sistematic, pentru diferite procente de SDS, au arătat faptul că nivelul ridicat de bule de aer (pori) din structura spumei a indus o pierdere a stabilității structurale a probei scoase din matriță (proba din stadiul final, gata de utilizare). Limita inferioară a procentului de SDS a fost adoptată pe baza volumelor relevante de bule de aer (pori) din amestecul compozit (investigații efectuate la microscop). [6,187]

Constatările menționate anterior au fost validate prin evaluarea caracteristicilor acustice și de control al zgomotului. Prin urmare, rezultatele din secțiunea 3.2.4 validează practic observațiile bazate pe morfologia structurală. Analizând sistematic setul de parametri acustici rezultă următoarele aspecte și anume: coeficienții de absorbție / reflexie acustică la incidență normală (a se vedea diagramele din figura 3.13) indică o capacitate de absorbție mai bună, în același timp cu o reflexie slabă, pe măsură ce procentul de agent SDS crește. Chiar și compozitul de referință (proba S0, formată clasic în apă), prezintă proprietăți de absorbție / reflexie mai bune decât materialele sintetice (EPS, XEPS). Acest aspect a fost susținut de structura preponderent cu pori deschiși a compozitelor pe bază de fibre, comparativ cu cele

închise, specifice pentru EPS / XEPS. O creștere distinctă a capacității de absorbție a fost oferită de proba S3 (cu un conținut procentual mai mare de aer), justificată de parametrul de porozitate (și evident de tortuozitate) cel mai ridicat. În ceea ce privește coeficientul de reflexie, comportamentul aparte al probei S3, cu porozitate ridicată, ca de altfel și al celorlalte probe pe bază de fibre, poate fi explicat prin profilul rugos al suprafeței de incidență (a se vedea micrografiile din figura 3.7) a acestor materiale, care induce reflexii rare, slabe, comparativ cu cea netedă corespunzătoare materialelor sintetice de referință, ceea ce permite reflexia direcțională. [6,187] Trebuie remarcată buna corelație dintre rezultatele obținute în cele două tuburi acustice (K1 și K2).

Pierderea de transmisie a sunetului (STL) la incidență normală reprezintă un alt parametru important în caracterizarea performanței acustice. Diagramele din figura 3.14 arată evoluția acestui parametru în funcție de frecvență (conform capabilității specifice fiecărui tub). În acest sens, discuția trebuie divizată după cum urmează: (i) tubul mare (K1) prezintă în principal informații relevante în domeniul frecvențelor joase și medii, în timp ce tubul mic (K2) oferă informații pentru întreaga gamă semnificativă în practica protecției fonice; (ii) în ansamblu, eșantionul S3 oferă performanțe mai bune decât alte compozite spumate (S2, S1; nivelul de performanță descrescând în această ordine); (iii) compozitele spumate S1-S3 prezintă caracteristici comparative cu referințele sintetice (EPS, XEPS) pentru frecvențele joase-medii și performanțe STL clar mai bune în întreagul domeniu de frecvență; (iv) Compozitul de referință pe bază de fibre, format simplu în apă (S0), oferă o caracteristică STL bună, comparativ cu eșantionul S3, dar numai pentru frecvențele joase - medii, în rest caracteristicile sale fiind inferioare celor ale materialelor sintetice de referință. O observație concluzivă privind parametrul STL trebuie să sublinieze faptul că aceste compozite pe bază de fibre de celuloză formate în spumă sunt capabile să ofere performanțe cel puțin comparative cu materialele sintetice utilizate pe scară largă. [6,187]

Diagramele din figura 3.15 prezintă caracteristica de impedanță la suprafața probei, la incidență normală, în termeni de magnitudine și fază. Având în vedere că evoluția graficelor a fost discret identică ca formă generală, s-au realizat imagini detaliate pentru fiecare diagramă, în jurul unuia dintre domeniile de rezonanță (adoptat aleatoriu pentru fiecare situație). Discuțiile trebuie realizate pe două direcții principale, după cum urmează: (i) similitudinea formei, atât pentru magnitudine, cât și pentru fază dezvăluie corelația geometriei probei în funcție de tubul acustic de impedanță utilizat pentru investigație; (ii) vederile detaliate oferă informații foarte utile cu privire la capacitatea de amortizare a fiecărei probe, cu implicații directe asupra caracteristicilor sale de absorbție acustică. Legat de al doilea aspect, se poate observa cu ușurință faptul că grupul de compozite formate în spumă (S1-S3) oferă cel mai mare raport de amortizare comparativ cu celelalte probe de referință. În cadrul acestui grup de probe, S1 oferă o amortizare mai bună, iar S3 cel mai mic procent. Acest aspect este justificat de densitatea fibrelor, care este mai mare pentru S1 decât pentru S3, știind că amortizarea este asigurată prin deformarea fibrelor. Pe de altă parte, proba S0 permite un raport de amortizare mai ridicat decât materialele sintetice, deoarece acest aspect este susținut și asigurat de structura cu pori deschiși, prin mecanisme interne de propagare a undelor și deformări ale pereților porilor (pe bază de fibre). [6,187]

În final, se vor analiza succint aspecte despre NRC (în fapt, NRC brut, deoarece valorile nu au fost rotunjite). Valorile utilizate pentru calcularea NRC au fost obținute din diagramele coeficienților de absorbție acustică (a se vedea figurile 3.13a și 3.13b). Analizând rezultatele

numerice din tabelul 3.3 și reprezentarea grafică din figura 3.16, rezultă o bună corelație între investigațiile efectuate pe cele două tuburi acustice, o tendință de creștere a NRC în relație cu porozitatea probei, respectiv un NRC mai bun furnizat de compozitele formate în spumă comparativ cu probele de referință, în special cu cele sintetice. Diferențele reduse dintre valorile calculate pentru cele două tuburi sunt justificate de caracteristicile funcționale diferite ale fiecărui tub (în ceea ce privește "*diferențele*") și de omogenitatea probelor (în ceea ce privește "*reduse*"). Acest ultim aspect este susținut și de coeficienții de absorbție / reflexie acustică, precum și de diagramele de impedanță acustică. [6,187]

3.3 Evaluarea influenței tipului de pastă celulozică (gradul de batere al pulpei din fibre celulozice)

În cadrul acestui studiu a fost considerată o analiză comparativă, referitoare la caracteristicile de protecție acustică și control al zgomotului, pentru un grup de compozite formate din biospumă pe bază de fibre celulozice virgine de rășinoase cu diferite grade de batere (ale pastei de celuloză utilizate ca material primar). Comparația a fost efectuată luând în considerare trei parametri relevanți pentru aplicațiile de reducere a zgomotului și anume coeficienții de absorbție și reflexie acustică, respectiv pierderea de transmisie a sunetului, toate evaluate la incidența normală a frontului de undă.

3.3.1 Materialele și metodele utilizate

Materialele analizate în acest studiu au fost compozite cu porozitate ridicată, realizate în mediu de spumă, utilizând fibre de celuloză virgină lungi (fibre de rășinoase) și, ca agent de spumare, un surfactant comercial obișnuit. Astfel, au fost adoptate trei grade de batere a fibrelor de celuloză, după cum urmează: 20°SR, 43°SR și respectiv 60°SR (valori conform metodei Shopper Riegler). Pentru fiecare tip de compozit s-a utilizat un raport de 14,14% surfactant versus conținut de fibre și o pastă de celuloză cu o consistență de 1,98%. [6,63]

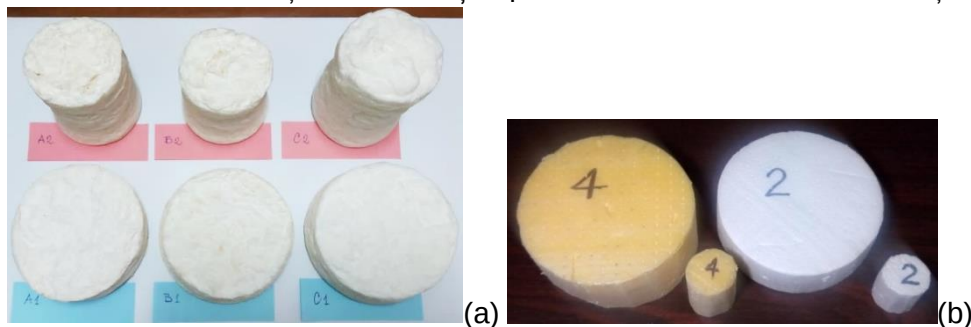


Figura 3.17 Mostre de materiale tip spumă celulozică (a) și materialele de referință (b) utilizate în cadrul investigațiilor experimentale [63]

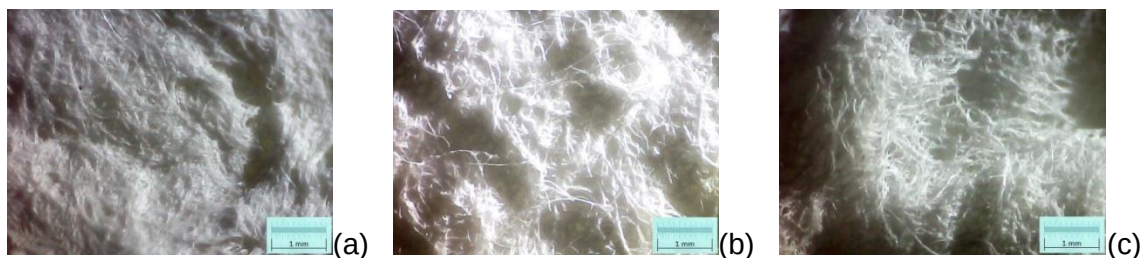


Figura 3.18 Microfotografii de suprafață ale spumelor celulozice: proba A1 (a), proba B1 (b) și proba C1 (c); microscopie optică reflexivă, factor de mărire 20×. [63]

Probele utilizate în cadrul investigațiilor de laborator sunt prezentate în figura 3.17(a), unde codurile (A, B, C) reprezintă probe obținute din pulpă celulozică cu 60°SR, 43°SR și respectiv 20°SR, iar numerele indică dimensiunile geometrice, adoptate în funcție de impunerile tuburilor acustice utilizate în cadrul testelor: mari (1) și mici (2). În plus, imaginea din figura 3.17(b) prezintă probele din materiale de referință: polistirenul expandat/extrudat (EPS/XEPS), de asemenea cu cele două dimensiuni geometrice necesare tuburilor acustice utilizate în investigațiile experimentale. Configurația internă a structurii fibroase poate fi observată în microfotografiile obținute prin microscopie optică reflexivă, cu factor de mărire de 20×, prezentate în figura 3.18. Fiecare imagine conține o grila dimensională de referință, obținută inițial cu ajutorul unei lamele standard prevăzută cu grilă de calibrare. Analiza comparativă a celor trei fotografii din figura 3.18 relevă o structură poroasă, deosebit de aerisită, a suprafeței exterioare (cea impactată acustic), lucru evident odată cu scăderea gradului de batere al fibrelor din pasta celulozică primară.

3.3.2 Rezultatele obținute și discuții

Probele din compozitele tip spumă pe bază de fibre celulozice, obținute conform procedurii prezentate anterior, au fost analizate pentru a evalua și analiza caracteristicile specifice capacității potențiale de protecție acustică, lucru realizat în termeni de absorbție și reflexie acustică, respectiv pierderea de transmisie a sunetului, toți acești parametri fiind evaluați (conform prevederilor normative actuale) la incidență normală.

Rezultatele investigațiilor acustice au fost prezentate respectiv în figura 3.19 – coeficientul de reflexie acustică la incidență normală, figura 3.20 – coeficientul de absorbție acustică la incidență normală și figura 3.21 – pierderea de transmisie a sunetului. Seturile de diagrame, în funcție de frecvență, au fost reprezentate separat pentru fiecare tip de tub Kundt, facilitând astfel analizele comparative conforme ale performanțelor de control al zgomotului și reducere a poluării acustice.

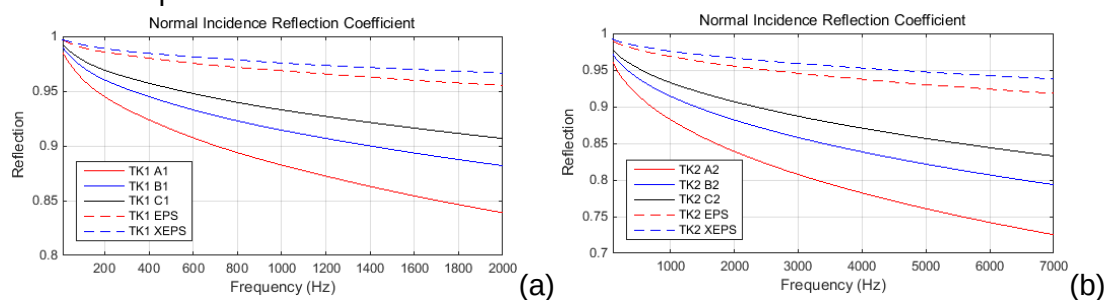


Figura 3.19 Diagrame ale coeficientului de reflexie acustică la incidență normală pentru tuburile mari (a) și respectiv mici (b) [63]

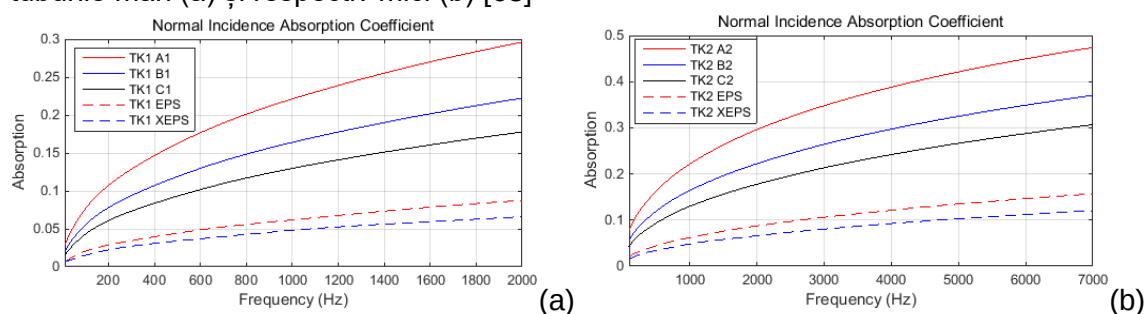


Figura 3.20 Diagrame ale coeficientului de absorbție acustică la incidență normală pentru tuburile mari (a) și respectiv mici (b) [63]

Luând în considerare structura cu pori deschiși a compozitelor propuse și analizate în acest studiu, comparativ cu structura cu pori închiși furnizată de materialele de referință, rezultatele referitoare la coeficienții de reflexie și de absorbție acustică relevă un comportament adecvat al compozitelor din spumă pe bază de fibre celulozice în ceea ce privește intervalul de frecvență, porozitatea, densitatea și geometria porilor.

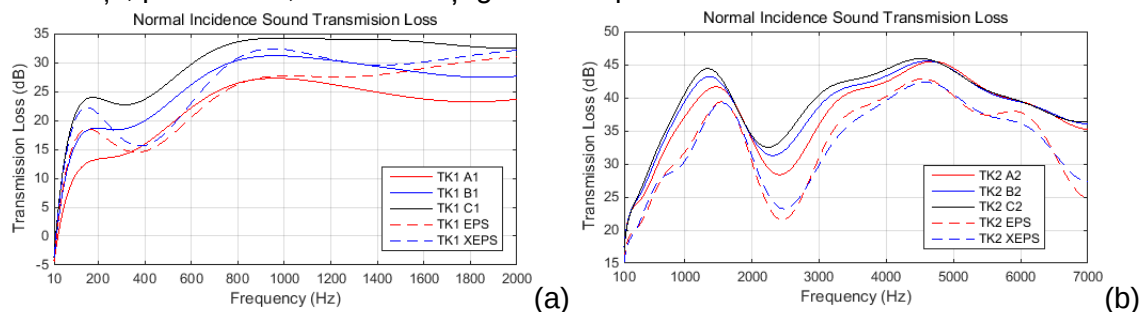


Figura 3.21 Diagrame ale pierderilor de transmisie a sunetului pentru tuburile mari (a) și respectiv mici (b) [63]

Caracteristicile de pierdere a transmisiei sunetului la incidența normală (a se vedea diagramele din figura 3.21) prezintă comportamente comparative, oarecum similare, cel puțin pentru tubul acustic cu diametru de 100 mm, pentru toate probele analizate, inclusiv materialele de referință (mai puțin în intervalul de frecvență 200 – 600 Hz). Pentru domeniul frecvențelor înalte, capacitățile de absorbție și de reflexie acustică ale compozitelor propuse dobândesc în mod clar o evoluție diferită față de materialele de referință (a se vedea figurile 3.19 și 3.20), astfel încât diferențele prezente în diagrama pierderii de transmisie a sunetului (a se vedea figura 3.21b) sunt justificate în mod pertinent.

3.4 Evaluarea influenței tratamentelor suplimentare asupra spumelor celulozice

3.4.1 Materiale utilizate

Materialele poroase ușoare propuse au fost dezvoltate într-un mediu spumos, utilizând fibre de celuloză virgină din lemn de esență moale. Celuloza de lemn de esență moale albită (care oferă de obicei o lungime medie a fibrelor de 400–800 μm și un diametru de 15–35 μm) a fost utilizată ca sursă de fibre brute [55,56,187]. În cadrul acestei cercetări au fost adoptate fibre de celuloză, cu un grade de batere de 60°SR și respectiv 43°SR (valori conform metodei de evaluare Shopper-Riegler) și pulpă celulozică cu o consistență de 1,98%. Hemiceluloza de xylan cu masa moleculară de (132)n, din lemn de fag, a fost achiziționată de la compania Carl Roth, Germania, și utilizată ca atare. Xylanul acetilat a fost obținut în condiții de laborator, conform procedurii descrise în lucrările [60,188]. Xylanul hidrofobizat a fost obținut prin reacția xylanului nativ cu anhidridele cu lanț lung sub formă de dimeri de alchilcetenă la 20°C și 24 de ore de agitare magnetică la 1500 rpm. Toți ceilalți reactivi chimici pentru reacția de esterificare (anhidridă acetică, acid acetic și acid sulfuric) au avut puritate analitică. Atât xylanul nativ, cât și derivații de xylan au fost utilizați ca dispersie apoasă de 2,5% pentru acoperirea prin pulverizare în strat subțire (aproximativ 5 g/m²) pe suprafața diferitelor probe de spume de celuloză.

3.4.2 Metode specifice în cadrul procedurii de formare a probelor

Fibrele de celuloză (fibre de celuloză virgină de rășinoase cu o consistență de 1,98%) au fost preparate conform procedurilor expuse pe larg în capitolele anterioare. Obiectivul acestui

studiu a fost obținerea și analiza a două tipuri de materiale de tip spumă din fibre celulozice, bazate pe două grade diferite de batere a pulpei celulozice brute și cu un conținut constant de aer. În acest caz, s-a adoptat un procent de surfactant de 4%, raportat la greutatea fibrelor (aceasta este valoarea medie a intervalului procentual de surfactant utilizat în investigațiile anterioare). Suspensia de fibre și spumă a fost omogenizată, filtrată, deshidratată și uscată utilizând proceduri similare cu cele expuse pe larg în capitolele anterioare.

3.4.3 Metode utilizate în cadrul investigațiilor privind caracteristicile acustice

Probele de spumă, atât cele netratate, cât și cele tratate la suprafață cu dispersie apoasă pe bază de xylan sau derivați ai acestuia, au fost analizate în scopul evaluării performanțelor acustice, în termeni de coeficienți de absorbție și reflexie acustică, respectiv impedanța acustică, toți acești parametri fiind evaluați la un unghi de incidență normal. Investigațiile experimentale au fost efectuate utilizând un kit de tub de impedanță tip 4206® (Brüel&Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, Nærum, Danemarca), cu un suport de probă cu diametrul de 29 mm și o configurație cu două microfoane (figura 3.23). Domeniul de frecvență specific acestui tip de tub este de 500-6400 Hz (conform specificațiilor tehnice ale producătorului). Măsurătorile au fost realizate pe baza evaluării funcției de transfer și a metodei de testare prevăzute în standardele internaționale ISO 10534-2 și ASTM E1050-12.

