



Universitatea
Transilvania
din Brașov

TEZĂ DE ABILITARE

Titlu: CERCETĂRI PRIVIND APLICAREA TEHNOLOGIILOR INOVATIVE ÎN
INGINERIA MATERIALELOR AVANSATE

Domeniul: Ingineria materialelor

Autor: CS II dr. ing. Mihai Alin Pop

Universitatea Transilvania din Brașov

BRAȘOV, 2025

CUPRINS

Mulțumiri	4
Listă de notații	6
Listă de abrevieri	7
A. Rezumat / Abstract	9
B REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE ȘI PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI	17
B1 Realizări profesionale	17
B2 Realizări științifice	25
Capitolul 1. Modelarea matricilor din materiale compozite de tip rășini armate, ca funcție a grosimii și rezistenței mecanice a pereților subțiri	25
Capitolul 2. Fabricarea asistată 3D a unor structuri eco-compozite hibride - Granturi pentru tineri cercetători	29
2.1. Modificările structurale din timpul printării 3D a materialelor termoplastice bioderivate și sintetice	30
2.2. Influența arhitecturii interne inovatoare asupra proprietăților mecanice ale pieselor printate 3D	38
Capitolul 3. Sinterizarea cu ajutorul energiei solare a pieselor cu morfologie celulară controlată realizată cu miezuri printate	53
Capitolul 4. Îmbunătățirea procesului de disociere-adsorbție-difuzie a pieselor printate 3D și nichelate prin tratament solar concentrat	65

Capitolul 5. Compozite ecologice realizate prin tehnici de imprimare 3D pentru obținerea panourilor fonoabsorbante	70
5.1 Optimizarea structurală și arhitecturală a materialelor eco-compozite	70
5.1.1. Alegerea materialelor cu constituenți naturali (matrice + ranforsant)	70
5.1.2. Elaborarea noii arhitecturi de materiale eco-compozite din materiale reciclate (celuloză) și ceară de albine.	73
5.1.3. Determinarea proprietăților mecanice ale epruvetelor din materialele eco-compozite dezvoltate.	73
5.1.4. Identificarea comportamentului fizico-termic al materialelor eco-compozite investigate. Cuantificarea efectelor factorilor de influență	74
5.2 Proiectarea și obținerea cu ajutorul tehnologiei aditive 3D a unei matrite profilate multifunctionale	76
5.2.1 Proiectarea panourilor fonoabsorbante obținute prin printare 3D	76
5.2.2. Proiectarea panourilor fonoabsorbante obținute prin printare 3D	77
5.2.3. Proiectarea matritei profilate multi-use	78
5.2.4. Determinarea coeficienților de absorbție fonică și a impedanței a panourilor obținute	79
5.2.5. Identificarea, determinarea și cuantificarea efectelor factorilor de influență asupra proprietăților de absorbție fonică ale panourilor obținute	80
a. Matrite din PLA printate 3D pentru compozite naturale: proprietăți mecanice ale eco-compozitelor pe bază de ceară	81
b. Performanțele absorbției sonore și proprietățile mecanice ale panourilor biodegradabile printate 3D	86
c. Influența modului de umplere asupra proprietăților de absorbție a sunetului și asupra unor proprietăți mecanice ale pieselor imprimate 3D	99

5.3 Studiul fezabilității și dezvoltarea structurilor de panouri optimizate	107
5.3.1. Studiu de fezabilitate și determinarea soluției optime pentru panourile fonoabsorbante studiate	107
a. Investigarea proprietăților acustice ale panourilor fonoabsorbante din acid polilactic fabricate prin tehnologia de imprimare 3D: Influența diametrelor duzelor și a configurațiilor interne	107
b. Proprietățile izolării termice și fonice ale amestecurilor de biocompozite organice	113
5.3.2. Dezvoltarea și obținerea panourilor fonoabsorbante optimizate	114
CONCLUZII	119
B3 Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei	122
B4 Bibliografie	125

MULȚUMIRI

Cercetările prezentate și detaliate în această teză de abilitare au fost posibile datorită sprijinului financiar oferit de următoarele agenții de finanțare și granturi:

- FONDUL SOCIAL EUROPEAN: Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013, Axa prioritară 1 „Educație și formare profesională în sprijinul creșterii economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere”, Domeniul major de intervenție 1.5. „Programe doctorale și post-doctorale în sprijinul cercetării”, Titlul proiectului: Burse postdoctorale pentru dezvoltare durabilă POSTDOC-DD, Numărul de identificare al contractului: POSDRU/89/1.5/S/59323;
- UNITATEA EXECUTIVĂ PENTRU FINANȚAREA ÎNVĂȚĂMÂNTULUI SUPERIOR, A CERCETĂRII DEZVOLTĂRII ȘI INOVĂRI (CNCS-UEFISCDI), prin numărul de proiect PN-II-RU-TE-2014-4-0173; proiectul fondurilor structurale PRO-DD (POS-CCE 0.2.2.1, ID 123, SMIS 2637, ctr. Nr. 11/2009) pentru asigurarea parțială a infrastructurii utilizate în această lucrare la Institutul de Cercetare Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov;
- Universitatea Transilvania din Brașov: contract de cercetare competiția 2017 "Granturi pentru tineri cercetători", nr. 5201/10.05.2017;
- Solar Facilities for the European Research Area (SFERA III) - Laborator CNRS-PROMES, UPR 8521, French National Centre for Scientific Research (CNRS), Grant Agreement No 823802 - SURPF1904050047;
- Solar Facilities for the European Research Area (SFERA III) - Laborator CNRS-PROMES, UPR 8521, French National Centre for Scientific Research (CNRS), Grant Agreement No 823802 - SURPF2201310034;

- UNITATEA EXECUTIVĂ PENTRU FINANȚAREA ÎNVĂȚĂMÂNTULUI SUPERIOR, A CERCETĂRII DEZVOLTĂRII ȘI INOVĂRI (CNCS-UEFISCDI), prin Contract de finanțare nr. 75 / 13.05.2022, Program 1 - Dezvoltarea sistemului național de cercetare-dezvoltare; Subprogramul 1.1 - Resurse Umane; Tip proiect: Proiecte de cercetare pentru stimularea tinerelor echipe independente, cod PN-III-P1-1.1-TE-2021-0294.

Vreau să exprim cea mai profundă recunoștință față de mentorul meu coordonator, Prof. dr. ing. CONSTANTINESCU Alexandru de la Universitatea Transilvania din Brașov, pentru că mi-a insuflat pasiunea pentru materialele compozite și cercetare.

În continuare vreau să mulțumesc colegilor mei de la facultatea de Știința și Ingineria Materialelor și de la Facultățile de Design de Produs și Mediu, Inginerie Tehnologică și Management Industrial și Design de Mobilier și Inginerie a Lemnului ale Universității Transilvania din Brașov și tuturor celorlați colaboratori pe care nu i-am nominalizat.

La final, dar nu în ultimul rând, doresc să le mulțumesc colegilor Prof. dr. ing. CROITORU Cătălin și Prof. dr. ing. ZAHARIA Sebastian Marian pentru toată suținerea oferită și în mod deosebit domnului Prof. dr. ing. GEAMĂN Virgil pentru toate sfaturile și suportul oferit.

Listă de notații

Δm	Absorbția relativă de apă;
m_t	Masa materialelor scufundate în apă la momentul „t”;
m_0	Masa inițială a materialelor, înainte de scufundarea în apă;
Δm_t	Absorbția relativă de masă a probelor la momentul „t”;
Δm_{eq}	Absorbția de masă la echilibru;
$k \text{ (min}^{-n}\text{)}$	Rata de absorbție a apei;
n	Exponentul de difuzie a legii puterii care descrie mecanismul de transport al solventului în/prin filamente și composite printate 3D;
D	Diametrul epruvetei;
H	Înălțimea epruvetei;
S	Distanța dintre reazeme;
d	Grosimea specimenului structurii sandwich;
R_{bb}	Rezistența la încovoiere;
F_{bb}	Forța maximă înainte de rupere la încovoiere;
R_{bc}	Rezistența la compresiune;
F_{bc}	Forța maximă înainte de rupere la compresiune;
R_i	Rezistența la rupere cu șoc (Reziliența);
$R_{p0,2}$	Limita de curgere;
E_c	Modulul de elasticitate la compresiune;
f	Săgeata (la încovoierea maximă înainte de rupere);
α	Coeficientul de absorție fonică;
STL	Pierdere transmisiei sunetului;

Listă de abrevieri

ABS	Poli(acrilonitril-co-butadienă-co-stiren);
PLA	Poli(acid lactic);
PLA/PHA	Poli(acid lactic)/polihidroxiacanoat ranforsat cu bambus;
PVA	Poly (vinyl alcohol);
SEM	Scanning electron microscopy;
FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy;
DSC	Differential scanning calorimetry;
TG/DTA	Thermogravimetry Differential Thermal Analysis;
ISO	Organizația Internațională de Standardizare (International Organization for Standardization);
AM	Fabricație Aditivă (Additive Manufacturing);
RP	Prototipare Rapidă (Rapid Prototyping);
SFF	Fabricație Solidă Liberă (Solid Freeform Fabrication);
SLS	Selective Laser Sintering;
SLA	Stereolitografia;
PM	Metalurgia Pulberilor (Powder Metallurgy);
FFF	Fabricare cu Filament Fuzionat (Filament Fused Fabrication);
CreatBot DX	Imprimantă 3D cu filament;
WDW-150S	Mașina universal de încercări mecanice;
Delta Wasp 2040	Imprimantă 3D cu pastă ceramică;
FM-700 AHOTEC	Microdurimetru universal;
Nikon Eclipse	Microscop metalografic;
MA 100	
Ca	Ceară de albine;
Cc	Coada calului (Equisetum Arvense);

SHORE D	Durimetru Shore scara de măsurare D;
Hr	Hârtie reciclată;
Or	Orez măcinat;
Abr	Ace de brad măcinate;
TPU	Thermoplastic polyurethane;
Holmarc HO-ED-A-03	Tub de impedanță;

A Rezumat / Abstract

Prezenta teză de abilitare reprezintă o sinteză a cercetărilor și rezultatelor obținute după susținerea Tezei de doctorat cu titlul *Cercetări asupra tehnologiilor și materialelor moderne pentru confecționarea garniturilor de model*, susținută la Universitatea Transilvania din Brașov în anul 2009 în domeniul Inginerie Industrială sub îndrumarea Prof. dr. ing. Alexandru Constantinescu de către autor.

Teza de abilitare, intitulată **CERCETĂRI PRIVIND APLICAREA TEHNOLOGIILOR INOVATIVE ÎN INGINERIA MATERIALELOR AVANSATE**, reprezintă o sinteză a rezultatelor științifice proprii, publicate, în două direcții principale de cercetare: materiale compozite și tehnologiile avansate în procesarea acestora.

Realizările științifice și profesionale se încadrează în domeniul Ingineriei Materialelor, cu un accent pe obținerea și procesarea materialelor compozite utilizând tehnologii avansate.

Elaborarea tezei de abilitare reprezintă un pas semnificativ în direcția explorării și promovării unor soluții durabile pentru obținerea de materiale compozite. Acestea contribuie la economisirea resurselor naturale, reducând dependența de materii prime extrase din natură la costuri reduse și conduce la scăderea costurilor de producție în general.

Teza este structurată în patru secțiuni și anume: în prima și în a doua parte sunt prezentate realizările profesionale și științifice obținute în ultimii 15 ani de către autor, în a treia parte sunt detaliate planurile de evoluție și dezvoltare a carierei, iar în ultima parte sunt prezentate referințele utilizate în această lucrare.

Secțiunea B, intitulată **REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE ȘI PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI**, este structurată în trei subsecțiuni, după cum urmează:

B1. Realizări profesionale

Acest capitol cuprinde pe scurt realizările autorului tezei de abilitare în următoarele trei direcții: studii și experiență, realizările științifice și profesionale și activitatea didactică.

În toată această perioadă, activitatea de cercetare s-a concretizat prin prezentarea a 12 lucrări la conferințe internaționale, publicarea a 35 de articole în reviste BDI, publicarea a 73 articole ISI (dintre care la 19 ca prim autor sau autor corespondent), și am câștigat 4 proiecte naționale/internaționale prin competiție și membru în alte 11, iar impactul activității s-a materializat prin indici Hirsch - 12 în baza de date ISI, 13 în Scopus și 16 în Google Scholar.

Subsecțiunea B2 Realizări științifice, este structurată în 5 capitole, după cum urmează:

Capitolul 1. Modelarea matricilor din materiale compozite de tip rășini armate, ca funcție a grosimii și rezistenței mecanice a pereților subțiri – cercetări postdoctorale; În acest capitol prezint cercetările desfășurate între anii 2010 și 2013, unde am studiat compozitele din rășina armată cu fibră de sticlă și pe lângă celelalte realizări (participarea la conferințe naționale/internaționale, publicarea de articole ISI etc), am depus și o propunere de brevet națională cu numărul RO128812-A0 și la data de 30.03.2020 am primit **Brevetul de Invenție** cu numărul **128812**.

Capitolul 2. Fabricarea asistată 3D a unor structuri eco-compozite hibride - contract de cercetare competiția 2017 "Granturi pentru tineri cercetători";

Propunerea de proiect a avut ca scop implementarea și demonstrarea unui concept nou de obținere a unor structuri de materiale eco-compozite utilizând o tehnologie aditivă 3D multi-scop care presupune: a) elaborarea și implementarea unei proceduri self-healing pentru interfața fibră/matrice și b) elaborarea unei configurații flexibile pentru matrița de formare a noilor arhitecturi de materiale.

Capitolul 3. Sinterizarea cu ajutorul energiei solare a pieselor cu morfologie celulară controlată realizată cu miezuri printate 3D (Solar sintering of parts with controlled cellular morphology architecture made in moulds obtained by 3D printing).

În acest studiu au fost obținute piese sinterizate cu energie solară cu geometrie internă controlată, prin utilizarea unui negativ printat 3D și principiile metalurgiei pulberilor.

Această abordare nu a fost folosită până atunci și poate fi considerată o inovație în domeniu mai ales datorită configurației propuse a pieselor din cupru care este dificil de realizat folosind alte tehnologii.

Capitolul 4. Îmbunătățirea procesului de disociere-adsorbție-difuzie a pieselor printate 3D și nichelate prin tratament solar concentrat (Improving the properties of A6 steel 3D printed and nickel-plated parts by solar treatment).

Planul de lucru care a fost îndeplinit a fost următorul:

- ✓ obținerea pieselor metalice cu tehnologia SLS;
- ✓ depunerea electrochimică de nichel cu două grosimi diferite [A($100\mu\text{m}\pm 15\%$) și B($200\mu\text{m}\pm 15\%$)];
- ✓ tratarea termică a suprafeței folosind energie solară la $800^{\circ}\text{C} (\pm 10^{\circ}\text{C})$ și $900^{\circ}\text{C} (\pm 10^{\circ}\text{C})$ și timpi de menținere de 5, 10, 15 și 20 de minute la fiecare temperatură;
- ✓ tratarea termică a suprafeței folosind energie solară la $800^{\circ}\text{C} (\pm 10^{\circ}\text{C})$ și $900^{\circ}\text{C} (\pm 10^{\circ}\text{C})$ și timpi de menținere de 5, 10, 15 și 20 de minute la fiecare temperatură pentru probe care nu aveau strat de Ni depus;
- ✓ depunerea electrochimică de nichel cu două grosimi diferite – D($100\mu\text{m}\pm 15\%$), E($200\mu\text{m}\pm 15\%$) pe probele tratate solar menționate anterior;
- ✓ caracterizarea pieselor obținute: rezistența la uzură, rugozitatea, coeficientul de frecare;

Capitolul 5. Compozite ecologice realizate prin tehnici de imprimare 3D pentru obținerea panourilor fonoabsorbante, Contract de finanțare nr. 75 / 13.05.2022, cod PN-III-P1-1.1-TE-2021-0294.

În cadrul proiectului au fost propuse și realizate o serie de activități și rezultate obținute conform contractului de finanțare TE 75/2022, pe parcursul a 24 de luni.

După parcurgerea tuturor etapelor și activităților din cadrul proiectului s-a reușit îndeplinirea cu succes a acestora în proporție de 100% iar în privința diseminării rezultatelor depășirea numărului estimat atât a lucrărilor științifice în reviste ISI (Q1 sau Q2) cât și a prezentărilor în cadrul conferințelor internaționale.

În cadrul proiectului au fost determinați un număr de 6 factori de influență, factori care influențează direct proprietățile fonoabsorbante în cazul panourilor printate 3D și un număr de 4 factori în cazul panourilor fonoabsorbante compozite obținute din materiale reciclate (celuloză + ceară de albine + rășină de brad + coada calului).

În cazul panourilor obținute direct din modele CAD (printate 3D) au fost evidențiate un număr de nouă panouri cu toate condițiile de obținere (configurație goluri, procent de goluri din volum, densitate material, caracteristici de printare 3D, etc).

Cele mai bune rezultate obținute sunt tocmai în cazul acestor panouri eco-compozite, cu un coeficient de absorbție fonică $\alpha = 0.99$, panouri care fac obiectul cererii de brevet național Nr. 00099/2024 și cererii de brevet internațional PCT/RO2024/000011.

Abstract

This habilitation thesis synthesizes the research and results obtained since the defense of my Doctoral Thesis, "Research on Modern Technologies and Materials for the Manufacture of Model Gaskets," completed at Transilvania University of Braşov in 2009 under the guidance of Prof. Dr. Eng. Alexandru Constantinescu.

Entitled "Research on the Application of Innovative Technologies in Advanced Materials Engineering," this habilitation thesis consolidates my published scientific results in two main research directions: composite materials and advanced processing technologies.

My scientific and professional achievements lie within the field of Materials Engineering, with a focus on developing composite materials processed using advanced technologies.

This habilitation thesis represents a significant step towards exploring and promoting sustainable solutions for producing composite materials. It aims to conserve natural resources, reduce dependence on raw materials, and lower production costs.

The thesis is structured in four sections, namely: in the first and second parts, the professional and scientific achievements obtained in the last 15 years by the author are presented, in the third part, the career evolution and development plans are detailed, and in the last part, the references used in this work are presented.

Section B, entitled SCIENTIFIC AND PROFESSIONAL ACHIEVEMENTS AND CAREER EVOLUTION AND DEVELOPMENT PLANS, is structured in three subsections, as follows:

B1. Professional Achievements

This chapter briefly summarizes the achievements of the author of the habilitation thesis in the following three directions: studies and experience, scientific and professional achievements and didactic activity.

Throughout this period, my research activities have resulted in the presentation of 12 papers at international conferences, the publication of 35 articles in BDI journals, and 76 ISI articles, with 20 as the first author or corresponding author. I have won four national and international

projects through competition and participated in another 11. The impact of my work is reflected in my Hirsch indices: 12 in the ISI database, 13 in Scopus, and 16 in Google Scholar.

Subsection B2 Scientific Achievements is structured in 5 chapters, as follows:

Chapter 1. Modeling of matrices from reinforced resin composite materials, as a function of the thickness and mechanical strength of thin walls – postdoctoral research; In this chapter I present the research carried out between 2010 and 2013, where I studied glass fiber reinforced resin composites and in addition to other achievements (participation in national/international conferences, publication of ISI articles, etc.), I also filed a national patent proposal with number RO128812-A0 and on 30.03.2020 I received the Patent of Invention with number 128812.

Chapter 2. 3D Assisted Manufacturing of Hybrid Eco-Composite Structures - Research Contract Competition 2017 "Grants for Young Researchers";

The project proposal aimed to implement and demonstrate a new concept for obtaining eco-composite material structures using a multi-purpose 3D additive technology that involves: a) the development and implementation of a self-healing procedure for the fiber/matrix interface and b) the development of a flexible configuration for the mold for forming new material architectures.

Chapter 3. Solar sintering of parts with controlled cellular morphology architecture made in molds obtained by 3D printing.

In this study, solar-powered sintered parts with controlled internal geometry were obtained by using a 3D printed negative and the principles of powder metallurgy.

This approach has not been used before and can be considered an innovation in the field, especially due to the proposed configuration of the copper parts, which is difficult to achieve using other technologies.

Chapter 4. Improving the properties of A6 steel 3D printed and nickel-plated parts by solar treatment.

The work plan that was carried out was the following:

- ✓ obtaining metal parts with SLS technology;
- ✓ electrochemical nickel deposition with two different thicknesses [A($100\mu\text{m}\pm 15\%$) and B($200\mu\text{m}\pm 15\%$)];
- ✓ surface heat treatment using solar energy at 800°C ($\pm 10^{\circ}\text{C}$) and 900°C ($\pm 10^{\circ}\text{C}$) and holding times of 5, 10, 15 and 20 minutes at each temperature;
- ✓ surface heat treatment using solar energy at 800°C ($\pm 10^{\circ}\text{C}$) and 900°C ($\pm 10^{\circ}\text{C}$) and holding times of 5, 10, 15 and 20 minutes at each temperature for samples that did not have a deposited Ni layer;
- ✓ electrochemical nickel deposition with two different thicknesses – D($100\mu\text{m}\pm 15\%$), E($200\mu\text{m}\pm 15\%$) on the previously mentioned solar treated samples;
- ✓ characterization of the obtained parts: wear resistance, roughness, friction coefficient;

Chapter 5. Ecological composites made using 3D printing techniques to obtain sound-absorbing panels, Financing contract no. 75 / 13.05.2022, code PN-III-P1-1.1-TE-2021-0294. Within the project, a series of activities and results obtained according to the financing contract TE 75/2022 were proposed and carried out, over a period of 24 months.

After completing all the stages and activities within the project, they were successfully completed in a proportion of 100% and, in terms of the dissemination of the results, the estimated number of both scientific papers in ISI journals (Q1 or Q2) and presentations at international conferences was exceeded.

Within the project, a number of 6 influencing factors were determined, factors that directly influence the sound-absorbing properties in the case of 3D printed panels and a number of 4 factors in the case of composite sound-absorbing panels obtained from recycled materials (cellulose + beeswax + fir resin + horsetail).

In the case of panels obtained directly from CAD models (3D printed), a number of nine panels were highlighted with all the conditions for obtaining them (void configuration, percentage of voids in the volume, material density, 3D printing characteristics, etc.).

The best results obtained are precisely in the case of these eco-composite panels, with a sound absorption coefficient $\alpha = 0.99$, panels that are the subject of national patent application No. 00099/2024 and international patent application PCT/RO2024/000011.

B REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE ȘI PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI

B1. Realizări profesionale

Studii și experiență profesională

În continuare voi sublinia în principal experiența mea în ingineria materialelor, domeniul în care doresc să-mi obțin abilitarea.

Membru în cadrul departamentului Știința Materialelor, Cercetător Științific II Mihai Alin Pop, 47 de ani, sunt cercetător gradul II la Institutul de Cercetare & Dezvoltare (ICDT), aparținând Universității Transilvania din Brașov cu o experiență de peste 12 ani.

Am început activitatea de cercetare în anul 2004 cu teza de doctorat în domeniul materialelor compozite și finalizată cu succes în 2009. După aceea, am continuat cercetările studiind compozitele cu rășini armate cu fibră de sticlă între anii 2010 și 2013.

Din martie 2012 sunt angajat la Institutul de Cercetare & Dezvoltare (ICDT), pe poziția de Cercetător gr. III (CS III) câștigată prin concurs iar în anul 2020 am promovat pe treapta superioară de Cercetător Științific gr. II, post menținut până în prezent și din octombrie 2018 coordonez activitatea Centrului de Cercetare C08 urmând strategia universității.

Norma de bază a fost în activitatea de cercetare științifică, dar nu am neglijat nici latura didactică, așa că pe lângă orele de curs, proiecte, laboratoare sau seminarii cu studenții, am publicat nouă cărți de specialitate/manuale didactice/îndrumar de laborator în domeniul științei materialelor și al printării 3D (dintre acestea la trei cărți sunt prim autor), precum și coordonarea ca editor a unui volum internațional. Aceste cărți sunt dedicate nu numai specialiștilor în domeniu, ci și pentru îndrumarea studenților în descoperirea unor lucruri noi în aceste domenii.

În vederea îmbunătățirii activității profesionale am participat la diferite cursuri de specializare, după cum urmează:

- Curs de specializare postuniversitar: Poluarea, protecția și managementul mediului, Iunie 2008;
- Curs de formator, cod COR/NC 242401, Certificat de Competențe Profesionale pentru formare / pregătire, Aprilie 2012;
- Curs de specializare platformă tribologică: Scratch, Indentation and Tribology seminar, Mai 2012;
- Curs de specializare analize termice: Caracterizarea materialelor cu ajutorul tehnicilor de analiză termică, Mai 2012;
- Curs de specializare printare 3D: Selective Laser Sintering, Ianuarie 2013;
- Curs de specializare printare 3D: Stereolitografia, Mai 2024;
- Curs de specializare scanare 3D: Shining 3D – Scanare profesională, Septembrie 2024.

În ceea ce privește experiența de management, autorul prezentei teze de abilitare a avut responsabilități de conducere, după cum urmează:

2018 – prezent, membru în consiliul departamentului Știința Materialelor;

2018 - prezent, coordonator Centru de Cercetare C08 - Tehnologii și materiale avansate metalice, ceramice și compozite MMC;

De asemenea, am fost membru în comisiile de îndrumare ale doctoranzilor:

- PLĂMĂDIALĂ Ionuț, coordonator științific Prof. dr. ing. CROITORU Cătălin, domeniul de doctorat Ingineria Materialelor, teză de doctorat în derulare.
- MUNTEAN Serafim, coordonator științific Prof. dr. ing. OANCEA Gheorghe, domeniul de doctorat Inginerie industrială, teză de doctorat în derulare.
- TORPAN Radu, coordonator științific Prof. dr. ing. ZAHARIA Sebastian Marian, domeniul de doctorat Inginerie industrială, teză de doctorat în derulare.

- SUCIU Paul Sebastian, coordonator științific Prof. dr. ing. ZAHARIA Sebastian Marian, domeniul de doctorat Inginerie industrială, teză de doctorat în derulare.
- COLESA Ștefan, coordonator științific Prof. dr. ing. LUCA-MOTOC Dana, domeniul de doctorat Inginerie Mecanică, teză de doctorat în derulare.

Activitatea didactică

În cadrul Departamentului de Știința Materialelor, am susținut cursuri și ore de aplicații (seminar, laborator sau proiect) la următoarele discipline:

- Materiale compozite avansate si Tehnologii și echipamente de prototipare rapidă la programul de studii de masterat Ingineria și Managementul Materialelor Avansate, anul I.
- Informatică aplicată, la programul de studii de licență Antreprenoriat în Ingineria Materialelor, anul II.
- Materiale compozite, la programul de studii de licență Știința Materialelor, anul IV.
- Bazele teoretice ale deformării plastice, la programul de studii de licență Știința Materialelor, anul III.
- Realizarea pieselor direct din modele CAD si Automatică - Senzori și actuatori, la programul de studii de licență Inginerie Economică în Domeniul Mecanic, anul IV.

O parte la fel de importantă a activității didactice, desfășurate de către autorul tezei de abilitare, o reprezintă coordonarea proiectelor de diplomă/disertație coordonând în perioada 2012 și până în prezent un număr de peste 30 de lucrări.

Activitatea de cercetare științifică

Elaborarea proiectelor de cercetare, depuse în competiții naționale și internaționale, a reprezentat o direcție de interes major a autorului, reușind să câștige în calitate de director următoarele proiecte de cercetare:

1. Titlu proiect: *Modelarea matricilor din materiale compozite de tip rășini armate, ca funcție a grosimii și rezistenței mecanice a pereților subțiri*, Burse postdoctorale pentru dezvoltare durabilă POSTDOC-DD, POSDRU/89/1.5/S/59323, Beneficiar: Universitatea Transilvania din Brașov, Finanțator: FONDUL SOCIAL EUROPEAN;
2. Titlu proiect: *Fabricarea asistată 3D a unor structuri eco-compozite hibride*, Competiția UniTBv – Granturi pentru tineri cercetători, Finanțator: Universitatea Transilvania din Brașov;
3. Titlu proiect: *Sinterizarea cu ajutorul energiei solare a pieselor cu morfologie celulară controlată realizată cu miezuri printate 3D (Solar sintering of parts with controlled cellular morphology architecture made in moulds obtained by 3D printing)*, Proiect SFERA III – SURPF1904050047, Finanțator: Horizon 2020 grant Nr. 823802;
4. Titlu proiect: *Îmbunătățirea procesului de disociere-adsorbție-difuzie a pieselor printate 3D și nichelate prin tratament solar concentrat (Improving the properties of A6 steel 3D printed and nickel-plated parts by solar treatment)*, Proiect SFERA III – SURPF2201310034, Finanțator: Horizon 2020 grant Nr. 823802;
5. Titlu proiect: *Compozite ecologice realizate prin tehnici de imprimare 3D pentru obținerea panourilor fonoabsorbante*, Proiect Tinere Echipa, Contract de finanțare nr. 75 / 13.05.2022, cod PN-III-P1-1.1-TE-2021-0294, Finanțator: UEFISCDI

Am fost membru în următoarele proiecte de cercetare (selecție):

1. Titlu proiect: *Creșterea fiabilității și eficienței producției aditive (Driving up Reliability and Efficiency of Additive Manufacturing – DREAM)*, H2020_Grant Agreement nr. 723699, Finanțator: Horizon 2020;
2. Titlu proiect: *Servicii de cercetare industrială structură suprafață implant: caracteristici mecanice*, Finanțator: Dentix Milenium SRL nr. ctr: 144/09.01.2017;

3. Titlu proiect: *Noi metodologii de diagnosticare și tratament: provocări actuale și soluții tehnologice bazate pe nanomateriale și biomateriale – SANOMAT*, Finantator: PN III. Nr. ctr: PCCDI-2017-0062;
4. Titlu proiect: *Creșterea fiabilității și eficienței manufacturării aditive*, Finantator: UEFISCDI Nr. ctr:15/2017;
5. Titlu proiect: *Cercetări privind materiale și tehnologii utilizate în realizarea prototipurilor pentru industria de automobile*, Finantator: SC DRAXLMAIER SISTEME TEHNICE ROMANIA, Nr. ctr: 86674/2014;
6. Titlu proiect: *Cercetări privind materiale și tehnologii utilizate în realizarea prototipurilor pentru industria de automobile*, Finantator: SC DRAXLMAIER SISTEME TEHNICE ROMANIA, Nr. ctr: 16580/2016 ;
7. Titlu proiect: *Optimizarea eco-tehnologiei de călire inductivă pentru inelele de rulment mari (Optimizing the inductive quenching eco-technology for large bearing rings)*, Finantator: UEFISCDI Nr. ctr: 100BG/2016;
8. Titlu proiect: *Model experimental de avion fără pilot din materiale compozite fabricate prin tehnologii aditive* , Finantator: UEFISCDI Nr. ctr: 413PED/2019.

Cele mai importante rezultate științifice obținute se pot cuantifica astfel:

- 73 articole publicate în reviste cotate ISI/Clarivate Analytics (din care 19 articole în calitate de prim autor/autor corespondent);
- din totalul articolelor publicate în jurnale ISI/Clarivate Analytics, 42 sunt situate în zona galbenă sau roșie, din care 10 sunt ca prim autor/autor corespondent;
- 12 articole publicate la conferințe internaționale indexate ISI/Clarivate Analytics (4 prim autor);
- 35 de articole publicate în jurnale/conferințe, indexate în baze de date internaționale (8 ca prim autor);
- 1 brevet de invenție;

- 15 proiecte de cercetare/contracte de cercetare (4 în calitate de director de proiect).

Impactul activității de cercetare s-a concretizat prin indicii Hirsch astfel:

- Indice Hirsch conform ISI Knowledge – 12;
- Indice Hirsch conform Scopus – 13;
- Indice Hirsch conform Google Scholar – 16.

Îndeplinirea criteriilor stabilite de Comisia Națională de Atestare a Titlurilor, Diplomelor și Certificatelor Universitare (CNATDCU) pentru domeniul Ingineria Materialelor, conform Anexei 7 a Ministerului Educației, conform Ordinul Educației și Cercetării Științifice nr. 6129/20.12.2016 este prezentată în tabelul de mai jos. Minimul standardelor și punctajele minime pentru fiecare categorie sunt îndeplinite și depășite.