3.4.4 Rezultatele obținute

3.4.4.1. Probe formate în spumă pe bază de celuloză cu tratamente pe bază de xylan

Microfotografiile din figura 3.24 prezintă structura microfibrasă a suprafețelor externe pentru fiecare tip de probă. Aceste imagini au fost obținute folosind tehnica microscopiei optice, cu lumină albă transmisă, cu ajutorul microscopului optic triocular DELTA model SZ-450T® (Delta Optical, Germania) și a camerei digitale Full HD Bresser MikrOkular® (Bresser GmbH, Germania). Fiecare imagine conține o referință dimensională, marcată corespunzător pe imagine și obținută cu ajutorul unei lamele standard prevăzută cu grilă de calibrare.[6,91,189]

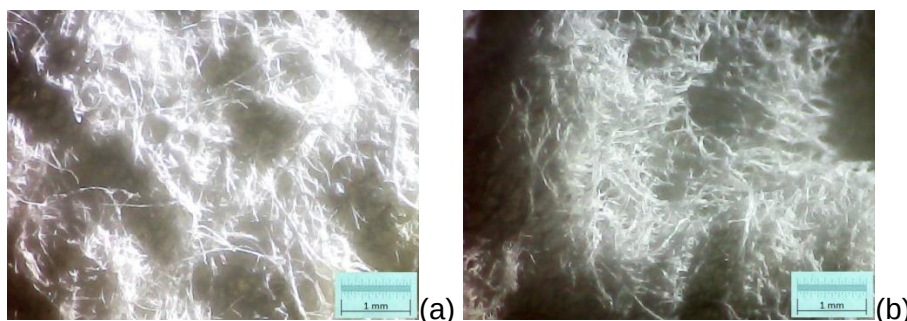


Figura 3.24 Microfotografii optice ale suprafeței probelor formate în spumă pe bază de fibre celulozice: (a) spumă pe bază de fibre lungi cu grad de batere de 43°SR; (b) spumă pe bază de fibre lungi cu grad de batere de 60°SR [91,189]

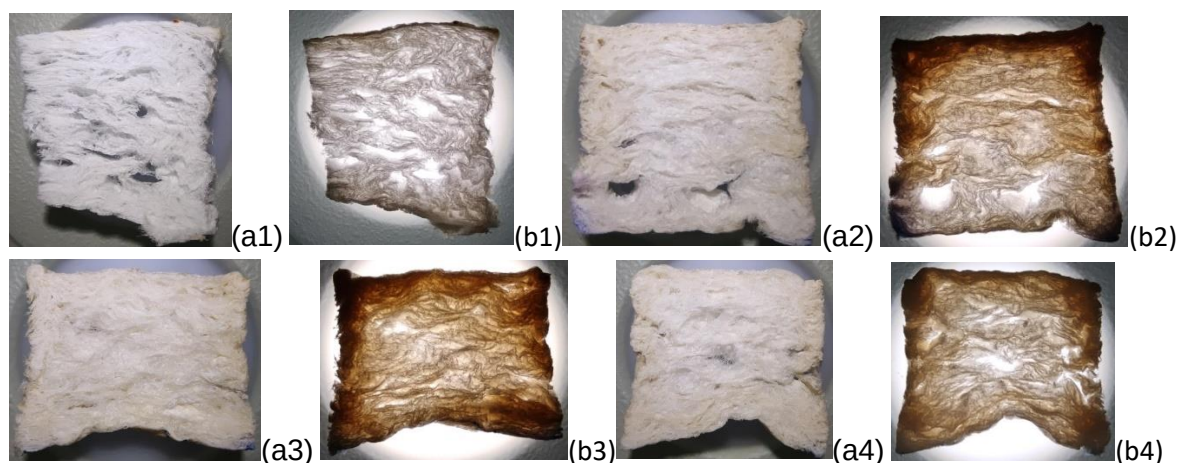


Figura 3.27 Imagini ale secțiunilor longitudinale ale probelor bazate pe gradul de batere la 43°SR: (a) fotografie pe lumină reflectată; (b) fotografie pe lumină transmisă; (1) probe de bază fără tratament de suprafață cu xylan; (2) probe cu tratament de suprafață cu xylan nativ; (3) probe cu tratament de suprafață cu xylan hidrofobizat AKD; (4) probe cu tratament de suprafață cu xylan acetilat [91,189]

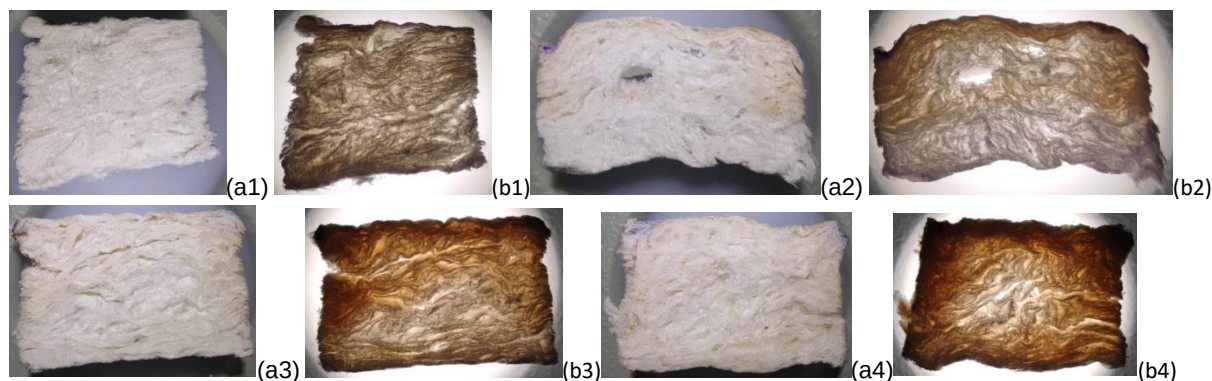


Figura 3.28 Imagini ale secțiunilor longitudinale ale probelor bazate pe un grad de batere la 60°SR: (a) fotografie pe lumină reflectată; (b) fotografie pe lumină transmisă; (1) probe de bază fără tratament de suprafață cu xylan; (2) probe cu tratament de suprafață cu xylan nativ; (3) probe cu tratament de suprafață cu xylan hidrofobizat AKD; (4) probe cu tratament de suprafață cu xylan acetilat [91,189]

3.4.4.2 Caracteristicile acustice

Diagramele din figura 3.29 prezintă rezultatele referitoare la coeficientul de absorbție acustică, în raport cu intervalul de frecvență capacitat de tubul de impedanță utilizat în cadrul testelor. Diagramele au fost grupate după materialul de bază, cum ar fi gradul de batere de 43°SR și 60°SR respectiv, precum și materialele de referință pe bază de petrol. În același mod, rezultatele referitoare la coeficientul de reflexie acustică sunt prezentate în figura 3.30.

Luând în considerare regula de grupare anterioară pe baza materialelor de bază (FL43PS10, FL60PS10), în figura 3.31 sunt prezentate diagramele impedanței acustice de suprafață, în termeni de magnitudine (folosind o reprezentare la scară semi-logaritmică pe direcție verticală) și respectiv defazaj.

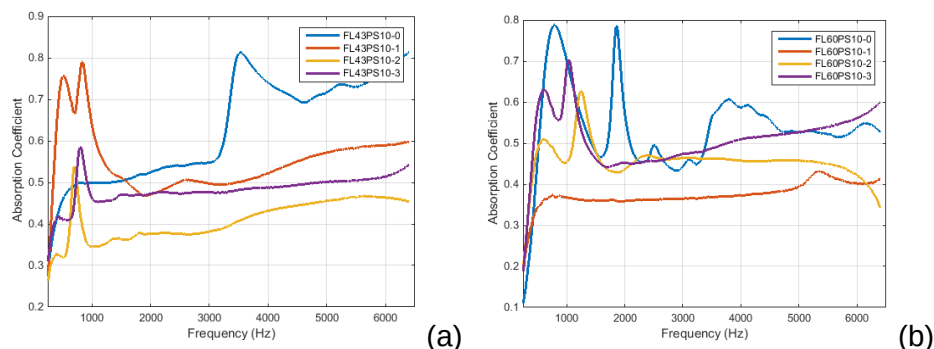


Figura 3.29 Coeficienții de absorbție acustică la incidență normală, pentru spume pe bază de fibre celulozice cu 43°SR (a), respectiv cu 60°SR (b) [91,189]

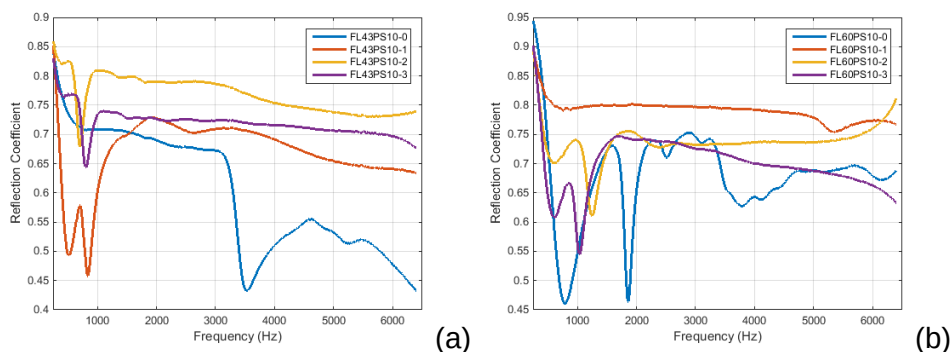


Figura 3.30 Coeficienții de reflexie acustică la incidență normală, pentru spume pe bază de fibre celulozice cu 43°SR (a), respectiv cu 60°SR (b) [91,189]

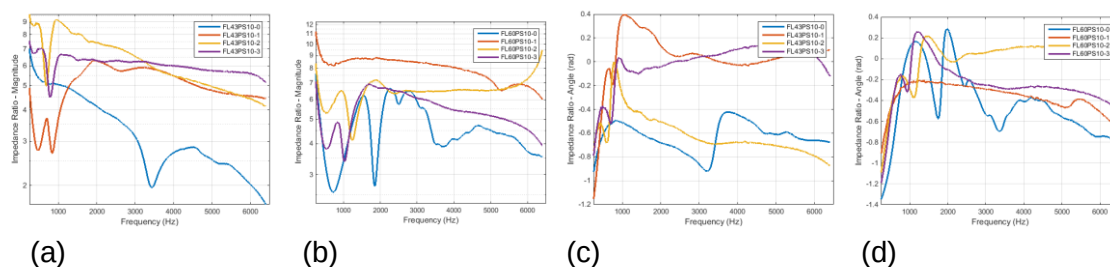


Figura 3.31 Impedanța acustică de suprafață la incidență normală a sunetului, în termeni de magnitudine și respectiv unghi: (a) Material de bază FL43PS10 – magnitudinea impedanței; (b) Material de bază FL60PS10 – magnitudinea impedanței; (c) Material de bază FL43PS10 – faza impedanței; (d) Material de bază FL60PS10 – faza impedanței. [91,189]

3.4.5 Discuții asupra rezultatelor

Analizând fotografiile probelor uscate din figura 3.16, se poate observa faptul că tratamentele cu xylan penetrează mult mai mult spuma pe bază de fibre de celuloză cu grad scăzut de batere (între 60% – pentru xylanul nativ și 70% – pentru xylanul acetilat, din grosimea probei), comparativ cu spumele din fibre celulozice cu grad ridicat de batere (între 50% și 60%, din grosimea probei). Aceste aspecte sunt prezente de asemenea în miezul probelor și devin vizibile în secțiunile longitudinale (vezi imaginile din figurile 3.27 și 3.28). Microfotografiile din figurile 3.27 și 3.28 relevă, atât modul în care xylanul penetrează structura poroasă a spumei și umple porii dintre fibrele de celuloză, cât și adâncimea locală pe care se desfășoară acest fenomen. S-a observat o creștere a adâncimii odată cu aplicarea, în următoarea ordine, a xylanului nativ, a xylanului hidrofobizat și respectiv a xylanului acetilat. Astfel, derivații de xylan umplu intensiv porii, iar acest fapt poate afecta

Într-o oarecare măsură capacitatea de absorbție acustică a spumei tratate, în special pentru frecvențe înalte, dar, totodată este capabil să crească această capacitate pentru frecvențe medii-joase. Pe de altă parte, crește integritatea structurii suprafeței și scade umectabilitatea suprafeței respective (majorează hidrofobicitatea, obiectiv urmărit în acest studiu). Imaginile secționale indică calitativ faptul că tratamentul cu xylan acetilat este capabil să ofere proprietăți funcționale mai bune decât xylanul hidrofovizat, ambele depășind capacitatea tratamentului pe bază de xylan nativ.

Având în vedere obiectivul principal al acestui studiu, trebuie analizate capabilitățile de protecție acustică obținute pentru probele tratate la suprafață, cu scopul de a identifica și caracteriza modificările produse de efectul de umplere cu xylan sau derivații acestuia. Aspectul principal este relevat de coeficientul de absorbție acustică – a se vedea diagramele din figura 3.29. În continuare se vor discuta distinct cele două grupe de spume. Astfel, grupa spumelor ce au ca punct de plecare materialul de bază FL43PS10 prezintă următoarele caracteristici: (a) toate tratamentele deplasează vârful de absorbție în frecvență la valori mai mici (sub 1000 Hz) comparativ cu proba din spumă de bază; (b) toate tratamentele scad capacitatea de absorbție pentru frecvențe medii – înalte (peste 2000 Hz), dar oferă o valoare aproximativ constantă ($\alpha \cong 0,4 - 0,6$, în funcție de tipul tratamentului); (c) xylanul nativ induce cele mai mici modificări; (d) xylanul hidrofovizat reprezintă cea mai slabă soluție din cauza scăderii majore a capacității de absorbție; (e) xylanul acetilat conduce la o caracteristică relativ constantă ($\alpha \cong 0,45 - 0,50$) pentru întregul interval de frecvență și, considerând performanțele superioare legate de hidrofobicitate, acest tratament reprezintă soluția mai bună pentru acest tip de spumă (a se înțelege materialul de bază). Pe de altă parte, grupa dezvoltată din materialul de bază FL60PS10 prezintă caracteristici diferite, după cum urmează: (a) toate tratamentele elimină/minimizează vârful de absorbție în frecvență din jurul valorii de 2000 Hz; (b) xylanul nativ reduce substanțial capacitatea de absorbție pentru întregul interval de frecvență și, prin urmare, reprezintă cea mai slabă soluție; (c) xylanul hidrofovizat reduce lent absorbția, în special pentru frecvențe înalte (mai mari de 3000 Hz); (d) xylanul acetilat menține practic aceeași tendință caracteristică ca și proba de spumă netratată la suprafață, reprezentând astfel soluția mai bună pentru acest tip de spumă (a se înțelege materialul de bază).

Combinând specificitățile de absorbție acustică ale celor două grupe de materiale și considerând caracteristicile de hidrofobicitate, rezultă faptul că (a) xylanul nativ poate fi utilizat pentru fibre de celuloză cu grad scăzut de batere, dar nu permite o contribuție suficientă la îmbunătățirea hidrofobității; (b) xylanul hidrofovizat reprezintă o bună alegere pentru fibre de celuloză cu grad ridicat de batere, în special pentru frecvențe medii între 1000...5000 Hz; (c) xylanul acetilat oferă o alternativă de tratament cu atât mai bună, cu cât crește gradul de batere al spumei celulozice de bază. Comparativ cu materialele sintetice, pe bază de petrol, spumele pe bază de fibre de celuloză (cu sau fără tratamente de suprafață) prezintă performanțe bune de absorbție acustică. Acest aspect și specificitățile prezentate anterior rezultă în mod clar din analiza comparativă prezentată în diagrama din figura 3.32. Scăderea relativă a capacității de absorbție pentru probele tratate, în raport cu caracteristica structurală de bază a spumei celulozice și respectiv cu tratamentele aplicate cu derivații de xylan, poate fi explicată prin scăderea numărului de goluri aproape de suprafață (prin efectul de umplere indus de xylan) și implicit prin creșterea coeficientului de reflexie acustică. Astfel, diagramele din Figura 3.29 pun clar în evidență acest aspect. În plus, graficele suprapuse din figura 3.33 indică faptul că materialele comerciale pe bază de petrol prezintă capacități

maxime de reflexie acustică în comparație cu spumele celulozice, dar tratamentele de suprafață cresc, mai mult sau mai puțin, această capacitate a spumelor (evident, în detrimentul absorbției acustice). Alegerea corectă a tratamentului pe bază de xylan acetilat rezultă și din diagrama comparativă a coeficientului de reflexie acustică prezentată în figura 3.33.

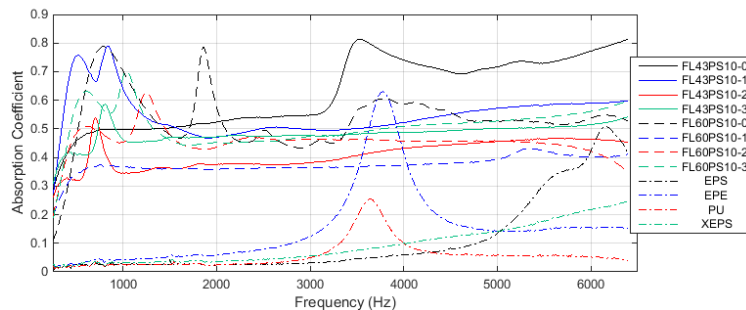


Figura 3.32 Diagrama comparativă a coeficienților de absorbție acustică pentru întreg setul de materiale utilizate în investigațiile experimentale (codificările sunt detaliate în text) [189]

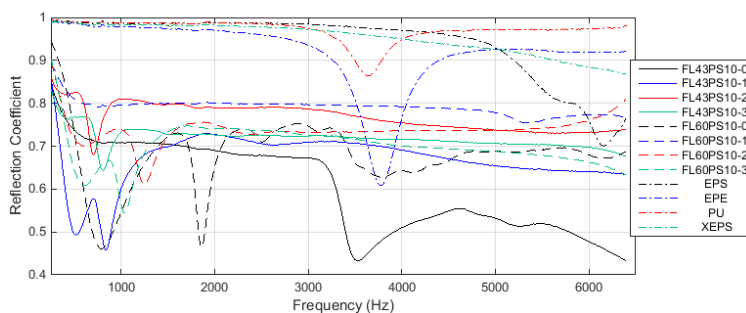


Figura 3.33 Diagrama comparativă a coeficienților de reflexie acustică pentru întreg setul de materiale utilizate în investigațiile experimentale (codificările sunt detaliate în text) [91]

Diagramele corespunzătoare impedanței acustice de suprafață la incidența normală a undelor acustice – figura 3.31 evidențiază și justifică aspectele prezentate anterior, valabil în special în ceea ce privește magnitudinea impedanței (diagramele unghiului de impedanță dezvăluie modificările din evoluția magnitudinii). Valorile mai mari ale impedanței materialelor sintetice pe bază de petrol susțin observația anterioară conform căreia spumele celulozice (cu sau fără tratamente de hidrofobicitate aplicate suprafeței) oferă proprietăți bune de absorbție acustică în comparație cu aceste materiale utilizate la scară largă în aplicații de control al zgomotului și protecție acustică.

3.5 Analiza multicriterială a performanțelor spumelor celulozice în domeniul controlului zgomotului

În încercarea de a extrapola rezultatele astfel obținute, a fost considerat un set suplimentar de probe din spumă celulozică pe bază de fibre lungi (de rășinoase), obținut în aceleași condiții referitoare la metode, proceduri, parametri specifici și variabilitate a acestora, dar dintr-o altă șarjă de pulpă (pastă) celulozică. Aceste materiale au fost evaluate în aceleași condiții, cu aceleași metode și echipamente prezentate anterior. Rezultatele au fost analizate comparativ, multicriterial, cu scopul de a fundamenta observațiile și concluziile parțiale deja formulate.

Pentru început au fost considerate spume obținute din pastă celulozică având gradul de batere 43°SR , respectiv 60°SR , fiecare categorie fiind obținută cu procente variabile de agent spumant (SDS): 2%, 4%, 6%. Rezultatele individuale, pentru fiecare tip de pastă celulozică, sunt prezentate în figura 3.34. Fiecare diagramă din figura 3.34 conține evoluțiile în frecvență pentru toate cele trei valori ale procentului de agent spumant. Pentru facilitarea analizei comparative multicriteriale au fost considerate suplimentar reprezentări de tip tridimensional, obținute prin procedeul clasic de interpolare. Rezultatele sunt reprezentate în figura 3.35, unde coloana din stânga reprezintă rezultatele corespunzătoare pastei celulozice cu 43°SR , iar coloana din dreapta pentru pastă celulozică cu 60°SR . Din punct de vedere calitativ, diferențele dintre cele două materiale de bază sunt evidente, spumele din fibre cu 43°SR oferind un domeniu de frecvențe mult mai larg în care pot asigura valori ale coeficientului de absorbție acustică superior valorii de 0.5. Este evident faptul că ambele categorii de spume își largesc domeniul de frecvențe în care sunt capabile să ofere valori acceptabile ale coeficientului de absorbție acustică odată cu majorarea porozității prin creșterea cantității de agent spumant în procesul inițial de formare.

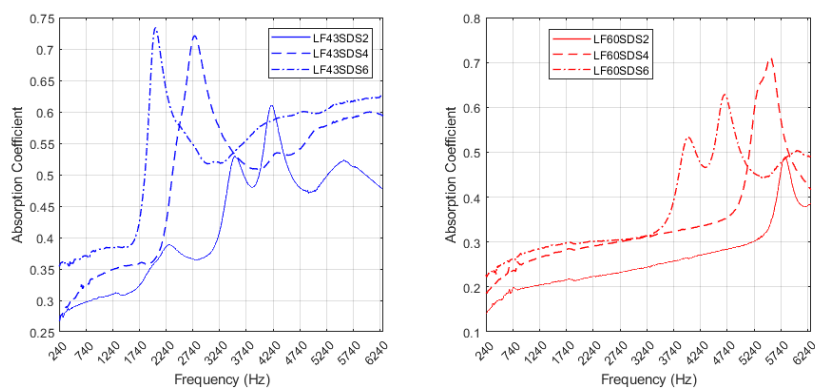


Figura 3.34 Coeficientul de absorbție acustică pentru probele din spumă celulozică netratată cu grad diferit de spumare (codul reprezentărilor: albastru – pastă celulozică cu 43°SR , roșu – pastă celulozică cu 60°SR) [189]

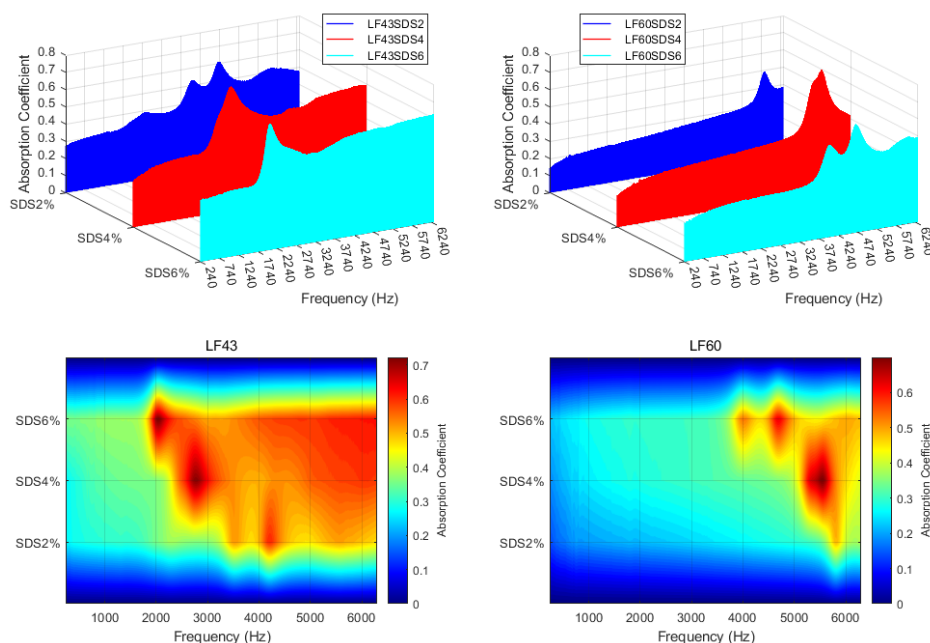


Figura 3.35 Analiza comparativă tridimensională interpolată a coeficientului de absorbție acustică obținut pentru probele din spumă celulozică netratată, cu grad diferit de spumare

Ținând cont de scopul enunțat inițial al acestui studiu – acela de a oferi o analiză comparativă multicriterială asupra tipurilor și categoriilor de spume celulozice prezentate în capitolele anterioare, în continuare se va proceda la analiza în comun a celor șase tipuri de spume celulozice. Suplimentar, se vor utiliza și rezultatele corespunzătoare unor așa zise materiale de referință, sintetice, pe bază de petrol, de tipul polistiren expandat (EPS) și extrudat (XEPS), poliuretan (PU), respectiv polietilenă expandată (EPE). Rezultatele obținute sunt prezentate în figura 3.36, sub două forme și anume: diagramă clasică obținută prin suprapunerea tuturor curbelor caracteristice ale coeficienților de absorbție acustică (reprezentare pentru valori discrete ale parametrilor variabili), respectiv reprezentare tridimensională, obținută prin procedee clasice de interpolare a datelor. Diagrama superioară din figura 3.36 oferă suportul necesar unei analize cantitative a diferențelor dintre performanțele potențiale ale acestor materiale. Suplimentar, diagrama inferioară din figura 3.36, deși este principal calitativă, relevă clar tendințele evolutive ale tuturor grupelor de materiale de bază considerate și evident diferențele majore dintre spume și materialele sintetice, cu referire strictă la coeficientul de absorbție acustică.

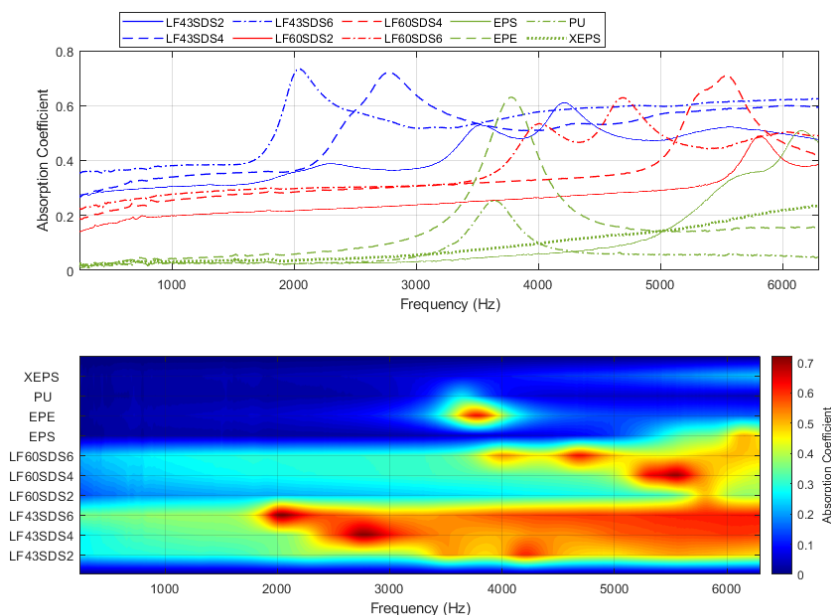


Figura 3.36 Coeficientul de absorbție acustică al probelor din spumă celulozică netratată (cu grad de spumare și respectiv de batere variabile) comparativ cu cel al probelor din materiale sintetice

Dacă în prima etapă au fost considerate exclusiv spumele celulozice netratate (în sensul prezentat în secțiunea 3.4), în continuare se vor considera tratamentele superficiale pe bază de xylan și derivații acestuia (xylan acetilat, respectiv hidrofobizat), aplicate unei spume inițial obținute pe bază de pulpă celulozică cu 43°SR / 60°SR și cu 4% SDS. Acest procent de agent spumant a fost adoptat pe baza a două aspecte: (i) este valoarea medie a intervalului de valori limitate inferior / superior pe criterii de asigurare a unei porozități minime necesare, respectiv păstrarea integrității structurale și (ii) analiza justificării majorării procentului de SDS în raport cu aportul în capacitatea potențială de absorbție acustică furnizată. Astfel, în figura 3.37 sunt prezentate digramele corespunzătoare coeficienților de absorbție acustică pentru cele două categorii de spume celulozice de bază. Fiecare diagramă conține patru grafice, corespunzătoare respectiv materialului de bază netratat și celor tratate cu xylan nativ (cod Xy1), hidrofobizat (cod Xy2) și acetilat (cod Xy3). Respectând regula din prima parte a

acestui studiu, datele obținute au fost suplimentar reprezentate grafic în configurație tridimensională, apelând la procedeul clasic de interpolare a funcțiilor numerice de două variabile. Rezultatele sunt prezentate în figura 3.38, cu respectarea codificărilor unitare atât pentru spuma de bază, cât și pentru tratamentele superficiale aplicate.

O analiză comparativă multicriterială a întregului ansamblu de diagrame din figurile 3.37 și 3.38, în raport cu gradul de mărunțire (de baterie) a pastei celulozice utilizată pentru fiecare categorie de spumă și respectiv cu tipul tratamentului aplicat, relevă, atât din punct de vedere cantitativ discret, cât și calitativ evolutiv diferențele dintre performanțele potențiale ale celor două categorii de materiale. Se observă clar că tratamentele translatează punctele de maxim către valori mai joase ale frecvenței, cu menținerea în continuare, după respectiva frecvență, a unui relativ palier corespunzător unor valori acceptabile pentru coeficientul de absorbție acustică. Mărima domeniului translatat este redusă pentru spumele celulozice cu 43°SR (aprox. 1500 Hz), comparativ cu cele cu 60°SR, pentru care translatarea rezultă aproximativ pe întreg domeniul de frecvență considerat.

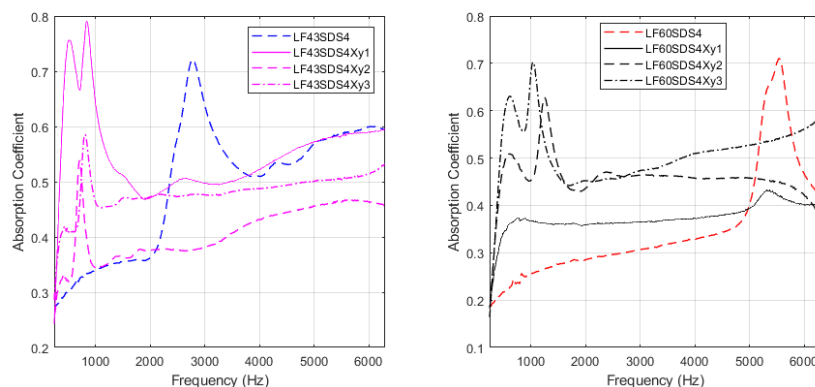


Figura 3.37 Coeficientul de absorbție acustică pentru probe din spumă celulozică tratată cu xylan și respectiv derivați ai acestuia [189]

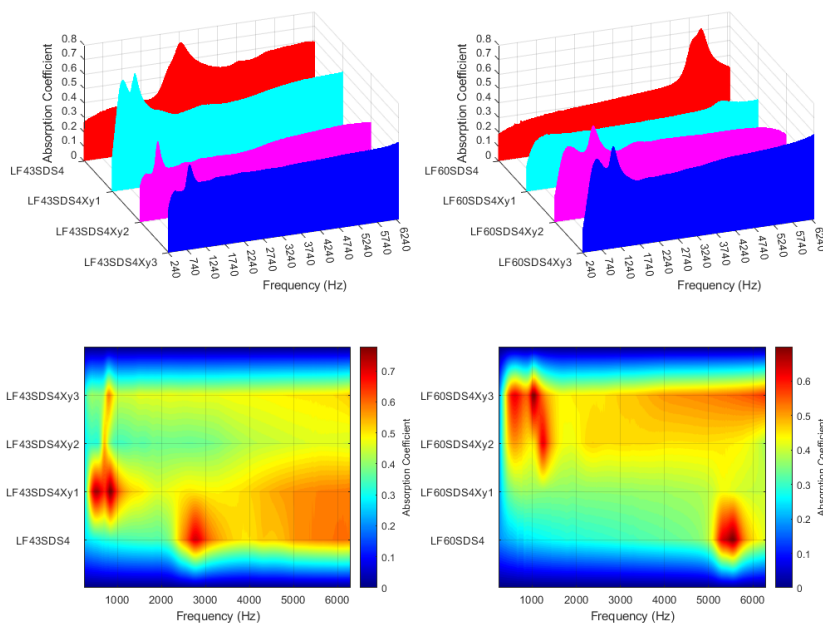


Figura 3.38 Analiza comparativă tridimensională interpolată a coeficientului de absorbție acustică obținut pentru probe din spumă celulozică tratată cu xylan și respectiv derivați ai acestuia

În același timp, se observă faptul că, dacă pentru spumele tip LF43 tratamentul cu xylan hidrofobizat induce o diminuare considerabilă a performanței absorbției, la spumele tip LF60 acest lucru se întâmplă pentru tratamentul cu xylan nativ. Această ultimă observație este evidentă, chiar dacă preponderent calitativ, pe diagramele interpolate din figura 3.38. De asemenea, se observă clar tendința spumelor tratate că în jurul frecvenței de 2000 Hz să ofere valori minime ale coeficientului de absorbție acustică, lucru manifestat indiferent de natura pastei celulozice de bază sau a tipului de tratament superficial aplicat. Se poate concluziona că ansamblul observațiilor prezentate în acest ultim paragraf reprezintă punctele slabe ale procedurii de îmbunătățire a performanțelor de rezistență și hidrofobicitate prin utilizarea xylanului sau a derivaților săi.

În finalul acestui studiu comparativ multicriterial vor fi analizate unitar toate tipurile și categoriile de spume celulozice considerate și anume cele netratate, cu procente diferite de agent spumant (implicit, cu porozitate variabilă), cele tratate cu diferite rețete pe bază de hemiceluloză (xylan). În această situație, pentru prezentarea rezultatelor s-a optat exclusiv pentru varianta tridimensională interpolată a coeficienților de absorbție acustică în funcție de domeniul de frecvență și respectiv natura materialului/spumei. Rezultatul este prezentat în figura 3.39, unde diagrama (a) evidențiază foarte clar punctele de maxim și tendințele de menținere a unor relative paliere caracterizate de valori ale coeficientului de absorbție cu variabilitate redusă, iar diagrama (b) este utilă în identificarea suplimentară a tendințelor de modificare a caracteristicii de absorbție în funcție de tipul și categoria spumei celulozice. De asemenea, reprezentarea din partea inferioară a figurii 3.39 pune în evidență diferențele majore dintre categoriile de spume cu referire la caracteristica pastei celulozice și a prezenței tratamentului pe bază de xylan. În acest sens, se observă diferențele dintre grupele LF43 și LF60, avantajul fiind oferit de un grad de mărunțire mai redus (LF43) pentru aceste spume acoperă cu valori acceptabile ale coeficientului de absorbție acustică un domeniu mai larg de frecvențe. Zona materialelor îmbunătățite superficial cu hemiceluloze este oarecum compactă, cu valori maxime ale coeficientului de absorbție la frecvențe joase, de maximum 1250 Hz, cu paliere de valori acceptabile pentru întreg restul domeniului de frecvență.

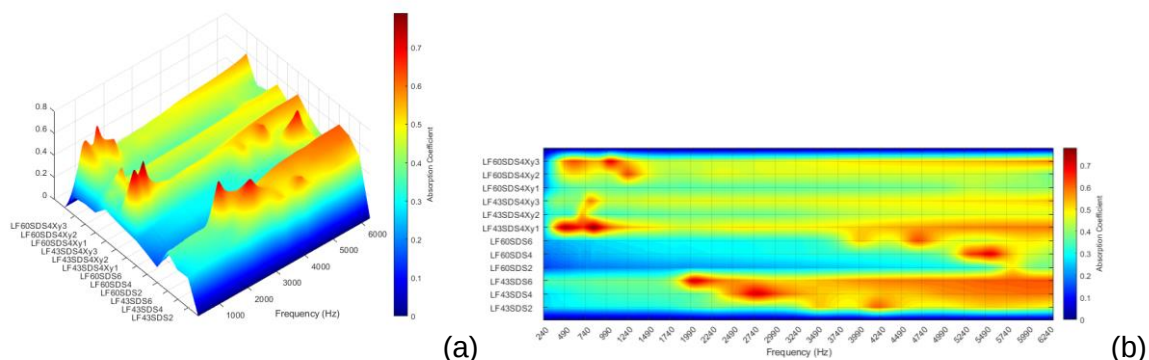


Figura 3.39 Analiza comparativă tridimensională interpolată a coeficientului de absorbție acustică pentru ambele categorii de spume celulozice investigate

În continuare, așa cum a fost precizat încă de începutul acestui studiu, se va aborda problematica referitoare la evaluarea coeficientului de reducere a zgomotului (NRC). În acest sens, a fost considerat ansamblul diagramelor referitoare la coeficientul de absorbție acustică, pentru care, în mod individual, au fost prereslevate valorile specifice la 250, 500, 1000 și respectiv 2000 Hz. Această etapă este reprezentată în figura 3.40, în care pentru fiecare diagramă a coeficientului de absorbție acustică au fost marcate corespunzător

valorile de interes. Evident că aplicația dezvoltată special pentru această analiză în platforma Matlab memorează și gestionează corespunzător fiecare set de valori.

Valorile obținute în etapa anterioară au fost analizate comparativ, în funcție de material și de frecvența specifică, iar rezultatele sunt prezentate în diagrama din figura 3.41. Importanța acestei analize este dată de următoarele aspecte și anume: (i) pune în evidență atât calitativ, cât și cantitativ, pentru fiecare tip de material, aportul fiecărei componente în ansamblul NRC-ului și (ii) facilitează analiza comparativă între tipurile de materiale, pentru fiecare frecvență specifică a NRC-ului, identificând astfel variațiile punctuale ale coeficientului de absorbție acustică în raport cu variațiile parametrului de material (porozitate, tratament adițional, mărimea și densitatea fibrelor celulozice prin gradul de batere al spumei utilizate).

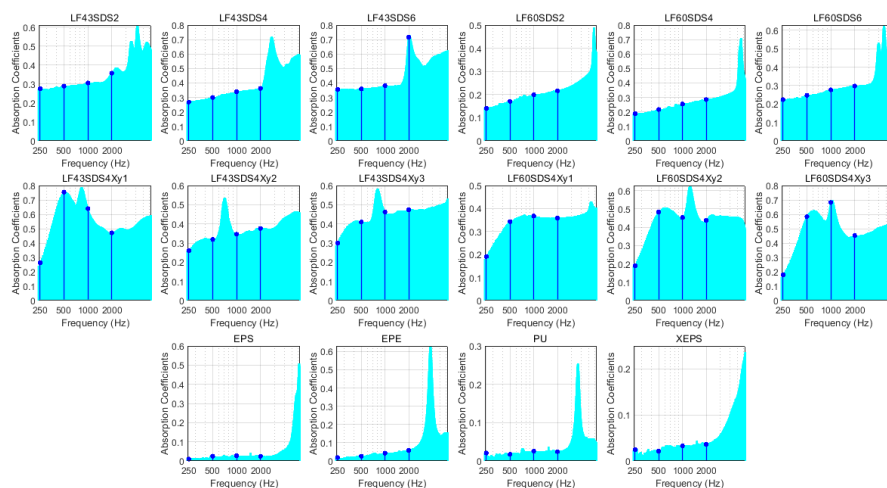


Figura 3.40 Valorile coeficienților de absorbție la 250, 500, 1000 și 2000 Hz, evaluate pentru toată gama de materiale investigate

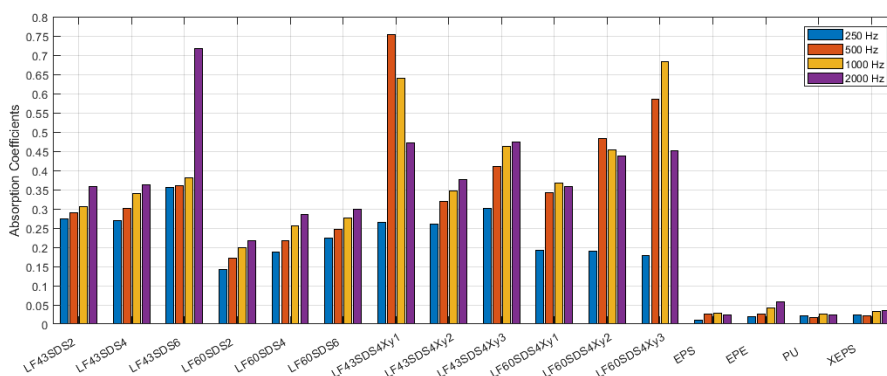


Figura 3.41 Prezentarea comparativă a componentelor necesare evaluării NRC

Dificultatea identificării tuturor aspectelor menționate în paragraful anterior poate fi minimizată prin gruparea convenabilă a datelor în funcție de obiectivul urmărit în analiză. Astfel, în figura 3.42 au fost generate două serii de câte patru diagrame ce corespund existenței sau nu a tratamentului superficial cu xylan (seriile reprezentate pe rânduri), respectiv frecvenței specifice procedurii de evaluare a NRC-ului (coloanele). Fiecare diagramă din figura 3.42 reprezintă valoarea coeficientului de absorbție în funcție de parametrul relevant pentru fiecare serie și anume: procentul de SDS (gradul de spumare) – pentru spumele netratate, respectiv tipul tratamentului – pentru spumele tratate superficial.