Nr crt	Domeniul activităților	Tipul activităților	Categorii si restricții	Subcategorii	Criterii realizate
1	Activitatea didactică și profesională (A1)	1.1 Cărți si capitole în cărți de specialitate în edituri recunoscute	1.1.1 Cărți / capitole ca autor	1.1.1.1 Internaționale	1 carte, din care 1 prim autor
				1.1.1.2 Naționale; din care: [1]: Profesor minim 2, d.c. 1 prim autor; Conferențiar minim 1	1 carte
			1.1.2 Cărți / capitole ca editor	1.1.2.1 Internaționale	1 carte editor
		1.2 Suport didactic	1.2.1 Manuale didactice, monografii, inclusiv electronice: pentru Profesor min. 2, din care 1 ca prim autor, pentru Conferențiar min. 1		7 cărți, din care 2 prim autor

2	Activitatea de cercetare (A2)	2.1 Articole în reviste cotate ISI Thomson Reuters-Web of Science Core Collection [FI -Factor de Impact] și în volume indexate ISI proceedings - Web of Science, în specificul postului scos la concurs [2]	2.1.1 Minimum 15 articole pentru Profesor / CS I din care min. 10 în Reviste cotate ISI Th.R. [din care min. 5 cu FI de min. 1, și min. 5 ca autor principal cu FI min 0,5] [3]		64 articole ISI, din care 19 ca autor principal, 10 cu FI>1 și 16 cu FI min 0.5
		2.2 Articole în reviste și volumele unor manifestări științifice indexate în alte Baze de Date Internaționale [BDI], în specificul postului scos la concurs [4]			35 articole
		2.3 Brevele de invenție acordate, neindexate/indexate ISI Thomson Reuters-Web of Science-Derwent Innovations Index		2.3.2. Naționale	1 brevet
		2.4 Granturi/proiecte de cercetare câștigate prin competiție/ Contracte cu agenți economici, min 10.000 echivalent Euro, încasați	2.4.1 Director/Responsabil partener: Minimum 2 pentru Profesor / CS I, din care cel puțin 1 ca director; Minim 1 pentru Conferențiar / CSII.	2.4.1.1. Internaționale	2 proiecte, din care 2 ca director
				2.4.1.2. Naționale	2 proiecte, din care 2 ca director
			2.4.2 Membru în echipă	2.4.2.1 Internaționale	6 proiecte
				2.4.2.2 Naționale	10 contracte
3	Recunoașterea și impactul activității (A3)	3.1 Citări în reviste cotate în ISI Thomson Reuters-Web of Science Core Collection [FI - Factor de Impact] și în alte BDI (FI se referă la revista în care a fost publicat articolul care citează)	Se exclud autocitățile tuturor co-autorilor; Minimum 30 citări pentru Profesor / CSI și minimum 15 citări pentru Conferențiar /CSII, în ISI Thomson Reuters-Web of Science Core Collection și SCOPUS	3.1.1 ISI	492 citări
				3.1.2 BDI	6 citări

Condiții minime (Profesor)

Nr. crt.	Domeniul de activitate	Conditii Profesor	Realizat
1	Activitate didactică/profesională (A1)	Minimum 60 puncte	98.831
2	Activitate de cercetare (A2)	Minimum 320 puncte	1718.244
3	Recunoasterea impactului activitatii (A3)	Minimum 120 puncte	1840.52
Total		500 puncte	Total realizat = 3657.6

B2. Realizări științifice

Această teză de abilitare prezintă rezultatele cercetărilor pe care le-am efectuat în domeniul materialelor compozite și tehnologiilor de prototipare rapidă, după obținerea titlului de doctor în inginerie industrială în anul 2009 acordat prin ordinul ministrului educației, cercetării și inovării nr. 4698 din 14.08.2009.

Capitolul 1. Modelarea matricilor din materiale compozite de tip rășini armate, ca funcție a grosimii și rezistenței mecanice a pereților subțiri – cercetări postdoctorale [POP11a, POP11b, POP12, HRE12, POP13, POP17, POP20a].

Proiectul mai sus menționat s-a derulat în perioada 01/06/2010 - 31/05/2013 și a fost finanțat din FONDUL SOCIAL EUROPEAN, Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013, Axa prioritară 1 „Educație și formare profesională în sprijinul creșterii economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere”, Domeniul major de intervenție 1.5. „Programe doctorale și post-doctorale în sprijinul cercetării”, Titlul proiectului: Burse postdoctorale pentru dezvoltare durabilă POSTDOC-DD, Numărul de identificare al contractului: POSDRU/89/1.5/S/59323, Beneficiar: Universitatea Transilvania din Brașov.

Categoria materialelor compozite armate cu materiale naturale și/sau cu fibre sintetice a constituit și continuă să constituie o preocupare majoră pentru multe grupuri de cercetători și subiectul constant al numeroaselor publicații în articole indexate ISI, conferințe/workshop-uri și alte referințe științifice. Acest avantaj este datorat avantajelor economice, sociale și tehnologice pe care aceste materiale le oferă. Având în vedere gama largă de combinații de materiale pentru matrice, atât sintetice cât și naturale, și constituenți naturali cu forme geometrice, dimensiuni și proprietăți diferite, au fost utilizate diverse tehnologii de fabricare și propuse numeroase soluții pentru problematica de interfațare fibre/matrice, ceea ce îngustează tot mai mult spectrul unor noi abordări [POP 11a, POP 11b].

Studiul materialelor compozite prezintă un interes deosebit datorită greutateii scăzute raportate la unitatea de volum în comparație cu materialele clasice, rezistență mare la uzură și coroziune, precum și caracteristicilor mecanice ridicate în raport cu grosimea pereților.

Știința materialelor compozite necesită interacțiuni strânse ale cunoștințelor diferitelor discipline, cum ar fi analiza și proiectarea structurală, știința materialelor, mecanica materialelor și tehnologii de prelucrare.

Proprietățile fizice, chimice, magnetice, electrice și mecanice sunt influențate de compatibilitatea și modul de dispunere a elementelor componente. Reperele confecționate din materiale compozite în timpul funcționării conduc la o mărire a fiabilității și a mentenanței cu un consum scăzut de energie. Avantajele economice, performanța și simplitatea proiectării, precum și comoditatea realizării practice, recomandă aceste tehnologii spre a fi aplicate la scară industrială.

Din gama mare de rășini și inserții pentru obținerea de materiale compozite doar o mică parte au fost cercetate și studiate. Cercetările efectuate au fost diverse și dispersate pe ansamblul domeniului, fiind axate pe studiul influenței anumitor materiale de ranforsare sau de adaos asupra unor proprietăți fizico-mecanice, fără a fi formulate concluzii generale [POP 12].

În cadrul proiectului au fost derulate o serie de activități pentru a îndeplini scopul principal de a obține repere cu pereți subțiri și caracteristici mecanice ridicate din materiale compozite de tip rășini armate, prin cercetări fundamentale asupra tehnologiilor și metodelor optime de elaborare ale acestora [HRE 12, POP 17].

Scopul secundar a fost dezvoltarea unor tehnologii de fabricare și influența acestora asupra calității materialelor și a proprietăților acestora.

Pentru ușurința identificării materialelor compozite (compoziție, arhitectură, tip de rășină), au fost alocate denumiri specific: Grupa A, Grupa B și Grupa C.

Ca matrici, au fost propuse următoarele materiale:

- Pentru Grupa A - o rășină poliesterică nesaturată ortoftalică de reactivitate mică;

- Pentru Grupa B - o rășină poliesterică nesaturată izoftalică tixotropizată preaccelerată de reactivitate mare;
- Pentru Grupa C - o rășină poliesterică nesaturată ortoftalică de vâscozitate și reactivitate înaltă.

Pentru fiecare tip de rășină s-a prevăzut utilizarea următoarelor materiale de ranforsare: fibră de sticlă tip stratimat cu greutatea specifică de 300, 450 și 600 g/m², țesătură din fibră de sticlă cu greutatea specifică de 300 și 500 g/m² și plasă din sârmă de oțel cu greutatea specifică de 400 g/m² cu dimensiunea ochiurilor de 0.8 x 0.8 mm și grosimea firelor de 0,15 mm;

- Materiale auxiliare.

Aceste materiale au fost utilizate pentru ușurarea proceselor fabricație a materialelor compozite și se pot enumera câteva:

- agent de demulare tip ceară de extracție și de uz general;
- diluant nitro; pentru diferite scopuri precum și pentru spalarea perilor și a sculelor utilizate;
- pensule de diferite dimensiuni (20 cm., 30 cm., 40 cm.);
- alte materiale - lemn diferite esențe, plăci metalice, plăci de sticlă, PAL, hârtie abrazivă (de granulație diferită), etc.

S-au obținut un număr de 94 de tipuri de materiale compozite multistrat prin variația numărului de straturi de insertie și a tipurilor de inserții. Din acestea au fost realizate peste 1400 epruvete necesare pentru determinarea proprietăților fizico-mecanice.

În cadrul acestui proiect cercetările asupra materialelor compozite și a tehnologiilor de obținere a acestora, precum și analiza proprietăților obținute, s-au concretizat prin:

- optimizarea compozițiilor fizice și chimice ale materialelor compozite studiate,
- optimizarea proceselor utilizate la confecționarea reperelor cu pereți subțiri,

- îmbunătățirea tehnologiilor de fabricare și studiul influenței acestora asupra caracteristicilor finale a reperelor cu pereți subțiri;
- dezvoltarea metodelor experimentale de stabilire a caracteristicilor fizico-mecanice a reperelor produse;
- creșterea fiabilității, a mentenanței și a performanțelor prin dezvoltarea materialelor compozite în raport cu utilizarea materialelor clasice.
- modelarea matematică a grosimii materialelor compozite și determinarea numărului optim de straturi precum și a domeniilor de utilizare a acestor materiale compozite.
- studierea posibilității utilizării altor materiale/tehnologii comparativ cu materialele utilizate în cadrul proiectului din punct de vedere al costurilor, tehnologiei, preciziei dimensionale etc.
- crearea unei baze de date necesare alegerii optime a materialelor compozite multistrat necesare confecționării unor repere diferite în funcție de domeniu aplicației.

REZULTATE OBȚINUTE:

- **publicarea unui număr de 8 articole în reviste de specialitate, din care 4 indexate ISI web of knowledge și 4 articole indexate BDI.**
- **participarea și susținerea unui număr de 6 lucrări științifice la conferințe internaționale.**
- **depunerea unei cereri de brevet cu titlul „MODEL DE FORMARE REALIZAT DIN MATERIALE COMPOZITE MULTISTRAT ȘI PROCEDEU DE REALIZARE A ACESTUIA,, Cerere de brevet de invenție nr. A/00331 din 29.04.2013.**
- **obținere brevet de invenție cu titlul „MATERIAL COMPOZIT MULTISTRAT DIN FIBRĂ DE STICLĂ, MODEL DE FORMARE CE ÎL UTILIZEAZĂ, ȘI PROCEDEU DE REALIZARE A ACESTUIA,, RO 128812 B1 / 2020.**

Capitolul 2. Fabricarea asistată 3D a unor structuri eco-compozite hibride - contract de cercetare competiția 2017 "Granturi pentru tineri cercetători", nr. 5201/10.05.2017, sursa de finanțare Universitatea Transilvania din Brașov [TRA17a, TRA17b].

Introducerea tehnologiilor aditive a deschis o nouă perspectivă de sinteză a materialelor și reprezintă una dintre cele mai recente abordări ale procesatorilor de materiale, dezvoltatorilor de produse și cercetătorilor din domeniu sau domenii conexe, cele din domeniul autovehiculelor și aplicațiilor biomedicale fiind cele mai recente și spectaculoase [ZAH17, AVE01, JOS00].

În aceste circumstanțe, propunerea de proiect a avut ca scop implementarea și demonstrarea unui concept nou de obținere a unor structuri de materiale eco-compozite utilizând o tehnologie aditivă 3D multi-scop care presupune: a) elaborarea și implementarea unei proceduri self-healing pentru interfața fibră/matrice și b) elaborarea unei configurații flexibile pentru matrița de formare a noilor arhitecturi de materiale.

Fezabilitatea conceptului a fost cuantificată prin indicatori definiți de performanțele mecanice și termo-fizice ale structurilor eco-compozite elaborate, raportați la corespondentele obținute pentru arhitecturile considerate configurații de referință. În vederea diminuării timpilor alocați etapelor trial-error au fost implementate soluțiile obținute în urma optimizărilor arhitecturale care au ținut cont de experiența întregii echipe de cercetare și datele din literatura de specialitate [ZAH17, AVE01, JOS00].

Procesele de imprimare 3D sunt în prezent lider în transformarea proceselor tradiționale de artă, inginerie sau producție.

2.1. Modificările structurale din timpul printării 3D a materialelor termoplastice bioderivate și sintetice (*Structural changes during 3D printing of bioderived and synthetic thermoplastic materials*) [POP 19]

În continuare, sunt prezentate studiile privind comportamentul structural și termic al filamentelor disponibile comercial pe bază de poli(acrilonitril-co-butadienă-co-stiren), poli(acid lactic) și poli(acid lactic)/polihidroxialcanoat ranforsat cu bambus) [POP19].

Biotermoplasticele compozite cu rumeguș de lemn (*Bambusa* sp.) au fost evaluate prin analize calorimetrice cu scanare diferențială și spectroscopie în infraroșu, cu scopul de a înțelege modificările care apar la nivel molecular în timpul imprimării lor tridimensionale. S-a determinat că ambele materiale biotermoplastice suferă reorientări moleculare și scăderea cristalinității atunci când sunt supuse extrudării prin imprimare 3D, în timp ce termoplasticul sintetic suferă modificări reticulare datorită componentei sale butadienice. Toate materialele studiate prezintă o bună stabilitate masică în mediul umed (valori de absorbție a apei între 0,8 și 24%), absorbția de apă urmând un mecanism pseudo-Fickian. [POP 19]

După cum se poate observa în micrografiile prezentate în Figura 2.1a și 2.1c, filamentele PLA și ABS prezintă un aspect compact și fără defecte macrostructurale. PLA/PHA/BambooFill (Figura 2.1e) prezintă o distribuție neuniformă a particulelor de lemn (diametru mediu de 49,4 μm), cu grupare în apropierea centrului filamentului. Toate cele trei tipuri de filament sunt coextrudate, această configurație fiind cea mai bună pentru microimprimarea de înaltă rezoluție [WU17].

Secțiunile transversale ale mostrelor printate prezintă mai multe defecte (pori interstrat), cu modele triunghiulare regulate în cazul PLA (Figura 2.1b) și modele neregulate în cazul ABS (Figura 2.1d) și PLA/PHA/BambooFill (Figura 2.1f) cauzată de includerea bulelor de aer mici și de fuziunea defectelor de filament din timpul extrudării la trecerea prin duza încălzită.

În Figura 2.1 de la a la f, care reprezintă o secțiune transversală prin filamente și epruvete printate 3D, se poate observa că diametrul are valori apropiate de diametrul specificat în fișa

tehnică ($2,85 \pm 0,03 \text{ mm}$). Doar la PLA avem $D1 = 2,92 \text{ mm}$ și $D2 = 2,88 \text{ mm}$, pentru ABS, $D1 = 2,74 \text{ mm}$ și $D2 = 2,44 \text{ mm}$ iar pentru PLA / PHA BambooFill $D1 = 2,66 \text{ mm}$ și $D2 = 2,44 \text{ mm}$.

În figura 2.1b am putut măsura grosimile minime și maxime ale unui strat $h = 0,57 \text{ mm}$ și $h2 = 0,44 \text{ mm}$ și $h3 = 0,87 \text{ mm}$ și $h4 = 0,77 \text{ mm}$ care reprezintă grosimea a două straturi (straturile au avut o fuziune foarte bună).

În cazul ABS (Figura 2.1b și 2.1c) datorită temperaturii mai mari de imprimare, straturile sunt îmbinate foarte bine și nu pot fi distinse individual.

În cazul PLA / PHA BambooFill (Figura 2.1d și 2.1e), datorită rumegușului de bambus, straturile au multe goluri sau aglomerări și nu pot fi distinse individual.

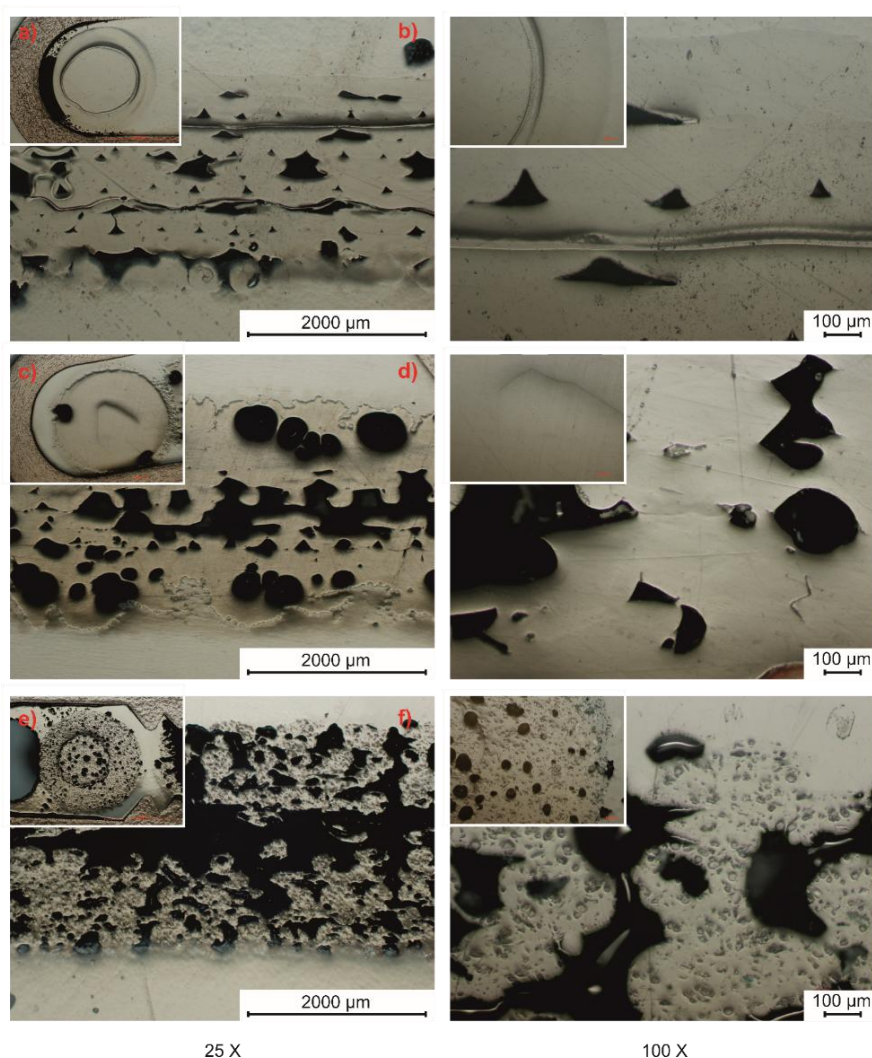


Figura 2.1. Micrografii optice în secțiune transversală (mărire 25x): a) PLA-filament b) PLA-epruvetă printată; c) ABS-filament, d) ABS-epruvetă printată; e) PLA/PHA/BambooFill-filament; f) PLA/PHA/BambooFill-epruvetă printată [POP 19]

Cinetica absorbției de apă pentru filamente și materiale printate este ilustrată în Figura 2.2. Ca o linie generală de tendință, se poate observa că materialele printate 3D prezintă o absorbție mai mare decât a filamentelor corespunzătoare, ceea ce s-ar putea datora unei ușoare modificări în arhitectura lanțurilor polimerice la nivel molecular, pe de o parte, și modificările valorilor R_{sk} de suprafață, pe de altă parte (picurile profilului de rugozitate acționează ca și concentratori locali de absorbție de apă).

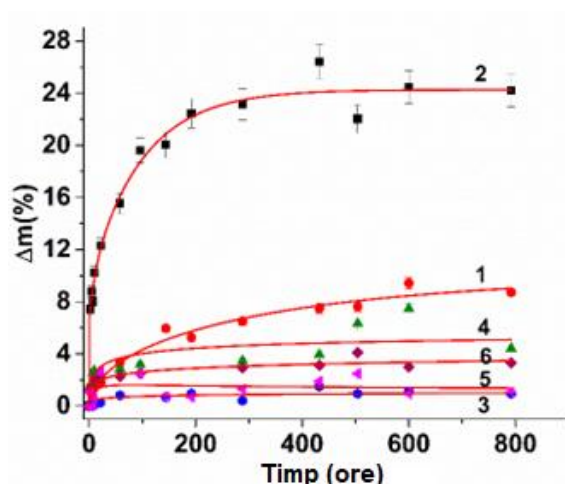


Figura 2.2. Cinetica absorbției apei: 1) PLA/PHA/BambooFill filament; 2)

PLA/PHA/BambooFill epruvetă printată; 3) ABS filament; 4) ABS epruvetă printată; 5) PLA filament și 6) PLA epruvetă printată [POP 19]

Absorbția relativă de apă Δm (%) a filamentelor și materialelor printate 3D a fost determinată folosind Ec.1 [POP 19]:

$$\Delta m = \frac{m_t - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (\%) \quad (1)$$

unde: m_t - este masa materialelor imersate în apă la momentul „t”

m_0 - este masa inițială a materialelor, înainte de imersarea în apă.

Cea mai mare valoare de absorbție la echilibru este înregistrată pentru materialul printat 3D PLA/PHA/BambooFill, urmat de filamentul corespunzător, datorită naturii hidrofile a

particulelor de lemn încorporate pe o parte și prezenței defectelor în structura materialului imprimat, care acționează ca și căi de pătrundere a apei în cea mai mare parte a materialului.

Valorile Δm pentru ABS și PLA sunt cele mai mici, datorită hidrofiliei scăzute și compactității lor mai ridicate.

Pentru a modela cinetica absorbției masei filamentelor și a compozitelor printate corespunzătoare, Ec. 2 a fost folosită [KAB17]:

$$\frac{\Delta m_t}{\Delta m_{eq}} = k \cdot t^n \quad (2)$$

unde, Δm_t - este absorbția relativă de masă a probelor la momentul t ;

Δm_{eq} - este absorbția de masă la echilibru, k (min^{-n}) este rata de absorbție a apei ;

n - este exponentul de difuzie a legii puterii care descrie mecanismul de transport al solventului în/prin filamente și compozite printate 3D.

Pe baza valorilor lui n , pot fi descrise patru tipuri de difuzie a apei și anume:

- ✓ difuzie fickiană ($n = 0,5$), mod de transport non-Fickian;
- ✓ caz II când $n = 1$, anormală;
- ✓ caz III ($0,5 < n < 1$);
- ✓ pseudo-Fickian, când $n < 0,5$.

Ratele de absorbție a apei sunt mai mari pentru materialele printate 3D decât în cazul filamentelor, datorită modificărilor structurale ale materialului în timpul printării, cele mai mari valori înregistrându-se în primul rând pentru PLA, urmat de PLA/PHA BambooFill și în final ABS. *Datorită efectului de blocare al particulelor de lemn (care acționează ca și centre de absorbție/adsorbție a apei) asupra transportului apei în cea mai mare parte a materialului, PLA/PHA BambooFill nu prezintă cea mai mare rată de absorbție.* [POP 19]

Atât filamentele, cât și printările corespunzătoare au o bună stabilitate la apă, absorbțiile de apă fiind mai mari totuși pentru printuri decât pentru filamente. Creșterea valorilor absorbției de apă

a urmat ordinea ABS < PLA < PLA/PHA/BambooFill pentru fiecare tip de material (filament, epruvetă printată).

Analiza DSC a demonstrat că toate materialele studiate prezintă o bună stabilitate termică, cu o degradare scăzută a fazei polimerice, care poate explica scăderea ușoară în debutul temperaturii de degradare pentru epruvetele printate, în comparație cu filamentele. Cea mai scăzută rezistență la degradarea termică a fost înregistrată pentru materialul PLA/PHA/BambooFill, datorită prezenței rumegușului de lemn care este instabil termic (Fig. 2.3 – 2.5).

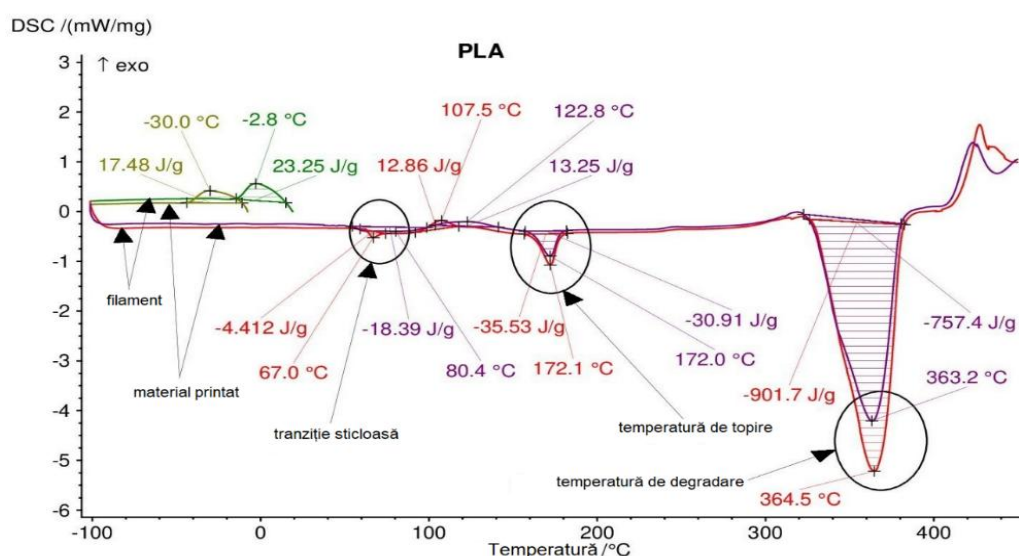


Figura 2.3. Termograma DSC pentru filament PLA și epruvete printate 3D [POP 19]

Cristalizarea la rece a PLA are loc ca un proces exoterm, de la $T_{cc} = 107,5$ și $122,8^{\circ}\text{C}$, urmat de un vârf endotermic mare atribuit topirii PLA, care are loc la $T_m = 172$ și $172,1^{\circ}\text{C}$ pentru filament și materialul printat, în urma valorilor prezente în literatura de specialitate [SON17, TSU05].

În timpul extrudării, materialul topit care provine din filament se răcește rapid, ducând la dezvoltarea de agregate cristaline neregulate.

Rearanjarea agregatelor cristaline neregulate în noi regiuni cristaline deasupra T_g are loc la o temperatură mai mare pentru imprimarea PLA ($T_{cc} = 122,8^{\circ}\text{C}$) decât în cazul filamentului. ($T_{cc} = 107,5^{\circ}\text{C}$).

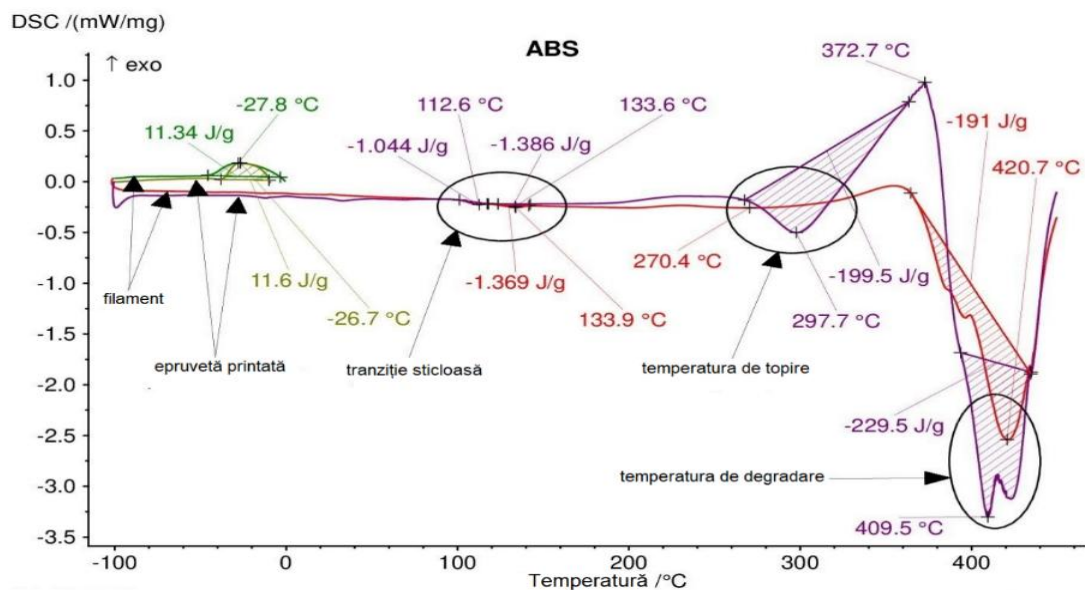


Figura 2.4. Termograma DSC pentru filament ABS și epruvete printate 3D [POP 19]

Pentru ABS, termograma din Figura 2.4., înregistrează o temperatură de „înmuiere”, legată de tranziția sticloasă (reacție endotermă) la ~112°C observată pentru proba printată 3D crește la aproape 134°C în cazul filamentului, în timp ce topirea are loc la 297,7°C pentru proba printată 3D și scade la 270,4°C pentru filament.

În general, materialul imprimat prezintă temperaturi de tranziție mai mari decât filamentul. Deoarece faza butadienă a ABS este susceptibilă la degradarea termică și se formează puncte de reticulare între lanțurile macromoleculare care duc la o mobilitate scăzută a lanțului și este de așteptat o creștere a temperaturii de topire pentru procesarea prin extrudare.

Materialul printat 3D este mai predispus la degradare termică, așa cum se vede de la începutul de degradare mai scăzut cu ~11°C (409-421°C).

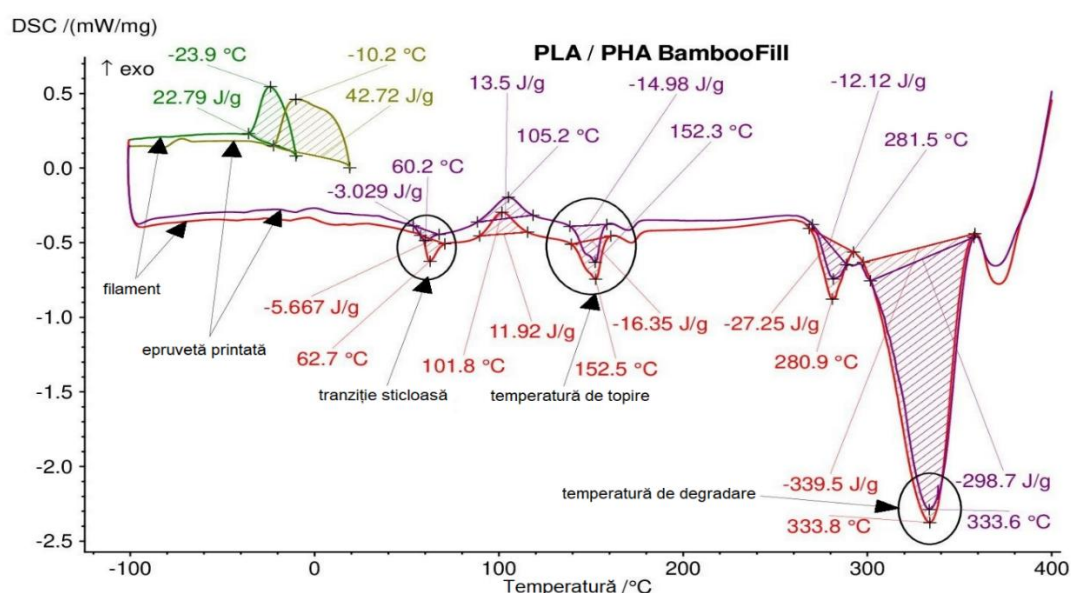


Figura 2.5. Termograma DSC pentru filament PLA/PHA BambooFill și epruvete printate 3D [POP 19]

În cazul amestecului de PLA/PHA cu particule de lemn de bambus încorporate, termograma prezentată în Figura 2.5 dezvăluie principalele modele ca și pentru PLA pur, și anume $T_g = 62,7$ și $60,2^\circ\text{C}$, T_{cc} pentru fracția PLA ($101,8$ și $105,2^\circ\text{C}$) și T_m pentru PLA ($152,5$ și $152,3^\circ\text{C}$) pentru filament și materialul printat 3D. Diferențele apar la temperatura de degradare termică ușor mai scăzută, în comparație cu filamentul PLA (datorită componentelor mai susceptibile la degradare și anume rumegușul de bambus) și în aspectul a două vârfuri endotermice, între ~ 169 - 172°C , atribuite topirii PHA (nemarcate în Figura 2.5) și între 282 - 289°C , posibil atribuite debutului degradării hemicelulozei. Acesta este un indicativ că cei doi polimeri din amestec răspund independent la regimul de încălzire, adică cei doi polimeri (PLA, PHA) nu sunt complet miscibili.