Pentru toate cele opt diagrame parametru considerat în analiză este gradul de batere (mărunțire) al fibrelor. Analizând prima serie de diagrame rezultă clar faptul că materialele pe bază de LF43 oferă performanțe superioare celor din categoria LF60. Pentru a doua serie situația este identică doar la frecvența de 250 Hz, în rest apărând interschimbări în funcție de natura tratamentului aplicat, în special pentru xylanul hidrofobizat și acetilat.

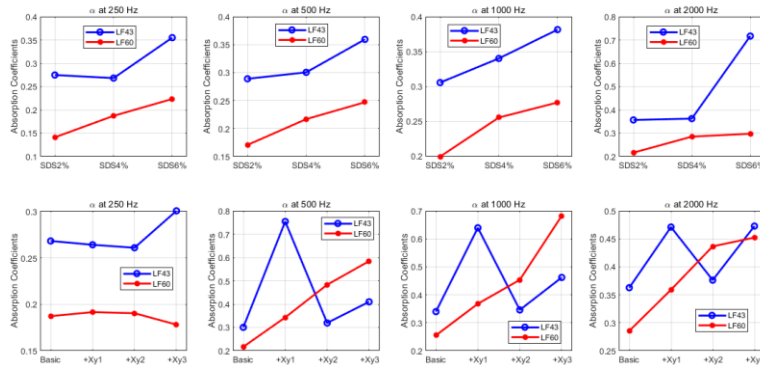


Figura 3.42 Analiza comparativă a coeficienților de absorbție pentru fiecare frecvență considerată și respectiv pentru fiecare categorie de spume celulozice (netratată – primul rând de diagrame, tratată – al doilea rând de diagrame)

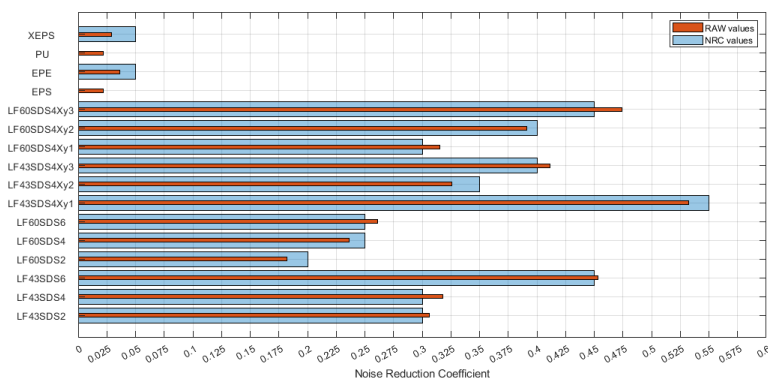


Figura 3.43 Valorile parametrului NRC pentru toată gama de spume celulozice investigate

Cu informațiile obținute în prima etapă, prin mediere, rezultă valorile brute ale coeficientului de reducere a zgomotului. Acestea sunt reprezentate în diagrama din figura 3.43 cu segmente de culoare închisă. Conform definiției acceptate a NRC-ului, rezultatele obținute în urma medierii se rotunjesc la multiplu de 0.05. Acestea sunt de asemenea reprezentate în figura 3.43 prin segmente de culoare deschisă. A fost considerat acest mod dual de prezentare a datelor pentru că valorile brute (*engl. raw*), cele obținute strict prin mediere, conțin informația completă referitoare la performanța absorbției acustice și prezintă relevanță în analize comparative multiple, în special în situația în care domeniul de variație al NRC-urilor este suficient de strâns sau unele valori din ansamblul considerat sunt foarte reduse.

CAPITOLUL 4

ANALIZA COMPUTAȚIONALĂ A CARACTERISTICILOR SPUMELOR CELULOZICE

4.1 Estimarea computațională a coeficientului de absorbție acustică

Modelarea și simularea materialelor tip spumă pe bază de fibre celulozice a fost realizată prin utilizarea și implementarea în aplicații computaționale, a tehnicilor specifice predicției coeficientului de absorbție acustică utilizând metoda matricei de transfer (*engl. Prediction of Sound Absorption Coefficient using the Transfer Matrix Method*, prescurtat PSAC-TMM). Tehnica PSAC-TMM este o abordare computațională utilizată pe scară largă în domeniul ingineriei acustice, pentru simularea și evaluarea comportamentului absorbant al materialelor sau al sistemelor multistrat.

4.2 Analiza comparativă a estimărilor modelului JCA cu formulările DB și JCAPL

Ținând cont formulările analitice ale modelelor empirice și fenomenologice prezentate anterior, respectiv de principiul de lucru al metodei PSAC-TMM, în continuare se vor prezenta rezultatele unei analize comparative multicriteriale realizată între răspunsul modelului fenomenologic de bază tip JCA și respectiv cele ale modelelor DB și JCAPL. Alături de frecvență, parametri variabili au fost considerați următorii: rezistivitatea la curgere și grosimea stratului de material poros, aceștia fiind comuni întregului ansamblu de modele.

Fiecare set de diagrame conține următoarele tipuri de reprezentări considerate a fi relevante în evaluarea performanței comparative dintre modelele considerate, în legătură cu oportunitatea și justificarea adoptării unui tip de model pentru estimarea coeficientului de absorbție acustică: (i) reprezentarea comparativă a suprafețelor interpolate corespunzătoare variației coeficientului de absorbție în funcție de parametri considerați; (ii) reprezentarea curbelor în raport cu frecvența pentru valori discrete ale celui alt parametru considerat; (iii) reprezentarea curbelor de egală valoare pentru întreg domeniul de variație corespunzător ambilor parametri, cu marcarea valorilor specifice fiecărei curbe de nivel.

În figura 4.1 sunt prezentate diagramele comparative dintre estimările corespunzătoare modelelor JCA și DB, în funcție de frecvență și respectiv de rezistivitatea la curgere prin materialul poros. Domeniul de variație al frecvenței, pentru fiecare caz analizat, a fost considerat cel corespunzător unui tub acustic de tip Kundt, adică 100 ... 6000 Hz. Domeniul de variație pentru rezistivitatea la curgere a fost adoptat în intervalul $(0.5 \dots 3) \times 10^4$ Pas/m², acesta conținând valorile tipice pentru materialele poroase și/sau fibroase.

În figura 4.2 sunt prezentate diagramele comparative dintre estimările corespunzătoare modelelor JCA și DB, în funcție de frecvență și respectiv de grosimea stratului de material poros. Acest ultim parametru are domeniul de variație situat în intervalul 10 ... 100 mm, ținând cont de faptul că acestea sunt grosimile uzual folosite pentru un strat de material fonoabsorbant.

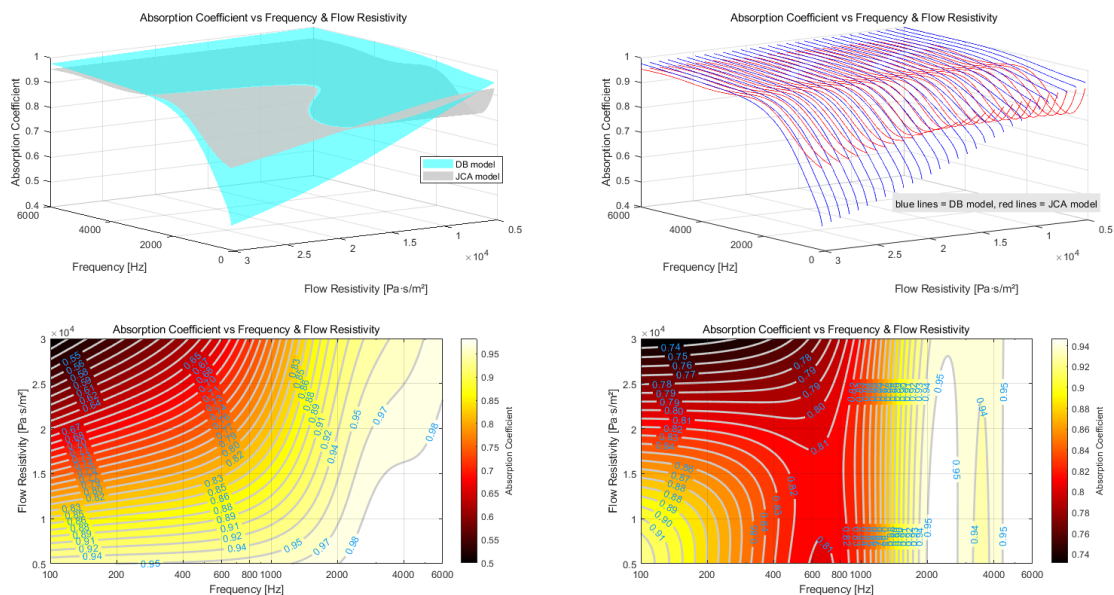


Figura 4.1 Analiza comparativă dintre estimările modelelor JCA și DB în funcție de frecvență și de rezistivitatea la curgere

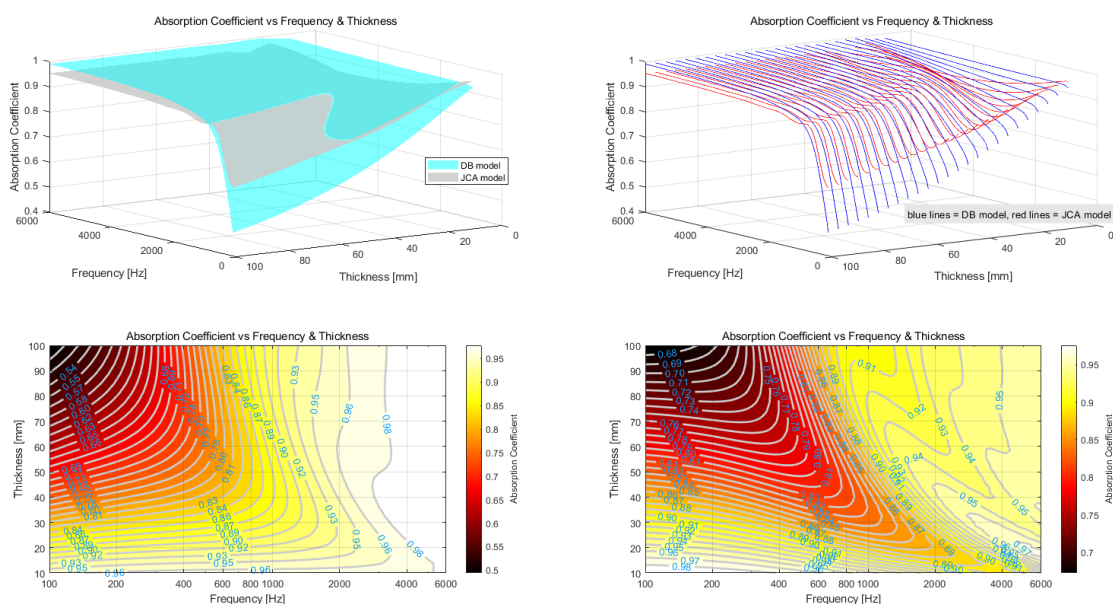


Figura 4.2 Analiza comparativă dintre estimările modelelor JCA și DB în funcție de frecvență și de grosimea stratului de material

Pentru facilitarea analizei comparative au fost evaluate erorile absolute dintre cele două estimări, cea bazată pe modelul JCA și respectiv cea oferită de modelul DB. Aceste evaluări au fost realizate separat pentru cele două cazuri prezentate în figurile 4.1 și 4.2. Rezultatele au fost reprezentate tridimensional prin interpolarea rețelei de puncte rezultată în urma evaluării erorii absolute.

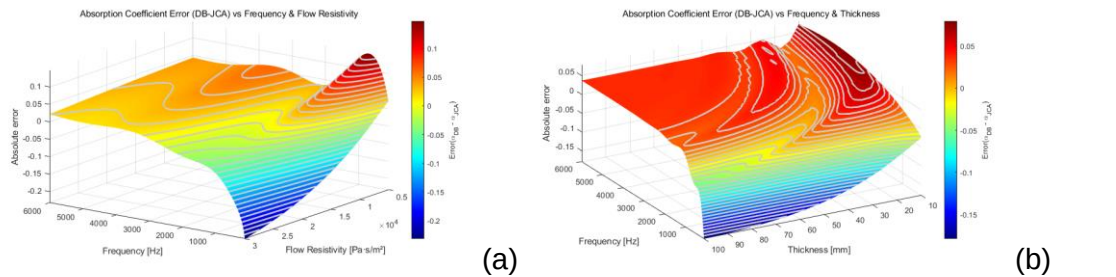


Figura 4.3 Eroarea dintre estimările coeficientului de absorbție cu modelele JCA și DB în funcție de rezistivitatea la curgere (a) și respectiv grosimea materialului (b)

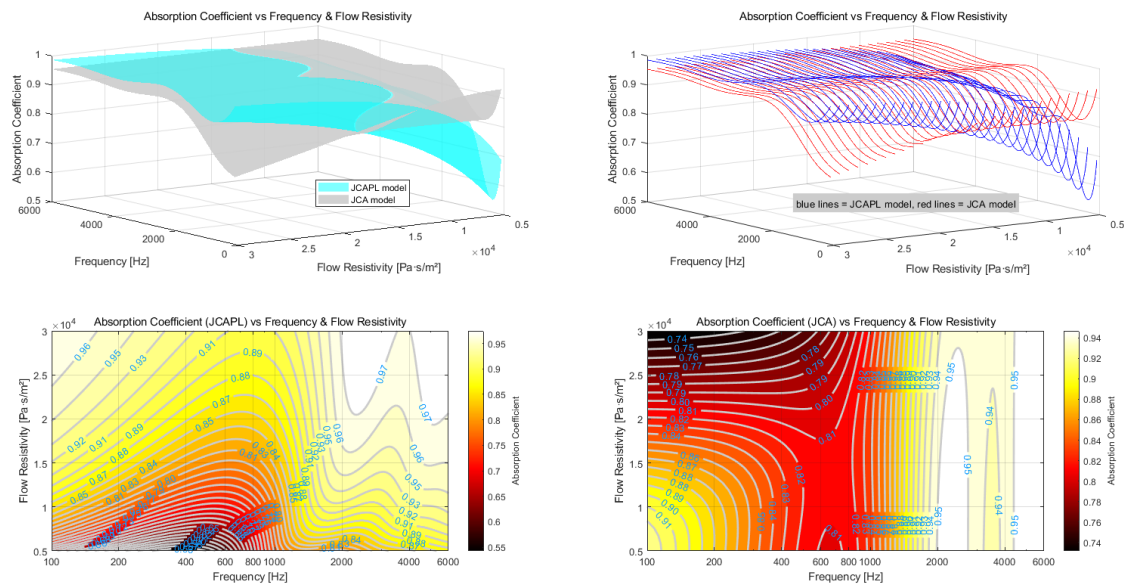


Figura 4.4 Analiza comparativă dintre estimările modelelor JCA și JCAPL în funcție de frecvență și de rezistivitatea la curgere

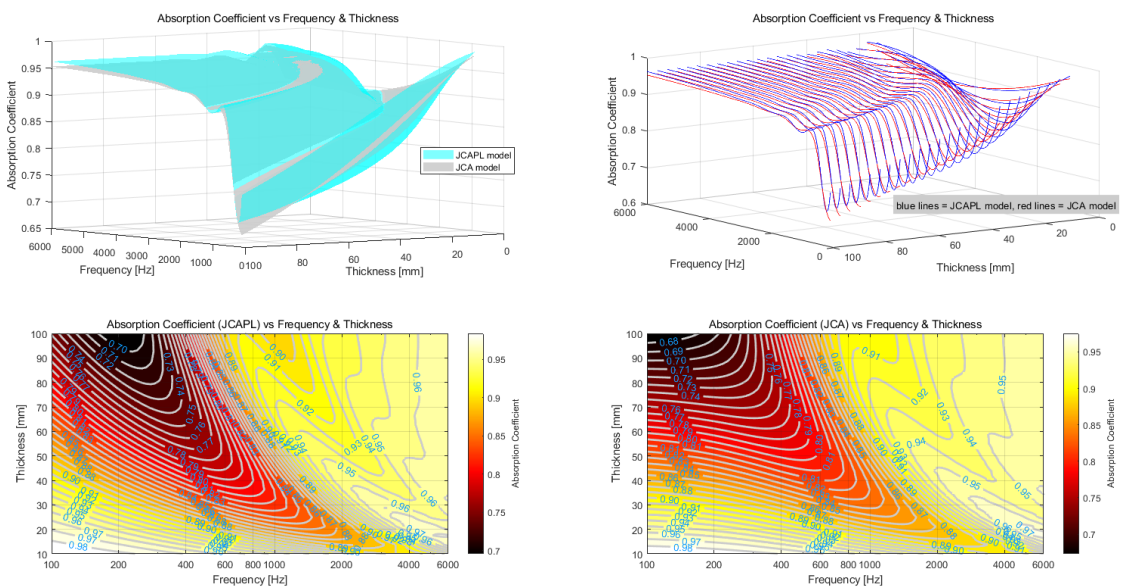


Figura 4.5 Analiza comparativă dintre estimările modelelor JCA și JCAPL în funcție de frecvență și de grosimea stratului de material

În mod analog celor două analize comparative multicriteriale prezentate anterior, în continuare s-a procedat la reluarea procedurii de analiză, dar modelul empiric DB a fost înlocuit cu varianta avansată JCAPL a modelului de bază JCA. Așa cum a fost menționat la început, au fost considerați aceeași parametri variabili (rezistivitatea la curgere, respectiv grosimea stratului de material poros), ambii păstrând aceleași intervale de variație ca în cazul precedent. Rezultatele sunt prezentate respectiv în figurile 4.4 și 4.5, iar erorile absolute dintre estimările celor două modele se regăsesc în figura 4.6.

Din analiza diagramelor corespunzătoare erorilor absolute (figurile 4.3, respectiv 4.6) rezultă o primă observație comună tuturor situațiilor și anume faptul că erorile prezintă valori extreme în zona frecvențelor joase. O a doua observație este aceea că, pentru domeniul frecvențelor medii – înalte, variațiile rezistivității la curgere nu conduc la diferențe majore între cele două modele DB și JCAPL, comparativ cu modelul JCA. Pe de altă parte, în cazul parametrului grosime a stratului de material poros, acesta, pentru valori proprii situate spre capătul inferior al domeniului de variație (valori < 40 mm), induce diferențe consistente (ce cresc odată cu micșorarea grosimii) între cele două categorii de evaluări bazate pe DB / JCAPL versus JCA.

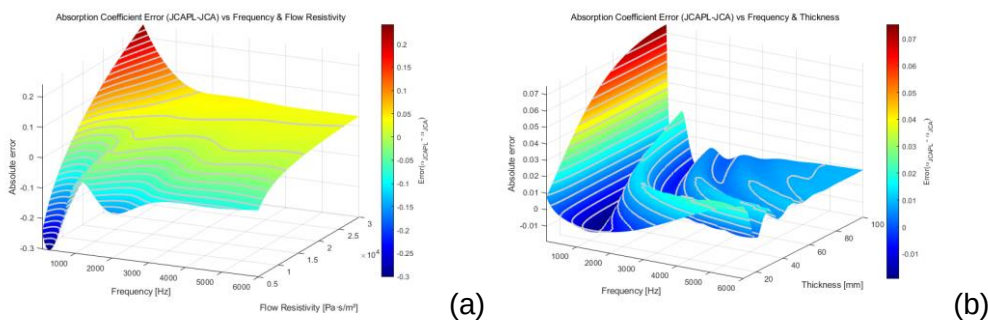


Figura 4.6 Eroarea dintre estimările coeficientului de absorbție cu modelele JCA și JCAPL în funcție de rezistivitatea la curgere (a) și respectiv grosimea materialului (b)

4.3 Estimarea parametrilor specifici ai spumelor celulozice

Ținând cont de disponibilitatea valorilor coeficienților de absorbție determinați experimental pentru diverse categorii de spume pe bază de fibre celulozice și respectiv de capacitatea unor modele empirice comportamentale (dintre cele prezentate în capitolul 2) de a simula răspunsul acestor tipuri de materiale la stimuli acustici, a fost realizat un studiu privind estimarea valorilor parametrilor specifici ai materialelor prin armonizarea și calibrarea modelelor computaționale cu ajutorul răspunsurilor identificate inițial prin investigații experimentale.

În conformitate cu precizările din literatura de specialitate [58] au fost adoptate două modele empirice comportamentale și anume JCA, respectiv varianta îmbunătățită a acestuia JCAPL, pentru că aceste două modele oferă o compatibilitate ridicată cu fenomenologia și răspunsul specifice materialelor de tip spumă pe bază de fibre celulozice (având proprietăți fizice cu valori în domeniul celor investigate în acest studiu).