Prezența PHA și a particulelor de lemn ar putea acționa ca perturbatori pentru alinierea ordonată a lanțului macromoleculelor PLA, determinând practic aceleași temperaturi de tranziție atât pentru filament, cât și pentru materialul printat 3D, așa cum s-a constatat și în alte cercetări.

Rezultatele ATR-FTIR au arătat că nu există modificări semnificative care să apară în chimia de suprafață a filamentelor biotermoplastice din timpul imprimării 3D, cu excepția reorientărilor

moleculare (în cazul PLA și amestecul PLA/PHA cu particule de lemn) și o scădere a cristalinității, ceea ce ar putea explica valorile mari de absorbție a apei și implicit stabilitatea dimensională mai scăzută a epruvetelor printate 3D.

De asemenea, datorită reorientărilor moleculare, în spectrele FTIR apar câteva benzi noi în materialul PLA/PHA BambooFill, indicând aditivarea cu agent de cuplare, cum ar fi anhidrida maleică.

În cazul ABS, pot apărea legături încrucișate slabe, legate de creșterea moleculară și mobilitatea din timpul topirii.

Concluziile studiului [POP 19]:

- ✓ Atat filamentele cât și materialele printate 3D corespunzătoare acestora prezintă stabilitate bună la apă, absorbțiile de apă fiind mai mari pentru materialele printate 3D, în comparație cu filamentele.
- ✓ Creșterea valorilor absorbției de apă a urmat ordinea $ABS < PLA < PLA/PHA$ BambooFill pentru fiecare tip de material (filament, material printat 3D).
- ✓ Analizele DSC au demonstrat că toate materialele studiate prezintă o bună stabilitate termică, cu degradare scăzută a fazei polimerice, ceea ce poate explica scăderea ușoară a temperaturii de debut a degradării materialelor printate 3D, în comparație cu filamentele.
- ✓ Cea mai scăzută rezistență la degradarea termică ar putea fi înregistrată pentru materialul PLA/PHA BambooFill, datorită prezenței fazei lemnoase labile termic.
- ✓ Rezultatele ATR-FTIR au arătat că nu au loc modificări semnificative în chimia suprafeței biotermoplastice din timpul imprimării 3D, cu excepția reorientărilor moleculare (în cazul amestecului de PLA și PLA/PHA cu particule de lemn încorporate) și scăderea cristalinității, ceea ce ar putea explica valorile ridicate de absorbție a apei și implicit stabilitatea dimensională mai scăzută a materialelor printate 3D.

- ✓ De asemenea, datorită reorientărilor moleculare, în spectrele FTIR ale materialului PLA/PHA BambooFill apar mai multe benzi noi, indicând aditivarea cu un agent de cuplare, cum ar fi anhidrida maleică.
- ✓ În cazul ABS, pot apărea legături încrucișate slabe, legate de creșterea mobilității moleculare din timpul topirii.

Rezultatele prezentate oferă o perspectivă utilă asupra comportamentului materialelor utilizate pentru fabricarea aditivă și ar putea extinde baza de date internațională existentă referitoare la înțelegerea *procesării-comportamentului structural-proprietăți* a acestor materiale.

2.2. Influența arhitecturii interne inovatoare asupra proprietăților mecanice ale pieselor printate 3D (Influence of Internal Innovative Architecture on the Mechanical Properties of 3D Polymer Printed Parts) [POP 20b]

În prezent se caută progresiv tehnici de înlocuire a pieselor metalice cu materiale pe bază de polimeri ca urmare a greutateii lor scăzute, a proprietăților fizico-mecanice bune și a costurilor mici. Cerința neîncetată pentru materiale compozite cu proprietăți noi sau îmbunătățite duce la obținerea diferitelor amestecuri de polimeri cu diverse morfologii și proprietăți.

În acest studiu, comportamentul structural și mecanic a trei tipuri de filamente disponibile comercial, compuse din poli(acrilonitril-co-butadienă-co-stiren) sintetic (ABS), poli(acid lactic) (PLA) și poli(acid lactic)/ polihidroxialcanoatul ranforsat cu bambus (PLA/PHA BambooFill) au fost evaluate prin teste mecanice și microscopie optică, având ca scop înțelegerea modului în care modificările care apar în modelele printate 3D cu o anumită arhitectură internă influențează proprietățile mecanice ale materialului printat 3D [POP20b].

Aceste materiale au fost alese datorită disponibilității lor largi, proprietăților excelente de extrudare, capacității bune de prelucrare post-imprimare și texturii reglabile.

Temperaturile de imprimare pentru fiecare tip de filament (măsurate la capul de extrudare) au fost de 230°C pentru filamentele PLA și PLA/PHA Bambuo Fill și 275°C pentru ABS (conform fișelor tehnice) și diametrul fiecărui tip de filament a fost de $2,85 \pm 0,05$ mm.

Temperaturile patului de printare pentru filamentele PLA și PLA/PHA Bambuo Fill au fost de 60°C și, respectiv 90°C pentru ABS, așa cum este recomandat de producător.

Au fost testate diferite arhitecturi printate 3D pentru a studia influența acestora asupra morfologiei secțiunii transversale și proprietăților mecanice ale probelor, conform figurii 2.6.

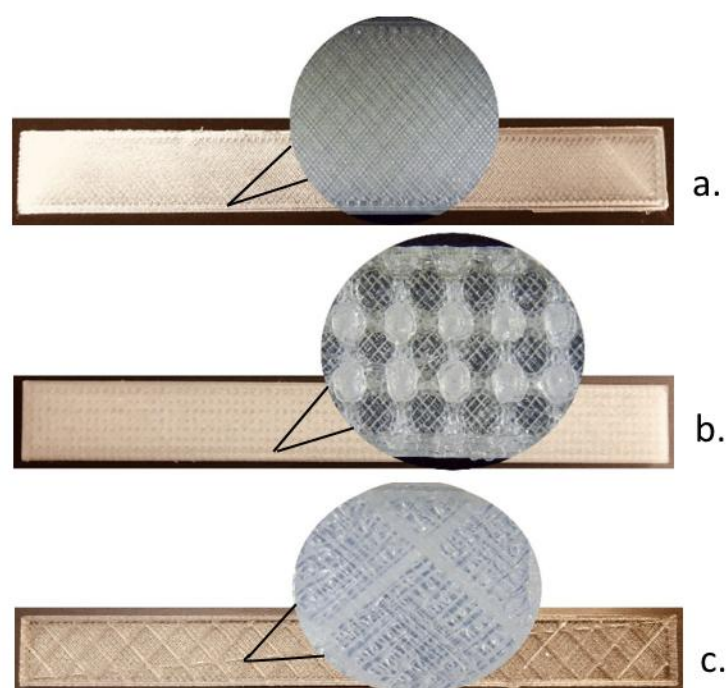


Figura 2.6. Arhitectura internă utilizată pentru printarea 3D a mostrelor: a. solid; b. cilindru (tub); c. Standard [POP 20b]

Specificațiile probelor au fost:

- ✓ Pentru cazul a: solid (imprimat simplu), fără găuri;
- ✓ Pentru cazul b: au fost prevăzute găuri pe axa x, y și z cu un diametru de 1,6 mm și o distanță de 2 mm între axe. Au fost imprimați pereți simpli cu grosimea de 0,5 mm pentru a încapsula acest model;

- ✓ Pentru cazul c: au fost prevăzute găuri pătrate pe axa z (4×4 mm) și o distanță între axe de 4,5 mm. Au fost imprimați pereți simpli cu grosimea de 0,5 mm pentru a încapsula acest model.

Din fiecare variantă prezentată în Figura 2.6 și conform specificațiilor prezentate mai sus, cinci mostre au fost obținute folosind o imprimantă CreatBot DX - 3D cu duză dublă, folosind o rezoluție de imprimare de 0,4 mm și o rezoluție de strat de 0,2 mm pentru efectuarea fiecărui test mecanic.

Tipul și dimensiunile probelor au fost adaptate la teste după cum urmează:

- ✓ Probe de tracțiune: lungime totală 160 mm, lungime calibrată 60 mm, grosime 3 mm, raza între secțiunea calibrată și secțiunile de prindere 76,29 mm, lungime secțiune de prindere 22,5 mm și 20 mm lățime;
- ✓ Blocuri cilindrice pentru testarea rezistenței la compresiune: diametru 10 mm, înălțime 15 mm (menținere raport diametru/înălțime 1:1,5 conform standardelor în vigoare);
- ✓ Probe paralelipipedice pentru încovoiere în trei puncte: 160 mm lungime, 16 mm lățime și 3 mm înălțime;
- ✓ Epruvete pentru determinarea absorbției energiei de impact probe cubice: 15x15x15 mm.

În continuare prezint rezultatele obținute la testele pentru tracțiune, compresiune și încovoiere în trei puncte care s-au efectuat pe o mașină de testare universală numită WDW-150 S (Jinan Testing Equipment IE Corporation, Jinan, China). Mașina de testare poate efectua teste statice și dinamice (inclusiv oboseală alternativă). Forța de încercare aplicată variază între 0,01 și 150 kN. Încercările mecanice au fost efectuate conform următoarelor standarde: ASTM D638, ASTM D790-03 și ASTM E2954-15.

Testul statistic Anderson-Darling a fost folosit pentru a decide datele experimentale (teste la tracțiune, compresiune, rezistență la încovoiere în trei puncte, rezistență la impact) ale pieselor printate 3D urmează o repartiție normală. Pentru a verifica acest aspect au fost create diagrame de probabilitate folosind sistemul software Minitab 16. În toate cazurile (rezultatele

testelor mecanice), s-a observat că datelor experimentale urmează o distribuția normală. [POP 20b]

În ceea ce privește încercările de tracțiune, o analiză a figurii 2.7., relevă că datele experimentale au fost apropiate de linia dreaptă și au fost incluse între limitele intervalului de încredere de 95%. Aceste rezultate au indicat că datele au fost distribuite după repartiția normală. Valoarea P a testului de normalitate Anderson-Darling (Figura 2.7) a fost: 0,397 (rezistență la tracțiune - specimene din PLA Solid); 0,723 (rezistență la tracțiune - specimene din ABS Solid); 0,273 (rezistență la tracțiune - specimene din PLA-PHA Solid).

Toate seriile de date (valorile rezistențelor la tracțiune pentru probele solide, standard și tuburi cilindrice) au trecut testul de normalitate Anderson-Darling deoarece ambele au urmat linia dreaptă, iar valorile lui P pentru testul de normalitate au fost mai mari de 0,05.

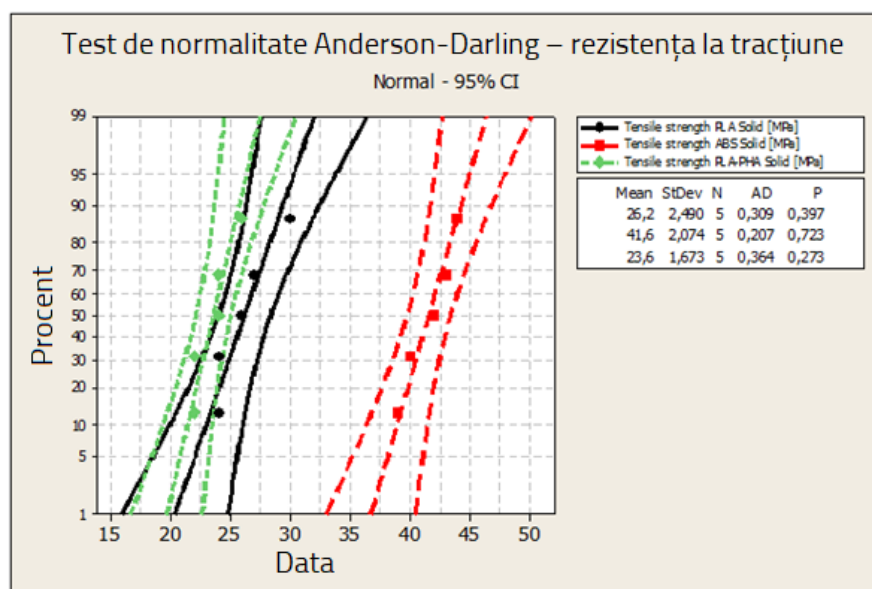


Figura 2.7. Testul de normalitate Anderson-Darling pentru rezistența la tracțiune [POP 20b]

În tabelul 2.1 au fost descriși principalii indicatori statistici pentru speci­menele cu rezistența la tracțiune cea mai ridicată din fiecare tip de configurație (solid, standard și tuburi cilindrice). După cum se poate observa din tabelul 2.1, rezistența la tracțiune cea mai ridicată a fost la speci­menele printate 3D din materialul ABS. În domeniul ingineriei, utilizarea practică a

coeficientului de variație stabilește prag de trecere de la un set de date omogene (procentul fiind între 0-30%) la eterogenitate (procent mai mare de 30%). Valorile coeficientului de variație au fost cuprinse între 1% și 15%, ceea ce determină o omogenitate a datele experimentale, iar valoarea mediei este reprezentativă pentru valorile rezistenței la tracțiune.

Tabelul 2.1. Indicatori statistici determinați prin încercările de tracțiune ale epruvetelor [POP 20b]

Tip specimen	Medie [MPa]	Dispersia [MPa ²]	Abatere standard [MPa]	Coeficient de variație [%]
ABS - Solid	41.6	4.3	2.074	4.98
ABS - Standard	27.4	0.3	0.548	2
ABS- Tuburi cilindrice	20	4.2	2.049	10.15

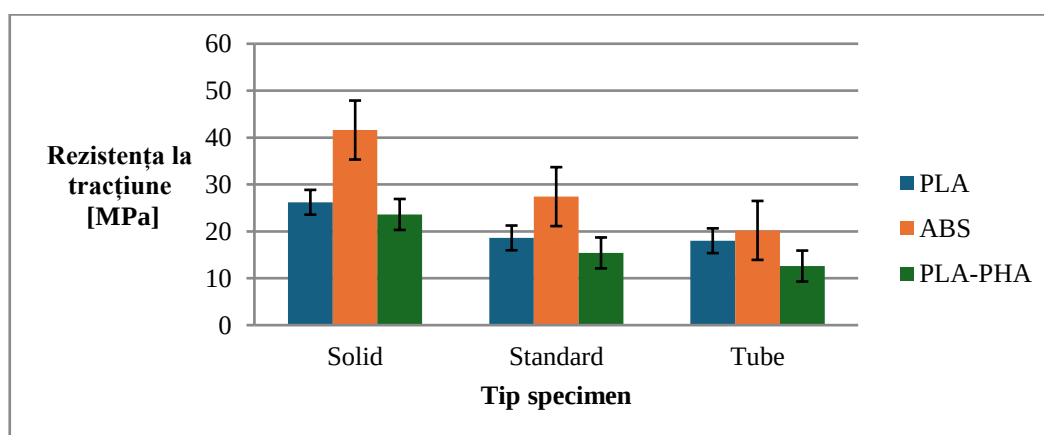


Figura 2.8. Rezistența la tracțiune a epruvetelor printate 3D [POP 20b]

Comparativ cu datele obținute de alți cercetători, valorile rezistenței la tracțiune pentru ABS obținute de noi sunt mai mari în configurația solidă și comparabile cu cele obținute de noi în configurația standard dar, cu avantajul reducerii consumului de material cu 45%. În cazul PLA și PLA / PHA BambooFill, rezultatele obținute sunt apropiate sau ușor mai mici decât cele obținute de alți autori [TYM14].

Și datele rezultate din testele la compresiune a specimenelor printate 3D au fost analizate utilizând testul statistic Anderson-Darling.

În cazul nostru (rezistența la compresiune), punctele urmează aproximativ o linie dreaptă care se încadrează în principal între limitele de intervale de încredere de 95% și se poate concluziona că datele sunt distribuite după repartiția normală. Valoarea P din testul Anderson-Darling a fost: 0.858 (specimene PLA – tuburi cilindrice); 0.713 (specimene ABS – tuburi cilindrice); 0.869 (specimene PLA-PHA – tuburi cilindrice).

Toate seriile de date (valorile rezistențelor la compresiune pentru probele de solid, standard și tuburi cilindrice) au trecut testul de normalitate Anderson-Darling deoarece au urmat linia dreaptă, iar valorile P pentru testul de normalitate au fost mai mari de 0,05.

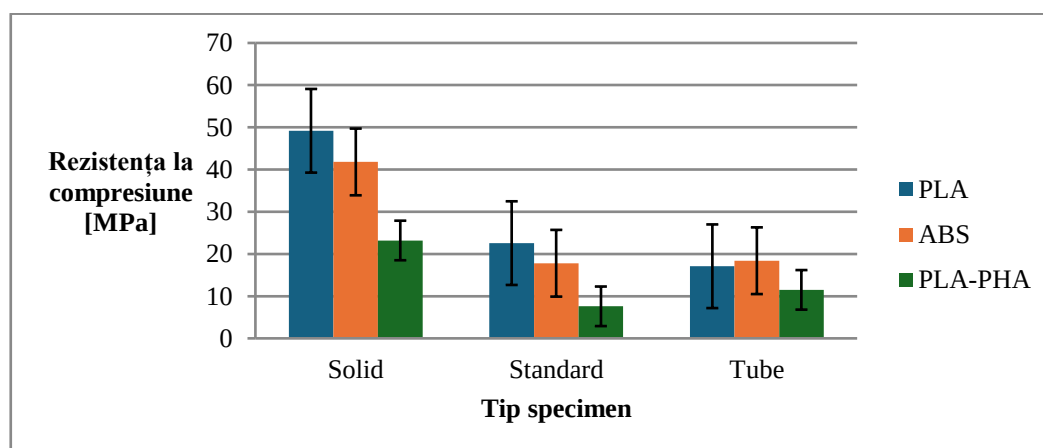


Figura 2.9. Rezistența la compresiune [POP 20b]

După cum se poate observa din Figura 2.9, cele mai mari rezistențe la compresiune sunt înregistrate în cazul materialului PLA, urmat de ABS și, în sfârșit, de imprimarea cu PLA/PHA BambooFill. Valorile înregistrate de configurația standard și tuburi se regăsesc la jumătate din valorile înregistrate la configurația solidă.

Configurația solidă este cea mai bună alegere pentru piesele care sunt supuse la compresiune și necesită o rezistență mai mare în acest sens.

În cazul rezistenței la compresiune în general, rezultatele obținute sunt în acord cu literatura de specialitate [DAW16] iar proprietățile variază proporțional cu consumul de material.

Rezultatele în cazul configurației tub cilindric (pentru ABS și PLA/PHA) sunt atipice, unde există o rezistență la compresiune mai mare pentru configurația standard și o reducere cu 15% a consumului de material (comparând configurația standard cu cea cilindrică).

Valoarea P din testul Anderson-Darling a fost în cazul încovoierii în trei puncte: 0.858 (PLA-tuburi cilindrice); 0.713 (tuburi cilindrice din ABS) și 0.869 (PLA-PHA -tuburi cilindrice).

În urma analizei indicatorilor statistici pentru rezistențele la încovoiere în toate variantele de imprimare (solid, tub cilindric și standard) se poate concluziona că cea mai mare rezistență la tracțiune este înregistrată pentru PLA cu toate trei configurații de arhitectură internă. Coeficientul de variație al rezistenței la încovoiere este mai mic de 30%, deci se poate concluziona că datele experimentale ale încercărilor sunt omogene.

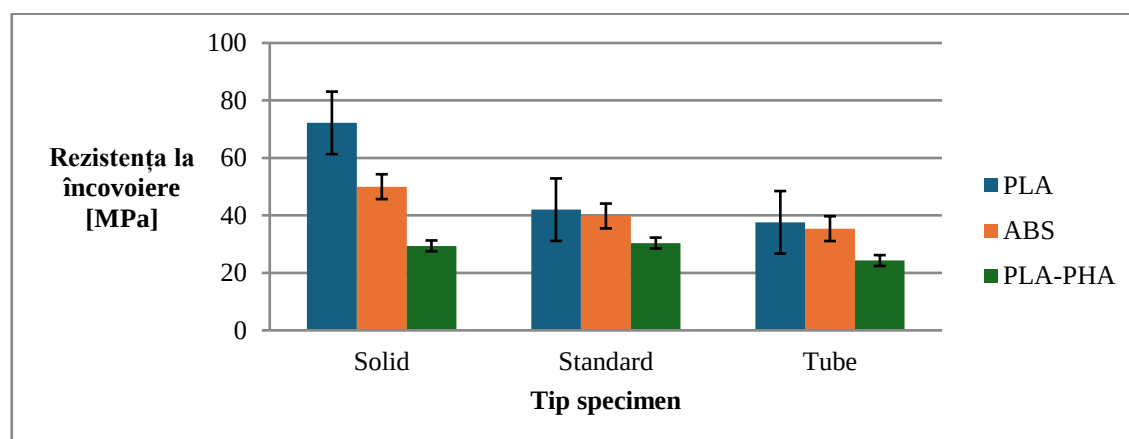


Figura 2.10. Rezistența la compresiune [POP 20b]

După cum se arată în Figura 2.10, cea mai mare rezistență la încovoiere a fost înregistrată pentru PLA și ABS în configurația solidă.

În toate cele trei configurații (solid, standard și tuburi cilindrice) materialul PLA/PHA BambooFill a înregistrat cele mai scăzute valori, probabil datorită prezenței particulelor de lemn din compoziția filamentului.

Probele solide din PLA sunt de două ori mai rezistente la încovoiere decât probele solide din PLA/PHA BambooFill.

Rezistența la încovoiere în trei puncte este influențată direct de consumul de material (pentru configurația standard și tub cilindric) și de particulele de rumeguș în cazul PLA/PHA BambooFill. Rumegușul din amestecul PLA/PHA face ca întregul compozit să fie „fragil” printr-o distribuție neuniformă în filament și prin numărul mai mare de defecte și goluri, precum și prin neaderența dintre particulele de bambus și materialul de bază la imprimare.

Pentru testarea impactului la șoc, dispozitivul prezentat în Figura 2.11 a fost proiectat și construit în centrul nostru de cercetare C08 din cadrul ICDT. Dispozitivul constă dintr-un suport pentru o bilă de oțel la o înălțime specificată, măsurată cu o riglă. Când bila este eliberată de pe suport, aceasta cade de la o înălțime de 1 m și lovește proba. Pentru a immortaliza momentul impactului, se folosește o cameră de înaltă rezoluție pentru a măsura înălțimea reculului și energia reculului probei. Detalii despre determinarea și calculul energiei de șoc de impact pot fi găsite în lucrarea specificată [POP20b].

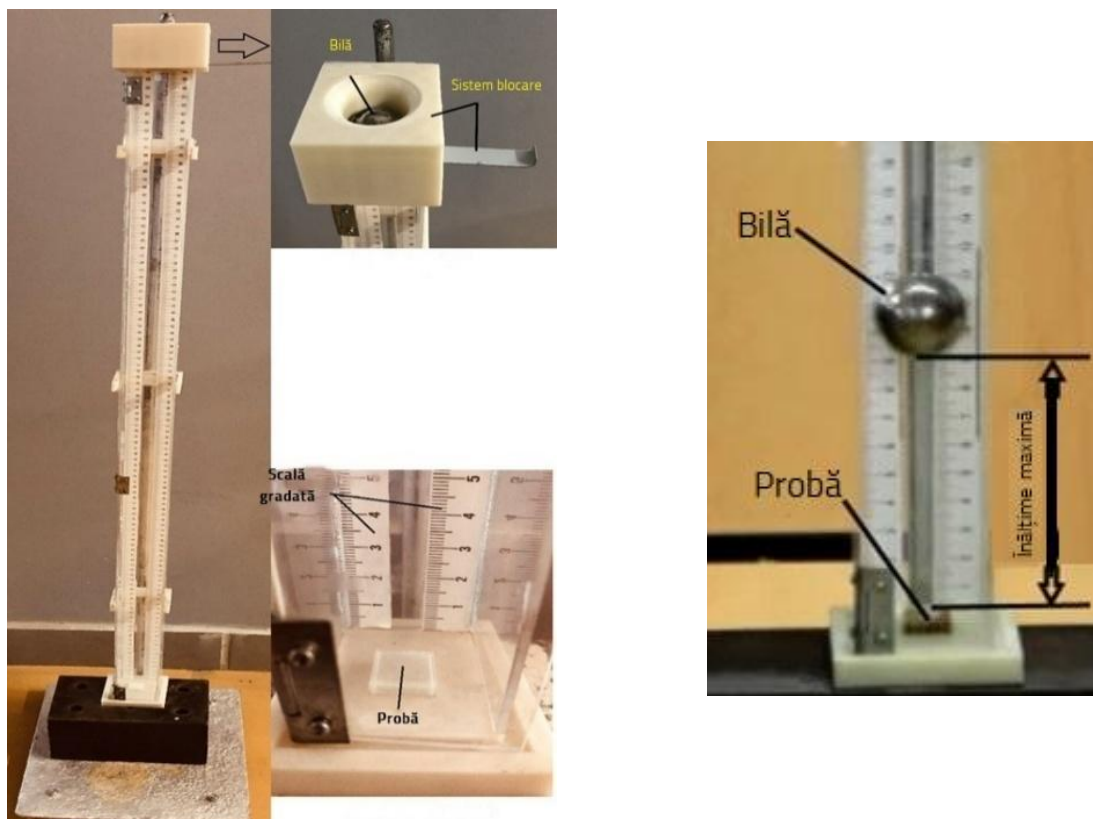


Figura 2.11. Dispozitiv determinare absorbție energie [POP 20b]

Caracteristicile aparatului: bila de oțel cu $m = 99,81$ g; suport rigid din oțel (pentru evitarea mișcării vibratorii) cu $m_1 = 5$ kg.; linie standard; camera de înaltă rezoluție; dispozitiv pentru eliberarea bilei de oțel.

În ceea ce privește energia de impact, valorile absorbției energiei de impact pot fi modelate în ipoteza distribuției normale și valoarea P a testelor de normalitate Anderson-Darling pentru energia de impact absorbită a fost: 0,912 (PLA în configurație solidă); 0,62 (ABS în configurație solidă), respectiv 0,512 (PLA/PHA BambooFill în configurație solidă).

Toate seriile de date (valorile energiei de impact absorbite pentru probele de tuburi cilindrice, solid și standard) au trecut testul de normalitate Anderson-Darling, iar valorile P pentru testul de normalitate au fost mai mari de 0,05.

Valorile cele mai ridicate pentru absorbția energiei de impact au fost înregistrate în cazul materialului PLA-PHA imprimat 3D în toate configurațiile testate (tuburi cilindrice, standard și solid). Energia de impact crește pe măsură ce porozitatea și numărul de goluri din arhitectura internă cresc. Coeficientul de variație pentru toate datele din testele de energie de impact este sub 30%, deci se poate concluziona că datele experimentale obținute la testele de impact sunt omogene.

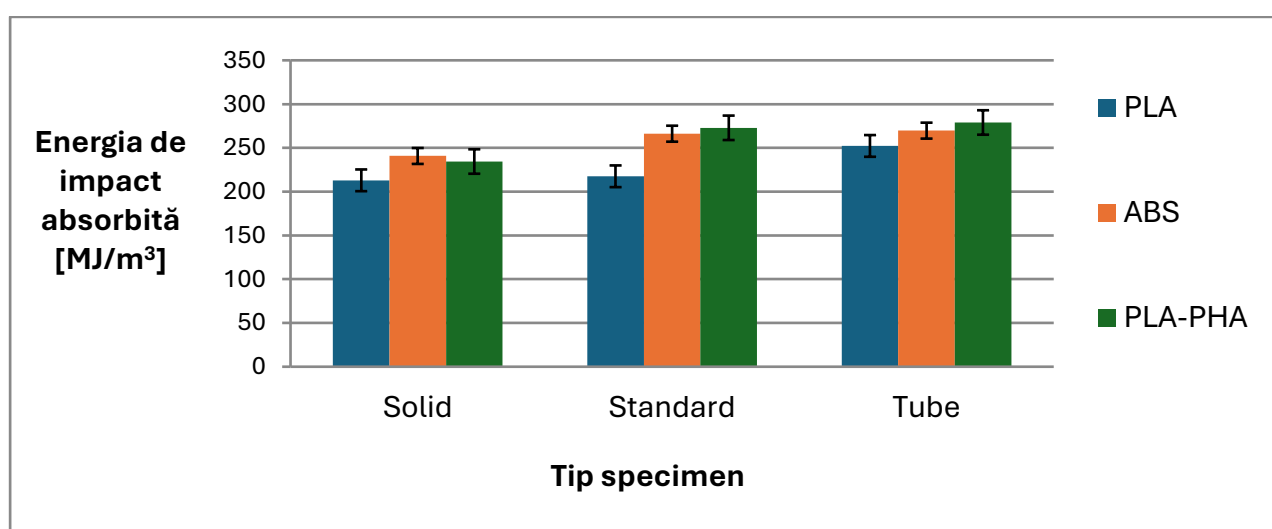


Figura 2.12. Energia de impact absorbită [POP 20b]

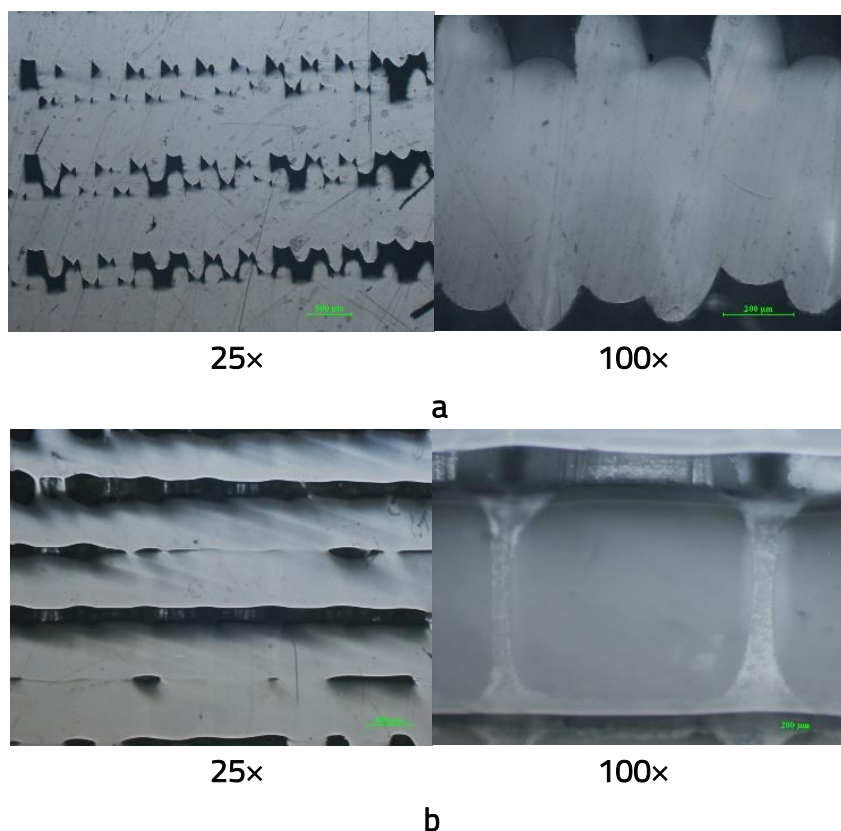
Din Figura 2.12, se poate concluziona că probele solide din materialul PLA-PHA prezintă cea mai mare energie de impact pentru două tipuri de arhitecturi de imprimare (standard și tuburi cilindrice).

Prin utilizarea configurației de tip intern standard și tub cilindric se poate obține o rezistență la impact mai mare decât în cazul configurației solide, concomitent cu o reducere a consumului de material cu 40%, respectiv 60%. Un alt factor care a dus la îmbunătățirea acestor proprietăți este adăugarea de rumeguș de bambus, care pare să aibă o capacitate de absorbție a energiei mai mare decât alte materiale (PLA și ABS).

Golurile și/sau aglomerările din material contribuie, de asemenea, la o mai mare absorbție a energiei de impact.

Analiza microscopică

După cum se poate observa în micrografiile din Figura 2.13a–f, amprentele PLA arată o masă compactă fără defecte macrostructurale. Secțiunile transversale ale mostrelor printate 3D prezintă câteva defecte minore (pori inter-strat), cu modele triunghiulare regulate în cazul PLA (Figura 2.13a, b și f).



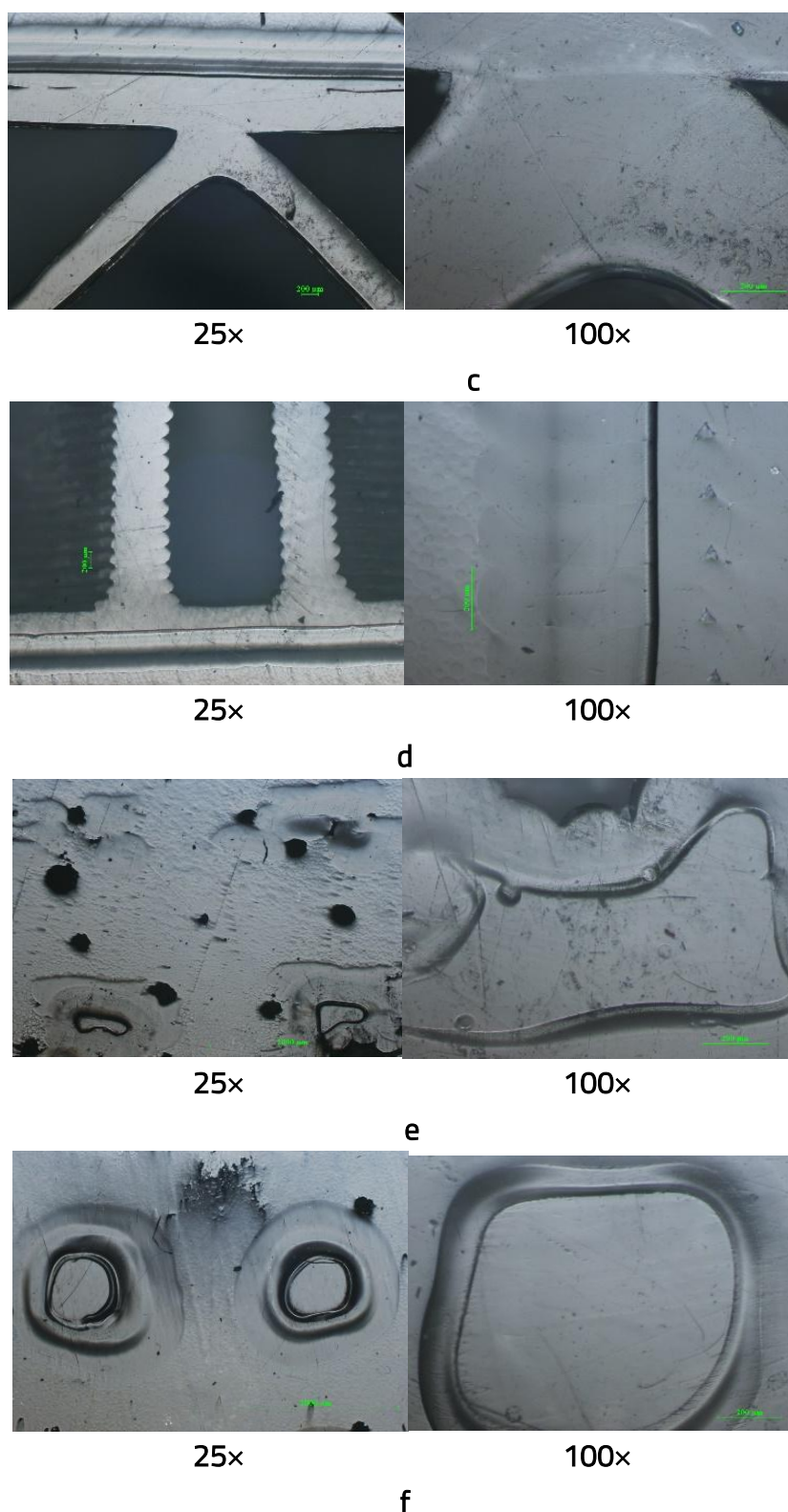


Figura 2.13. Micrografii optice în secțiune transversală ale probelor de PLA la o mărire de 25x și 100x. (a) Perete vertical solid, fără găuri; (b) Perete orizontal solid, fără găuri. (c) perete vertical tub cilindric; (d) Perete orizontal tub cilindric (e) Perete vertical standard; (f) Perete orizontal standard [POP 20b]

Cele mai puține defecte apar în cazul probelor printate 3D din PLA, unde filamentul depus se îmbină mai bine în straturi coalesce datorită valorii scăzute a tensiunilor la interfața topiturii PLA/aer. Combinația dintre viteza de solidificare a polimerului topit și eliminarea gazelor prinse în topitură are ca rezultat pori mai mici, închiși, de formă mai regulată.

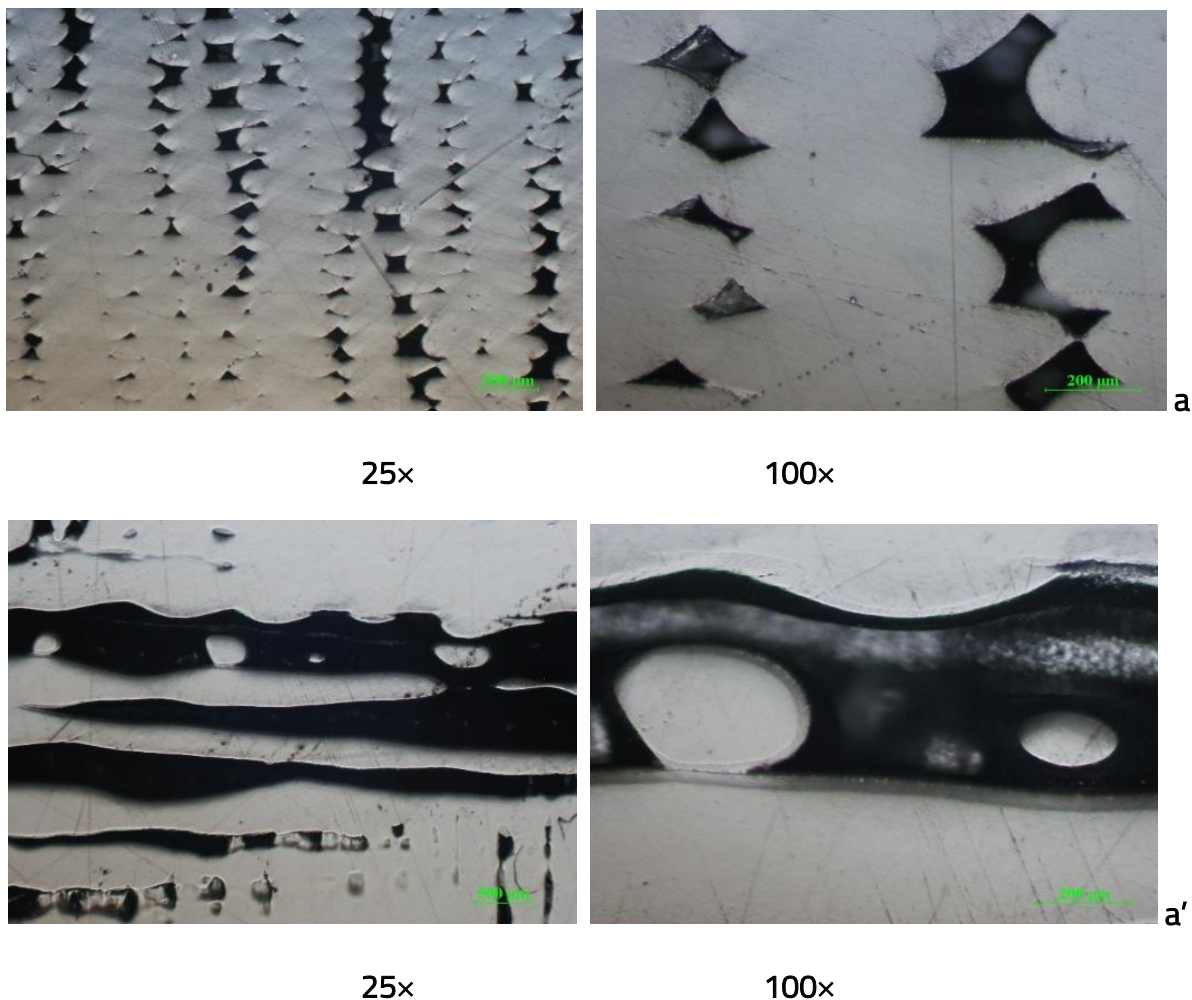


Figura 2.14. Micrografii optice în secțiune transversală ale mostrelor de ABS la o mărire de 25x și 100x. a. Perete vertical solid fără găuri; a'. Perete orizontal solid, fără găuri [POP 20b]

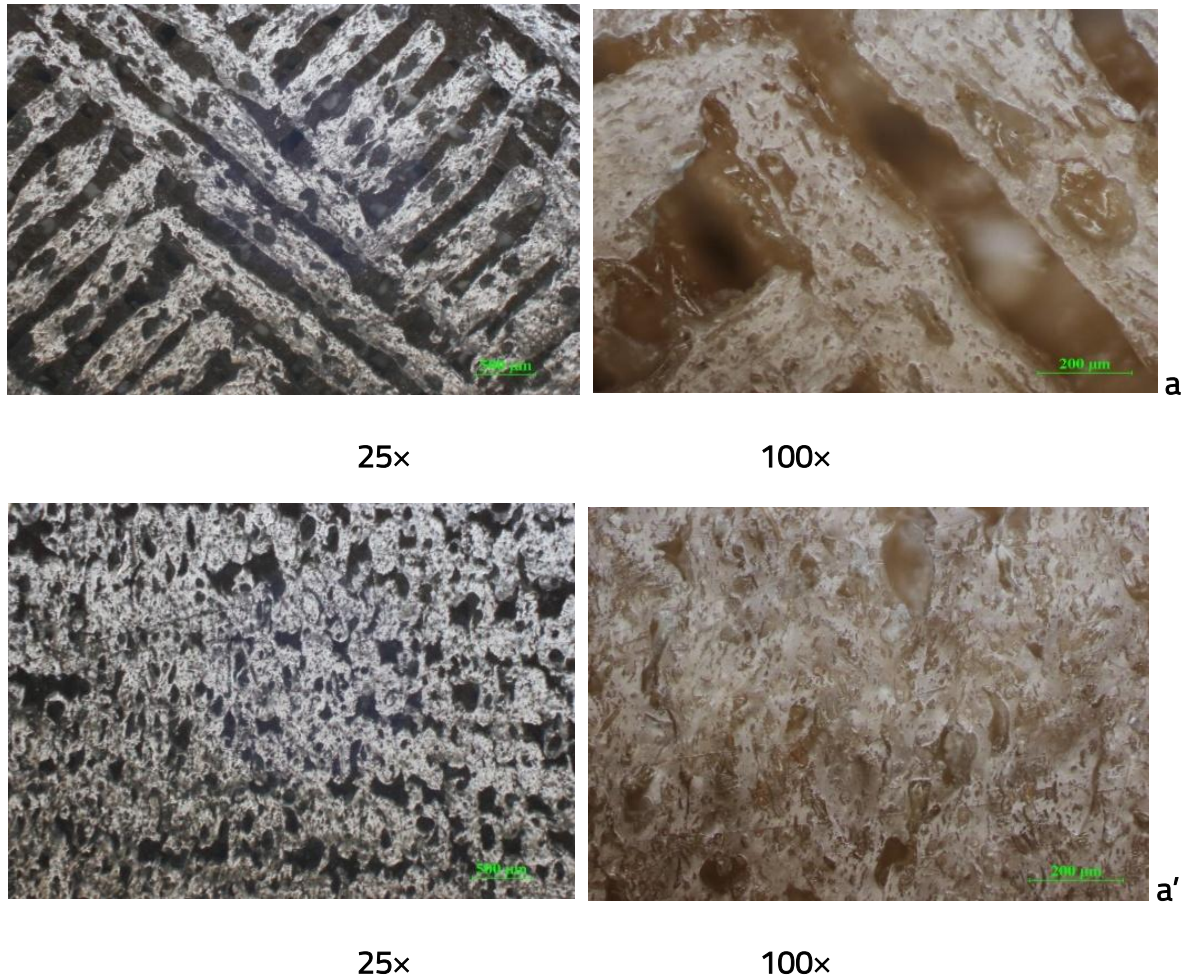


Figura 2.15. Micrografii optice în secțiune transversală ale mostrelor PLA/PHA BambooFill la o mărire de 25x și 100x. a). Perete vertical solid fără găuri; a'). Perete orizontal solid, fără găuri [POP 20b]

Secțiunile transversale ale mostrelor printate 3D prezintă mai multe defecte (pori interstrat), cu modele neregulate în cazul ABS (Figura 2.14 a și a') și PLA/PHA/BambooFill (Figura 2.15 a și a'), cauzate de includerea de mici bule de aer și aglomerarea de pulbere de rumeguș (distribuție neuniformă).

La temperaturi mai ridicate (pentru ABS), straturile depuse anterior rămân în stare de înmuiere, ceea ce duce la o neomogenitate în grosimea straturilor precum și la o reducere a preciziei dimensionale.

Spre deosebire de PLA, în cazul materialului PLA/PHA BambooFill, densitatea defectelor este cea mai mare, datorită influenței particulelor de lemn neuniform distribuite și aderenței deficitare la stratul de polimer.

Un alt factor care provoacă defecte este temperatura platformei de construcție (pat de imprimare). La o temperatură mai scăzută (cum ar fi pentru PLA și PLA/PHA BambooFill), legătura dintre straturi este defectuoasă din cauza solidificării straturilor depuse anterior, rezultând goluri, pori și aderență slabă între straturi (exfoliere).

Concluziile studiului [POP 20b]:

Analiza statistică a rezistenței la tracțiune, compresiune, încovoiere în 3 puncte și la impact (absorbție de energie) au permis evidențierea următoarelor recomandări privind tipul de material: PLA, ABS sau PLA/PHA BambooFill, precum și arhitectura modelului de imprimat [POP 20].

- ✓ Pentru piesele supuse la tracțiune: se recomandă utilizarea ABS, PLA în configurație solidă, urmată de ABS în configurație standard când sunt necesare rezistențe mari. Folosind configurația standard și materialul ABS se pot obține rezistențe la tracțiune, cu aproximativ 20% mai mari din punct de vedere al raportului consum material/rezistență la tracțiune;
- ✓ Pentru piesele supuse la compresiune: se recomandă folosirea materialelor PLA, ABS și PLA/PHA BambooFill în configurație solidă. Arhitectura cilindrică conferă o rezistență la compresiune mai mare față de arhitectura standard și o reducere de material cu 15% (comparând configurația cilindrică cu consumul configurației standard);
- ✓ Pentru piesele supuse solicitărilor de încovoiere: se recomandă utilizarea materialelor PLA și ABS în configurație solidă, urmate de PLA în configurație standard. Utilizarea materialului PLA / PHA BambooFill nu este recomandată din cauza proprietăților sale scăzute la acest tip de solicitare;

- ✓ Pentru o rezistență excelentă la impact (absorbția de energie): se recomandă utilizarea materialului PLA/PHA BambooFill în configurație tub, urmat de ABS în configurație standard. Arhitectura interioară de tip cilindric prezintă cele mai bune proprietăți de absorbție a energiei și oferă o reducere cu 65% a consumului de material;
- ✓ Comportarea mecanică a pieselor printate 3D este determinată în primul rând de tipul de material și, numai după aceea, de arhitectura internă.
- ✓ Arhitectura internă a tuburilor îi conferă și o rezistență radială ridicată.
- ✓ Reducerea consumului de material, păstrând în același timp cât mai mult posibil rezistența mecanică, este un deziderat de lungă durată al fabricației aditive. În această direcție, alegerea configurației standard duce la o reducere cu 45% a consumului de material, în timp ce pentru configurația tubulară, această reducere poate ajunge la 60%.
- ✓ Sunt necesare cercetări suplimentare pentru a crea noi arhitecturi interne, cu o reducere mai semnificativă a greutateii pieselor și poate cu caracteristici mecanice mult mai bune.
- ✓ Rezultatele prezentate ar putea oferi o perspectivă utilă asupra comportamentului acelor materiale utilizate pentru fabricarea aditivă cu arhitecturi interne diferite și ar putea extinde baza de date internațională existentă referitoare la proprietățile de prelucrare-structură-mecanice ale acestor materiale.
- ✓ Studiul demonstrează în mod clar că rezistența la tracțiune a unui specimen imprimat 3D depinde în mare măsură de masa specimenului, pentru toate materialele.
- ✓ Această dependență le permite utilizatorilor să rezolve provocarea efectelor necunoscute ale calității imprimării asupra proprietăților mecanice ale unei piese printate 3D folosind un proces în doi pași pentru a estima rezistențele la tracțiune pentru un anumit material.

Capitolul 3. Sinterizarea cu ajutorul energiei solare a pieselor cu morfologie celulară controlată realizată cu miezuri printate 3D (Solar sintering of parts with controlled cellular morphology architecture made in moulds obtained by 3D printing), Laborator CNRS-PROMES, UPR 8521, French National Centre for Scientific Research (CNRS), SFERA-III project (Grant Agreement No 823802) SURPF1904050047". [POP 20c]

Imprimarea 3D este o tehnologie unică care oferă potențial și un grad ridicat de libertate pentru personalizarea produselor practice. În ultimii ani, disponibilitatea îmbunătățită a imprimantelor și a scanerelor 3D, cu costuri reduse, a făcut din tehnologia de fabricație aditivă o opțiune din ce în ce mai viabilă și mai rentabilă pentru fabricarea de prototipuri personalizate.

Aceste noi tehnologii au fost clasificate ca fabricație aditivă (AM), care pare a fi cea mai folosită denumire, dar și ca tehnologii de prototipare rapidă (RP) și tehnici de fabricație solidă liberă (SFF). Aceste tehnici cu proprietăți fizice reproductibile și previzibile din punct de vedere matematic au devenit un domeniu de cercetare în dezvoltare rapidă.

Proiectarea asistată de calculator se aplică pentru a obține geometrii precise, cu posibilitatea de a obține diferite forme.

Designul este importat într-un software, care segmentează matematic modelul conceptual în straturi orizontale. Traseele capului de imprimare sunt generate de către slicer și capul de extrudare care funcționează pe axele X și Y, în timp ce platforma coboară pe axa Z se obține forma fizică pentru fiecare strat nou. Practic, procesul desenează modelul proiectat strat cu strat.

În continuare prezint modul în care energia solară poate fi utilizată pentru sinterizarea pieselor cu geometrie internă controlată realizate din pulberi metalice (metalurgia pulberilor). Aceste piese sunt obținute prin utilizarea unui model 3D negativ care este obținut din Poli(alcool vinilic) (PVA) (miezul) și pulbere metalică, presate în matriță metalică, urmate de sinterizare. Înainte de sinterizare, materialul suport trebuie îndepărtat (PVA) prin scufundarea lui în apă

până cand este eliminat total și apoi piesa este uscată în cuptor. Prin sinterizare piesa rezultată va avea o arhitectură internă specială dată de miezul din PVA [POP 20c].

Arhitectura celulară cu morfologie 3D a fost dezvoltată de echipa implicată în proiect în ultimii ani pentru diferite prototipuri pentru a crea modele precise cu arhitecturi bine definite.

Pe de altă parte, metalurgia pulberilor este, de asemenea, o tehnologie în evoluție, folosind o mare varietate de materiale metalice și aliaje.

Prin producerea pieselor folosind procesul PM putem obține o structură omogenă, cu porozitate controlată și proprietăți speciale precum duritatea și rezistența la uzură, pentru o gamă largă de aplicații.

Prin concentrarea energiei solare pe suprafețe mici se oferă posibilitatea încălzirii locale necesare obținerii acestor tipuri de piese metalice.

Pe lângă obținerea caracteristicilor propuse pentru aceste tipuri de materiale, se are în vedere exploatarea avantajelor date de utilizarea energiei solare față de tehnologiile clasice.

De asemenea, este de dorit protecția mediului prin reducerea în general a nivelului de poluare și exploatarea disponibilităților de utilizare a energiei solare.

Din punct de vedere științific, transferul de căldură este diferit în cuptoarele solare față de cele clasice și influența radiației solare concentrate directe asupra pieselor sinterizate trebuie studiată în detaliu pentru a determina fezabilitatea cuptoarelor solare în fabricarea pieselor mici. Studiul a fost realizat pe probe cilindrice cu morfologie internă controlată (miezurile) obținute prin tehnica de printare 3D – Filament Fused Fabrication (FFF) și metalurgia pulberilor. Toate probele au fost încălzite cu o viteză de încălzire de 120 ± 10 °C/minut; cu 0, 1, 2, 3, 4 și 5 minute timp de menținere la 900 °C și 930 °C. Morfologia probelor a fost analizată microscopic și s-a determinat microduritatea înainte și după sinterizare, iar rezultatele au fost corelate cu parametrii de sinterizare (temperatura, viteza de încălzire și timpul de menținere). Cele mai bune rezultate au fost obținute la 930 °C cu un timp de menținere de 5 minute din punct de vedere al valorii microdurității și al microgرافیilor [POP 20c].

Pornind de la obiectivele stabilite și în contextul considerațiilor precizate la început, s-au efectuat cercetări pe eșantioane cilindrice (probe) cu dimensiunile $D \times H = 16 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ (Figura 3.1.). Pulberea metalică este Cu >99% cu dimensiunea granulelor $<63\mu\text{m}$.

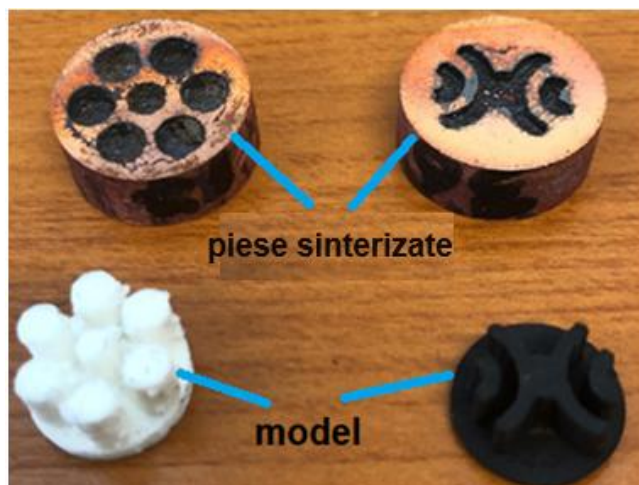


Figura 3.1. Modele (miezuri) și piese sinterizate [THE 24]

Pentru presare s-a folosit o mașină de testare universală, tip WDW-150S (Jinan Testing Equipment IE Corporation, Jinan, China) și pentru sinterizare un cuptor Nabertherm (Lilienthal, Germania).

Imprimanta 3D, CreatBot DX (Zhengzhou, China) – o imprimantă cu duză dublă a fost folosită pentru a obține modele cu o grosime a stratului de 0,2 mm și material PVA (Filament AquaSolve™ - PVA Natural) de la Form Futura Company [25]. Temperatura de imprimare pentru filament (măsurată la capul de extrudare) a fost de 200°C și temperatura patului de 50°C cu o viteză de imprimare de 40 mm/s. așa cum este recomandat de către producător.

Imprimanta 3D Delta Wasp 2040 Clay, cu o grosime a stratului de 0,5 mm, a fost folosită pentru a fabrica un creuzet ceramic pornind de la o pastă ceramică, urmată de sinterizarea la 1350°C în cuptorul Nabertherm.

Un tester FM-700 AHOTEC (Future-Tech Corp, Talkpier Kawasaki, Kanagawa, Japonia) a fost utilizat pentru a determina microdurețea cu 100 gf timp de 10 secunde.

Echipamentele utilizate și enumerate sunt în dotarea Centrului de cercetare C08 - Tehnologii și materiale avansate metalice, ceramice și compozite (MMC) din carul Institutului de Cercetare Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov.

Sinterizarea solară a fost efectuată la Odeillo-Font Romeu (Furnalul solar CNRS - Odeillo, Franța) utilizând cuptorul MSSF cu un diametru de 16 mm al fasciculului concentrat de energie solară.

Etapele tehnologice ale obținerii pieselor de cupru [POP 20c]:

1. Pe baza unui model CAD proiectat în software-ul SolidWorks, se obține o matriță (parte negativă) prin imprimare 3D folosind tehnologia FFF și folosind material PVA.
2. Într-o matriță metalică se introduce negativul din etapa 1 și se umple gravimetric cu pulbere metalică de Cu;
3. Pulberea este presată unidirecțional în matriță la o forță $F = 90 \text{ kN}$. Presarea are scopul de a obține o rezistență mecanică suficientă pentru următoarele trei etape;
4. Materialul suport (PVA) este îndepărtat prin scufundarea lui în apă până la dizolvarea completă pentru diferite perioade de timp, în funcție de cantitatea, dimensiunea probei și temperatura apei (aproximativ 48 de ore);
5. Procesul de uscare se realizează în cuptorul Nabertherm la 120°C cu un timp de menținere de 2 ore;
6. După uscare, modelul este sinterizat în cuptorul CSE și purjate cu N_2 . Debitul de N_2 a fost de 5 l/min. pentru a preveni oxidarea probelor.

Procesul de sinterizare a fost realizat într-un creuzet ceramic imprimat 3D la Departamentul de Știința Materialelor din cadrul Universității Transilvania din Brașov, prevăzut cu orificiu pentru purjare cu gaz inert și orificii pentru fixarea termocuplului pentru măsurarea temperaturii în timpul sinterizării.

Viteza de încălzire teoretică a fost $V_{inc} = 120 \pm 10^\circ\text{C}/\text{min}$, dar viteza reală de încălzire pentru fiecare probă (în funcție de fluxul solar incident pe probă) sunt prezentate în Tabelul 3.1. și diagramele practice de sinterizare (două exemple) sunt prezentate în Figura 3.2. și Figura 3.3. pentru fiecare temperatură de sinterizare.

Tabelul 3.1. Parametri de sinterizare utilizați în cadrul studiului [POP 20c].

Nr. Crt.	Temperatură [°C]	Timp menținere [min]	Rata de încălzire (teoretică) [°C/min]	Rata de încălzire (reală) [°C/min]
1	900	0	120 ±10	112.24
2		1		125.6
3		2		126.3
4		3		116.7
5		4		122.6
6		5		110.8
7	930	0	120 ±10	111.7
8		1		115.4
9		2		119.9
10		3		113.87
11		4		118.2
12		5		117.1

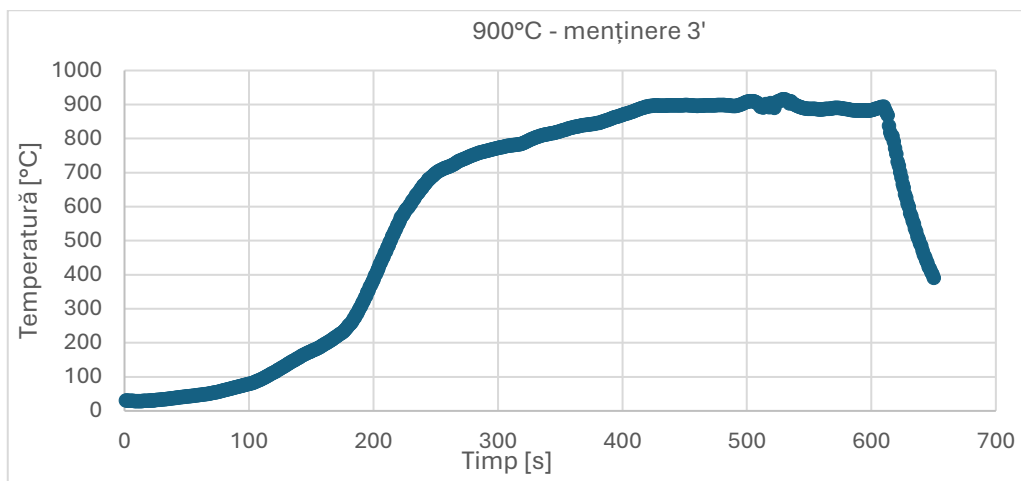


Figura 3.2. Diagrama de sinterizare solară la 900°C, cu timp de menținere de 3 min și cu o viteză de încălzire medie de 116,7°C/min. [POP 20c]

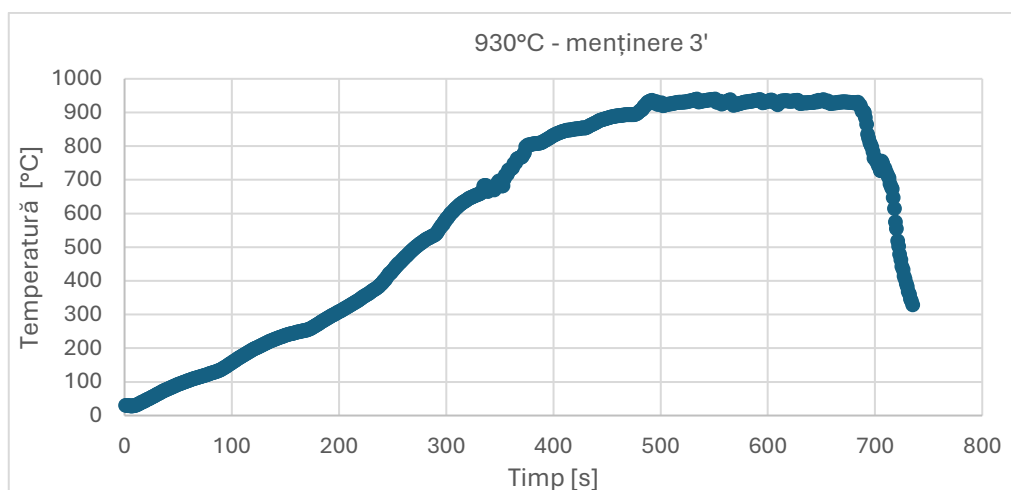


Figura 3.3. Diagrama de sinterizare solară la 930°C, cu timp de menținere de 3 min și cu o viteză de încălzire medie de 113,87 °C/min. [POP 20c]

Rezultate și discuții [POP 20c]:

a. Microdurate

Microduratea a fost măsurată în 9 puncte, valoarea minimă și maximă a fost eliminată și din restul de 7 măsurători s-a calculat media aritmetică.

Figurile 3.4 și 3.5. arată valorile microduratei HV măsurate în partea superioară a probei (unde radiația solară a fost directă) și în partea inferioară (unde căldura a fost transmisă prin conductivitate) în comparație cu probele solide și cele cu pereți subțiri.

În condiții normale, cuprul ca metal prezintă o duritate de 50-110 HV, conform literaturii de specialitate [HOR 05, REN 20, PAN 06]. La obținerea probelor prin presare se produce o deformare plastică la rece a granulelor de pulbere, rezultând o liere mecanică. Această liere mecanică între particule, este de obicei asociată cu tensiuni interne și din acest motiv probele presate au o duritate mai mare, respectiv o medie de 119,9 HV.