Pentru evaluarea parametrilor specifici modelelor comportamentale JCA – expresiile (2.9, 2.10), respectiv JCAPL – expresiile (2.12, 2.13) a fost utilizat procedeul de regresie neliniară pe baza metodei celor mai mici pătrate (implementat cu ajutorul funcțiilor disponibile în

platforma Matlab). Suplimentar, a fost utilizată opțiunea de optimizare a valorilor inițiale și au fost definite liimitele domeniilor de variație (pentru toată gama de parametri proprii fiecărui tip de model comportamental).

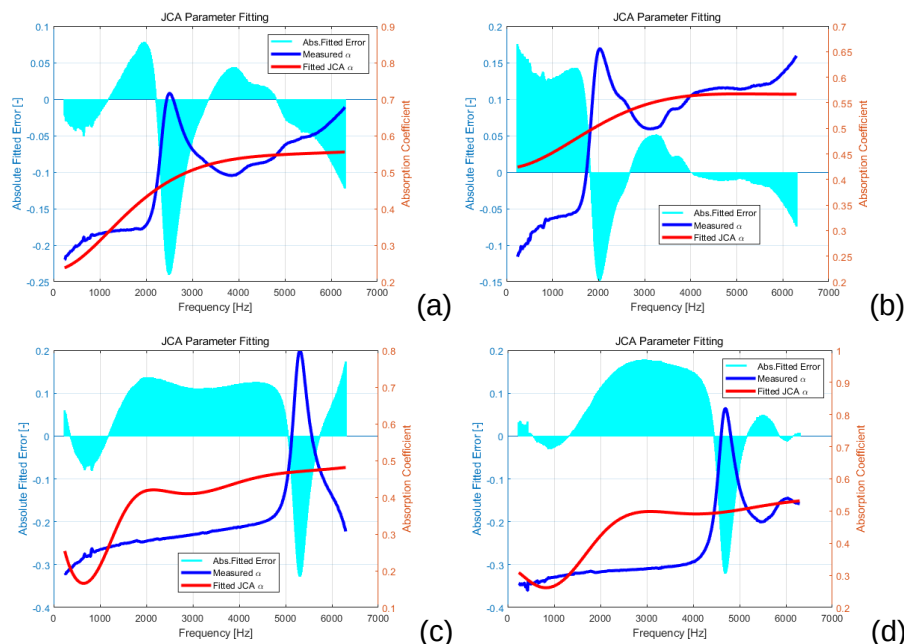


Figura 4.7 Estimarea coeficientului de absorbție al spumelor celulozice netratate, cu ajutorul modelului JCA, la probele: LF43SDS4 (a), LF43SDS6 (b), LF60SDS4 (c), LF60SDS6 (d).

Procedura de lucru a inclus utilizarea algoritmului Levenberg-Marquardt (LMA) cunoscut în literatură și sub numele de metoda celor mai mici pătrate amortizate - damped least-squares (DLS) method. Algoritmul LMA presupune o optimizare între algoritmul Gauss-Newton și metoda gradientului descrescător, fiind, datorită avantajelor oferite, foarte des utilizată pentru rezolvarea problemelor neliniare de regresie de tip "non-linear least squares curve fitting".

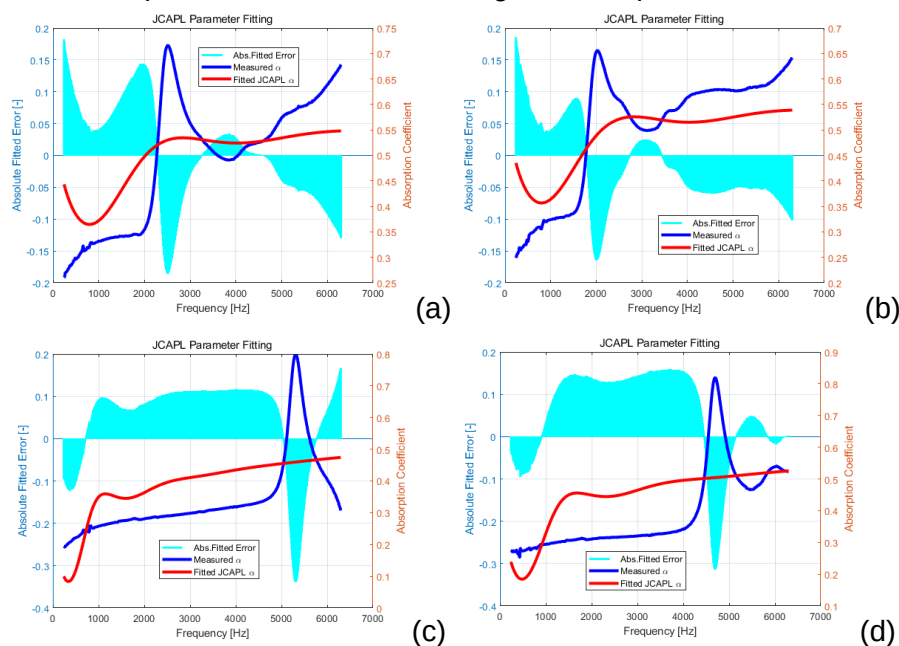


Figura 4.8 Estimarea coeficientului de absorbție al spumelor celulozice netratate, cu ajutorul modelului JCAPL, pentru probele: LF43SDS4 (a), LF43SDS6 (b), LF60SDS4 (c), LF60SDS6 (d).

Materialele utilizate pentru identificarea parametrilor specifici au fost cele din fibre lungi, cu grad de mărunțire 43°SR și 60°SR, având procente de 4% și respectiv 6% agent de spumare, fără și cu tratament superficial cu xylan sau derivați ai acestuia (LF43SDS4, LF43SDS6, LF60SDS4, LF60SDS6, LF43SDS4Xy1,2,3, LF60SDS4Xy1,2,3).

Rezultatele obținute în urma procedurii de identificare parametrică se pot grupa astfel: (a) coeficientul de absorbție estimat, (b) caracteristicile de material referitoare la porozitate, tortuozitate și rezistivitate la curgere, respectiv (c) parametrii specifici modelelor comportamentale precum lungimea vâscoasă și termică (model JCA) sau lungimea vâscoasă și permeabilitatea vâscoasă/termică (model JCAPL).

În figurile 4.7 ... 4.10 sunt prezentate rezultatele estimate referitoare la coeficientul de absorbție. Fiecare diagramă conține atât coeficientul de absorbție estimat, cât și pe cel evaluat experimental, în domeniul de frecvență de interes. Suplimentar, a fost reprezentată evoluția erorii absolute dintre cele două abordări: experimental versus computațional.

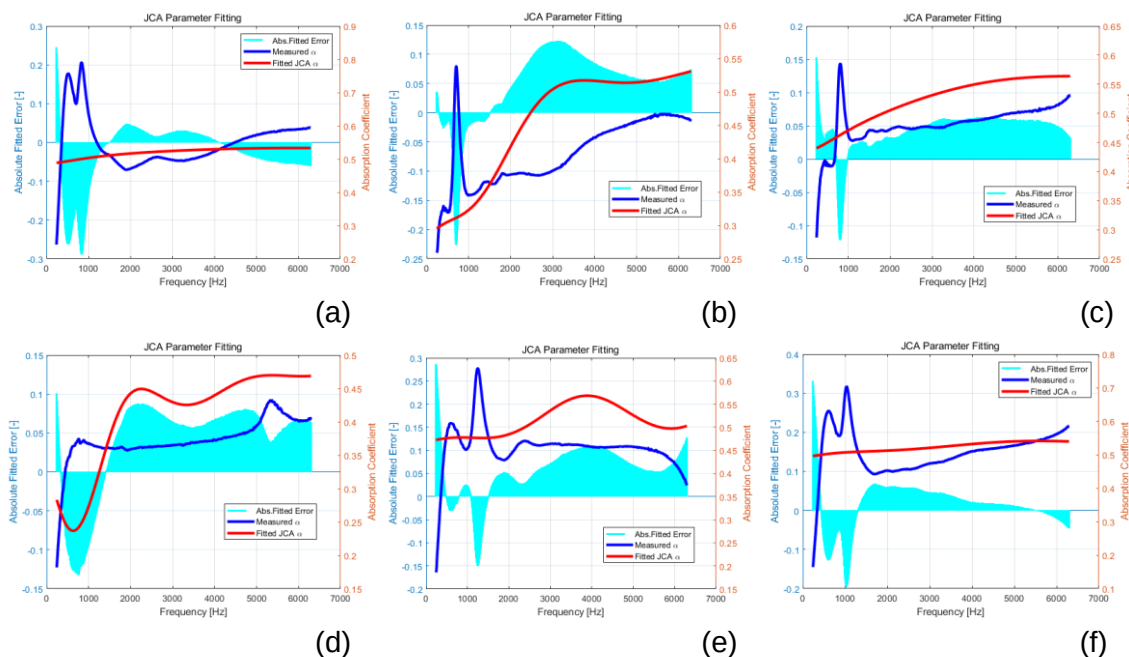


Figura 4.9 Estimarea coeficientului de absorbție al spumelor celulozice tratate cu xylan, cu ajutorul modelului JCA, pentru probe: LF43SDS4Xy1 (a), LF43SDS4Xy2 (b), LF43SDS4Xy3 (c), LF60SDS4Xy1 (d), LF60SDS4Xy2 (e), LF60SDS4Xy3 (f).

Caracteristicile de material estimate pe baza aproximărilor JCA, respectiv JCAPL sunt prezentate sintetic în tabelul 4.2. Aceste sunt grupate în funcție de modelul computațional utilizat și de categoria generală de material (tratată / netratată cu xylan sau derivați ai acestuia). Pentru fiecare tip de material sunt prezentate valorile estimate ale rezistivității la curgere, tortuozității și porozității.

În ceea ce privește parametrii caracteristici ai modelelor computaționale (lungimi, respectiv permeabilități termice / vâscoase), acestea au fost evaluate exclusiv în vederea estimării coeficientului de absorbție.

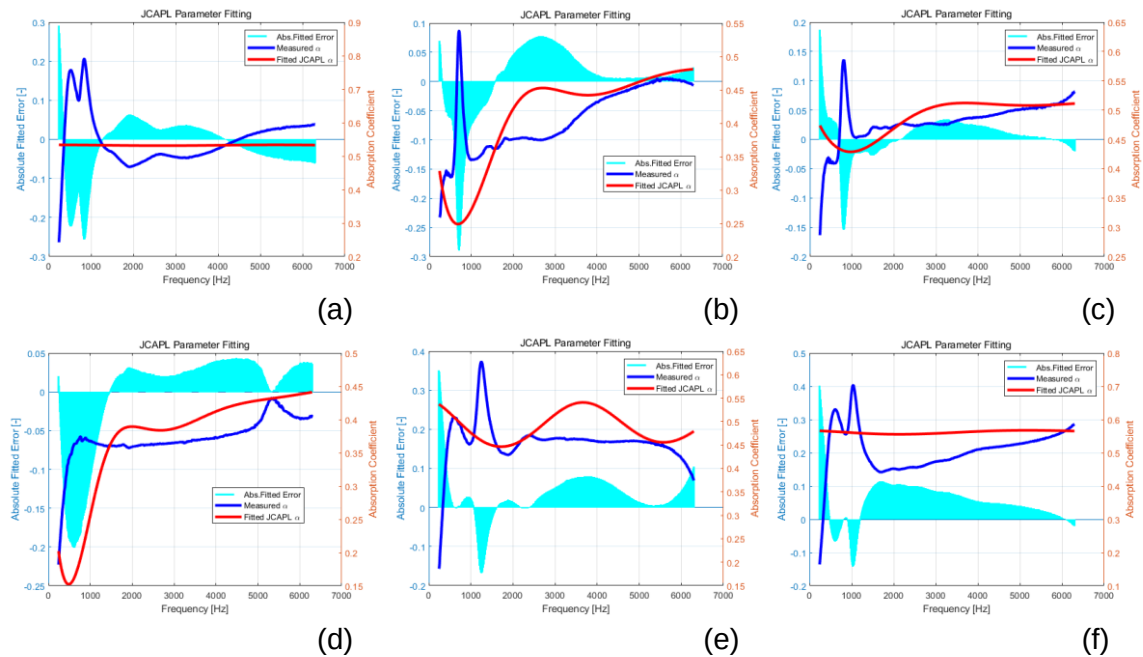


Figura 4.10 Estimarea coeficientului de absorbție al spumelor celulozice tratate cu xylan, cu ajutorul modelului JCAPL, pentru probele: LF43SDS4Xy1 (a), LF43SDS4Xy2 (b), LF43SDS4Xy3 (c), LF60SDS4Xy1 (d), LF60SDS4Xy2 (e), LF60SDS4Xy3 (f).

În literatura de specialitate sunt prezentate o serie de formulări corelative între porozitate și tortuozitate, stabilite empiric și validate experimental pentru anumite categorii de materiale poroase [21,58]. Astfel, se remarcă legitățile propuse de Petersen (1958) și Rayleigh (1892)53, M. Yun et al. (2006)55 - pentru particule de formă cubică, Bruggeman (1935)53 - pentru grupări aleatoare de granule, Akani et al. (1987)53 - pentru particule sferice întrepătrunse, Archie (1942)54 - pentru straturi de granule, Millington et al. (1959)53 - pentru pachete sferice monodisperse izotropice omogene și parțial saturate.

Tabelul 4.3. Modele empirice corelative între tortuozitate și porozitate

Expresia analitică propusă	Autorii
$2 - \varphi$	Petersen (1958) and Rayleigh (1892)
$\varphi^{-\frac{1}{2}}$	Bruggeman (1935)
$1 - \frac{\ln(\varphi)}{2}$	Akani et al. (1987)

Analizând o serie de astfel de formulări, în domeniul de variație al celor doi parametri - porozitate și tortuozitate (tabelul 4.3), s-a încercat stabilirea unei legități corelative pentru materialele analizate în acest studiu. După o serie de teste numerice și analize comparative cu formulările consacrate, au fost stabilite două tipuri de expresii compatibile cu datele disponibile în acest studiu. Acestea sunt funcția exponențială de tipul $(a e^{bx})$ și funcția putere de tipul $(a + b x^c)$. Cu ajutorul procedurii de regresie și prin implementarea algoritmului specific acestuia într-o aplicație Matlab, au fost obținute valorile parametrilor specifici fiecărei legități. De asemenea, a fost evaluată eroarea standard (RMSE) corespunzătoare fiecărui caz analizat.

Cazurile analizate sunt următoarele: valori obținute cu modelul JCA, respectiv cu modelul JCAPL pentru materialele netratate, toate valorile obținute pentru materialele netratate indiferent de modelul de calcul și respectiv aceleași trei situații pentru materialele tratate.

În figura 4.11 sunt prezentate grafic rezultatele obținute pentru materialele netratate, iar în figura 4.12 sunt prezentate cele corespunzătoare materialelor tratate cu xylan. Dacă se iau în considerare toate valorile disponibile, indiferent de model sau categorie de material, se obțin rezultatele prezentate în diagrama din figura 4.13.

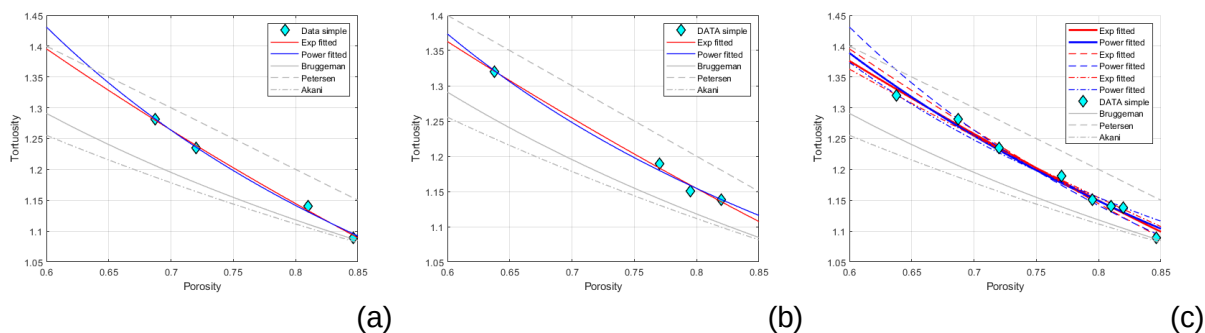


Figura 4.11 Analiza corelativă dintre tortuozitate și porozitate pentru spumele celulozice netratate, obținute cu ajutorul modelului JCA (a), modelului JCAPL (b) și abordarea combinată a celor două modele (c)

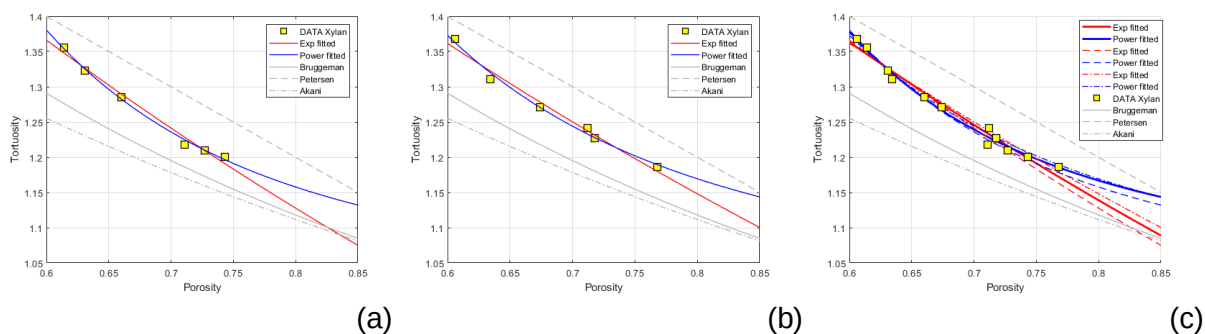


Figura 4.12 Analiza corelativă dintre tortuozitate și porozitate pentru spumele celulozice tratate cu xylan, obținute cu ajutorul modelului JCA (a), modelului JCAPL (b) și abordarea combinată a celor două modele (c)

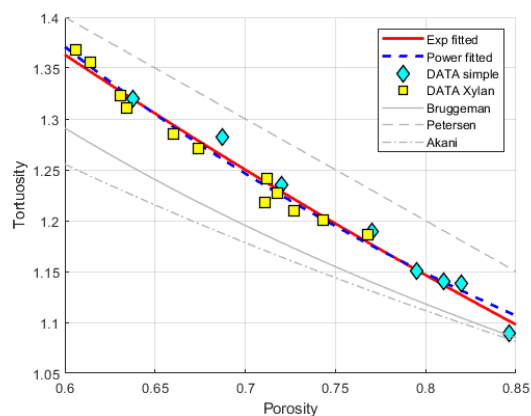


Figura 4.13 Analiza corelativă dintre tortuozitate și porozitate pentru spumele celulozice prin abordarea combinată a celor două categorii (tratate/netratate) și respectiv a celor două modele de estimare a parametrilor specifici

Tabelul 4.4. Corelațiile dintre tortuozitatea și porozitatea spumelor celulozice.