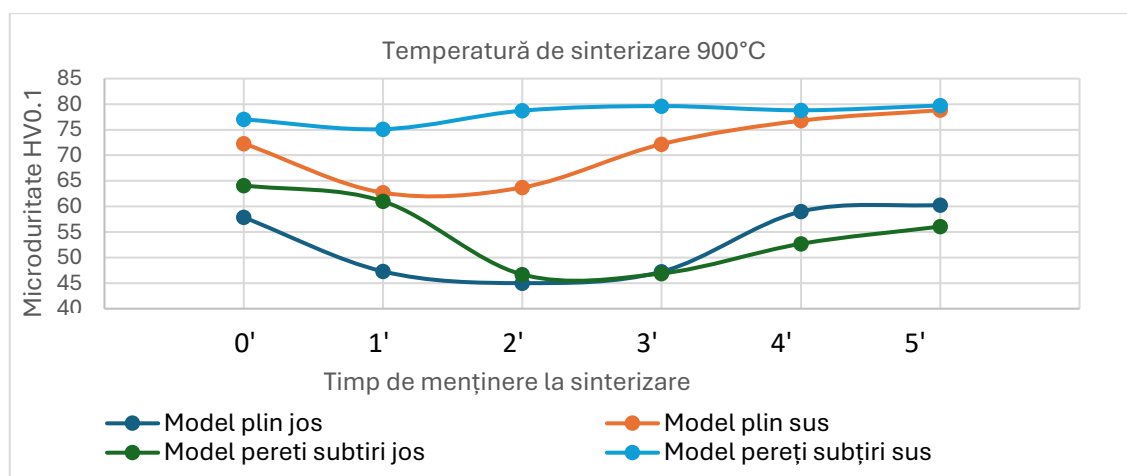


Figura 3.4. Microduritatea obținută în cazul tratamentului termic de sinterizare la 900°C [POP 20c]

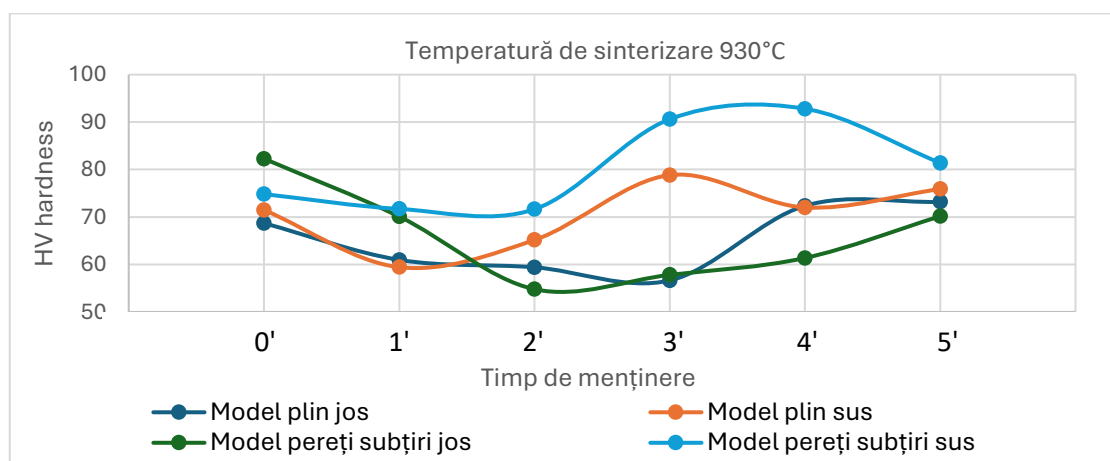


Figura 3.5. Microduritatea obținută în cazul tratamentului termic de sinterizare la 930 °C [POP 20c]

Atunci când probele sunt sinterizate, există o reducere continuă a tensiunilor interne din cauza recoacerii așa cum se regăsește și în literatura de specialitate [SON 15].

În urma procesului de sinterizare, duritatea probelor prezintă valori diferite în funcție de diferitele procese care au loc în timpul obținerii lor:

- ✓ realizarea unei structuri uniforme în probe prin dispariția limitelor dintre granulele metalice;
- ✓ în cazul tuturor probelor, o liere mecanică a granulelor metalice este remarcată, datorită presării, și care duce la o creștere a durității, în timp ce la probele tratate termic la 930°C se produce o coalescență datorită temperaturii.

b. Analiza microscopică [POP 20c]

Analiza microscopică a fost efectuată cu un microscop metalografic Nikon Eclipse MA 100 (Nikon Corp., Tokyo, Japonia). Pentru analiza structurii și morfologiei, probele au fost încorporate în rășină acrilică și șlefuite folosind un dispozitiv de prelucrare automat metalografic tip Phoenix Beta de la Buehler și la final lustruire cu suspensie de Al_2O_3 și granulație de 0,05 μm .

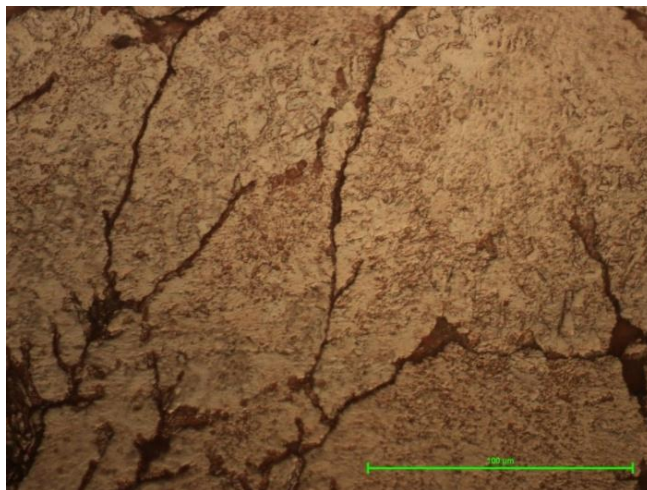


Figura 3.6. NS – Microstructură probă nesinterizată [POP 20c]

Din analiza microstructurii din Figura 3.6. se poate observa o deformare plastică, apărută în momentul presării în matriță. Datorită tensiunilor interne diferite rezultate din deformațiile plastice, precum și reacției diferite la reactiv, există diferențe minore în microstructură.

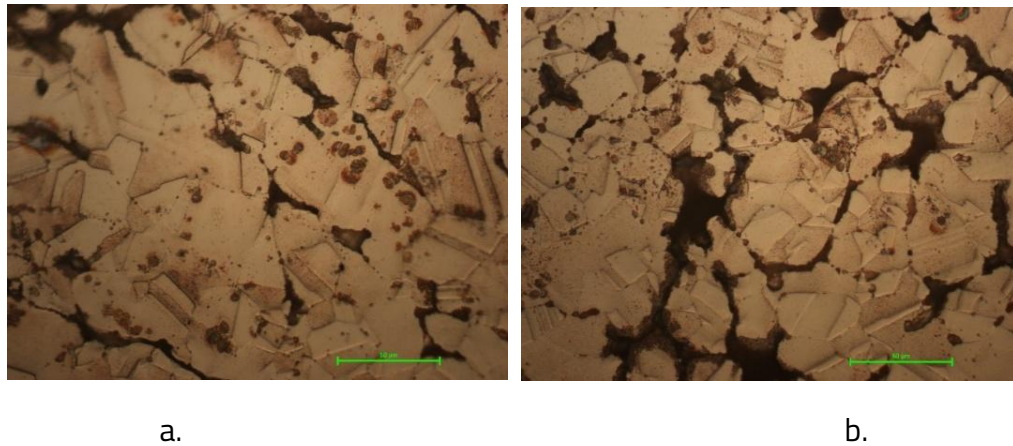


Figura 3.7. Proba STW₉₀₀ - sinterizare la 900°C cu un timp de menținere de 5 minute, proba model cu pereți subțiri a). partea superioară; b). Partea inferioară, (mărire 500x) [POP 20c]

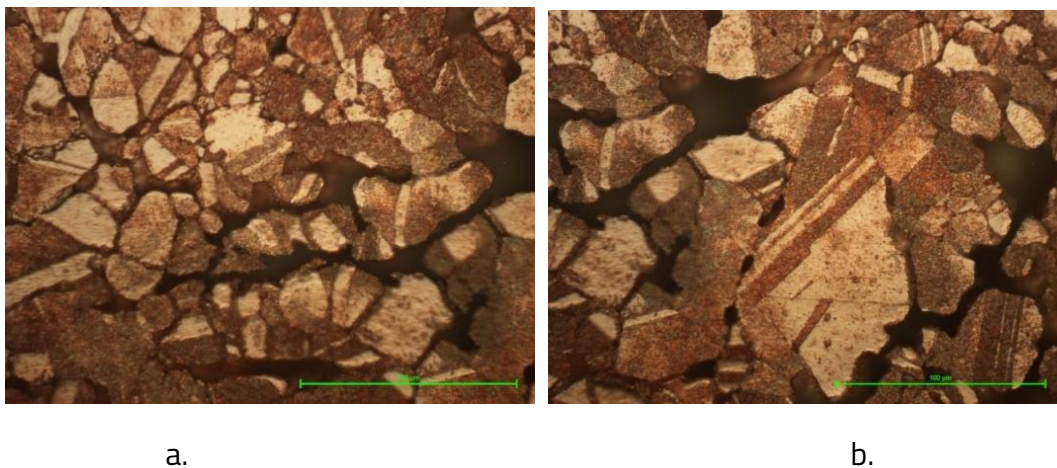


Figura 3.8. SFW₉₀₀ - sinterizare la 900°C, cu un timp de menținere de 5 minute, proba model plin: a). partea superioară; b). partea inferioară, (mărire 500x) [POP 20c]

După cum se poate observa din micrografiile prezentate în Figura 3.7. și Figura 3.8. și coroborate cu valorile microdurității HV prezentate în figura 3.4., s-au putut găsi următorii factori de influență și anume:

- ✓ radiația directă facilitează legarea la temperatură și astfel are loc sinterizarea materialului, rezultând o duritate apropiată de duritatea maximă a Cu.
- ✓ în cazul probelor cu pereți subțiri, aceeași cantitate de căldură se transmite în masa piesei mult mai ușor decât în părțile solide, rezultând o scădere a dimensiunilor și a numărului de defecte, a golurilor și o creștere a valorilor microdurității.

- ✓ chiar dacă Cu este un bun conductor termic atunci când este vorba de piese pline, procesul de sinterizare este afectat, rezultând piese cu o duritate mai mică.
- ✓ variația microdurității este uniformă și similară în cazul probelor solide atât în partea superioară cât și în partea inferioară.

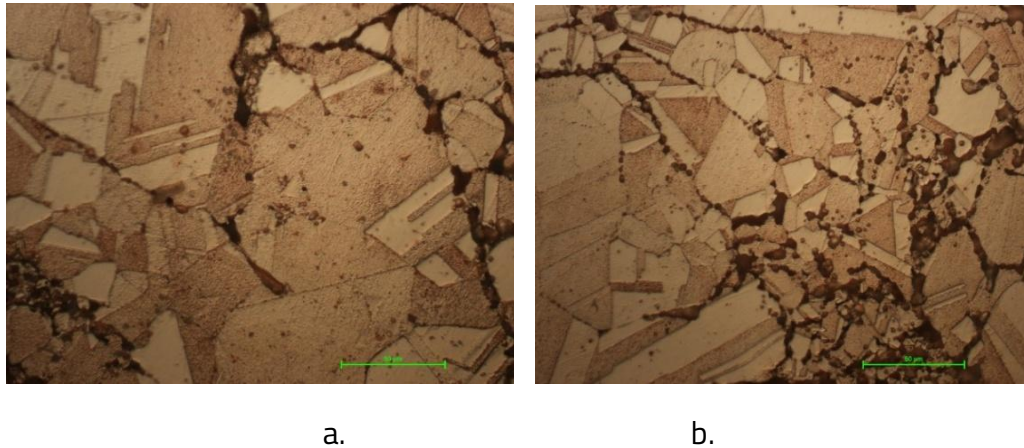


Figura 3.9. STW₉₃₀ - sinterizare la 930°C, cu un timp de menținere de 5 minute, proba model pereți subțiri: a). partea superioară; b). partea inferioară, (mărire 500x) [POP 20c]

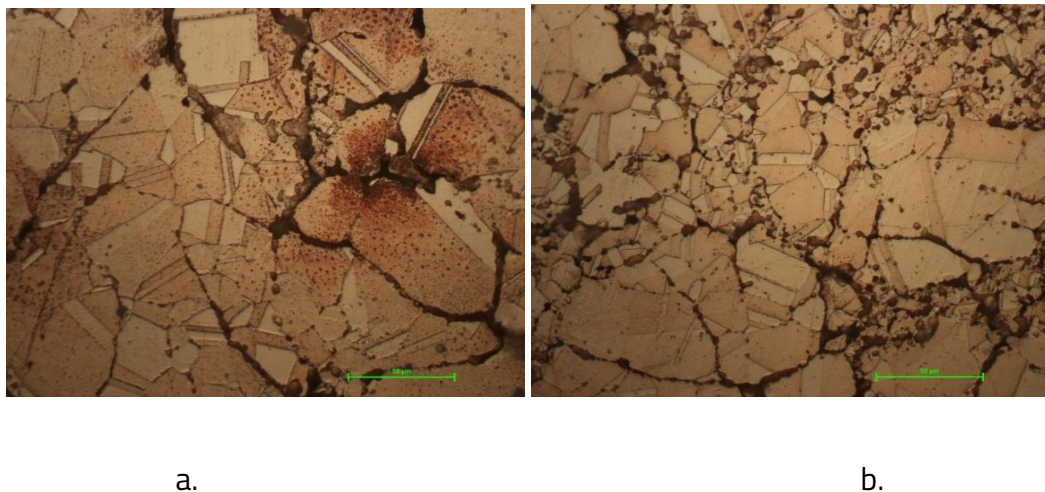


Figura 3.10. SFW₉₃₀: sinterizare la 930°C, cu un timp de menținere de 5 minute, proba model plin: a). partea superioară; b). partea inferioară, (mărire 500x) [POP 20c]

După cum se poate observa din micrografiile prezentate în Figura 3.9 și Figura 3.10, și coroborate cu valorile microdurității prezentate în Figura 3.5, s-au identificat următorii factori de influență și anume:

- ✓ radiația directă facilitează legarea granulelor la temperatură (ca și în cazul sinterizării la 900°C) și astfel are loc sinterizarea materialului rezultând o duritate mare.
- ✓ se poate observa dispariția limitelor dintre grăunți, fenomen caracteristic tratamentelor termice cu menținere la temperatură ridicată.
- ✓ rezultatele microdurității în cazul tratamentului termic la 930°C nu variază foarte mult, fiind apropiate atât la probele solide și cele cu pereți subțiri cât și de suprafața unde s-a folosit radiația directă raportat la partea inferioară unde căldura s-a propagat prin conductivitate termică.
- ✓ menținerea unei temperaturi mai ridicate poate determina o creștere a dimensiunii cristalelor rezultând cristale poliedrice cu limite duble și orientare în benzi.

Concluziile studiului [POP 20c]:

În acest studiu au fost obținute piese sinterizate solar cu geometrie internă controlată, prin utilizarea unui negativ printat 3D și metalurgia pulberilor.

Această abordare nu a fost folosită până acum și poate fi considerată o inovație în domeniu mai ales că, configurația propusă a pieselor din cupru este dificil de realizat folosind alte tehnologii.

- ✓ În general, din cauza costurilor de producție mai mari, tehnologiile profesionale de printare 3D nu sunt potrivite pentru producția de masă. În schimb, datorită timpului scurt de la proiectare până la produsul fizic, acestea sunt mai potrivite pentru prototipuri și reprezintă cea mai bună soluție pentru verificarea/validarea modificărilor aduse pieselor înainte de producția lor în masă. În acest fel se pot obține serii mici sau prototipuri.
- ✓ Odată cu creșterea temperaturii de la 900°C la 930°C, particulele practic se leagă mai bine și golurile (porii) dispar.
- ✓ Contururile grăunților sunt vizibile la 900°C, chiar dacă aderența particulelor este mai evidentă la 930°C, fapt confirmat de valorile microdurității.

- ✓ În cazul tratamentului termic la 930°C s-a obținut o finisare a structurii.
- ✓ Prin comparație, proba model plin/proba model pereți subțiri la aceeași temperatură și timp de menținere se observă o reducere a golurilor (porozități), o bună compactare și înglobare a particulelor, net superioară probelor cu pereți subțiri.
- ✓ Microporozitatea internă este aleatorie datorită procesului tehnologic specific metalurgiei pulberilor și este dictată de distribuția granulelor la presare.
- ✓ S-a reușit combinând cu succes beneficiile utilizării tehnologiei de printare 3D cu tehnologia de procesare a pulberii și sinterizarea solară.
- ✓ Timpul de menținere la sinterizare de 5 minute pentru probele cu pereți subțiri la 930°C s-a dovedit a fi cel optim.
- ✓ Utilizarea energiei solare în procesul de sinterizare este fezabilă datorită avantajelor sale: energie curată, energie inepuizabilă, ecologică, scurtarea timpului de tratament termic.

Rezultatele prezentate în acest studiu au determinat că sinterizarea cu energie solară concentrată poate fi aplicată cu succes la sinterizarea pieselor de tipul schimbătoare de căldură din cupru cu morfologie imprimată 3D controlată.

Capitolul 4. Îmbunătățirea procesului de disociere-adsorbție-difuzie a pieselor printate 3D și nichelate prin tratament solar concentrat (Improving the properties of A6 steel 3D printed and nickel-plated parts by solar treatment), Laborator CNRS-PROMES, UPR 8521, French National Centre for Scientific Research (CNRS), SFERA-III project (Grant Agreement No 823802) SURPF2201310034". [POP 22a]

Echipamentul de lucru este cel prezentat în Figura 4.1.

Planul de lucru care a și fost respectat și îndeplinit a fost următorul:

- ✓ obținerea pieselor metalice cu tehnologia SLS (40 de probe);
- ✓ depunerea electrochimică de nichel cu două grosimi diferite – 10 buc [A($100\mu\text{m}\pm 15\%$)] și 10 buc [B($200\mu\text{m}\pm 15\%$)];
- ✓ tratarea termică a suprafeței folosind energie solară la $800^{\circ}\text{C} (\pm 10^{\circ}\text{C})$ și $900^{\circ}\text{C} (\pm 10^{\circ}\text{C})$ și timp de menținere de 5, 10, 15 și 20 de minute la fiecare temperatură;
- ✓ tratarea termică a suprafeței folosind energie solară la $800^{\circ}\text{C} (\pm 10^{\circ}\text{C})$ și $900^{\circ}\text{C} (\pm 10^{\circ}\text{C})$ și timp de menținere de 5, 10, 15 și 20 de minute la fiecare temperatură pentru probe care nu aveau strat de Ni depus;
- ✓ depunerea electrochimică de nichel cu două grosimi diferite – D($100\mu\text{m}\pm 15\%$), E($200\mu\text{m}\pm 15\%$) pe probele tratate solar menționate anterior;
- ✓ caracterizarea pieselor obținute: rezistența la uzură, rugozitatea, coeficientul de frecare;
- ✓ toate probele au avut formă cilindrică cu diametrul de 14 mm și înălțimea de 10 mm.;
- ✓ tratamentul termic s-a efectuat în atmosferă de argon, cu o viteză de încălzire cuprinsă între $(90 \div 100)^{\circ}\text{C}/\text{min.}$;

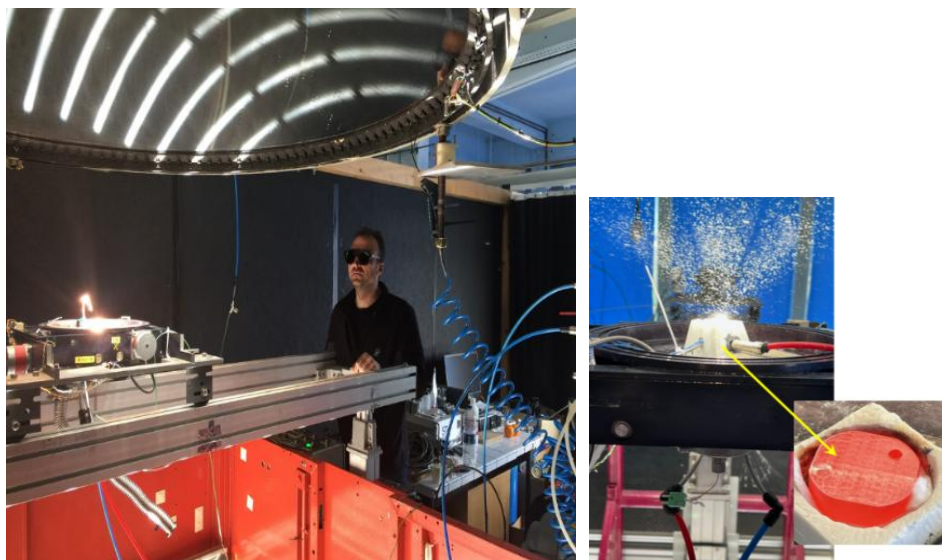


Figura 4.1. Instalația de tratament termic solar utilizată. a) vedere generală, b) focarul de încălzire și proba încălzită (detalii) [POP 22a].

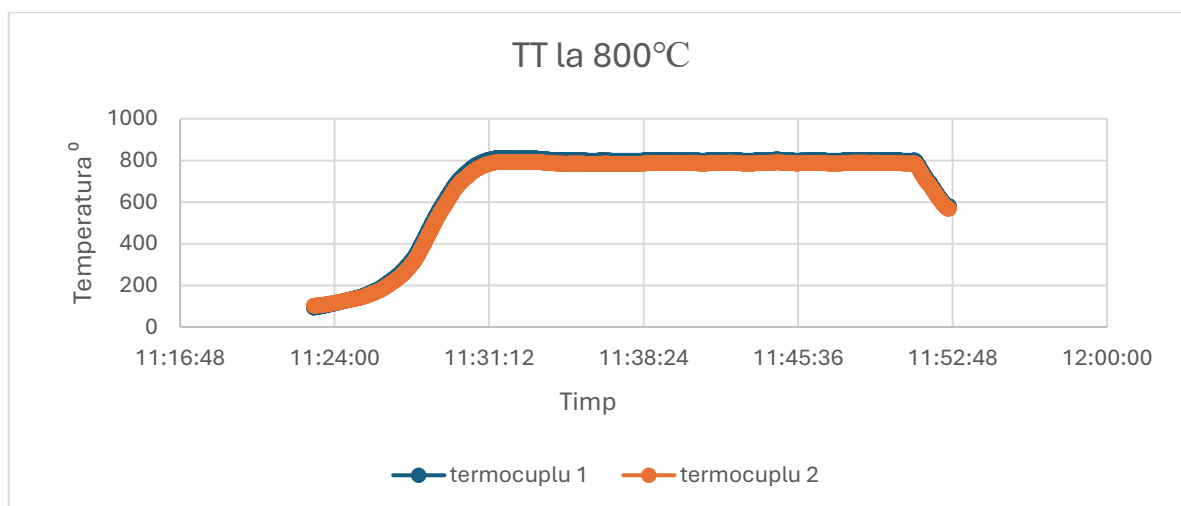


Figura 4.2. Diagrama de tratament termic la 800°C și timp de menținere 20 de minute [POP 22a, POP 22b]

A fost studiată rugozitatea tuturor probelor utilizate în această cercetare în vederea măsurării la scară microgeometrică a variațiilor în înălțime ale suprafețelor probelor tratate și nichelate iar rezultatele obținute (selecție) sunt prezentate în Tabelul 4.1.

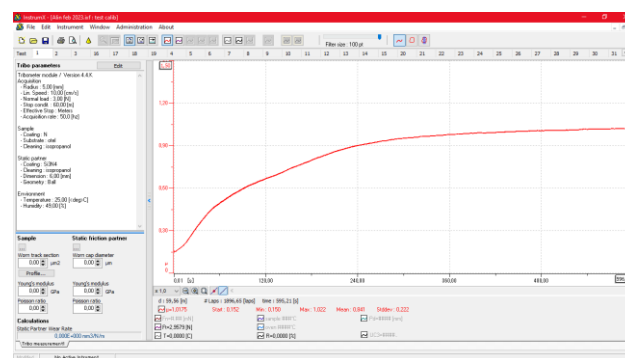
Tabelul 4.1. Rugozitate probelor selectate [POP 22b].

Proba	Ra (μm)	Rz (μm)	COF min	COF max
P1	0.4	2.5	0.150	1.022
P28	0.4	2.875	0.160	0.815
P27	2.675	15.25	0.095	0.809

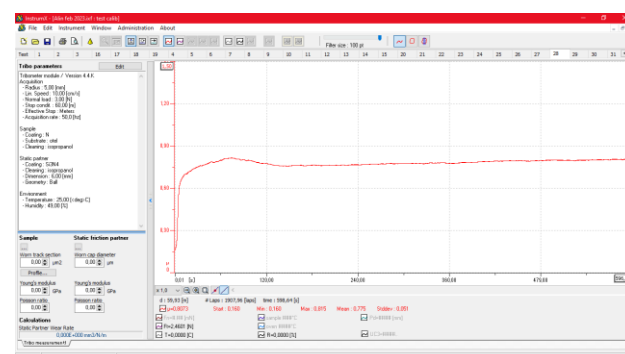
Unde:

- abaterea medie aritmetică a profilului Ra este valoarea medie a ordonatelor ($y_1, y_2, \dots, y_n$) punctelor profilului efectiv față de linia medie a profilului;
- înălțimea medie a neregularităților Rz este distanța medie dintre cele mai înalte cinci puncte de vârf și cele mai joase cinci puncte de fund ale profilului efectiv, măsurate pe o paralelă la linia medie care nu taie profilul;

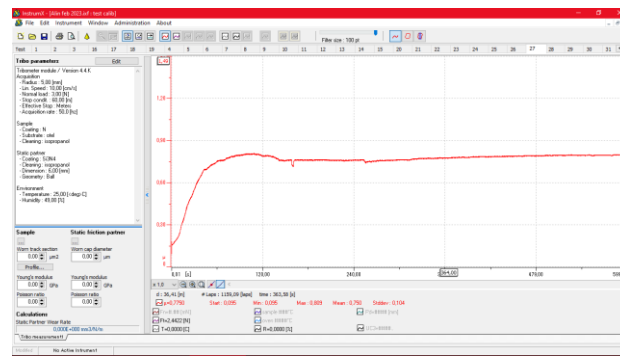
După cum se observa și din Figura 4.3 a, b și c condițiile de testare au fost menținute neschimbate pentru toate probele.



a.



b.



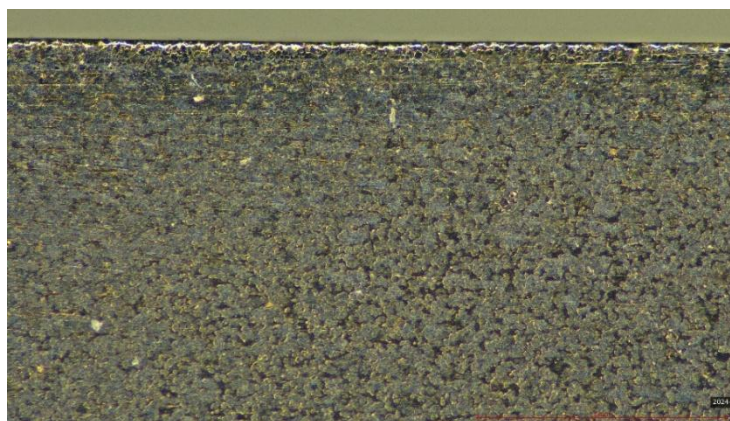
c.

Figura 4.3 Rezultatele obținute pentru determinarea rugozității: a. Proba P1; b. Proba P28 și
c. Proba P27 [POP 22a, POP 22b]

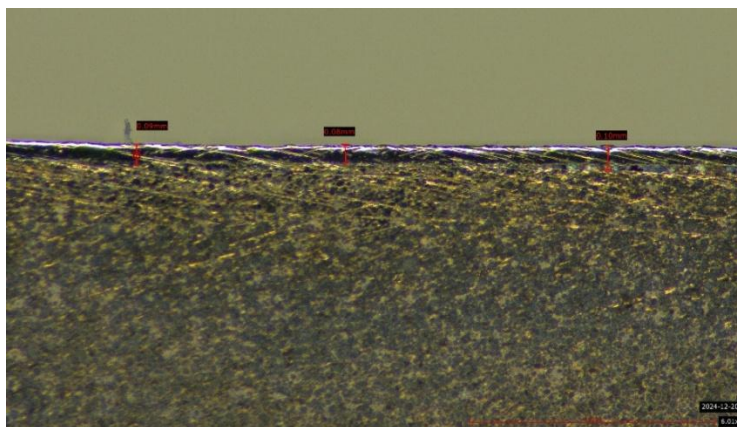
Analiza microscopică

În continuare sunt prezentate micrografiile obținute pentru probele P1, P28 și P27 la care au fost prezentate mai sus rezultatele la rugozitate obținute.

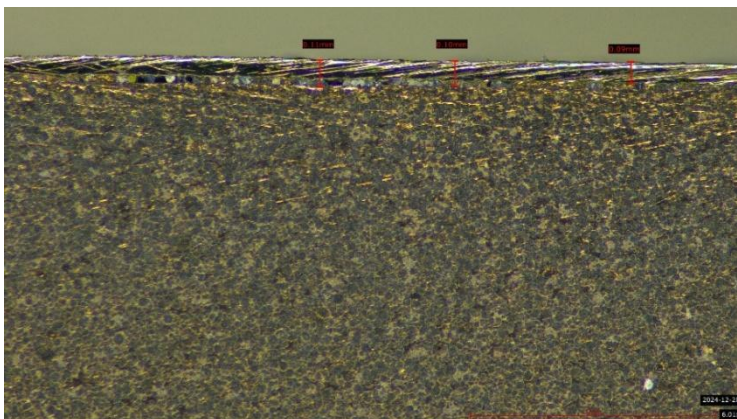
- P1 – probă fără tratament termic (printată 3D și infiltrată cu bronz);
- P28 – probă nichelată => tratată termic la 800 °C => timp menținere 5' => viteza de încălzire medie medie de 95,91 °C/min => grosime teoretică de strat de Ni 100 µm;
- P27 – probă nichelată => tratată termic la 800 °C => timp menținere 20' => viteza de încălzire medie medie de 92,03 °C/min => grosime teoretică de strat de Ni 100 µm;



P1



P28



P27

Figura 4.4 Micrografiile probelor P1, P28 și P27

În urma măsurătorilor efectuate s-a constatat faptul că pentru proba P28 grosimea teoretică a stratului de Ni a fost de 100 μm și practic au fost obținute grosimi de strat cuprinse între 80 și 100 μm , iar în cazul probei P27 grosimea teoretică a stratului de Ni a fost de 100 μm și practic au fost obținute grosimi de strat cuprinse între 90 și 110 μm .

Printarea reperelor metalice din A6 Steel cu ajutorul tehnologiei Selective Laser Sintering (SLS), acoperite cu Ni și utilizarea energiei solare în procesul de tratament termic a fost o reușită rezultând avantajele următoare: energie curată, energie inepuizabilă, ecologică și scurtarea proceselor de tratament termic datorita vitezelor foarte mari de încălzire [POP 22a].

Rezultate parțiale au fost prezentate în cadrul BraMat 2024 - 13th International Conference on Materials Science and Engineering în lucrarea cu titlul: Improvement of the desorption-adsorption-diffusion process in 3D printed nickel-plated parts through concentrated solar treatment și în continuare este în proces de elaborare o analiza completă a rezultatelor în vederea publicării într-un jurnal Q1 sau Q2.

Capitolul 5. Compozite ecologice realizate prin tehnici de imprimare 3D pentru obținerea panourilor fonoabsorbante, Contract de finanțare nr. 75 / 13.05.2022, Program 1 - Dezvoltarea sistemului național de cercetare-dezvoltare; Subprogramul 1.1 - Resurse Umane; Tip proiect: Proiecte de cercetare pentru stimularea tinerelor echipe independente, cod PN-III-P1-1.1-TE-2021-0294.

Proiectul de cercetare a fost structurat în trei părți după cum urmează:

5.1 Optimizarea structurală și arhitecturală a materialelor eco-compozite

5.1.1. Alegerea materialelor cu constituenți naturali (matrice + ranforsant)

Polimerii, rășinile, cerurile și deșeurile de biomasă utilizate în cadrul acestui proiect pentru obținerea materialelor compozite cu proprietăți fonoabsorbante (ceară de albine, rășină de brad, măcinătură de ace de brad, coada calului – versus Equiseti herba, făină de orez, celuloză din hârtie) reprezintă materiale naturale cu un grad mare de reciclare și cu impact redus asupra mediului.

Ceara naturală, prin conținutul acesteia de acizi grași saturați, n-alcani și alcooli cu catenă lungă, precum și rășina de brad, prin conținutul acesteia în acizi rezinici reprezintă matrici organice ideale pentru materialele fonoabsorbante, datorită prelucrabilității ușoare a acestora (punct de înmuiere scăzut), costului scăzut, caracterului amorf (disipant sonor) și caracterului de liant bun față de materialul de umplură.

În cadrul proiectului s-a optat pentru utilizarea măcinăturilor ca agenți de umplură, datorită suprafeței specifice relativ mari a acestora, care este benefică atât pentru lierea cu matricea cât și pentru obținerea unei structuri cât mai afânate, cu influență benefică asupra fonoabsorbantei.

Coada calului și acele de brad conțin pe lângă partea lignocelulozică și compuși fenolici, acizi rezinici sau dioxid de siliciu (coada calului) care au un efect de întăritor și stabilizator termic pentru ceară și/sau rășină. Măcinătura de orez conține amidon, ceruri și proteine care sunt

compatibile cu matricele alese iar hârtia măcinată (celuloză reciclată) prezintă o suprafață specifică mare și un grad ridicat de absorbție/îmbibare față de ceară și rășină.

În cadrul acestei activități au fost analizate din punct de vedere al durității SHORE D, următoarele eco-compozite:

a) Ceară de albine (Ca) și coada calului măcinată (Cc)

În total au fost obținute un număr de 14 materiale compozite, obținute prin topirea cerii de albine și amestecarea cu măcinătură de Cc în proporții prestabilite și turnate în matrițe cilindrice din cauciuc siliconic rezultând epruvete cu diametrul de 18 mm și înălțimea cuprinsă între 15÷20 mm..

Ceara de albine naturală a fost de tipul fagurilor artificiali folosiți în apicultură și planta de Coada Calului folosită în medicină.

În urma experimentelor efectuate s-a determinat faptul că umectarea optimă a ranforsantului este posibilă până la valoarea de 39,4%, iar compozitul care a înregistrat valoarea maximă a durității a fost cel cu **37,5% Cc** și anume de **27,51** unități SHORE D.

b) Ceară de albine (Ca) și hârtie reciclată (Hr)

Pentru obținerea acestor materiale compozite a fost folosită rețeta de la compozitul anterior (Ca + Cc) și s-a determinat duritatea SHORE D. Față de cazul anterior, s-a mers la un procent mai mare de agent de umplere (Hr), acest lucru fiind posibil datorită capacității mai mari de înglobare a acestuia în ceara de albine.

Hârtia reciclată utilizată provine din mărunțirea resturilor de documente (hârtie A4 obișnuită cu o greutate specifică de 80 g/m²).

Au fost obținute un număr de 18 materiale compozite și până la un procent de 33,4% de Hr valorile durității s-au situat în jurul valorii obținute pentru Ca neranforsată și au fost eliminate. Umectarea optimă a ranforsantului este posibilă până la valoarea de 46%, iar compozitul care a înregistrat valoarea maximă a durității a fost cel cu **44,4% Hr** și anume de **29,85** unități SHORE D.

c) Ceară de albine (Ca) și orez măcinat (Or)

A fost utilizată o cantitate de 5g Ca și o cantitate crescândă de 1g de întăritor/ranforsant în plus față de materialul de bază (Ca). Astfel au fost obținute un număr de 10 materiale compozite cu umectarea optimă a ranforsantului și înglobarea lui până la valoarea de 86,5%, iar compozitul care a înregistrat valoarea maximă a durității a fost cel cu **54,5% Hr** și anume de **38,1** unități SHORE D.

d) Ceară de albine (Ca) și ace de brad măcinate (Abr)

A fost utilizată o cantitate de 5g Ca și o cantitate crescândă de 1g de întăritor/ranforsant în plus față de materialul de bază (Ca). Au fost obținute un număr de 10 materiale compozite cu o umectare optimă a ranforsantului și înglobarea lui până la valoarea de 86,5%, iar compozitul care a înregistrat valoarea maximă a durității a fost cel cu **61,5% Hr** și anume de **32,3** unități SHORE D.

În urma analizei critice din punctul de vedere al rezultatelor obținute la duritate și pentru ca acestea se situau la un nivel scăzut (în prima treime valorică pe scara SHORE D), s-a trecut la testarea rășinii de brad simple la care s-a obținut o valoare medie a durității de 61 unități, mai mult decât dublul valorilor obținute pentru compozitele Ca + Cc și cu aproximativ 55% mai mare decât în cazul compozitelor Ca + Or și Ca + Abr.

Inconvenientul principal al rășinii de brad este acela că după efectuarea procesului de topire/turnare devine foarte casant.

Ținând cont de rezultatele obținute mai sus s-a decis utilizarea combinațiilor cu cele mai bune rezultate (prezentate în subpunctele a, b, c și d) și elaborarea de noi materiale compozite pentru Activitatea 1.3 după cum urmează:

1. Ceară de albine (50%) + rășină de brad (50%)
2. Ceară de albine (62,5%) + coada calului (37,5%);
3. Ceară de albine (55,56%) + hârtie reciclată (44,44%);
4. Ceară de albine (45,5%) + orez măcinat (54,5%);

5. Ceară de albine (61,5%) + ace de brad măcinate (38,5%);
6. Ceară de albine (31,25%) + rășină de brad (31,25%) + coada calului (37,5%);
7. Ceară de albine (27,78%) + rășină de brad (27,78%) + hârtie reciclată (44,44%);

5.1.2. Elaborarea noii arhitecturi de materiale eco-compozite din materiale reciclate (celuloză) și ceară de albine.

În cadrul acestei activități au fost proiectate cu ajutorul software-ului SolidWorks și obținute cu ajutorul tehnologiei de printare 3D (Filament Fused Fabrication - FFF) un număr de 3 matrițe cu configurații interne preliminare diferite, pentru obținerea panourilor fonoabsorbante din materiale eco-compozite.

Pentru dimensiunile acestor matrițe s-a ținut cont de caracteristicile/specificațiile tehnice și particularitățile aparatului de măsurat absorbția fonică achiziționat în cadrul proiectului.

5.1.3. Determinarea proprietăților mecanice ale epruvetelor din materialele eco-compozite dezvoltate.

În vederea determinării proprietăților mecanice (rezistența la încovoiere, rezistența la rupere cu șoc și rezistența la compresiune) și ținând cont de particularitățile acestor tipuri de materiale compozite au fost proiectate cu ajutorul soft-ului SolidWorks și printate 3D cu ajutorul tehnologiei FFF matrițe pozitive, matrițe în care s-a turnat cauciuc siliconic obținându-se astfel matrițele negative în care s-au turnat epruvetele standardizate de materiale compozite.

Rezultatele testelor la încovoiere plasează pe primul loc Rășina de brad (100%) cu $R_{bb}=3,5$ [MPa], urmată de Ceară de albine (100%) cu $R_{bb}=3,54$ [MPa] și Ceară de albine (62,5%) + Coada calului (37,5%) cu $R_{bb}=3,2$ [MPa]. Acest lucru se datorează conținutului de acizi rezinici din rășina de brad, conținutul de acizi grași saturați, n-alcani și alcooli cu catenă lungă din ceara de albine și măcinăturii de coada calului ca agent de umplutură / întăritor care datorită suprafeței specifice relativ mari a acestora, este benefică pentru lierea cu matricea și conferirea de rezistențe mecanice mai mari.

În cazul încercării la compresiune regăsim Rășina de brad (100%) cu $R_{bc}=8,2$ [MPa] urmată la mare distanță de Ceară de albine (45,5%) + Orez măcinat (54,5%) cu $R_{bc}=2,0$ [MPa] și Ceară de albine (62,5%) + Coadă calului (37,5%) cu $R_{bc}=1,8$ [MPa].

Rezultatele testelor de reziliență releva faptul că materialele compozite cu reziliențele cele mai ridicate corespund compozițiilor cu ceară de albine și hârtie reciclată ($R_i = 18.86$ kJ/m²), ceară și făină de orez ($R_i = 17.24$ KJ/m²), ceară de albine și rășină de brad ($R_i = 16.84$ KJ/m²).

Reziliența cea mai ridicată a compozitului cu ceară de albine și hârtie reciclată se datorează proprietăților mecanice ale hârtiei reciclate care are o duritate SHORE D de 39,71 unități.

5.1.4. Identificarea comportamentului fizico-termic al materialelor eco-compozite investigate. Cuantificarea efectelor factorilor de influență.

Analiza de calorimetrie diferențială (DSC) s-a realizat folosind următorul program de răcire-încălzire (viteza de încălzire/răcire: 10°C/min): I- răcire de la temperatura camerei → până la -80°C; II – încălzire de la -80°C → până la 300°C și III – răcire de la 300°C → până la temperatura camerei.

Au fost observate următoarele aspecte:

- Pe palierul I (de răcire) se observă cristalizarea unor compuși (posibil mici moleculari) din matricile studiate (ceară de albine, rășină de brad) la temperaturi de ~ -20°C. Amestecul celor două matrici, cât și amestecul acestora cu agentul de umplere (pulbere de coada calului, de ace de brad, făină de orez, hârtie reciclată) conduce la coborârea acestui punct de cristalizare cu aproximativ 1-3°C;
- Pe palierul II (de încălzire) se observă topirea cerii de albine la 69,8°C și a rășinii de brad începând de la 58°C până la 293.5°C, corespunzând diferitelor fracții din aceasta. Amestecurile celor două matrici se topesc la temperaturi cu 1-2°C mai mici decât componentele pure, amestecul matricilor cu agentul de umplere are în principiu același efect. Rășina de brad prezintă și un punct de înmuiere la 30,4°C (temperatura de tranziție

sticloasă, T_g); amestecul celor două matrici (ceară și rășină) conduce la coborârea acestui punct la 15,8°C. Nu s-a detectat prezența unui punct de înmuiere și pentru ceară pură.

- Pe palierul III (de răcire) se observă începerea oxidării cerii la 291,4°C, a rășinii de brad la 181,3°C. Amestecul celor două matrici (ceară și rășină) este stabil termic în condițiile analizei, nefiind observată prezența unui pic exoterm corespunzător oxidării. Acest aspect poate fi favorabil obținerii materialelor compozite cu acest tip de matrice. Adaosul de pulbere de coada calului, respectiv de pulbere de ace de brad la ceară conduce la o scădere ușoară a temperaturii de început de oxidare (288°C și 285°C), pe când în cazul făinii de orez scăderea este nesemnificativă ($\sim 1^\circ\text{C}$). Adaosul de hârtie reciclată la ceară favorizează creșterea temperaturii de oxidare a acesteia cu $\sim 1^\circ\text{C}$. Se poate concluziona că agenții de umplere selectați nu modifică semnificativ stabilitatea termică a cerii.
- Solidificarea topiturilor (ceară + agenți de umplere, rășină de brad) se face totdeauna cu subrăcire, temperaturile de solidificare fiind mai mici decât cele corespunzătoare topirii de la palierul al II-lea.

Analiza termogravimetrică (TG) s-a realizat folosind următorul program de încălzire (viteza de încălzire: 10°C/min): încălzire de la -80°C → până la 300°C și răcire de la 300°C → până la temperatura camerei. În prezentul raport s-au discutat doar datele aferente curbei de încălzire. S-a remarcat stabilitatea termică mai mare a compozitelor cu matrice mixtă (ceară + rășină de brad) cu coada calului și hârtie reciclată.

După parcurgerea cu succes a tuturor activităților prevăzute în Etapa 1 – 2022 s-a trecut la pretestări în privința determinării proprietăților materialelor compozite selectate pentru Activitatea 1.3 din punct de vedere al absorbției sunetului.

Au fost obținute două tipuri de epruvete cu diametrul de 50 mm și anume prin turnare în matriță din cauciuc siliconic și epruvete turnate (din compozitele stabilite anterior) în inele printate 3D, apoi testate cu ajutorul echipamentului Holmarc Impedance Tube, Tip HO-ED-A-03, achiziționat în cadrul proiectului.

Datele preliminare obținute au avut ca scop indicarea direcțiilor viitoare de cercetare în vederea obținerii de materiale eco-compozite cu arhitecturi interne cât mai performante în absorbția sunetului.

În etapele următoare mi-am propus să dezvoltăm / optimizăm materialele compozite care au avut cele mai bune rezultate din punct de vedere al încercărilor mecanice precum și al absorbției fonice cea mai mare, verificarea celor 3 modele de arhitectură internă proiectate pentru toate cele 7 materiale compozite și compararea lor cu materialele de bază (ceară de albine și rășină de brad) precum și cu obținerea de astfel de panouri fonoabsorbante direct prin printare 3D din materiale ecologice.

O altă direcție de cercetare propusă a fost aceea de a obține un „miez” din pastă de hârtie reciclată, turnată în matrițe profilate și după uscarea completă să fie acoperite cu material de bază (Ca și Rbr) întărit cu coada calului și celelalte materiale studiate în această etapă.

5.2 Proiectarea și obținerea cu ajutorul tehnologiei aditive 3D a unei matrițe profilate multifunctionale

5.2.1 Proiectarea panourilor fonoabsorbante obținute prin printare 3D

În ultimul timp, odată cu dezvoltarea industriei moderne și a traficului aerian și rutier, zgomotul a devenit unul dintre nenumărații factori care afectează sănătatea umană și mediul înconjurător din întreaga lume. Reducerea efectelor zgomotului a devenit o problemă majoră care creează efecte dăunătoare asupra sănătății umane, iar combaterea acestuia necesită găsirea urgentă a celor mai bune soluții nu numai prin reglementări și legislație din ce în ce mai restrictive.

În industria modernă, zgomotul reprezintă una dintre problemele cele mai urgente care trebuie abordate, cercetare și reduse prin utilizarea materialelor fonoabsorbante. Pentru reducerea sunetului, designul structural și testele asupra absorbției acustice și de pierdere a transmisiei sunetului a produselor industriale reprezintă o sarcină dificilă și de mare actualitate și sunt

investigate acustic diverse tipuri de materiale naturale, materiale compozite precum și structuri sandwich compozite, deoarece aceste materiale prezintă un cost de producție scăzut și au de cele mai multe ori compoziții ecologice.

Atunci când sunetul atinge o barieră, în funcție de performanța de absorbție a sunetului de către material, se pot întâmpla trei fenomene (principale): absorbție, pierderea transmisiei și reflexia.

- *Coeficientul de absorbție acustică* este definit ca raport subunitar între energia absorbită și energia incidentă a unui material, acesta variind în funcție de frecvență, de unghiul de la care un sunet sau unda sonoră ajunge pe materialul testat.
- *Pierderea transmisiei sunetului* reprezintă raportul dintre energia sonoră transmisă și cantitatea de energie sonoră de pe partea incidentă a materialului testat.
- *Coeficientul de reflexivitate* este un parametru care descrie cât de mult dintr-o undă este reflectată de o discontinuitate a impedanței în mediul de transmisie.

Pentru proiectarea și fabricarea produselor industriale care necesită performanță acustică ridicată, selecția materialelor și testarea acustică a materialelor selectate reprezintă două activități foarte importante.

Polimerii, rășinile, cerurile și deșeurile de biomasă utilizate în cadrul acestui proiect pentru obținerea materialelor compozite cu proprietăți fonoabsorbante (acid polilactic, ceară de albine, rășină de brad, măcinătură de ace de brad, coada calului – versus Equiseti herba, făină de orez, celuloză din hârtie reciclată) reprezintă materiale naturale cu un grad mare de reciclare și cu impact redus asupra mediului.

5.2.2. Proiectarea panourilor fonoabsorbante obținute prin printare 3D

În cadrul acestei activități au fost proiectate cu ajutorul software-ului SolidWorks și obținute cu ajutorul tehnologiei de printare 3D Filament Fused Fabrication (FFF) un număr de peste 30 de modele de panouri fono-absorbante cu configurații interne diferite.

Pentru dimensiunile acestor panouri s-a ținut cont de caracteristicile/specificațiile tehnice și particularitățile aparatului de măsurat absorbția fonică care a fost achiziționat în cadrul proiectului în etapa 1/2022, precum și rezultatele obținute anterior.

În urma testelor anterioare s-a determinat faptul că perforațiile din panoul fonoabsorbant duc la o îmbunătățire substanțială a coeficientului de absorbție fonică, deci, toate panourile au fost proiectate cu perforații de diverse forme și dimensiuni.

Procedeul de fabricație FFF prezintă un avantaj major și anume că poate realiza piese cu structură ușoară prin utilizarea și modificarea parametrului „densitate de umplere” (infill density).

Un alt avantaj este acela că se poate obține aproape orice configurație exterioară sau interioară a unui obiect direct din model CAD și dintr-o diversitate foarte mare de materiale.

Acest parametru prezintă un rol important în reducerea greutății și totodată a timpului de printare 3D, astfel se pot obține piese/componente funcționale optimizate cu performanțe ridicate în absorbția sunetului.

5.2.3. Proiectarea matritei profilate multi-use

În cadrul acestei activități au fost proiectate cu ajutorul software-ului SolidWorks și obținute cu ajutorul tehnologiei de printare 3D Filament Fused Fabrication (FFF), Stereolitografie (SLA) și Selective Laser Sintering (SLS) un număr de peste 25 de matrițe (pozitive și negative) cu configurații și din materiale diferite pentru obținerea panourilor fonoabsorbante din materiale eco-compozite.

Pentru dimensiunile acestor matrițe s-a ținut cont de caracteristicile/specificațiile tehnice și particularitățile aparatului de măsurat absorbția fonică care a fost achiziționat în cadrul proiectului în etapa 1/2022, precum și rezultatele obținute anterior.

În urma testelor anterioare s-a determinat faptul că perforațiile din panoul fonoabsorbant duc la o îmbunătățire substanțială a coeficientului de absorbție fonică, deci, toate matrițele au fost proiectate cu pini de diverse forme și dimensiuni.

5.2.4. Determinarea coeficienților de absorbție fonică și a impedanței a panourilor obținute.

După obținerea panourilor proiectate în *Activitatea 2.1* și a matrițelor din *Activitatea 2.2* s-a trecut la obținerea panourilor și testarea acestora din punct de vedere al performanțelor acustice.

La obținerea panourilor din materiale celulozice ranforsate cu ceară de albine, după câteva încercări de extragere a modelelor celulozice din matrițele pozitiv cu inel fix nereușite (modelele se deteriorau rupându-se) s-a trecut la obținerea acestora cu inel detașabil și disc perforat de extracție.

Au fost folosite toate cele trei tehnologii disponibile în cadrul laboratoarelor de cercetare din care echipa de lucru fac parte (FFF, SLS și SLA) și materiale rigide (filament PLA, filament Tough PLA, rășină PLA, PA) și/sau filamente flexibile (TPU) precum și obținerea de matrițe din cauciuc siliconic în matrițe negativ printate 3D.

În urma testelor efectuate pe un număr de peste 200 de modele de panouri cu configurații interne diferite, cu un număr de perforații diferit, din materiale ecologice (PLA) și/sau compozite ecologice (PLA + rumeguș pin, bambus, mestecăn etc) direct din modele CAD și utilizând diverși parametri la echipamentul de printare 3D, precum și un număr de peste 45 panouri fono-absorbante din materiale compozite naturale obținute în matrițele de la *Activitatea 2.2* au rezultat o serie de rezultate și determinarea factorilor de influență în cazul panourilor fono-absorbante.

În cazul panourilor printate 3D rezultatele au fost relativ mici în primă fază (coeficientul $\alpha \sim 0,6$) dar după determinarea factorilor de influență și a optimizării acestora s-a ajuns la valori $\alpha = 0,93$.

Pentru primele teste acustice au fost utilizate panouri duble asamblate (8 mm grosime totală), la care a fost variată densitatea de umplere, astfel: 20%, 40%, 60%, 80% și 100%. Aceste variații ale densității de umplere au fost analizate pe trei tipuri de filamente (PLA mestecăn, PLA cocos și PLA) utilizând trei profile (circular, triangular și ondulate) pentru golul interior iar pentru

următoarea analiză acustică au fost folosite doar câte o jumătate din panourile duble printate 3D (grosime 4 mm), testate anterior, pentru a determina dacă importanța grosimii specimenului testat influențează performanțele acustice.

Creșterea coeficientului de absorbție pentru cele trei tipuri de specimene, în comparație cu rezultatele obținute la panourile duble, a fost următoarea: 39% pentru speciamentele single; 40% Triunghiular - PLA – cocos; 20% pentru speciamentele single 100% ondulate PLA – mesteacăn și 33% pentru speciamentele 80% Triunghiular – PLA.

Din punct de vedere a pierderii transmisiei sunetului odată cu scăderea grosimii speciamentelor testate scade valoarea STL, iar valoarea maximă se obține la o frecvență mai ridicată (în cazul acestor specimene la aproximativ 2500 Hz).

În cazul panourilor printate direct din modele CAD cu diverse forme de perforații din materiale ecologice au fost obținute și testate un număr de 54 panouri fono-absorbante din trei tipuri de PLA cu arhitectura golului în zig-zag cu două unghiuri diferite (față de orizontală) și cu 3, 5 respectiv 7 schimbări de direcție rezultând 6 grosimi diferite de panouri ($Z_1 = 4 \text{ mm}$, 6.4 mm și 8.8 mm iar pentru $Z_2 = 4 \text{ mm}$, 5.33 mm și 8 mm.). Fiecare configurație de panou a fost printat cu trei duze diferite și anume cu duză de extrudare de 0.4 mm, 0.6 mm și 0.8 mm.

În urma acestor teste s-a determinat faptul că, grosimea specimenului este foarte importantă în testele acustice și le influențează.

5.2.5. Identificarea, determinarea și cuantificarea efectelor factorilor de influență asupra proprietăților de absorbție fonică ale panourilor obținute

În urma analizei critice a rezultatelor obținute în cadrul 5.2.1 și 5.2.2 am putut afirma următoarele:

- *Panourile obținute din pastă de celuloză peste care a fost turnat amestec de ceară de albine și rășină de brad cu diverși întăritori (pulbere de *Equisetum arvense*, orez măcinat, ace de brad măcinate) prezintă potențial de dezvoltare în acest sens.*

- *Golurile interioare au o influență benefică mică asupra proprietăților fono-absorbante dar în schimb numărul perforațiilor, forma acestora precum și dimensiunile lor au dus la obținerea unor valori acceptabile ale coeficientului α (0,78) și a pierderii transmisiei sunetului STL (50 dB).*
 - *Variația densității de umplere la printare influențează performanțele acustice.*
 - *Prin modificarea parametrului infill density se reduce greutatea panoului, a timpului de printare și astfel se pot obține piese/componente funcționale optimizate cu performanțe ridicate în absorbția sunetului.*
 - *Prin scăderea grosimii panoului printat 3D de la 8 mm. la 4 mm. s-a obținut creșterea coeficientului de absorbție cu valori cuprinse între 20% și 39%.*
 - *Din punct de vedere a pierderii transmisiei sunetului odată cu scăderea grosimii specimenelor testate scade valoarea STL, iar valoarea maximă se obține la o frecvență mai ridicată (în cazul acestor specimene la aproximativ 2500 Hz).*
 - *În cazul panourilor printate direct din modele CAD cu diverse forme de perforații din materiale ecologice rezultatele cele mai bune au fost înregistrate pentru coeficientul $\alpha = 0,93$ pentru panoul cu configurația Z_2 , grosime 5.33 mm, material PLA negru și printat cu duza de 0.6 mm. iar pentru pierderea transmisiei sunetului STL = 56 dB, pentru panoul cu configurația Z_2 , grosime 5.33 mm, material PLA negru și printat cu duza de 0.8 mm.*
 - *Valorile obținute pentru coeficientului α s-au încadrat între 0,13 și 0,93 iar pierderea transmisiei sunetului STL cuprinsă între 16 și 64 dB.*
 - *Rezultatele obținute au fost valorificate prin publicarea a două articole indexate ISI în reviste cotate Q1 și susținerea unui articol la o conferință internațională.*
 - *În continuare se prezintă un scurt rezumat al acestora.*
- a. ***Matrițe din PLA printate 3D pentru composite naturale: proprietati mecanice ale eco-compozitelor pe bază de ceară*** (3D-Printed PLA Molds for Natural Composites: Mechanical Properties of Green Wax-Based Composites) [POP 23a]

Prima parte a acestui studiu a fost dedicat obținerii de matrițe printate 3D folosind PLA care au potențialul de a servi drept bază pentru panouri fonoabsorbante pentru diverse industrii și aviație. Procesul de producție de turnare a fost utilizat pentru a crea compozitele naturale, ecologice. Aceste compozite au cuprins în principal celuloză din hârtie reciclată, ceară de albine și rășină de brad și lianți (întăritori) cum ar fi măcinătură din ace de brad, orez și Equisetum arvense (coada-calului), au fost adăugate în cantități diferite pentru a obține proprietățile dorite.

Proprietățile mecanice ale eco-compozitelor rezultate au fost evaluate la impact, la compresiune precum și la încovoiere în 3 puncte. Morfologia și structura internă a probelor testate au fost analizate utilizând microscopia electronică cu scanare (SEM) și microscopie optică.

Cea mai mare rezistență la impact a fost măsurată pentru compozitele cu ceară de albine, ace de brad, hârtie reciclabilă și rășină de brad din ceară de albine și hârtie reciclabilă, 19,42 și respectiv 19,32 kJ/m², în timp ce cea mai mare rezistență la compresiune a fost de 4 MPa pentru ceară de albine și pe bază de coada-calului. compozit verde. Compozitele pe bază de materiale naturale au prezentat performanțe mecanice cu 60% mai mari în comparație cu produse comerciale similare utilizate în industria auto.

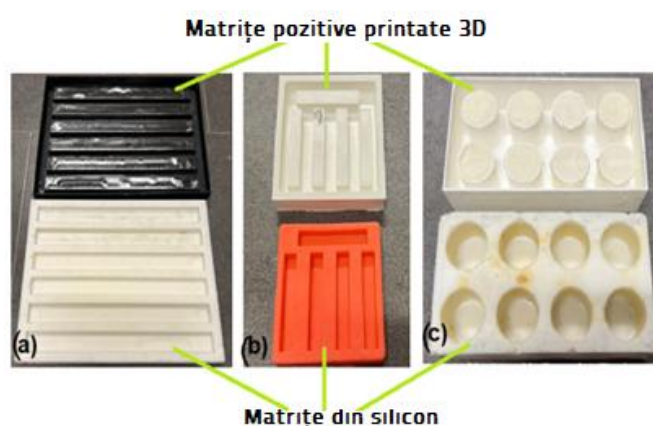


Figura 5.1. Matrițele utilizate pentru obținerea epruvetelor: a) epruvete pentru încovoiere în 3 puncte; b) epruvete pentru reziliență; c) epruvete pentru compresiune [POP 23a]



Figura 5.2. Materialele utilizate [POP 23a]

Toate aceste materiale utilizate pentru prepararea eco-compozitelor au fost uscate, măcinate și date prin sită (au fost utilizate doar pulberile cu diametrul sub 0,5 mm) înainte de amestecare. Etapele pentru obținerea compozitelor:

- (1) Materialele naturale de bază (ceară de albine și/sau rășină de brad) au fost topite la o temperatură de aproximativ 80–100 °C.
- (2) Pulberile de umplutură - ace de brad, orez, coada calului au fost adăugate în proporțiile prespecificate.
- (3) Amestecul de materiale a fost turnat în formele de cauciuc silionic, așa cum se arată în Figura 5.3., peste celuloza obținută din reciclarea hârtiei.

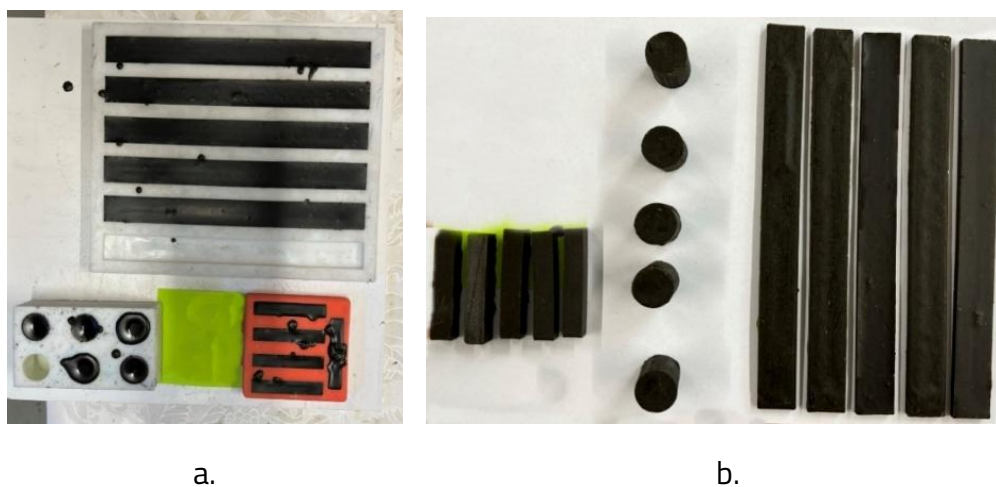


Figura 5.3. Turnarea eco-compozitelor în matrițele de silicon (a.) și epruvetele rezultate (b.)

[POP 23a]

În urma analizelor rezultatelor obținute la încovoiere în trei puncte, reziliență și compresiune au fost trase următoarele concluzii:

- cele mai mari rezistențe la impact (reziliență) au fost înregistrate de compozitele cu rășină de brad și celuloză ($19,42 \text{ kJ/m}^2$), apoi celor cu ceară de albine și ace de brad ($19,32 \text{ kJ/m}^2$);
- cea mai mare rezistență la compresiune a fost de aproape 4 MPa pentru proba cu fibre de orez;
- s-a dovedit superioritatea proprietăților mecanice ale compozitelor propuse (cu peste 60% mai mari) față de produsele comerciale similare din sectorul auto - materialele de bază fonoabsorbante;

După efectuarea testelor mecanice probele au fost analizate microscopic cu ajutorul unui microscop optic tip Leica, model Emspira 3.

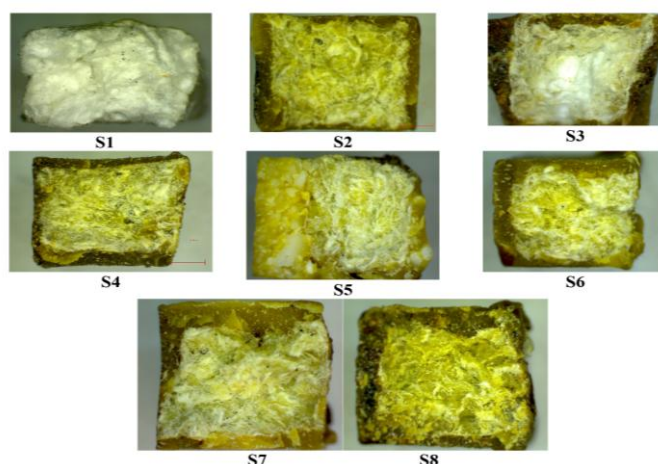


Figura 5.4. Imaginile microscopice ale suprafețelor rezultate după testele mecanice (mărire de 30×) [POP 23a]

După cum se poate observa din Figura 5.4. amestecurile de materiale naturale au reușit să umezească în mod eficient miezul din celuloză. Dispersia amestecurilor naturale în stare lichidă (ceară de albine și rășină de brad) a fost foarte bună în cazul probelor S2, S6, S7 și S8, amestecurile fiind înglobate în miezul de hârtie, adăugând astfel rezistență mecanică eco-

compozitelor rezultate. Aceste constatări confirmă rezultatele testelor mecanice, în special valorile ridicate ale rezistenței la impact.