Tipul mat.*	Date obținute cu modelul:	Parametrii funcției de interpolare**						
		Funcția a e ^{bx}		Eroarea standard (RMSE)	Funcția a + b x ^c			Eroarea standard (RMSE)
		a	b		a	b	c	
-XY	JCA	2.531 (2.176, 2.885)	-0.9918 (-1.176, -0.8074)	0.0065	0.433 (-26.96, 27.82)	0.5432 (-25.79, 26.88)	-1.191 (-44.66, 42.28)	0.0113
	JCAPL	2.243 (1.948, 2.538)	-0.8304 (-1.006, -0.655)	0.0072	0.532 (-30.62, 31.68)	0.4924 (-29.3, 30.28)	-1.049 (-47.9, 45.81)	0.0119
	JCA + JCAPL	2.36 (2.184, 2.537)	-0.8994 (-0.9982, -0.8007)	0.0095	0.004966 (-7.715, 7.725)	0.9867 (-6.605, 8.579)	-0.6623 (-4.887, 3.563)	0.0131
+XY	JCA	2.429 (2.168, 2.691)	-0.9592 (-1.118, -0.8006)	0.0087	1.016 (0.6269, 1.404)	0.0683 (-0.1794, 0.316)	-3.28 (-8.414, 1.853)	0.0051
	JCAPL	2.271 (2.004, 2.538)	-0.8526 (-1.025, -0.6804)	0.0104	1.004 (0.5012, 1.506)	0.0891 (-0.2675, 0.4457)	-2.783 (-8.054, 2.488)	0.0080
	JCA + JCAPL	2.338 (2.182, 2.494)	-0.899 (-0.997, -0.801)	0.0100	1.046 (0.8744, 1.217)	0.05533 (-0.0486, 0.1592)	-3.509 (-6.239, -0.778)	0.0071
ALL	JCA + JCAPL	2.291 (2.197, 2.385)	-0.8655 (-0.9234, -0.8077)	0.0105	0.1037 (-2.397, 2.604)	0.8991 (-1.548, 3.347)	-0.6719 (-2.156, 0.8122)	0.0109

* -XY: materialele de bază (fără tratament cu xylan sau derivați ai acestuia); +XY: materiale tratate cu xylan sau derivați ai acestuia; ALL: au fost utilizate ambele tipuri de materiale

** Valorile parametrilor sunt prezentate sub forma: *valoare nominală (valori corespunzătoare intervalului de încredere de 95%)*

Se face mențiunea că pe fiecare diagramă au fost reprezentate și curbele corespunzătoare formulărilor consacrate de tip Bruggeman, Petersen și Akani (tabelul 4.3), formulări adoptate în conformitate cu domeniile specifice de aplicabilitate. Aceste curbe au fost trasate pe domeniul de variație a porozității materialelor analizate, prezența acestora pe fiecare diagramă din figurile 4.11 ... 4.13 facilitând analiza comparativă cu rezultatele obținute în acest studiu. Rezultatele procedurilor de regresie pentru evaluarea corelațiilor dintre parametrii ce caracterizează tortuozitatea și respectiv porozitatea sunt prezentați sintetic în tabelul 4.4.

4.4 Analiza morfologică a spumelor celulozice prin mijloace computaționale

4.4.1 Modelare cu elemente finite (FEM)

Modelarea cu elemente finite (FEM) este o tehnică numerică utilizată pentru a rezolva probleme complexe din inginerie și fizică prin discretizarea unui sistem în părți mai mici, gestionabile numite elemente. FEM este utilizat pe scară largă pentru a simula comportamentul sistemelor mecanice, transferul de căldură, dinamica fluidelor și alte fenomene fizice. În contextul materialelor poroase precum spume, FEM poate fi aplicat pentru a modela comportamentul mecanic, fluxul de fluid sau transferul de căldură în interiorul materialului.

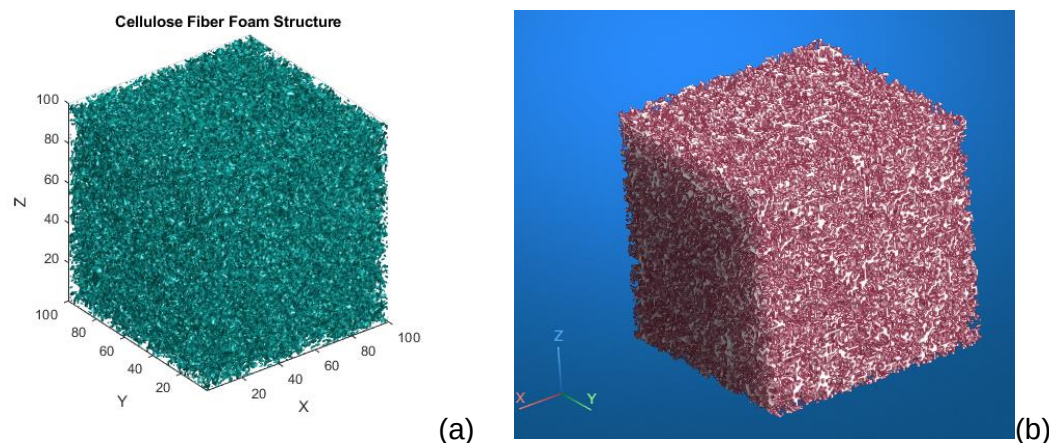


Figura 4.15 Spuma celulozică generată conform cazului C1: reprezentarea suprafețelor de interfață ale fibrelor (a), respectiv reprezentarea 3D realistă a volumului (b).

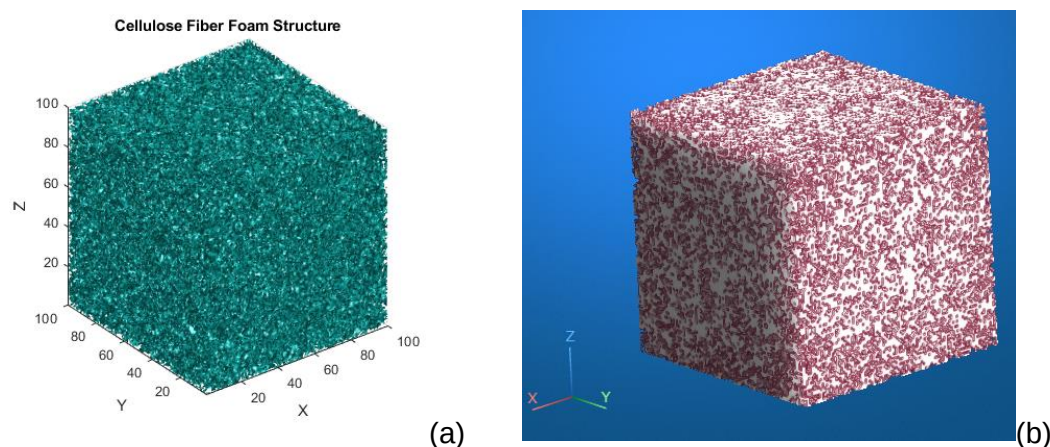


Figura 4.16 Spuma celulozică generată conform cazului C2: reprezentarea suprafețelor de interfață ale fibrelor (a), respectiv reprezentarea 3D realistă a volumului (b).

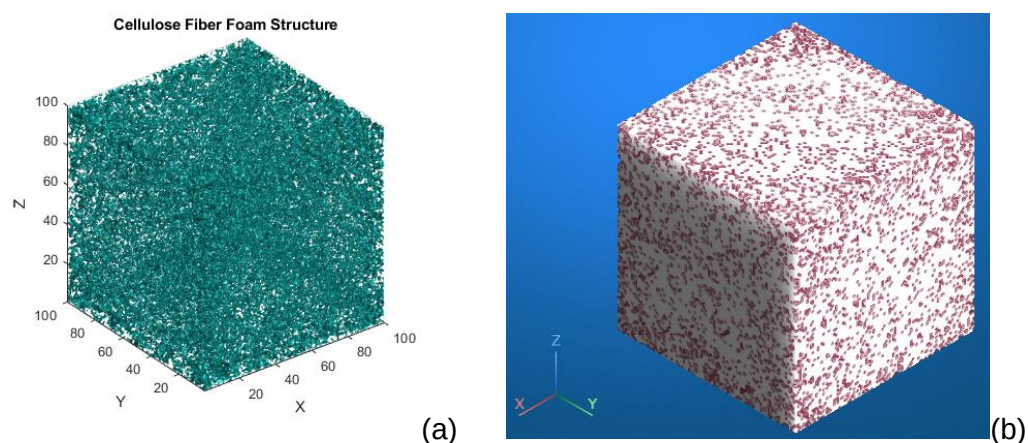


Figura 4.17 Spuma celulozică generată conform cazului C3: reprezentarea suprafețelor de interfață ale fibrelor (a), respectiv reprezentarea 3D realistă a volumului (b).

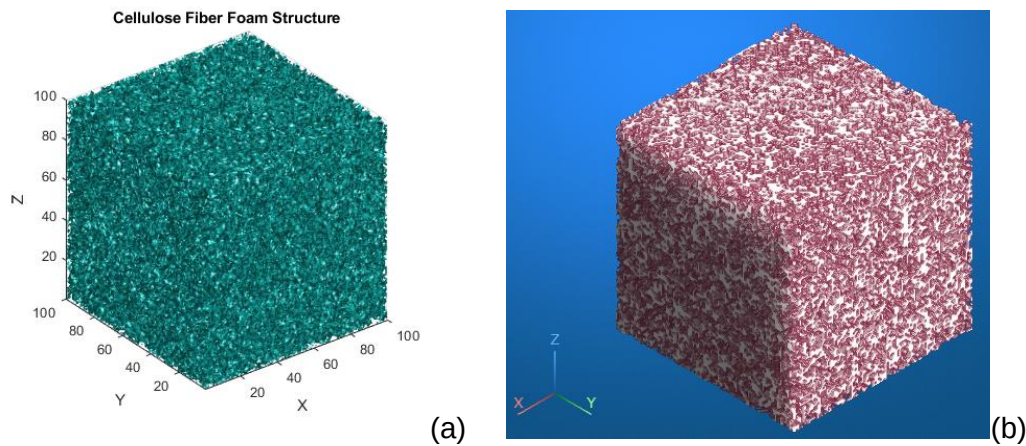


Figura 4.18 Spuma celulozică generată conform cazului C4: reprezentarea suprafețelor de interfață ale fibrelor (a), respectiv reprezentarea 3D realistă a volumului (b).

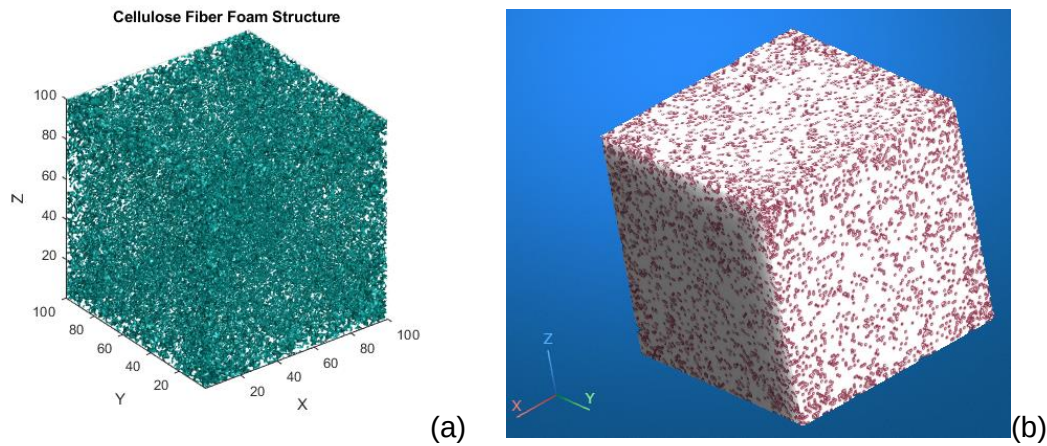


Figura 4.19 Spuma celulozică generată conform cazului C5: reprezentarea suprafețelor de interfață ale fibrelor (a), respectiv reprezentarea 3D realistă a volumului (b).

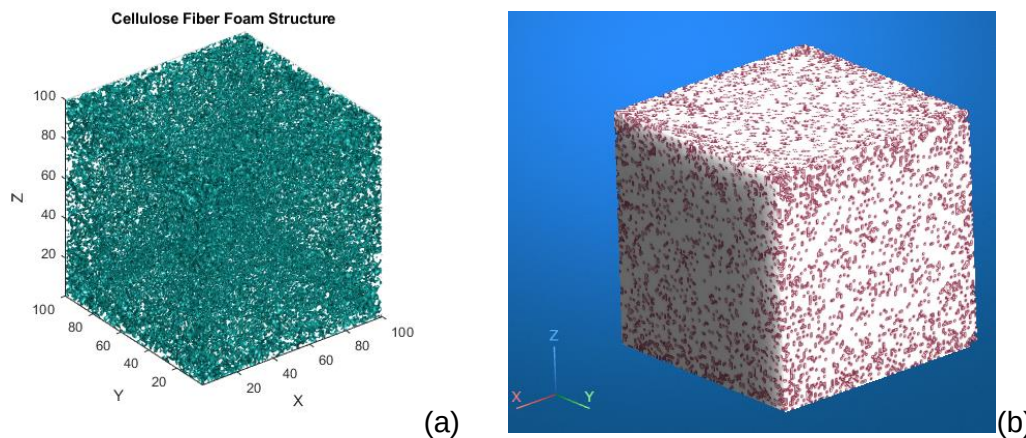


Figura 4.20 Spuma celulozică generată conform cazului C6: reprezentarea suprafețelor de interfață ale fibrelor (a), respectiv reprezentarea 3D realistă a volumului (b).

4.4.2 Simulare Boltzmann latice (LBS)

Metoda Lattice Boltzmann (Lattice Boltzmann Method – LBM) este o abordare numerică a dinamicii fluidelor bazată pe simularea distribuțiilor de particule pe o rețea de rețea. Spre deosebire de metodele tradiționale de dinamică a fluidelor (cum ar fi dinamica fluidelor computaționale), LBM se concentrează pe modelarea mezoscopică a comportamentului fluidului, ceea ce îl face deosebit de util pentru simularea structurilor complexe, poroase. Este adesea folosit pentru modelarea fenomenelor de transport în materiale cu microstructuri complicate, cum ar fi spumele și mediile poroase. În continuare sunt prezentate rezultatele (grafice și valorice) obținute prin analiza unei structuri de spumă din fibre de celuloză simulată cu ajutorul unei aplicații dezvoltate în platforma Matlab. Acest procedeu implică generarea unei rețele poroase, fibroase care imită geometria 3D a fibrelor de celuloză într-o spumă. Procesul constă în definirea unei rețele 3D, adăugarea de fibre aleatorii (sau structuri asemănătoare fibrelor) la rețea și apoi analizarea volumului, conectivității și porozității spumei generate. În tabelul 4.5 sunt prezentate, atât datele de intrare utilizate pentru generarea a șase cazuri distincte de spume, cât și rezultatele obținute în urma analizei volumului virtual de spumă, în termeni de volum ocupat de fibre, porozitatea spumei și numărul conexiunilor clusterelor (grupărilor) de fibre. Figurile 4.15 ... 4.20 prezintă volumele de spumă obținute prin simulare, pentru cele șase cazuri, prin reprezentarea suprafețelor de interfață ale fibrelor (a) și respectiv reprezentarea 3D realistă avolumului de spumă.

Tabelul 4.5. Datele specifice cazurilor analizate prin tehnica simulării computaționale

Parametrul	Cazul analizat					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Volumul analizat	1000000; [X, Y, Z] = [100, 100, 100]					
Densitatea fibrelor	0.050	0.050	0.10	0.10	0.10	0.10
Raza aprox. a fibrelor	3	3	3	3	1	5
Lungimea fibrelor	10	40	40	10	40	40
Volumul ocupat de fibre	382535	745875	926403	616827	926423	926234
Porozitatea spumei [%]	61.75	25.41	7.36	38.32	7.36	7.38
Nr. conexiunilor clusterelor de fibre	36	4	1	5	1	1

Notă: Dimensiuni în voxeli.

4.5 Analiza morfologică a unui volum de spumă celulozică cu LBM

Metoda Lattice Boltzmann (LBM) este o abordare de dinamică computațională a fluidelor (CFD) utilizată în mod obișnuit pentru simularea fluxurilor de fluid prin medii poroase și poate fi extinsă pentru a studia comportamentul spumei din fibre de celuloză pentru aplicații acustice, inclusiv evaluarea proprietăților precum tortuozitatea. Tortuozitatea unui material poros descrie "întorsătura" sau "prelungirea" căii pe care trebuie să o parcurgă un fluid prin material în comparație cu distanța în linie dreaptă, ceea ce îi afectează direct proprietățile acustice (cum ar fi absorbția și transmisia sunetului).

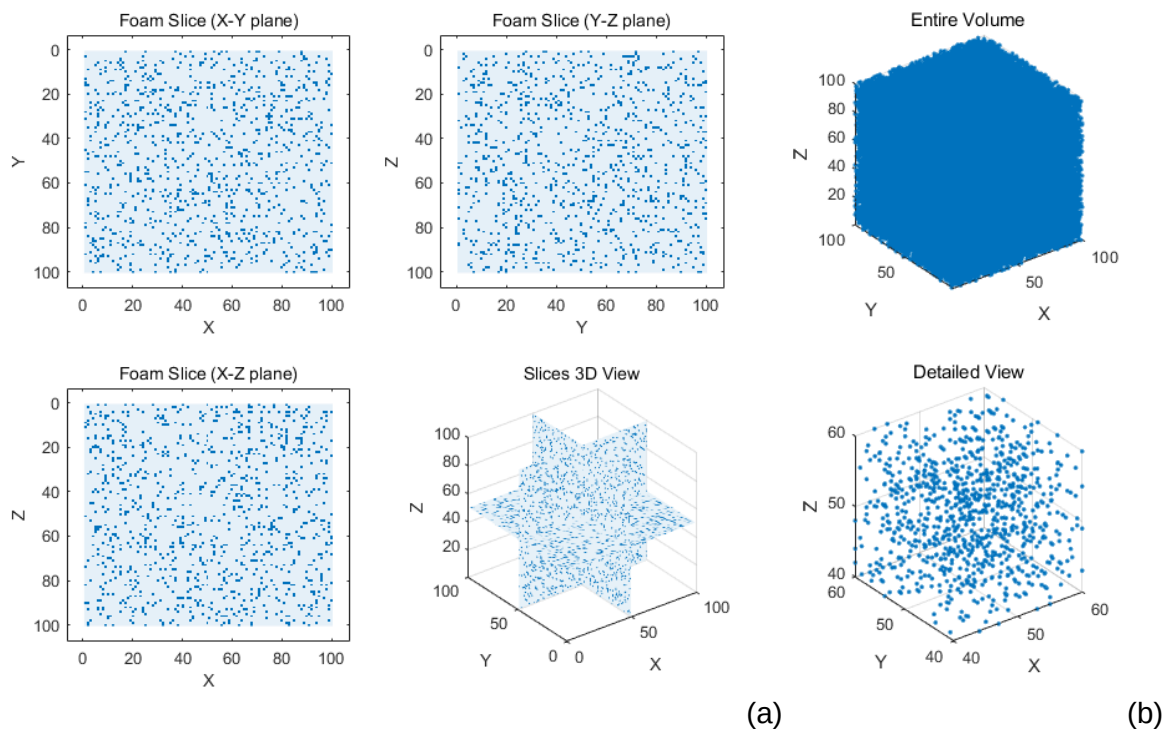


Figura 4.21 Spumă din fibre celulozice cu porozitatea 0.9: planele ortogonale mediane secționale (a), respectiv vedere 3D a volumului analizat, inclusiv detaliu miez în domeniul $[x,y,z] = [40...60, 40...60, 40...60]$ (b).

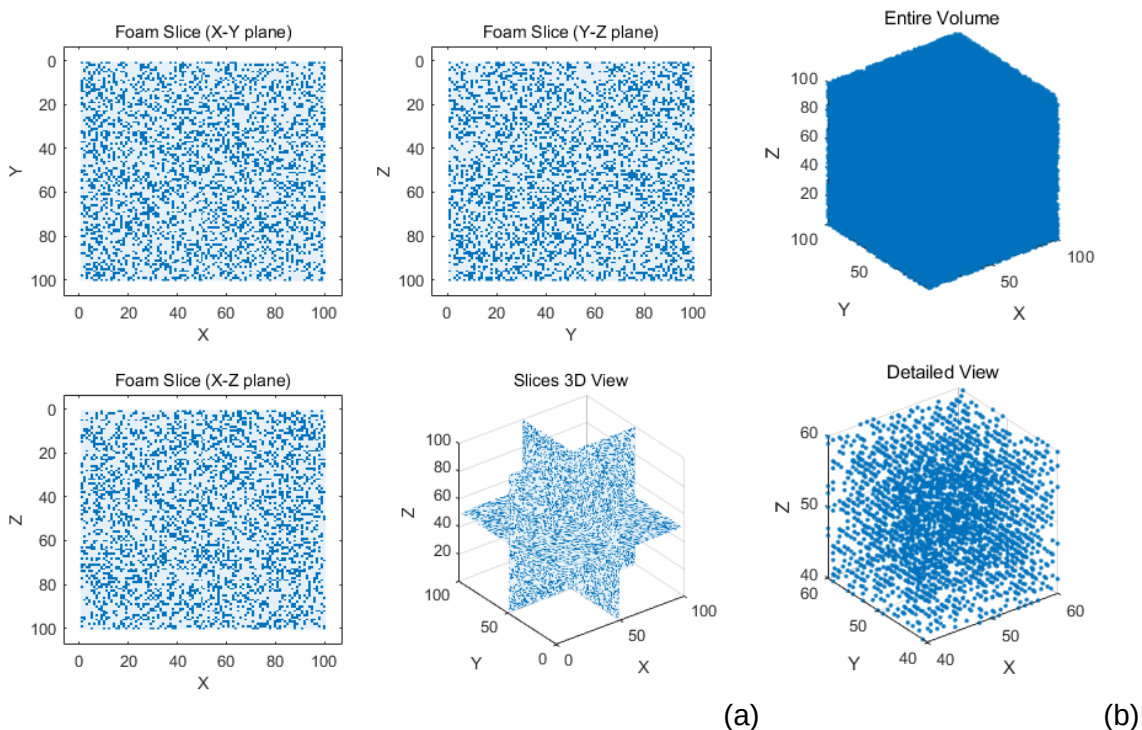


Figura 4.22 Spumă din fibre celulozice cu porozitatea 0.7: planele ortogonale mediane secționale (a), respectiv vedere 3D a volumului analizat, inclusiv detaliu miez în domeniul $[x,y,z] = [40...60, 40...60, 40...60]$ (b).