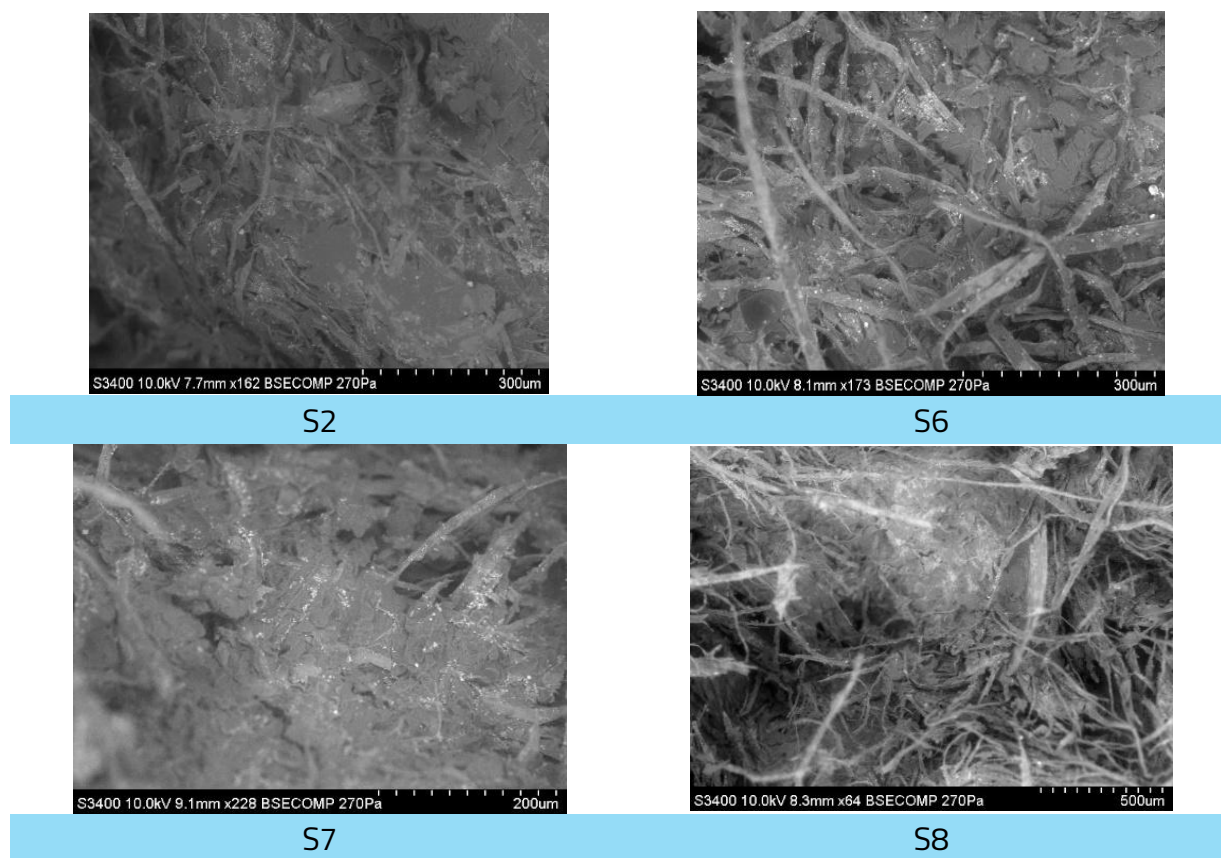


Figura 5.5. Microscopie SEM ale suprafețelor eco-compozitelor [POP 23a]

Microscopia electronică cu scanare a fost efectuată pentru a investiga morfologia suprafeței și structura interfeței probelor compozite testate la impact cu rezistență mecanică bună (S2, S6, S7 și S8), așa cum se arată în Figura 5.5. Imaginile SEM dezvăluie o suprafață cu rugozitate scăzută, indicând o legătură puternică între componentele compozite și reflectând o bună rezistență a interfeței.

Imaginile SEM obținute din probele S2, S6 și S7 demonstrează o morfologie uniformă, indicând o dispersie mare a materialelor naturale topite (ceară de albine, rășină de brad cu/fără ace de brad și fibre de coada calului) în întreaga structură internă a miezurilor din celuloză.

Acest comportament, în special în cazul probei S2, confirmă performanța sa mecanică, deoarece testele mecanice au arătat o rezistență la impact aproximativ dublată în comparație cu referința obținută din celuloză (hârtie reciclată).

Imaginile din Figura 5.5. arată, de asemenea, că, chiar și după fractura compozitului, fibrele miezului de hârtie sunt încă acoperite de amestecul de material natural topit.

Concluzie generală: *Proprietățile fizico-mecanice au fost influențate direct de gradul de umezire al cerii de albine și rășinii de brad și de interacțiunea dintre grupele chimice complementare din umpluturi și matrice (silicați, acizi carboxilici fenolici, rășini și așa mai departe).*

b. Performanțele absorbției sonore și proprietățile mecanice ale panourilor biodegradabile printate 3D. (Sound Absorption Performance and Mechanical Properties of the 3D-Printed Bio-Degradable Panels) [POP 23b]

Procesul de printare 3D permite obținerea unor structuri complexe cu impact redus asupra mediului prin utilizarea materialelor biodegradabile. În cadrul acestui studiu s-a reușit cu succes obținerea și caracterizarea acustică a unor panouri, printate 3D, utilizând trei tipuri de material, fabricate cu cinci densități de umplere și trei configurații interne. Din testele acustice, cele mai ridicate valori ale coeficientului de absorbție ($\alpha=0.93$) au fost obținute la materialul acid polilactic cu amestec de lemn măcinat de mesteacăn la configurația triunghiular având densitatea de umplere de 40%. Profilul triunghiular a prezentat cele mai bune performanțe acustice pentru cele trei tipuri de materiale analizate. Densitatea de umplere de 40% și 60% a oferit cele mai ridicate valori ale coeficientului de absorbție, indiferent de materialul analizat. Testele mecanice, la compresiune și încovoiere în trei puncte, au indicat valori superioare ale rezistenței la speciamele fabricate din filamentul de acid polilactic simplu, în comparație cu speciamele fabricate din amestec de lemn măcinat. Din analiza microscopică a panourilor s-au putut observa defectele standard ale printării 3D și modurile de rupere ale configurațiilor interioare ale speciamelelor printate 3D. Pe baza rezultatelor acustice și a proprietăților

mecanice determinate, un domeniu de utilizare a acestor tipuri de panouri printate 3D ar putea fi industria automotive și aerospațială.

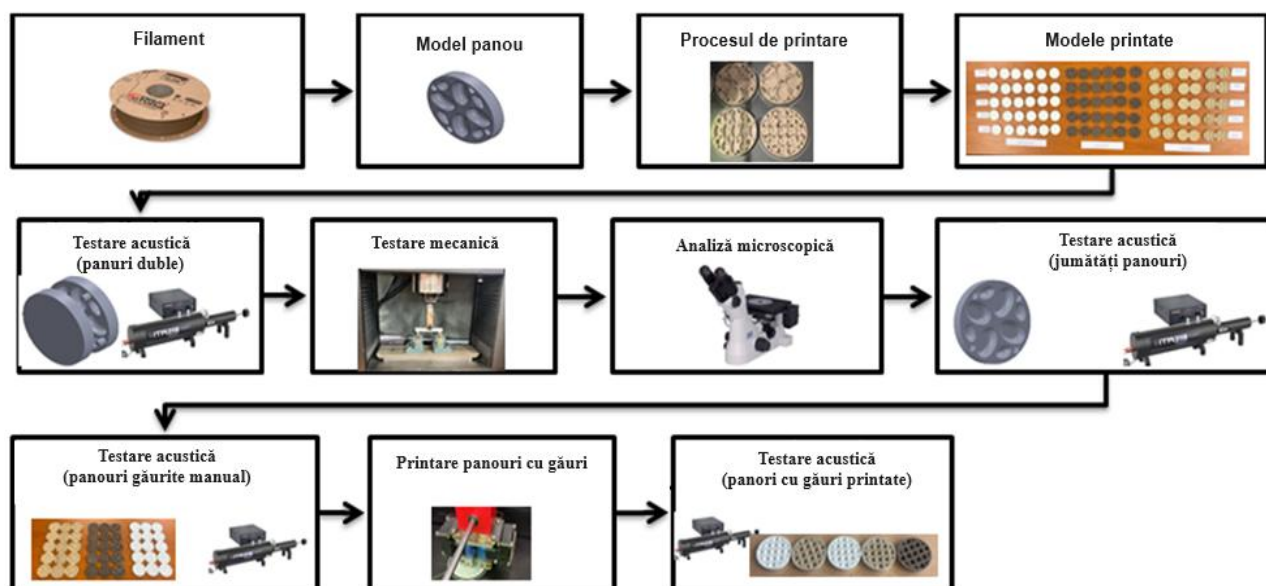
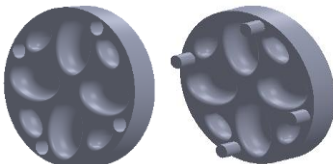
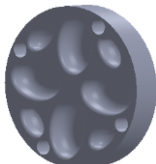
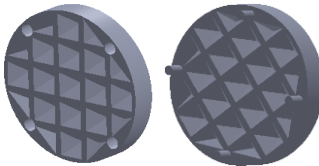
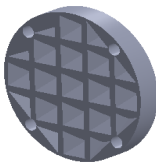
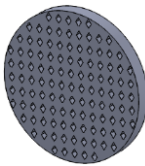
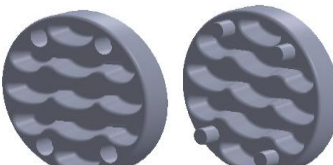
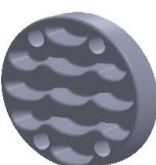


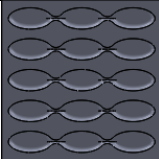
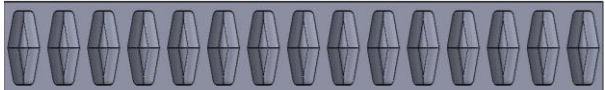
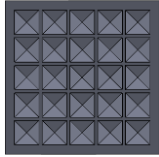
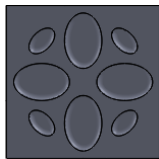
Figura 5.6. Diagrama fluxului urmărit în prezentul studiu [POP 23b]

Proiectarea specimenelor s-a realizat în sistemul software SolidWorks 2016 ținând cont de standardele specifice testelor acustice [ISO10534-2 98, ASTM E1050 10] și testării la compresiune și încovoiere a panourilor sandwich [MIL-STD-401B 67, ASTM C393/C393M 11]. Specimenele printate 3D pentru testarea acustică prezintă următoarele dimensiuni (Tabelul 5.1): partea superioară și inferioară au diametre de 50 mm, grosime de 8 mm și găuri de 4.2 mm necesare pentru asamblare celor două piese. Desigur, aceste dimensiuni sunt în concordanță cu standardul, dar și cu caracteristicile tehnice ale tubului de impedanță. Etapele testelor acustice și modelele tridimensionale ale specimenelor au fost prezentate în Tabelul 5.1, după cum urmează: în primă etapă au fost testate panourile duble asamblate; a doua etapă a constat în testarea panourilor single; etapa a treia a fost dedicată testării panourilor single la care au fost executate găuri prin intermediul unui șablon printat 3D; iar în ultima etapă s-au printat 3D panourile având configurația internă triunghiulară, iar pentru perforații s-a ales un profilul rombic având latura de 1.8 mm.

Tabelul 5.1. Specimenele printate 3D utilizate la testele acustice [POP 23b].

Specimenele utilizate pentru testările acustice				
Panouri duble		Jumătăți de panou	Panouri găurite (după șablon)	Panouri printate 3D cu găuri
Profil Circular				
Profil Triangular				
Profil Onduleu				

Tabelul 5.2. Specimenele printate 3D utilizate la testele mecanice [POP 23b].

Specimene pentru compresiune (A)			Specimene pentru încovoiere în trei puncte (B)	
Profil Circular	Secțiune		Secțiune	
Profil Triangular	Secțiune		Secțiune	
Profil Onduleu	Secțiune		Secțiune	

Dimensiunile specimenelor testate la compresiune plană au fost: laturile de 50 de mm și grosimea a fost de 15 mm (Tabelul 5.2 A) iar speciemele pentru testele la încovoiere în trei puncte au fost fabricate prin procedeul FFF cu următoarele dimensiuni: lungime 150 mm, lățime 20 mm, grosime 15 mm (Tabelul 5.2 B).

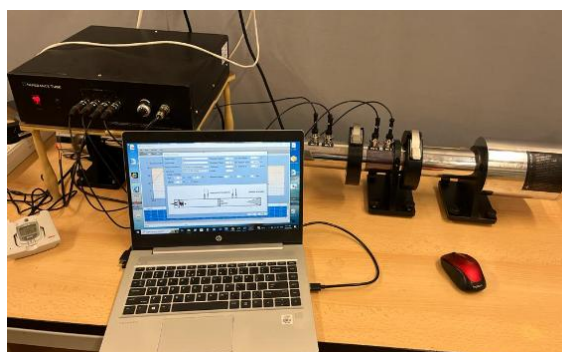
Specimenele pentru testele experimentale (acustice și mecanice) au fost fabricate din trei tipuri de materiale: PLA standard, PLA cu amestec de 40% particule de lemn măcinat de cocos și PLA cu amestec de 40% particule de lemn măcinat de mesteacăn.

Materialul PLA este unul dintre cele mai frecvent utilizate materiale termoplastice polimerice adecvat pentru procedeul FFF. PLA-ul și are următoarele avantaje [ILY 21, BER 23]: este un polimer biodegradabil la costuri scăzute; foarte ușor de fabricat prototipuri prin procedeul FFF; cel mai bun material din punct de vedere a preciziei dimensionale (nu suferă deformare în timpul procedeului FFF și nici după răcire); aderență bună la masa de lucru, dar și între straturile extrudate de material, procedeul de fabricație nu prezintă un miros neplăcut. PLA-ul armat cu 40% particule de lemn măcinat reprezintă un filament foarte ușor de fabricat prin procedeul FFF, deoarece se bazează pe compusul PLA și care prezintă câteva avantaje importante [KRA 22]: material biodegradabil ușor de fabricat; prezintă miros și aspect de lemn; aderență bună a primului strat și în timpul fabricării.

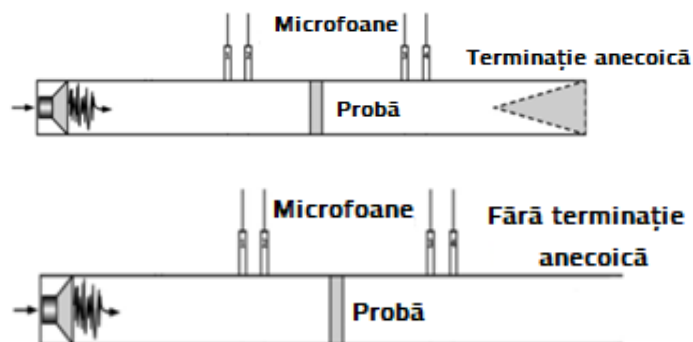
Cele trei tipuri de filament (PLA Cocos, PLA Mesteacăn și PLA simplu), cu proprietăți mecanice diferite, au fost utilizate pentru fabricarea prin procedesul FFF a panourilor perforate biodegradabile. Panourile au fost fabricate prin procedeul FFF cu ajutorul imprimantei CreatBot DX-3D (Henan Suwei Electronic Technology Co., Ltd., Zhengzhou, China). Stabilirea parametrilor de fabricație au fost selectați în funcție de tipul de filament și au fost controlați prin intermediul softwareului de feliere CreatBot.

Comportamentul de absorbție a sunetului a specimenelor fabricate prin procedeul FFF a fost investigat utilizând un tub de impedanță acustică Holmarc HO-ED-A-03 (Holmarc Opto-Mechatronics Ltd. Kochi, India), care include următoarele: tubul de impedanță, două perechi de

microfoane, epruveta, sistemul de achiziție a datelor și softwareul de măsurare. Sistemul de impedanță conține un tub din aluminiu anodizat cu diametrul interior de 50 mm, care poate măsura în intervalul de frecvență: 500 Hz – 3150 Hz.



(a)



(b)

Figura 5.7. Setupul experimental: (a) Echipamentul utilizat pentru testarea acustică a specimenelor fabricate prin procedeul FFF; (b) Metoda de măsurare pentru coeficientul de absoție α și pierderile în transmiterea sunetului – STL [POP 23b].

În cadrul acestui studiu au fost investigați cu precădere cei doi factori mai importanți (coeficientul de absorție α pierderile în transmiterea sunetului - STL) a specimenelor printate 3D prin metoda funcției de transfer în conformitate cu standardele în vigoare.

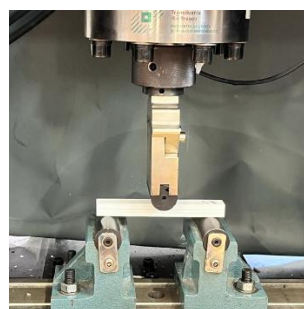
În Figura 5.7a sunt componentele tubului de impedanță utilizat la testele acustice iar în Figura 5.7b au fost prezentate cele două configurații schematice ale sistemului prin intermediul cărora se pot determina performanțele acustice ale specimenelor printate 3D: pentru determinarea coeficientului α unde sistemul conține și componenta terminație anecoică, iar pentru pierderea transmisiei STL această componentă a fost îndepărtată. Pentru fiecare specimen testat au fost introduși parametrii geometrici ai specimenelor (50 mm), distanța între microfoane și probă (30 mm), temperatura și umiditatea înregistrată la fiecare testare curentă.

Testele mecanice au efectuate cu ajutorul Mașinii universale W-150 S (Jinan Testing Equipment IE Corporation, Jinan, China). Testarea la compresiune (Figura 5.8a) s-a realizat la o viteză de încărcare de 5 mm/min conform standardelor în vigoare și evidențiază comportamentul și

răspunsul panourilor printate 3D sub o sarcină de compresiune prin măsurarea caracteristicilor fundamentale (rezistența la compresiune și curbele Încărcare-Deplasare). Specimenele printate 3D au fost testate la încovoiere în trei puncte, în conformitate cu cerințele standardelor specifice, cu scopul de a determina caracteristicile principale (rezistența la încovoiere și curbele Încărcare-Deplasare). Pentru ambele tipuri de teste (compresiune și încovoiere în trei puncte) un număr de 5 specimene au fost testate conform standardelor privind testarea structurilor sandwich.



(a)



(b)

Figura 5.8. Încercări mecanice: (a) Testarea la compresiune plană; (b) Testarea la încovoiere în trei puncte [POP 23b]

Microscopul Nikon Eclipse MA 100 (Nikon Corp., Tokyo, Japan) a fost utilizat pentru a investiga starea structurilor printate 3D după testarea la compresiune cu scopul de a investiga defectele tipice de printare și modurile de defectare specifice.

Efectul densității de umplere asupra performanțelor acustice:

Procedeul de fabricație FFF prezintă un avantaj major și anume că poate realiza piese cu structură ușoară prin utilizarea și modificarea parametrului densitate de umplere. Acest parametru prezintă un rol important în reducerea greutateii și totodată a timpului de printare 3D, astfel se pot obține piese/componente funcționale optimizate.

Pentru primele teste acustice au fost utilizate panourile double asamblate, la care a fost variată densitatea de umplere, astfel: 20%, 40%, 60%, 80% și 100%. Aceste variații ale densității de umplere au fost analizate pe cele trei tipuri de filamente (PLA mestecăn, PLA cocos și PLA

simplu) utilizând cele trei profile (circular, triunghiular și ondulat) și au fost determinați cei doi parametri importanți: α și STL.

În cazul panourilor duble, fabricate prin procedeul FFF, se pot evidenția următoarele: pentru filamentul PLA-mesteacăn cea mai ridicată valoare a coeficientului $\alpha=0.4$, înregistrată pentru specimenul cu densitate de umplere 100% și profil ondulat la frecvența joasă (500 Hz), iar cea mai mare valoare pentru coeficientul STL= 63 dB a fost pentru 60% densitate de umplere și profil ondulat; pentru filamentul PLA-cocos cea mai mare valoare a coeficientului $\alpha=0.33$ a fost pentru specimenul cu densitate de umplere 40% și profil triunghiular la frecvența joasă (500 Hz), iar cea mai mare valoare pentru coeficientul STL=64 dB a fost pentru proba cu densitate de umplere 80% și profil triunghiular; pentru filamentul PLA simplu, cea mai ridicată valoare a coeficientului $\alpha=0.36$ a fost pentru specimenul cu densitate de umplere 80% și profil triunghiular la frecvența joasă (500 Hz), iar cea mai mare valoare pentru coeficientul STL=62 dB a fost pentru proba cu densitate de umplere 20% și profil circular.

Astfel, se poate concluziona că variația densității de umplere influențează performanțele acustice, iar speciemele cu densități de umplere mai scăzute determină un coeficient de absorbție mai ridicat. Scadere densității de umplere îmbunătățește trecerea undelor acustice pentru a intra în panou, iar aerul din interiorul golurilor poate acum să se deplaseze cu ușurință, ceea ce crește frecarea vâscoasă, provocând o pierdere a energiei undelor acustice și astfel, sunetul se absoarbe mai eficient. De asemenea, în urma analizelor acustice nu se poate stabili clar o densitate de umplere care să prezinte performanțe superioare în comparație cu celelalte pentru toate tipurile de filamente analizate.

În schimb, în această etapă, la analiza panourilor duble, se poate concluziona că filamentul PLA-mesteacăn a prezentat cel mai mare coeficient de absorbție a sunetului ($\alpha=0.4$). Totodată, pierderea transiterii sunetului a prezentat cea mai mare valoare (STL=64 dB) la configurație PLA-cocos - triunghiular la o densitate de umplere de 80%. În schimb, la o analiză din punct de vedere al configurațiilor interne se poate deduce că tipul de configurație triunghiular prezintă

cele mai ridicate valori ale coeficientului de absorbție și ale pierderii transducerii sunetului, la două din cele trei configurații.

Performanțe mecanice ale panourilor duble

Din rezultate testelor acustice au fost fixate 2 criterii de bază pentru stabilirea specimenelor supuse testelor mecanice: speciamele cu cel mai mare coeficient de absorbție în funcție de material și speciamele cu cel mai mare coeficient de absorbție în funcție de configurația profilului. Astfel, pentru testarea mecanică la compresiune și încovoiere în trei puncte s-au fabricat și testat 4 configurații de speciame: densitate umplere 60%, profil circular PLA – mestecăn; densitate umplere 100 %, profil onduleu, PLA – mestecăn; densitate umplere 40%, profil triunghiular, PLA – cocos; densitate umplere 80%, profil triunghiular, PLA simplu. Două configurații (80% triunghiular PLA simplu și 100 % onduleu PLA – mestecăn) au înregistrat cele mai bune performanțe acustice la ambele criterii analizate.

Analizând rezultatele numerice furnizate de mașina de încercări, prin raportul de testare, se poate constata că forța maximă de rupere a specimenului 80% triunghiular – PLA simplu a atins în timpul procesului de compresiune valoarea maximă de 90 kN la o deplasare de 2.75 mm. În schimb specimenul 40% triunghiular PLA – cocos a prezentat cea mai redusă forță maximă de compresiune, de aproximativ 23 kN.

Pentru cele 5 speciame testate, din fiecare configurație, au fost calculate valorile medii ale rezistenței la compresiune și ale modulului de elasticitate la compresiune, iar acestea au fost reprezentate grafic (Figura 5.9). Valoarea medie a rezistenței la compresiune a specimenelor 80% triunghiular – PLA simplu a prezentat cea mai ridicată valoare de aproximativ 40 MPa. Din analiza specimenelor testate se poate deduce că piesele printate cu amestec de 40% particule de lemn măcinat de mestecăn și cocos prezintă valori apropiate ale rezistenței la compresiune, dar nu depășesc 13 MPa.

Acest aspect a fost determinat de: performanțele mecanice scăzute ale lemnului măcinat introdus în acest tip de filament; adeziunea mai slabă între matrice (PLA) și lemnul măcinat. Un alt aspect important este acela al alegerii tipului de configurație pentru speciamele printate 3D. S-a observat că profilul triunghiular absoarbe mult mai bine solicitarea de compresiune, în comparație cu celelalte două profile (circular and ondulat) datorită pereților interiori cu rigiditate ridicată.

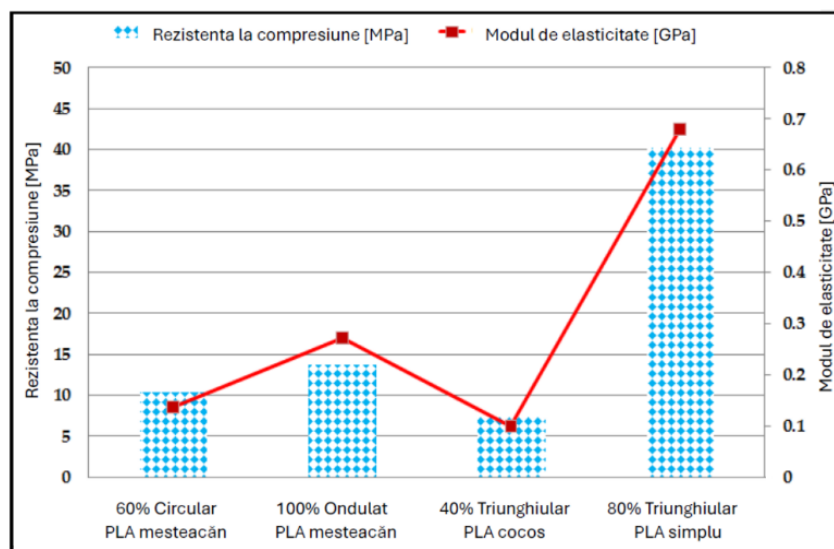


Figura 5.9. Rezistența la compresiune și modulul de elasticitate pentru speciamele printate 3D

[POP 23b]

În urma testelor la încovoiere în trei puncte, ale speciamelelor printate 3D, s-au determinat curbele caracteristice ale celor 4 tipuri de speciame și performanțele la încovoiere (rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate la încovoiere). Și în acest caz, speciamele 80% triunghiular – PLA simplu au prezentat cele mai bune performanțe la încovoiere în trei puncte. Acest fapt se datorează comportamentului specific la încovoiere, și anume: în timpul încărcării, în speciamele printate 3D apar concomitent eforturi de întindere (pe învelișul inferior) și de compresiune (pe învelișul superior), iar miezul în acest caz este solicitat la forfecare. Forfecarea miezului apare destul de târziu deoarece configurația triunghiulară prezintă pereți foarte rezistenți care mențin structura în timpul încărcării. În urma testelor, s-a constatat că forța maximă de rupere a speciamelelor 80% triunghiular – PLA simplu a atins în timpul procesului

de întindere valoarea maximă de 1.58 kN la o deplasare de 6.3 mm. Analizând celelalte tipuri de specimene, pe bază de lemn măcinat se poate observa că rezistența la încovoiere (Figura 5.9) cea mai ridicată o prezintă specimenele 100 % onduleu PLA – mesteacăn, datorită densității de umplere de 100%, după cum s-a confirmat și în alte studii recente [MÜL 22, ZHU 19].

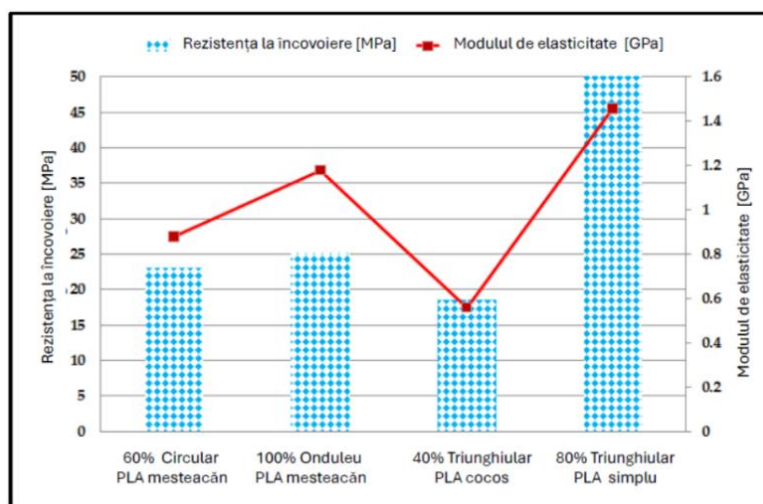


Figura 5.10. Rezistența la încovoiere și modulul de elasticitate pentru specimenele printate 3D [POP 23b]

Analiza microscopică

Pentru analiza microscopică, panourile duble (Figura 5.11) au fost secționare, înglobate în rășină, șlefuite cu hârtie abrazivă iar la final polișate cu Al_2O_3 cu granulație de 1 μm și 0.5 μm .

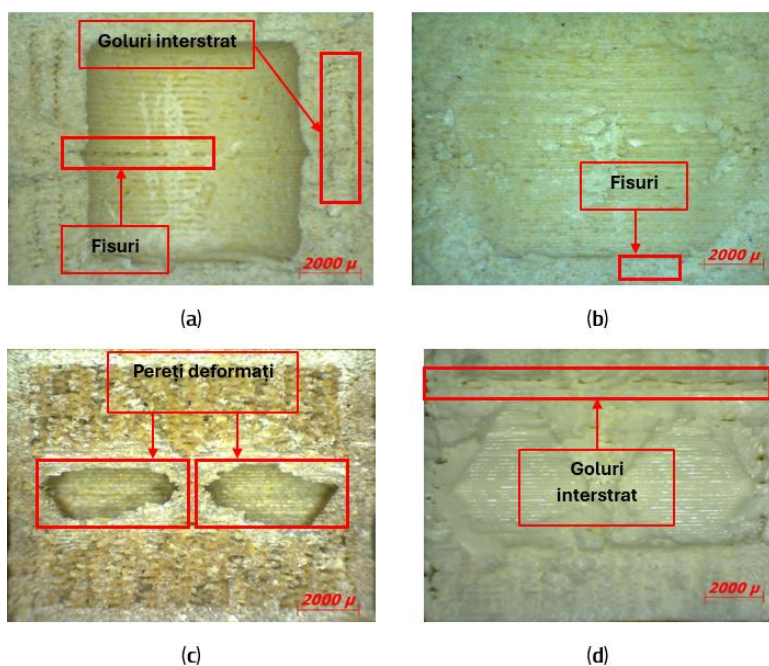


Figura 5.11. Analiza microscopică a specimenelor: (a) 60% Circular PLA –mesteacăn; (b) 100 % Onduleu PLA – mestecacăn; (c) 40% Triunghiular - PLA – cocos; (d) 80% Triunghiular – PLA simplu [POP 23b]

Analiza microscopică a panourilor duble s-a realizat cu scopul exemplificării deformațiilor configurațiilor interne și totodată pentru a verifica modul de depunere a materialului extrudat la diferite densități de umplere. Specimenele analizate microscopic au fost supuse testelor la compresiune plană. În Figura 5.11a specimenul a suferit o deformare în zona mediană a piesei, urmată de o fisură cu propagare pe mijlocul piesei. De asemenea, în partea stângă și în partea dreaptă se observă defecte de tip goluri interstrat.

Din Figura 5.11.b se pot constata următoarele: distribuirea uniformă a particulelor de lemn măcinat de mestecacăn, defecte de tipul fisuri interstrat și un număr redus de defecte la adăugarea straturilor de material extrudat. În urma testelor la compresiune (Figure 5.11c), pereții specimenelor 40% Triunghiular - PLA cocos s-au deformat prin fenomenul de flambaj lateral. Totodată, la o analiza mai atentă a acestor specimene (Figure 5.11c), se pot remarca defecte de tip goluri de capăt de strat, defecte cu diferite configurații (triunghiulare și paralelipipedice) și defecte de porozitate (goluri) între straturile successive depuse, întâlnite și în alte cercetări efectuate și specifice procedurii FFF.

Analizând specimenul 80% Triunghiular PLA simplu (Figura 5.11d) s-au identificat defecte de tipul goluri interstrat și defecte de porozitate care determină performanțe mai ridicate ale specimenelor testate acustic.

Pentru următoarea analiză acustică au fost folosite doar câte o jumătate din panourile duble testate anterior, pentru a determina dacă importanța grosimii specimenului testat influențează performanțele acustice. În ceea ce privește coeficientul de absorbție a sunetului testele acustice au indicat aceleași tipuri de configurații, ca la panourile duble, având cele mai ridicate valori (40% Triunghiular PLA cocos; Onduleu PLA mestecacăn și 80% Triunghiular PLA simplu).

Creșterea coeficientului de absorbție pentru cele trei tipuri de specimene, în comparație cu rezultatele obținute la panourile duble, a fost următoarea: + 39% pentru specimenele single 40% Triunghiular PLA cocos; + 20% pentru specimenele single 100% Onduleu PLA mesteacăn și + 33% pentru specimenele 80% Triunghiular PLA simplu.