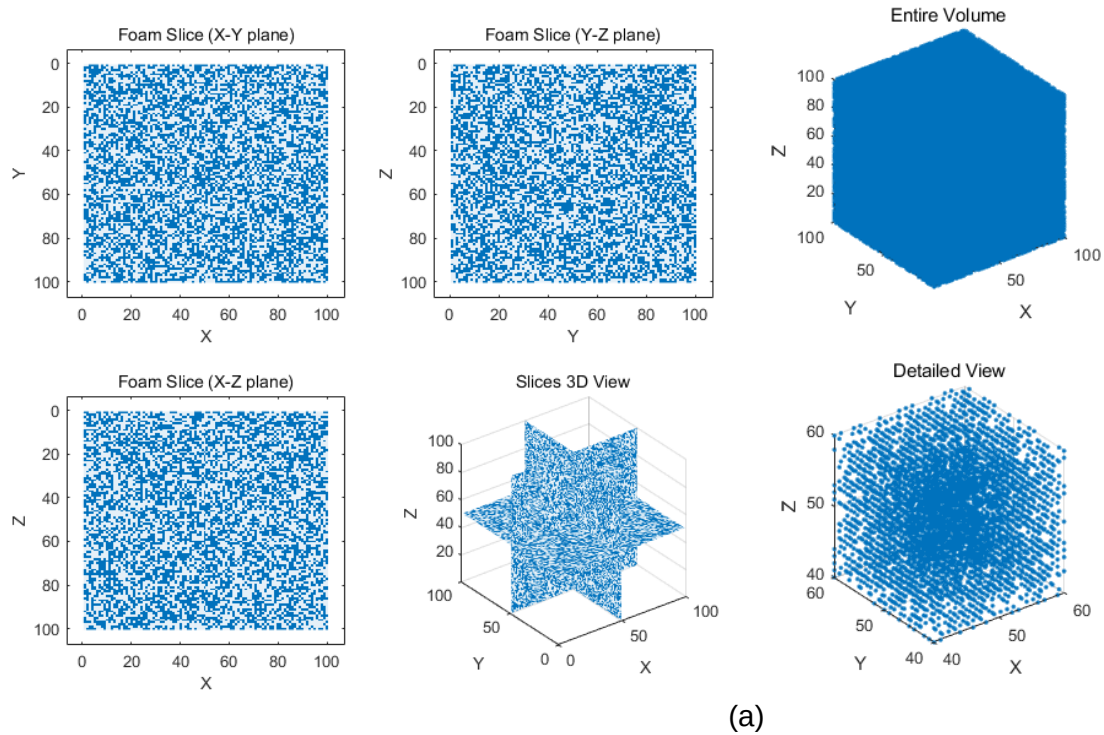


Figura 4.23 Spumă din fibre celulozice cu porozitatea 0.5: planele ortogonale mediane secționale (a), respectiv vedere 3D a volumului analizat, inclusiv detaliu miez în domeniul $[x,y,z] = [40...60, 40...60, 40...60]$ (b).

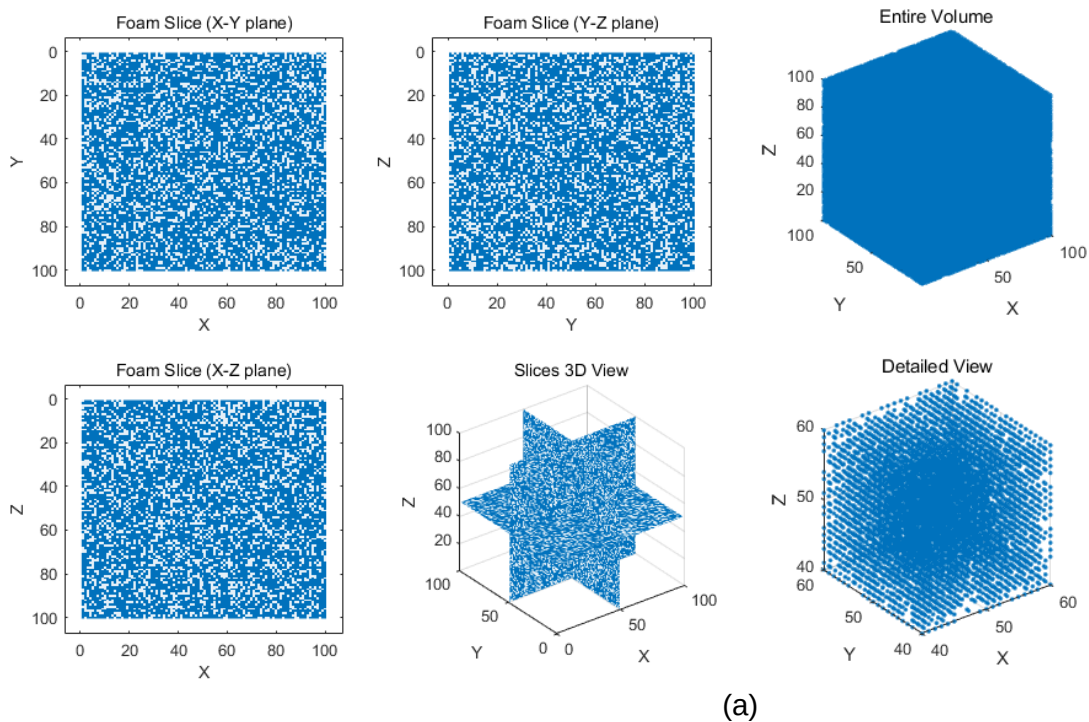


Figura 4.24 Spumă din fibre celulozice cu porozitatea 0.3: planele ortogonale mediane secționale (a), respectiv vedere 3D a volumului analizat, inclusiv detaliu miez în domeniul $[x,y,z] = [40...60, 40...60, 40...60]$ (b).

În continuare vor fi prezentate rezultatele unei simulări de tip Boltzmann Lattice (LBS) pentru un volum dreptunghiular (3D) de spumă pe bază fibre de celuloză cu impementare în platforma MATLAB. Această simulare se va concentra pe evaluarea parametrilor caracteristici în contextul aplicațiilor de protecție acustică. Pașii urmăriți în implementarea LBS sunt următorii: (i) Discretizarea domeniului, prin definirea unei rețele 3D care reprezintă spuma din fibre de celuloză. Această rețea va consta din noduri de rețea care reprezintă fibre solide în spumă. (ii) Definirea modelului Boltzmann de zăbrele: modelul de zăbrele D3Q19 este utilizat în mod frecvent pentru simulările 3D LBM. Acest model include 19 viteze discrete pentru a reprezenta mișcarea fluidului în spațiul 3D. (iii) Stabilirea condițiilor la limită care simulează fluxul de aer prin spumă, deoarece acest lucru este esențial pentru studiul sinuoșității și proprietăților acustice. (iv) Estimarea valorii tortuozității din lungimile traseului particulelor de fluid.

Volumul de material generat este de $100 \times 100 \times 100 = 1000000$ voxeli. Diametrul mediu al fibrelor a fost considerat egal cu 3 voxeli. Parametrul variabil pentru fiecare dintre cele patru cazuri considerate a fost porozitatea, valorile luate în considerare fiind [0.9, 0.7, 0.5, 0.3]. Pentru fiecare caz vor fi prezentate planele secționale ortogonale poziționate median în volumul de spumă, precum și o vedere 3D a întregului volum analizat, însoțită de un detaliu al miezului central al spumei (având dimensiuni egale cu 20% din lungimea fiecărei laturi). Astfel, în figurile 4.21 – 4.24 sunt prezentate rezultatele obținute în urma simulărilor pentru valorile succesive ale parametrului porozitate.

4.6 Simularea realistă a unui volum de spumă celulozică cu ajutorul LBM

Simulările prezentate în capitolul anterior au fost dezvoltate în ipoteza incluziunilor din fibre de formă rectilinie. Acest lucru simplifică procesul de generare și analiză a volumului de material, dar alterează caracterul realist al volumului de spumă obținut, cu implicații directe asupra analizei morfologice și implicit asupra procesului de estimare a proprietăților geometrice și de transport specifice utilizării în aplicații destinate protecției acustice.

În acest sens a fost dezvoltată o variantă avansată a aplicației anterioare, capabilă să simuleze în mod direct curbura fibrelor. Parametrul specific de intrare este în acest caz curbura maximă a fibrei, valorile exacte fiind stabilite apoi aleator de aplicație în procesul de generare. Suplimentar au fost considerate grosimea medie a unei fibre și numărul de fibre din volumul analizat.

Valorile considerate pentru acești trei parametri variabili sunt prezentate în tabelul 4.6, care conține codificarea imaginilor cu volumele de spumă rezultate pentru fiecare caz. Aceste imagini sunt reprezentate în figura 4.25, în care fiecare rând conține volumul complet de spumă, precum și o secțiune cu un plan paralel cu planul XZ.

Tabelul 4.6. Codificarea volumelor de spumă celulozică din figura 4.25

Curbura maximă a fibrei	Grosimea fibrei	Numărul de fibre din volumul analizat		
		500	1500	5000
0,40	0,1	a1	b1	c1
0,40	1,0	a2	b2	c2
0,40	3,0	a3	b3	c3
0,84	3,0	a4	b4	c4

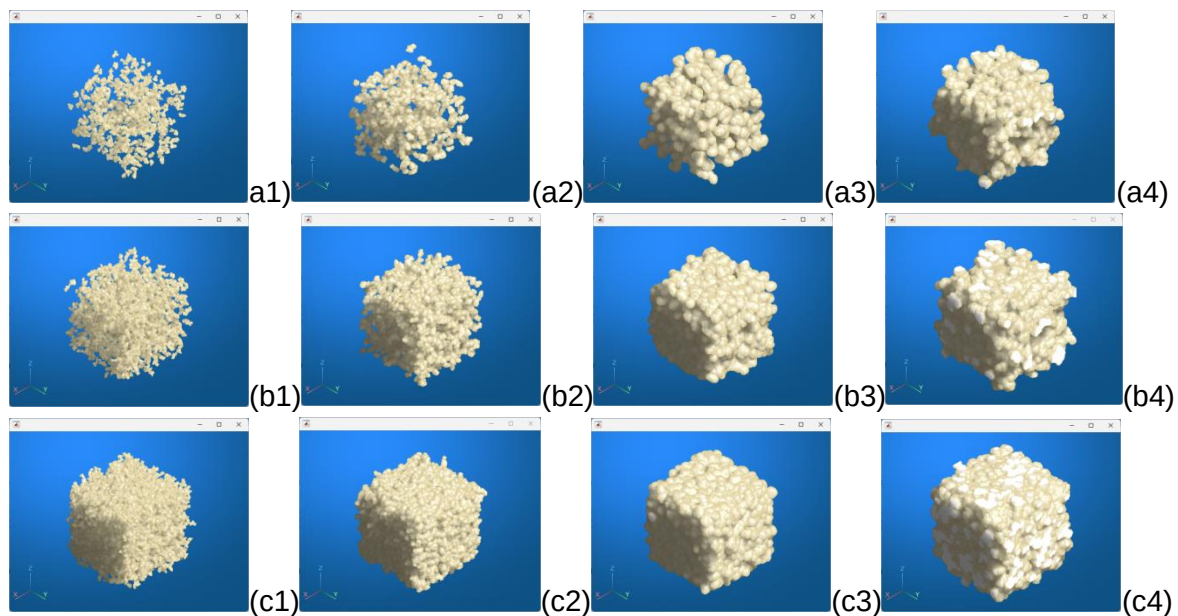


Figura 4.25 Volume din spumă celulozică generate pe baza parametrilor detaliați în tab. 4.6.

4.7 Estimarea proprietăților de material ale spumelor celulozice pe baza analizei imaginilor secționale

Tehnica de procesare a imaginilor individuale sau a seriilor succesive de imagini secționale cu ajutorul aplicațiilor special dezvoltate în acest sens oferă un instrument puternic în estimarea proprietăților de material și a celor de transport specifice materialelor tip spumă, cu sau fără incluziuni de fibre. Imaginile respective pot fi generate computațional, utilizând una din tehnicile prezentate în capitolele anterioare, respectiv pot fi obținute cu ajutorul tehnicilor imagistice sau a microscopiei optice. În cele ce urmează este prezentat un exemplu de aplicație dezvoltată în platforma Matlab, pe baza rutinelor disponibile specializate în procesarea imaginilor (Image Processing Toolbox). Această aplicație oferă posibilitatea preluării unei imagini, calibrarea după grila dimensională proprie imaginii, procesarea acesteia și evaluarea valorilor parametrilor specifici de material. Interfața utilizator a acestei aplicații este prezentată în figura 4.27. Pentru exemplificare a fost considerată o imagine de tip SEM obținută pentru o spumă celulozică pe bază de fibre reciclate (figura 4.27). Inițierea procesului de calibrare, pe baza grilei dimensionale specifice imaginii, conduce la completarea informațiilor specifice referitoare la valoare, unitatea de măsură și numărul de intervale ale grilei dimensionale. Pentru exemplul considerat, în figura 4.29 sunt prezentate detalii ale imaginilor intermediare rezultate în urma fiecărei etape de analiză. Trebuie menționat faptul că atât imaginea binară, cât și evaluarea traseelor/conexiunilor sunt dependente de ajustarea unor parametri specifici analizei imaginii, în termeni de valori limită pentru identificarea pragului imagistic dintre "plin" și "gol" într-o imagine. Acest aspect reprezintă un potențial dezavantaj al acestei tehnici, prin faptul că procesarea devine oarecum dependentă de abilitățile operatorului uman. Acest lucru poate fi minimizat prin încercări succesive, astfel încât rezultatul final să devină conform cu cerințele de identificare și estimare a parametrilor urmăriți în acest tip de analiză. Pentru un set de trei spume celulozice, realizate din fibre virgine, reciclate, respectiv un amestec egal din ambele tipuri de fibre, rezultatele obținute pentru parametrul de tortuozitate, corelate cu estimările bazate pe expresiile empirice disponibile în literatura de specialitate, au prezentat valori foarte apropiate de cele evaluate prin tehnică experimentală specifică.

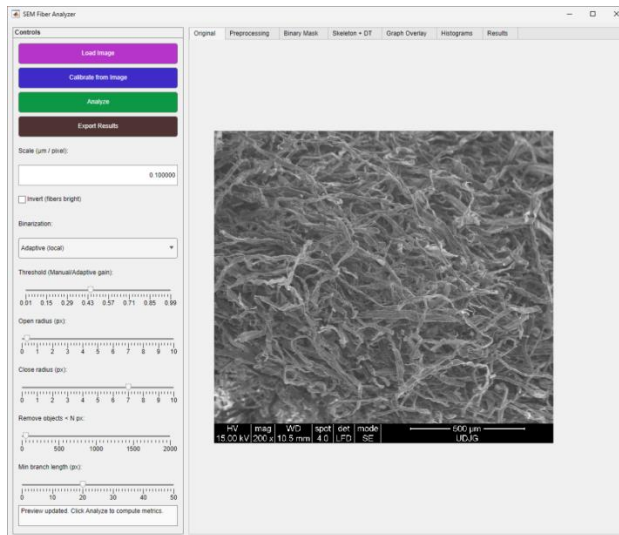


Figura 4.27 Interfața utilizator a aplicației pentru procesare imaginilor secționale

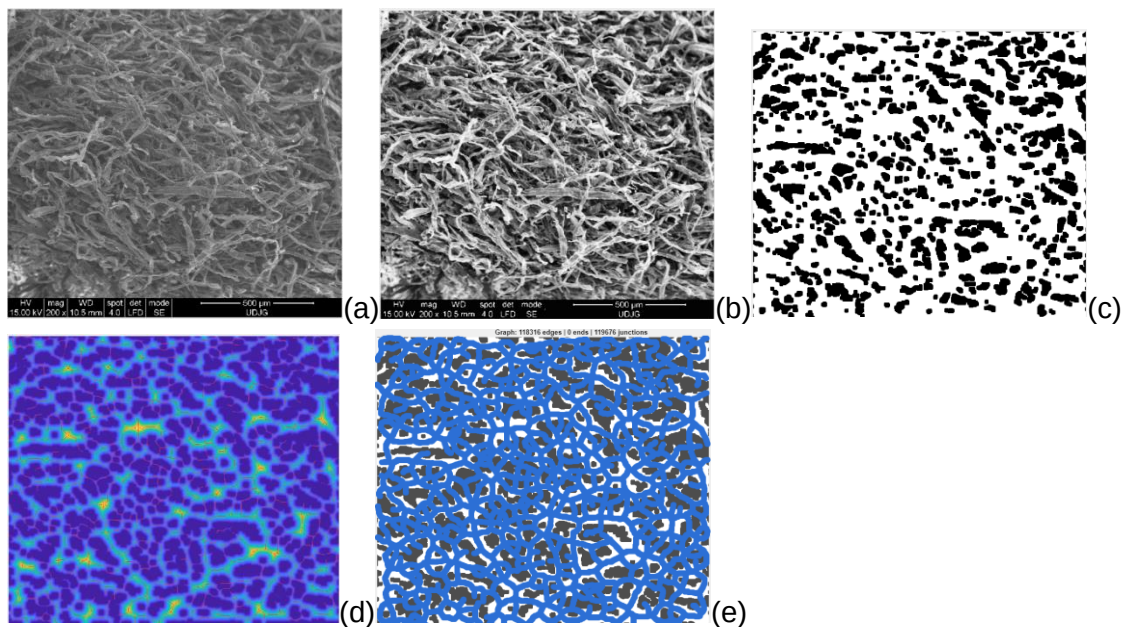


Figura 4.29 Imaginile intermediare din fluxul procesului de procesare a imaginii: imaginea inițială (a), cea pre-procesată (b), rezultatul transformării binare (c), estimarea scheletului și a conexiunilor (d), respectiv suprapunerea traseelor peste imaginea binară (e)

CAPITOLUL 5

CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

5.1 Concluzii finale

Formularea concluziilor finale a fost realizată prin asamblarea și sintetizarea observațiilor, discuțiilor și concluziilor parțiale prezentate pe parcursul lucrării. Un prim aspect concluziv general este dat de faptul că materialele formate în spumă pe bază de fibre de celuloză reprezintă o soluție versatilă și durabilă pentru aplicații de protecție acustică. Proprietățile lor superioare de absorbție a sunetului, rezistența mecanică, beneficiile de mediu în sensul compatibilității ridicate și respectiv adaptabilitatea la diverse nevoi și cerințe de protecție fonică le poziționează ca o alegere ideală pentru provocările moderne de control al zgomotului. Cercetarea și dezvoltarea ulterioară în adaptarea proprietăților lor acustice și mecanice vor debloca aplicații suplimentare și vor spori viabilitatea lor comercială.

Analizele comparative dezvoltate în cuprinsul tezei au relevat următoarele aspecte esențiale și anume

- Utilizarea unor procente reduse de agent de spumare crește performanța la frecvențe joase, prin creșterea densității, dar reduce astfel porozitatea, cu implicații negative asupra răspunsului la frecvențe înalte.
- Pe de altă parte, majorarea porozității, prin suplimentarea cantității de agent de spumare în etapa inițială de formare poate conduce la diminuarea durabilității mecanice și la punerea în pericol a integrității structurale.
- Grosimea spumei influențează gama de frecvențe absorbite eficient. Astfel, straturile mai groase absorb mai bine zgomotul de joasă frecvență. Trebuie însă menționat faptul că acest parametru este de cele mai multe ori impus de geometria și configurația aplicației de control al zgomotului și protecție acustică.
- Fibrele mai lungi și flexibile contribuie la formarea unei rețele mai interconectate, favorizând dispersia energiei acustice. Acest aspect a fost pus în evidență în toate analizele comparative care au presupus utilizarea pastelor celulozice cu grade diferite de batere, prin faptul că spumele cu 43°SR au furnizat performanțe superioare comparativ cu cele de 60°SR. De asemenea în toate testele au fost utilizate paste celulozice pe bază de fibre lungi, de rășinoase.
- Adăugarea de aditivi cu scop de hidrofobizare poate afecta negativ performanța acustică prin blocarea porozității, dar unele tratamente compatibile cu medii ecologice (de exemplu tratamentele cu hemiceluloze tip xylan) mențin performanțele în limite acceptabile sau chiar le îmbunătățesc în anumite intervale de frecvență.
- Utilizarea fibrelor celulozice reciclate în fabricarea spumelor celulozice nu doar că reduce costurile și consumul de resurse, ci contribuie și la economia circulară.

5.2 Contribuții personale

Contribuțiile personale ale autorului în această teză pot fi grupate astfel

- Studiul bibliografic în aria tematică a tezei, cu preluarea, sistematizarea, sinteza informațiilor relevante în contextul dezvoltărilor de cercetări referitoare la materiale formate în spumă pe bază de fibre celulozice, precum și la aplicații ale acestora în problematica reducerii și controlului zgomotului.
- Participarea activă în procesul de formare a materialelor în spumă din fibre celulozice cu diferite caracteristici de material.
- Participare activă în etapele de efectuare a testelor și investigațiilor experimentale pentru evaluarea caracteristicilor de protecție acustică.
- Dezvoltarea unor aplicații specifice pentru managementul, procesarea și analiza datelor.
- Analiza datelor experimentale disponibile și sistematizarea întregului ansamblu de rezultate.

5.3 Provocări și perspective viitoare de cercetare

În ciuda beneficiilor lor, spumele pe bază de fibre de celuloză se confruntă cu provocări precum sensibilitatea la umiditate și foc. Cercetările în curs, inclusiv dezvoltarea de acoperiri avansate și compozite hibride, urmăresc să abordeze și să minimizeze aceste limitări. Studiile viitoare ar trebui să se concentreze pe îmbunătățirea proprietăților lor multifuncționale cu scopul de a le extinde aplicabilitatea în sistemele protective acustic de înaltă performanță.

Deși fibrele celulozice constituie o opțiune sustenabilă și eficientă din punct de vedere acustic pentru aplicații rezidențiale și comerciale, ele nu ating nivelul de performanță al materialelor consacrate precum lâna minerală, fibra de sticlă sau anumite materiale sintetice în ceea ce privește durabilitatea, rezistența la foc și stabilitatea/integritatea dimensională. Astfel, alegerea unui material fonoabsorbant trebuie să țină cont de contextul specific al aplicației (gradul de expunere la umiditate, cerințele de siguranță la incendii, durata de viață estimată), precum și de impactul ecologic al întregului ciclu de viață al materialului.

Printre provocările actuale în domeniul acestor cercetări se numără: variabilitatea materiilor prime reciclate; stabilitatea mecanică a spumei celulozice în timp; sensibilitatea la umiditate și degradare biologică. În acest sens, cercetările viitoare trebuie să se axeze pe dezvoltarea unor metode standardizate de procesare, integrarea nanomaterialelor (de exemplu nanoceluloză) și optimizarea compozițiilor pentru absorbția zgomotului de bandă largă.

Spumele pe bază de fibre celulozice, fie ele virgine sau reciclate, prezintă un potențial considerabil ca materiale fonoabsorbante ecologice și eficiente. Studiile internaționale indică performanțe competitive față de materialele convenționale, cu multiple avantaje în ceea ce privește sustenabilitatea. Cu toate acestea, sunt necesare cercetări suplimentare pentru optimizarea formulărilor și validarea performanțelor în condiții reale de utilizare.

LISTĂ LUCRĂRI PUBLICATE / PREZENTATE

Lucrări publicate în reviste indexate WOS/Scopus și volume ale conferințelor internaționale

- [1] M. Seciureanu, SM Nastac, MV Guiman, P Nechita, Cellulose Fibers-Based Porous Lightweight Foams for Noise Insulation, *Polymers* 15 (18), 3796, (2023).
WOS:001072201800001. DOI: 10.3390/polym15183796 (indexare: WOS, Scopus)
- [2] Nastac, S; Nechita, P; Debeleac, C; Simionescu, C; Seciureanu, M, The Acoustic Performance of Expanded Perlite Composites Reinforced with Rapeseed Waste and Natural Polymers, *SUSTAINABILITY* 14(1), 103, (2022). WOS:000758562600001. DOI: 10.3390/su14010103 (indexare: WOS, Scopus)
- [3] Seciureanu, M., Nastac, S.-M., Debeleac, C.-N., Nechita, P., Innovative Bio-Foam-Formed Composites For Soundproofing Applications, (2023) Proceedings of the 29th International Congress on Sound and Vibration, Prague, July 09-13, 2023. [Source: Scopus](#). (indexare: Scopus)
<https://www.proceedings.com/content/070/070313webtoc.pdf>
- [4] Seciureanu, M., Guiman, M.-V., Nastac, S.-M., Nechita, P., Debeleac, C.-N., Capatana, G.-F., On Experimental Evaluation of Tortuosity for Cellulose-Based Highly Porous Composites Used Within Noise Insulation Applications, (2024) Springer Proceedings in Physics, 302, pp. 131-138., DOI: 10.1007/978-3-031-48087-4_14, [Source: Scopus](#). (indexare: Scopus) https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-48087-4_14
- [5] P Nechita, M. Seciureanu, MV Guiman, SM Nastac, CN Debeleac, Sandwich Biocomposites Structures Based On Foam And Cellulose Fibers Intended To Noise Insulation, The XXIV International Symposium In The Field Of Pulp, Paper, Packaging And Graphics, June 21st - 22nd, 2023, Chamber of Commerce and Industry of Serbia, Belgrade, Republic of Serbia,
https://www.tmf.bg.ac.rs/uploads/files/strane/cpag/Zbornik_Proceedings_XXIV_Symposium_CPAG_2023.pdf#page=19
- [6] Nastac, S.M., Nechita, P., Guiman, M.V., Iana Roman, M., Seciureanu, M., Assessments Regarding Sustainable Soundproofing Foams Based On Cellulose Fibres, In Proc. of 31st International Congress on Sound and Vibration ICSV31, 6-11 July 2025, Incheon, Korea. ISSN 2329-3675. ISBN 978-89-94-02142-3.
<https://www.icsv31.org/index.php?va=viewpage&vaid=366>

Lucrări prezentate în cadrul conferințelor internaționale (prezentare orală / poster)

- [7] S. Nastac, C. Debeleac, P. Nechita, M. Seciureanu. Foam-formed bio-composites based on recycled cellulose fibres for soundproofing panels. The 9th International Conference on Computational Mechanics and Virtual Engineering COMEC 2021, 21-23 October 2021, Univ. Transilvania Brasov, Romania.
<https://comec.unitbv.ro/index.php/conference/previous-events>
- [8] M. Seciureanu, S. Nastac. Computational assessments regarding poroacoustics of cellulose fibres foam-formed materials. The 9th International Conference on Computational Mechanics and Virtual Engineering COMEC 2021, 21-23 October 2021,

- Univ. Transilvania Brasov, Romania.
<https://comec.unitbv.ro/index.php/conference/previous-events>
- [9] Seciureanu M., Nastac S., Debeleac C., Nechita P., A Survey to Bio-Composites Based on Recycled Cellulose Fibers for Soundproofing Applications, The 28th International Congress on Sound and Vibration (ICSV28) Singapore, Singapore, 24 - 28 July 2022.
- [10] Seciureanu M., Nastac S., Debeleac C., Computational Assessments on Poroacoustics of Cellulose Fibers Based Composites, The 28th International Congress on Sound and Vibration (ICSV28) Singapore, Singapore, 24 - 28 July 2022.
- [11] Seciureanu M., Năstac S., Experimental Investigations On Noise Insulation Characteristics Of Bio-Fiber Foam Composites, The 9th International Conference on Advanced Composite Materials Engineering COMAT 2022, Transilvania University Of Brasov, Romania, 17-18 October 2022.
<https://sites.google.com/view/comatcomec/conference/previous-events/comat-2022>
- [12] Seciureanu M., Năstac S., Debeleac C., Nechita P., Innovative Bio-Fiber Foam Composites For Soundproofing Applications, The 9th International Conference on Advanced Composite Materials Engineering COMAT 2022, Transilvania University Of Brasov, Romania, 17-18 October 2022.
<https://sites.google.com/view/comatcomec/conference/previous-events/comat-2022>
- [13] M. Seciureanu, M.V. Guiman, S.M. Nastac, P. Nechita, C.N. Debeleac, G.F. Capatana, On experimental evaluation of tortuosity for cellulose-based highly porous composites used within noiseinsulation applications, Conference Acoustics And Vibration Of Mechanical Structures AVMS-2023, May 26-27, 2023, Timisoara, Romania.
<https://mrm.mec.upt.ro/avms/#HISTORY-of-the-Conference>
- [14] Nastac S.M., Seciureanu M., Nechita P., Guiman M.V., Rosca I.C., Musca G.D., Debeleac C.N., Goanta A.M., Dragan N., Potirniche M.A., Pana D., Capatana G.F., On Computational Poroacoustics Models For Porous Lightweight Foam-Formed Cellulose Fibers-Based Materials, The 10th International Conference on Computational Mechanics And Virtual Engineering COMEC 2023, Braşov, Romania, 25-27 October 2023.
<https://comec.unitbv.ro/index.php/conference/previous-events>
- [15] S.M. Nastac, M. Seciureanu, P. Nechita, M.V. Guiman, G.D. Musca, A.M. Goanta, N. Dragan, C.N. Debeleac, G.F. Capatana, M.A. Potirniche, Study regarding the Ability Evaluation of Highly-Porous Composites based on Cellulose Fibres for Soundproofing Applications, Annual Symposium Of The Institute Of Solid Mechanics SISOM 2023 and Symposium of Acoustics, Romanian Academy, Institute Of Solid Mechanics, September 21 - 22, 2023, Bucuresti, Romania. <https://imsar.ro/sisom/>
- [16] S.M. Nastac, M. Seciureanu, P. Nechita, M.V. Guiman, G.D. Musca, A.M. Goanta, N. Dragan, C.N. Debeleac, G.F. Capatana, M.A. Potirniche, Experimental Investigations regarding Specific Characteristics of Porous Lightweight Cellulose Fibers-based Composites for Computational Poroacoustics Models, Annual Symposium Of The Institute Of Solid Mechanics SISOM 2023 and Symposium of Acoustics, Romanian Academy, Institute Of Solid Mechanics, September 21 - 22, 2023, Bucuresti, Romania. <https://imsar.ro/sisom/>
- [17] S. Năstac, P. Nechita, M.V. Guiman, M. Seciureanu, Assessments on Soundproofing Performances of Cellulosic Foams with Extended Functional Properties, The 35th International Symposium of the Institute of Solid Mechanics SISOM 2024 and the 18th Session of the Commission of Acoustics of the Romanian Academy, Bucharest, Romania, September 19-20, 2024, ISSN 3061 - 3612, ISSN-L 3061 - 3612, Ed. Academiei Romane. <https://imsar.ro/sisom/>

- [18] M. Iana Roman, P. Nechita, S. Nastac, M.V. Guiman, M. Seciureanu, Sustainable soundproofing materials based on foam formed cellulose fibres, Invited speaker for The 10th International Conference on Advanced Composite Materials Engineering - COMAT 2024, and The 48th International Conference on Mechanics of Solids 2024 - "P.P.Teodorescu", Brasov, RO, 22-23 October 2024. <https://comat.unitbv.ro/>
- [19] S. Nastac, M. Seciureanu, P. Nechita, M.V. Guiman, Investigations on Sustainable Soundproofing Capability of Cellulose Fibres-Based Foams, The 36th International Symposium of the Institute of Solid Mechanics SISOM 2025 and the 19th Session of the Commission of Acoustics of the Romanian Academy, Bucharest, Romania, September 11-12, 2025, ISSN 3061 - 3612, ISSN-L 3061 - 3612, Ed. Academiei Romane. https://imsar.ro/sisom_conf/
- [20] Silviu Nastac, Mihai Seciureanu, Petronela Nechita, Maria Violeta Guiman, Advances on Sound Absorption Capability of Low Density Foams Based on Cellulose Fibres, Conferința Națională "UGAL-factor stimulator al cercetării multidisciplinare în Regiunea de Sud-Est", Universitatea Dunarea de Jos din Galați, Facultatea de Inginerie și Agronomie din Braila, 29 Septembrie - 01 Octombrie 2025. <https://fib.ugal.ro/index.php/ro/cercetare/evenimente-stiintifice/conferinte?view=article&id=405>

Lucrări prezentate în cadrul saloanelor internaționale de invenție (poster)

- [21] S.M. Năstac, P. Nechita, C.N. Debeleac, G.D. Muscă, A.M. Goanță, N. Drăgan, I.C. Roșca, M.V. Guiman, M.A. Potîrniche, G.F. Căpățână, D. Pană, M. Seciureanu, Cercetări privind evaluarea capacității de utilizare a materialelor compozite cu porozitate ridicată din fibre celulozice în aplicații de protecție acustică, Salonul Inovării și Cercetării UGAL INVENT, 9-10 Noiembrie 2023, www.invent.ugal.ro. Lucrare premiată cu diploma și medalia de aur.
- [22] S.M. Năstac, P. Nechita, M.V. Guiman, M. Iana Roman, M. Seciureanu, Cercetări privind evaluarea capacității de utilizare a spumelor din fibre celulozice în aplicații de protecție acustică, International Innovation and Invention Show - 1st edition - EURO Politehnicus, 22-24 November 2024, National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest, Bucharest, Romania. <https://politehnicus.upb.ro/>. Lucrare premiată cu diploma și medalia de argint.

Participări în cadrul contractelor de cercetare, membru al echipei de cercetători

- [23] Grant UDJG, Materiale compozite cu porozitate ridicată cu proprietati de absorbte fonica si protectie împotriva socurilor (PorousMatSound), contract PNIII RF 3646/30.09.2021.
- [24] Grant UDJG 9418/30.03.2023, Cercetari privind evaluarea capacitatii de utilizare a materialelor compozite cu porozitate ridicata din fibre celulozice în aplicatii de protectie acustica.
- [25] Grant UDJG GI RF 2475/2024, Studii și cercetări privind optimizarea proprietăților funcționale ale materialelor compozite cu porozitate ridicată din fibre celulozice

Bibliografie selectivă

- [1] Acikgoz, S. Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications. John Wiley & Sons, 2016.
- [2] Sombatsompop, N.; & Niamsuwan, V. Acoustical properties of wood-based materials. In Wood in Civil Engineering. Springer, 2012; pp. 153-177.
- [3] Torgal, F.; Jalali, S. Eco-efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies. Woodhead Publishing, 2017.
- [4] Mahapatra, P. B.; Seal, A. Cellulose nanofiber composites: A review of recent developments. Rheology and Processing of Polymer Nanocomposites 2017, 293-322.
- [5] Leppänen, M.; Väättäinen, P. Environmental impact of cellulose-based insulation materials. Energy and Buildings 2018, 166, 246-254.
- [6] Iosif, G.V., Reciclarea avansată a deșeurilor lignocelulozice, Disertație susținută la Universitatea Dunarea de Jos din Galați în vederea obținerii titlului de master, 2024.
- [7] Jahangiri, P. Novel cellulose based foam-formed products: applications and numerical studies. PhD thesis, University of British Columbia, 2013.
- [8] Madani, A.; Zeinoddini, S.; Varahmi, S. et al. Ultra-lightweight paper foams: Processing and properties. Cellulose 2014, vol.21, no. 3, pp. 2023-2031.
- [9] Ketola, A.E.; Song, W.; Lappalainen, T. et al. Changing the Structural and Mechanical Anisotropy of Foam-Formed Cellulose Materials by Affecting Bubble-Fiber Interaction with Surfactant, ACS Appl. Polym. Mater. 2022, 4, 7685–7698, <https://doi.org/10.1021/acsapm.2c01248>
- [10] Nechita, P.; Nastac, S.M. Overview on Foam Forming Cellulose Materials for Cushioning Packaging Applications. Polymers 14(10), 1963 (2022). <https://doi.org/10.3390/polym14101963>
- [11] Nechita, P.; Nastac, S.; Ionescu, S.M. Foam formed cellulose-based composite materials for use in cushioning and insulation applications, In Proc. of the 9th National Conference on Chemistry Science and Technology for Better Life, the 18th National Symposium on Polymers, (2016), Union of Chemists in Bulgaria.
- [12] Nastac, S.; Debeleac, C.; Nechita, P. Experimental Analyses Of Shock Protection Availability For Low Density Cellulose Composites, In Proc. of the 40th International Conference on Mechanics of Solids, Acoustics and Vibrations and the 6th International Conference on “Advanced Composite Materials Engineering”, Brașov, Romania, (2016), ISSN 1844-9336, pp.284-288.
- [13] Nastac, S.; Nechita, P. Experimental Analyses of Noise Mitigation Characteristics for Low Density Cellulose Composites, Proc. of the 40th International Conference on Mechanics of Solids, Acoustics and Vibrations and the 6th International Conference on “Advanced Composite Materials Engineering”, Brașov, Romania, (2016), ISSN 1844-9336, pp.289-294.
- [14] Nastac, S.; Debeleac, C.; Nechita, P. Assessments On Shock Absorption Properties Of Foam-Formed Low Density Cellulose Composites. Acta Technica Napocensis Series-Applied Mathematics Mechanics and Engineering 60(4), 565-572 (2017).
- [15] Nechita, P.; Nastac, S. Foam-formed cellulose composite materials with potential applications in sound insulation. J. Compos. Mater. 52(6), 747–754 (2018).

- [16] Debeleac, C.; Nechita, P.; Nastac, S. Computational investigations on soundproof applications of foam-formed cellulose materials. *Polymers* 11 (7), 1223 (2019).
- [17] Nastac, S. et al. The Acoustic Performance of Expanded Perlite Composites Reinforced with Rapeseed Waste and Natural Polymers. *Sustainability* 14(1), 103 (2022).
- [18] Nechita, P.; Roman, M.; Nastac, S.M. Green Approaches on Modification of Xylan Hemicellulose to Enhance the Functional Properties for Food Packaging Materials - A Review, *Polymers* 15(9), 2088, (2023).
- [19] Seciureanu, M.; Guiman, M.V.; Nastac, S.M.; Nechita, P. et al. On Experimental Evaluation of Tortuosity for Cellulose-based Highly Porous Composites used within Noise Insulation Applications, In Proc. of the 17th Intl. Conf. "Acoustics and Vibration of Mechanical Structures", Springer Proceedings in Physics, May, 26-27, (2023), Timisoara, Romania.
- [20] Nechita, P.; Seciureanu, M.; Guiman, M.V. et al., Sandwich Biocomposites Structures based on Foam and Cellulose Fibers intended to Noise Insulation, In Proc. of the 24th International Symposium in the Fields of Pulp, Paper, Packaging and Graphics, June, 21-22, (2023), Belgrade, Republic of Serbia.
- [21] Seciureanu, M. et al. Innovative Bio-Foam-Formed Composites for Soundproofing Applications, In Proc. of 29th International Congress on Sound and Vibration ICSV29, 9-13 July 2023, Prague, Czech Republic.
- [22] Nastac, S.M.; Nechita, P.; Guiman, M.V.; Roman, M.; Rosca, I.C. Applications of Xylan Derivatives to Improve the Functional Properties of Cellulose Foams for Noise Insulation. *Polymers* 2023, 15, 4648. <https://doi.org/10.3390/polym15244648>.
- [23] Valkonen et al. (2023). "Bio-based sound absorbers" *BioResources* 18(2), 2657-2669. DOI: 10.15376/biores.18.2.2657-2669.
- [24] Nastac, S., Proceduri experimentale. Standuri si incercari evaluative, Galati University Press, Galati, 2019
- [25] T.J. Cox and P. D'Antonio, *Acoustic Absorbers and Diffusers, Theory, Design and Applications*, 2nd ed., Taylor and Francis, 2009
- [26] Seciureanu, M.; Nastac, S.-M.; Guiman, M.-V.; Nechita, P. Cellulose Fibers-Based Porous Lightweight Foams for Noise Insulation. *Polymers* 2023, 15, 3796. <https://doi.org/10.3390/polym15183796>
- [27] Roman, M.; Nechita, P.; Simionescu, C.S. Evaluation of Barrier Properties of Food Packaging Papers Coated with Hemicellulose Biopolymers. *Bul. Inst. Polit. Iași* 2023. Vol. 69 (73), Nr. 2. DOI: 10.5281/zenodo.8162939.
- [28] Nastac, S.M., Nechita, P., Guiman, M.V., Iana Roman, M., Seciureanu, M., Assessments Regarding Sustainable Soundproofing Foams Based On Cellulose Fibres, In Proc. of 31st International Congress on Sound and Vibration ICSV31, 6-11 July 2025, Incheon, Korea