Astfel, se poate afirma că grosimea specimenului este foarte importantă în testele acustice, după cum a fost obținut și în ale studii [JIA 17, SEK 21, GÓM 21].

Din punct de vedere a pierderii transiterii sunetului odată cu scăderea grosimii specimenelor testate scade valoarea STL, iar valoarea maximă se obține la o frecvență mai ridicată (în cazul acestor specimene la aproximativ 2500 Hz). Astfel că, valorile pentru panourile single au scăzut cu aproximativ 13%, în comparație cu panourile duble. De asemenea, a fost observant faptul că, configurația onduleu prezintă cele mai ridicate valori ale STL pentru toate cele trei tipuri de materiale.

Analiza acustică a panourilor printate 3D single, perforate cu șablon.

În cadrul acestor teste au fost perforate panourile single pentru a constata influența perforațiilor asupra performanțelor acustice. Pentru efectuarea perforațiilor a fost utilizat un șablon (Tabelul 5.1). Perforațiile au forme rotunde, realizate cu ajutorul unui burghiu, iar diametrul a fost de 1.8 mm. Perforațiile au fost executate sub unghi drept, deoarece acestea prezintă un coeficient de absorbție mai ridicat în comparație cu perforațiile realizate la unghiuri înclinate [LIU 16]. După efectuarea testelor acustice, panourile perforate au prezentat performanțe superioare în comparație cu panourile single neperforate. Din analiza rezultatelor testelor acustice și în comparație cu rezultatele obținute pentru panourile single fără perforații și urmărind cele mai ridicate valori ale coeficientului de absorbție, s-au constatat următoarele: specimenele 40% Triunghiular PLA cocos au prezentat o creștere cu 73% a coeficientului de absorbție; specimenele 40% Triunghiular PLA mesteacăn au prezentat o creștere cu 122% a coeficientului de absorbție iar specimenele 60% Triunghiular PLA simplu au prezentat o creștere cu 82% a coeficientului de absorbție.

De asemenea, configurația triunghiular a obținut cele mai ridicate valori ale coeficientului de absorbție, pentru toate cele trei tipuri de materiale. Din punct de vedere al densității de umplere se poate observa că densitatea de umplere, care indică cel mai ridicat coeficient de absorbție au fost cele de 40% și 60%.

Un alt aspect important al testelor în cazul panourilor perforate, a fost că, odată cu aplicarea perforațiilor, vârful coeficientului de absorbție fonică s-a deplasat la valoarea de 1000 Hz. Din punct de vedere al materialului se poate concluziona că PLA-ul a avut cel mai ridicat coeficient de absorbție 0.86, în schimb pentru materialul Birch s-a obținut valoarea maximă a coeficientului de absorbție de 0.78.

Astfel, se poate deduce că perforarea specimenelor a adus o creștere semnificativă asupra coeficientului de absorbție a sunetului.

În ceea ce privește pierderea transducerii sunetului s-a observat că valoarea maximă o regăsim la 3150 Hz, deci disiparea energiei undelor sonore este direct proporțională cu frecvența cu un maxim de aproximativ 29 dB.

Astfel, se constată o scădere în comparație cu panourile single neperforate de până la jumătate, iar valoarea maximă a fost înregistrată pentru specimenul 60% Triunghiular PLA cocos.

Concluziile studiului [POP 23b]:

Analiza acustică și determinarea zgomotului reprezintă câteva aspecte importante, și intens cercetare, pentru sănătate și mediu, care afectează starea psihologică și biologică a oamenilor.

În acest studiu a fost evaluată performanța de absorbție a sunetului a specimenelor din trei tipuri de materiale (PLA cu amestec de 40% particule de lemn măcinat de cocos, PLA cu amestec de 40% particule de lemn măcinat de mesteacăn and PLA simplu), cu trei configurații interne (circular, triunghiular și ondulat) și la 5 densități de umplere (20%, 40%, 60%, 80% și 100%), fabricate prin procedeul FFF.

În urma testelor acustice s-a demonstrat că, grosimea specimenului testat afectează coeficientul de absorbție, iar rezultatele cele mai bune au fost la specimene de grosime 8 mm. Prin efectuarea perforațiilor rotunde, realizate manual cu burghiul, performanțele acustice a specimenelor au crescut considerabil, cu valori cuprinse între 72% și 122%.

La speciamele printate 3D, cu perforații rombice s-a mai obținut o creștere, în comparație cu speciamele cu perforații rotunde, de 16% a coeficientului de absorbție la materialul PLA cu amestec de 40% particule de lemn măcinat de mesteacăn ($\alpha=0.93$).

Un alt aspect important obținut în cadrul acestui studiu a fost acela că modelul de configurație triunghiular a obținut cele mai ridicate performanțe la toate cele trei tipuri de material.

Densitatea de umplerea a jucat și ea un rol important, la testele acustice ale specimenelor fabricate prin procedeul FFF, deoarece au fost obținute cele mai ridicate performanțe acustice la procente de 40% și 60%.

Pentru o caracterizare completă a specimenelor au fost efectuate și testele mecanice, iar materialul PLA este net superior celorlalte 2 tipuri de materiale (PLA cu amestec de 40% particule de lemn măcinat de cocos, PLA cu amestec de 40% particule de lemn măcinat de mesteacăn), atât la testele la compresiune, cât și la încovoiere în trei puncte.

Analiza microscopică a specimenelor testate la compresiune au indicat defecte normale (goluri, pori, goluri interstraturi) ale procedeul FFF, iar flambajul lateral este modul principal de defectare a pereților interni ai specimenelor.

c. Influența modului de umplere asupra proprietăților de absorbție a sunetului și asupra unor proprietăți mecanice ale pieselor imprimate 3D (Effect of the infill pattern on sound absorption properties and some mechanical properties of 3D printed parts) [POP 23c]

Imprimarea 3D cu materialele ecologice au o aplicabilitate deosebit de largă în multe domenii, printre acestea se numără și obținerea de panouri fonoabsorbante personalizate. Arhitectura golurilor, valoarea de umplere sau forma geometrică de umplere, au o influență majoră asupra proprietăților de absorbție a sunetului (coeficientul α). În acest studiu, sunt caracterizate patru

tipuri de arhitecturi de goluri și trei forme de tip de umplere folosind acid polilactic ca material și tehnologia de fabricație prin filament fuzionat cu o valoare de umplere de 60%. Cele mai bune rezultate preliminare au fost obținute pentru umplerea cubică cu $\alpha = 66\%$ la 1000 Hz. Scopul principal este de a crește valoarea coeficientului α cu cel puțin 15% și de a găsi cea mai bună combinație precum și de a determina rezistența la încovoiere și compresiune.

A fost folosită tehnologia Filament Fused Fabrication, utilizând imprimanta 3D CreatBot DX Plus de la Henan CreatBot Technology Limited (provincia Henan, China).

Un total de 5 seturi, fiecare constând din 5 probe, au fost produse folosind diferite valori de umplere: 20%, 40%, 60%, 80% și 100%.

Probele au fost printate cu filament de acid poli(lactic), având un diametru de 2,85 mm (furnizat de FormFutura VOF, Nijmegen, Olanda), formă circulară în secțiune transversală (50 mm diametru) și forma geometrică la bază a umpluturii a fost cub; tri hexagonal și triunghiular.

Parametrii procesului de imprimare utilizați și care au rămas constanți pentru toate mostrele printate 3D au fost:

- Înălțimea stratului de depunere: 0,2 (mm).
- Lățimea de extrudare: 0,8 (mm).
- Număr perimetre: 2.
- Densitatea de umplere: 20, 40, 60, 80 și 100 (%).
- Viteza de imprimare: 40 (mm/s).
- Temperatura de imprimare: 240 (°C).
- Temperatura patului: 50 (°C).
- Tip suport: fără.
- Număr straturi superioare: 4.
- Număr straturi inferioare: 4.

Pentru a evalua proprietățile lor de absorbție a sunetului, probele au fost testate folosind dispozitivul cu tub de impedanță HO-ED-A-03 fabricat de Holmarc, India (Figura 5.12).

Testarea a fost efectuată în intervalul de frecvență de la 500 Hz la 3150 Hz, cu scopul de a determina coeficientul alfa (α) de absorbție a sunetului.



Figura 5.12. Tub de impedanță HO-ED-A-03 [POP 23c]

În primă fază geometria de umplere a probelor a fost un paralelipiped cu bază pătrată (cubic) iar rezultatele preliminare obținute sunt prezentate în Tabelul 5.3.

Tabelul 5.3. Rezultatele preliminare obținute [POP 23c].

	Valoare densitate de umplere				
	[%]				
	20	40	60	80	100
α [%]	57	52	66	44	41

Valoarea maximă a coeficientului $\alpha = 0.66$, a fost înregistrată la frecvența de 1000 Hz la o valoare a densității de umplere de 60%, iar cea mai mică valoare a fost înregistrată la 100% a densității de umplere.

S-a decis alegerea valorii densității de umplere de 60% (care a avut cele mai bune rezultate preliminare) și obținerea de noi specimene cu trei forme geometrice ale umpluturii, geometrii prezentate în Figura 5.13 a, b și c și patru noi tipuri de goluri pe înălțimea probei (prezentate în

Figura 5.14 a, b, c și d), dispuse circular. din centru pe Φ 6, 10, 15 și 20 mm raza de centru, obținându-se 1, 6, 12, 18 și 24 de găuri (în total 61 pe fiecare probă) conform Figurii 5.14, folosind software-ul SolidWorks 2016.

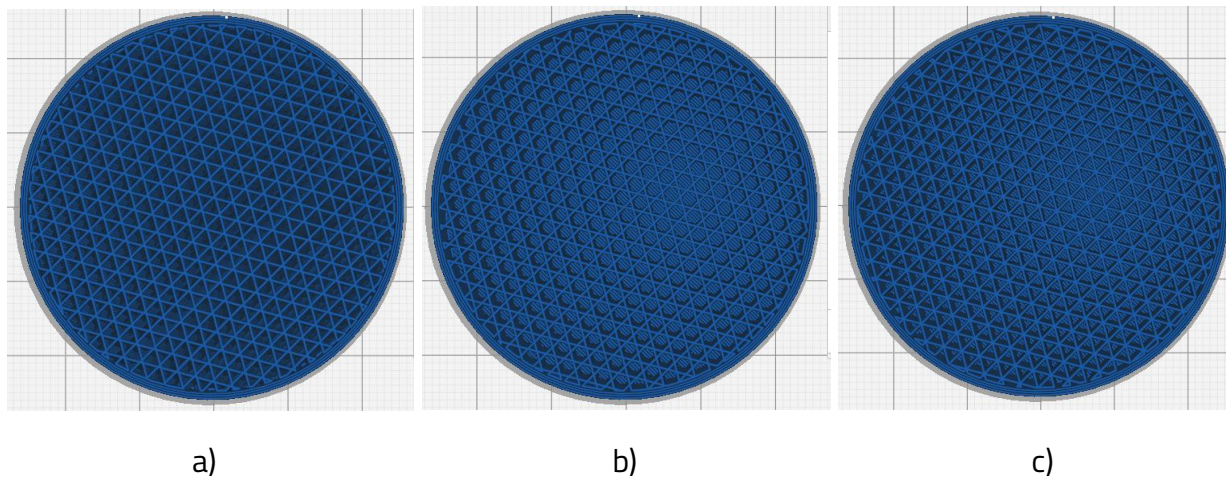


Figura 5.13. Geometria densității de umplere: a) cubic; b) tri-hexagonal; c) triunghiular [POP 23c]

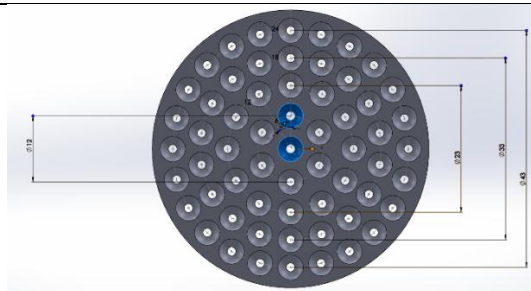
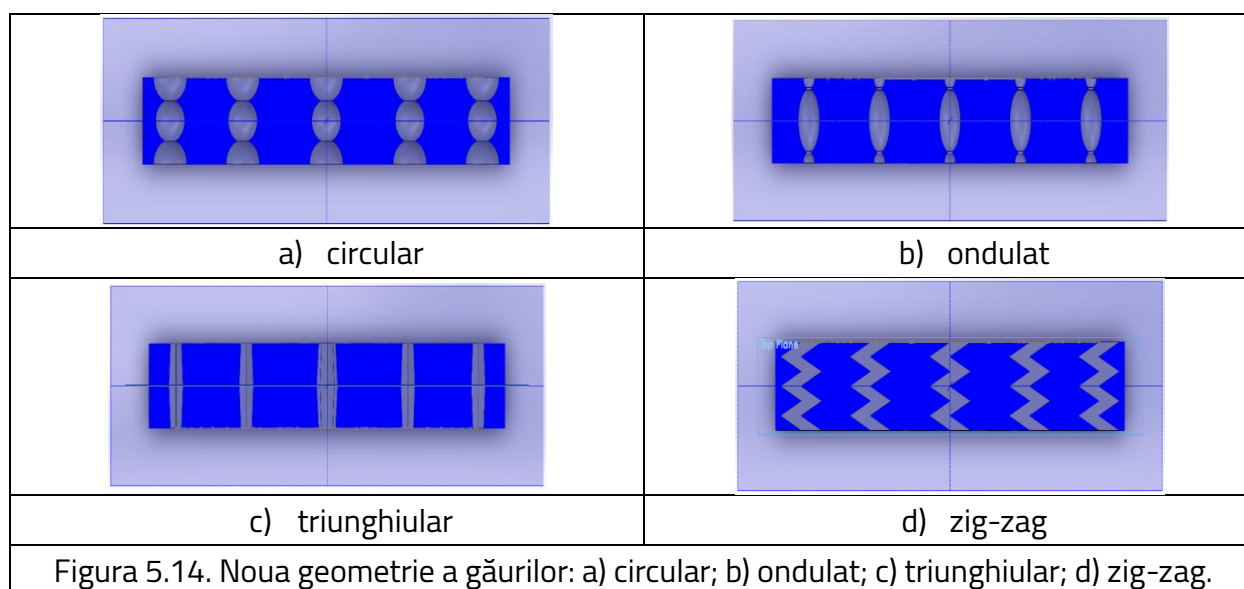


Figura 5.15. Dispunerea găurilor profilate la suprafața probei [POP 23c]

Variantele nou proiectate au fost transpuse fizic în mostre prin imprimarea lor 3D și testate folosind tubul de impedanță, iar rezultatele sunt prezentate în Figura 5.16.

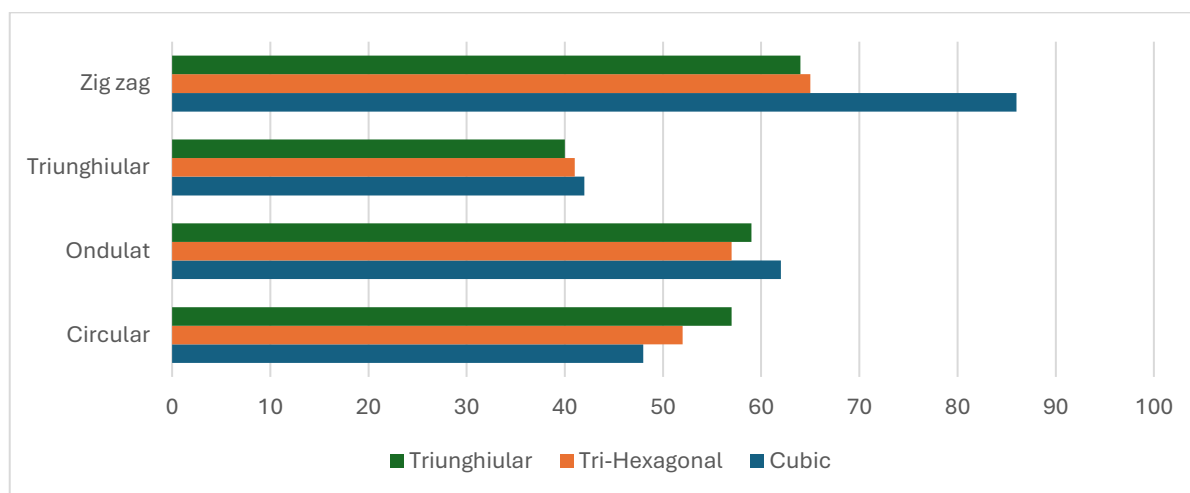


Figura 5.16. Valorile coeficientului α pentru noile configurații propuse [POP 23c]

Din toate combinațiile obținute, testate și analizate, forma golurilor s-a dovedit a avea o influență majoră asupra proprietăților panourilor, astfel, cele mai mari valori au fost determinate pentru golurile zig zag unde $\alpha = 0.86$ la 500 Hz și 1600 Hz, iar la 1000 Hz $\alpha = 0.73$ (Figura 5.17).

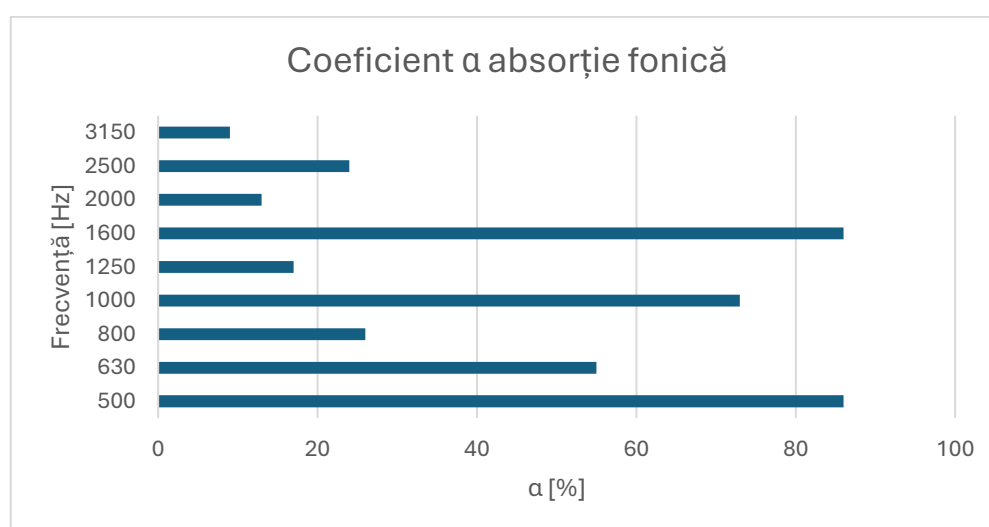


Figura 5.17. Reprezentarea grafică funcție de frecvență pentru proba cu gol zig-zag [POP 23c]

În ceea ce privește forma geometrică în zig-zag a umpluturii, undele sonore lovesc pereții și se pierd în masa materialului, în timp ce pentru celelalte tipuri de goluri care au axa de rotație goală, undele sonore trec pe toată înălțimea panoului.

Pentru a determina rezistența la încovoiere și compresiune pentru aceste panouri printate 3D, s-a ales configurația cu coeficientul α maxim (0.86) și anume: valoare densității de umplere 60%, formă de umplere cubică și formă găurilor profilate în zig zag.

Mașina universală de testare WDW-150S, un echipament fabricat în Jinan, China, a fost utilizat pentru procedurile de testare. În Figura 5.18a sunt prezentate probele pentru încovoiere în trei puncte iar în Figura 5.18b probele pentru compresiune, realizate conform standardului SR EN ISO 527-3: 2000 / AC: 2003, și rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 5.4.



a)



b)

Figura 5.18. Probele printate 3D pentru: a) încovoiere în 3 puncte și b) compresiune [POP 23c]

Tabelul 5.4. Proprietățile mecanice ale panoului în zig-zag la încovoiere în 3 puncte și compresiune [POP 23c].

Probă Rezistența	1	2	3	4	5
Compresiune					
R_{bc} [MPa]	149	141	141	143	139
Încovoierea în 3 puncte					
R_{bb} [MPa]	85	82	83	84	85
f [mm]	4.0	3.8	4.0	4.1	3.9

Unde:

- R_{bc} = rezistența la compresiune [MPa].
- R_{bb} = rezistența la încovoiere [MPa].
- f = săgeata (la încovoierea maximă înainte de rupere) [mm].

Rezultatele obținute la încercările mecanice au fost uniforme și au fost comparate cu teste similare din literatura de specialitate și s-a constatat că rezultatele obținute în cadrul studiului sunt apropiate și chiar mai mari.

Suprafața probelor fracturate au fost analizate cu ajutorul unui microscop optic tip Leica, model Emspira 3 (Olanda) și imaginile obținute sunt prezentate în Figura 5.19 (la suprafața probei, pe înălțime și în secțiune).

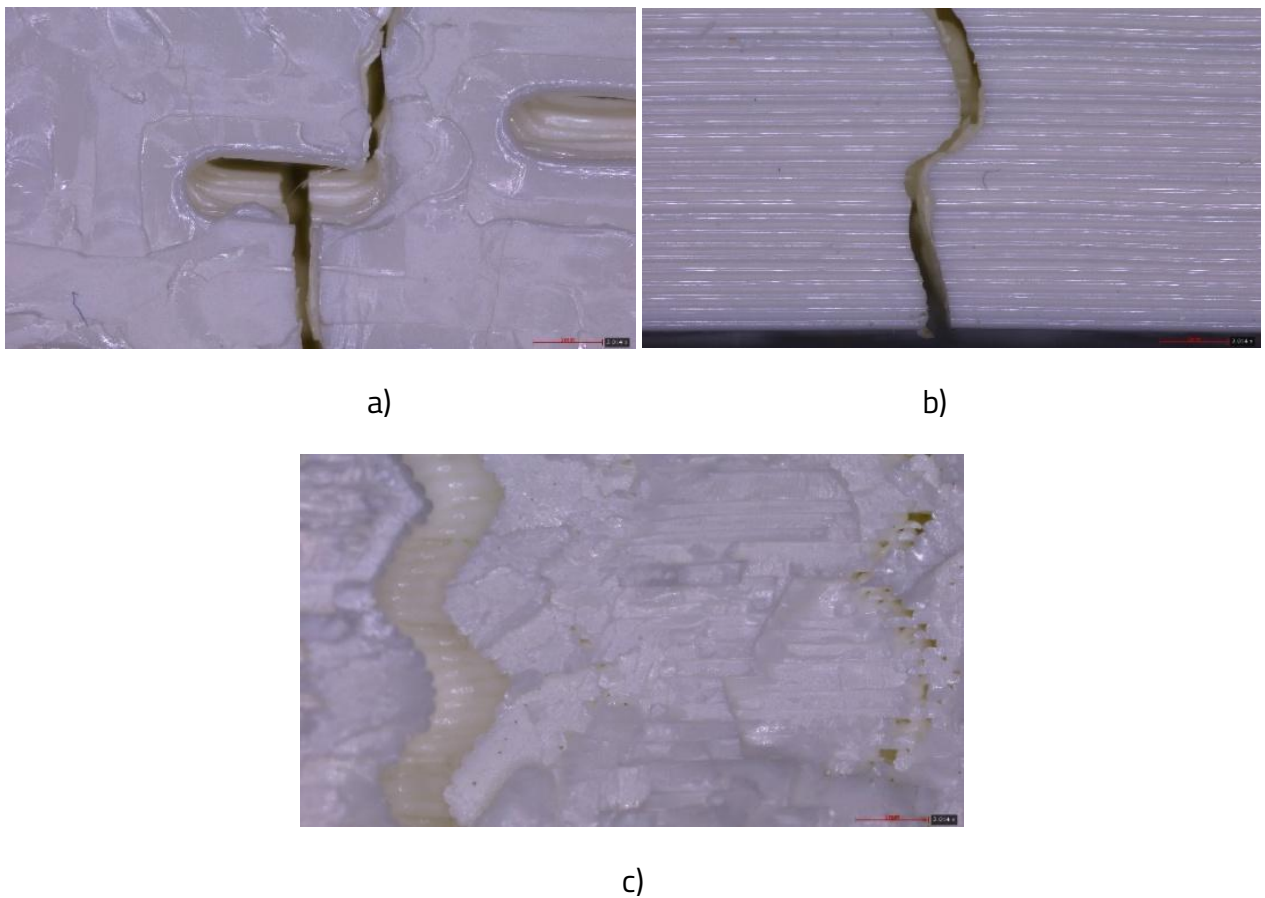


Figura 5.19. Micrografiile probelor: a) la suprafață; b) pe înălțime și c) în secțiune [POP 23c]

Din analiza microgرافیilor prezentate în Figura 5.19 se pot observa următoarele:

- procesul de imprimare a decurs în bune condiții, fapt dovedit de uniformitatea straturilor pe înălțime,
- nu prezintă fisuri sau microfisuri decât în zonele testate,
- nu s-au observat delaminări sau straturi incomplete,
- sunt prezente prezinte doar defectele specifice PLA imprimat și anume defecte triunghiulare, defecte combinate (paralelepipedice) sau defecte de capăt (unde capul de extrudare își schimbă direcția).

Concluziile studiului [POP 23c]:

- scopul principal, și anume acela de a crește coeficientul de absorbție a sunetului de la 66% cu 15%, a fost atins cu ajutorul configurației: 60% densitate de umplere cu forma de umplere cubică și 61 de goluri în zig-zag dispuse în cercuri concentrice, rezultând astfel o valoare a coeficientului de absorbție fonică $\alpha = 0.86$ la 500 Hz și 1600 Hz iar la 1000 Hz, $\alpha = 73\%$;
- s-a stabilit că valoarea de 60% a densității de umplere are cele mai bune proprietăți de absorbție a sunetului în comparație cu valorile de 20%, 40%, 80% și 100%;
- s-a stabilit că pe lângă forma geometrică a golurilor, unghiul de incidență a sunetului asupra perforațiilor (golurilor) are o influență majoră asupra comportamentului izolator al materialului;
- întrucât perforațiile în zig-zag asigură un decalaj pe axa centrală a rezultat în obținerea unor proprietăți de absorbție fonică foarte bune;
- combinația arhitecturală propusă prezintă proprietăți fizico-mecanice apropiate și chiar mai mari decât cele raportate în literatura de specialitate;
- chiar dacă celelalte combinații testate s-au dovedit a nu fi la fel de eficiente, pot fi efectuate cercetări suplimentare pentru a optimiza rezultatele și poate obține rezultate mai bune;

- primul pas în cercetările viitoare este studierea modului în care este necesar să se modifice unghiul golurilor triunghiulare și circulare de la 90° (perpendicular pe suprafață), astfel încât undele sonore să fie „forțate” să lovească pereții și să fie absorbite de material.

5.3 Studiul fezabilității și dezvoltarea structurilor de panouri optimizate

5.3.1. Studiu de fezabilitate și determinarea soluției optime pentru panourile fonoabsorbante studiate

Zgomotul este definit ca un complex de sunete care afectează starea psihologică și biologică a oamenilor și a altor organisme din natură. Acesta este unul dintre principalele tipuri de poluare iar expunerea constantă poate cauza diferite tipuri de probleme de sănătate, cum ar fi pierderea auzului, boli cardiovasculare, tulburări de somn, disconfort etc. În acest sens s-au dezvoltat materialele fonoabsorbante realizate din materiale ecologice sau materiale sintetice. În cazul acestor materiale cel mai important factor care influențează performanța acustică este porozitatea.

Cea mai comună aplicație în cazul materialelor poroase este absorbția sunetului, de exemplu în acustica camerei sau căptușelile poroase în cazul motorului de aeronave. Materialele poroase prezintă proprietăți acustice favorabile, în special coeficientul de absorbție ridicat.

a. Investigarea proprietăților acustice ale panourilor fonoabsorbante din acid polilactic fabricate prin tehnologia de imprimare 3D: Influența diametrelor duzelor și a configurațiilor interne (Investigation into the Acoustic Properties of Polylactic Acid Sound-Absorbing Panels Manufactured by 3D Printing Technology: The Influence of Nozzle Diameters and Internal Configurations) [POP 24a]

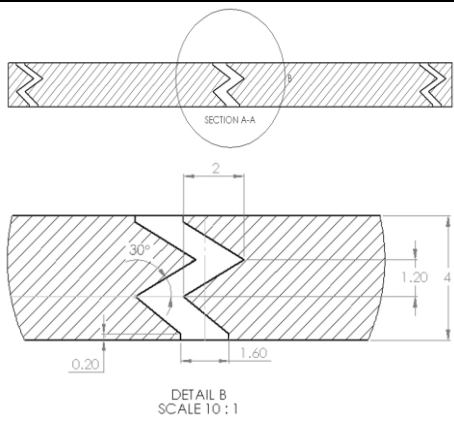
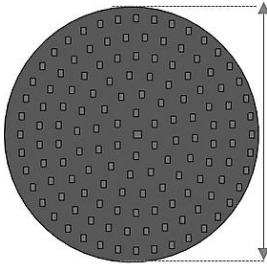
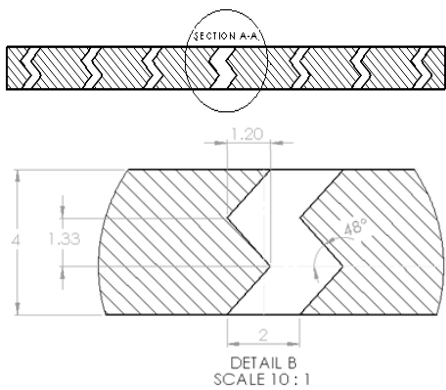
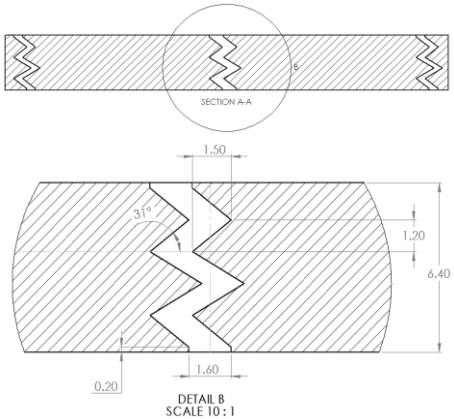
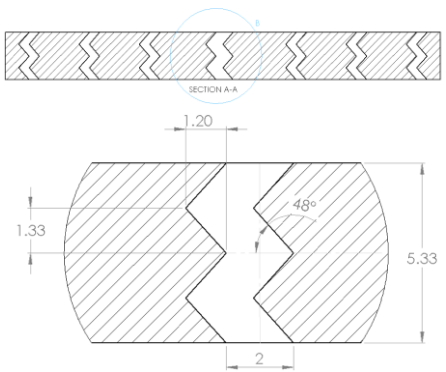
În continuare au fost propuse panouri fonoabsorbante cu proprietăți cât mai ridicate, să optimizăm forma (configurația internă) precum și tehnologia de obținere, prin printare 3D (din filament de PLA) și/sau din materiale compozite cu miez din celuloză reciclată.

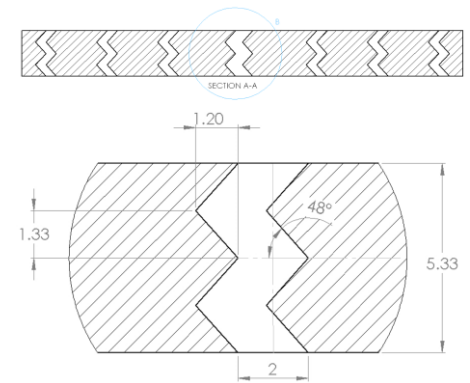
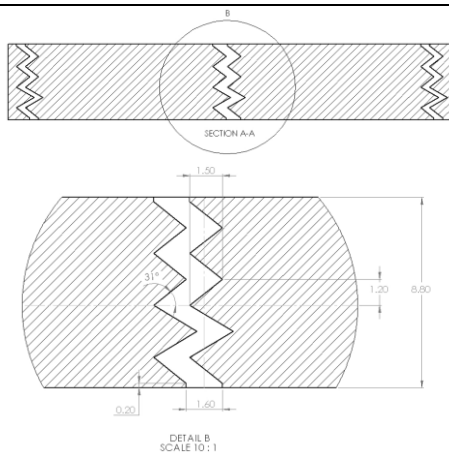
Proprietățile acustice (principale) analizate sunt coeficientului de absorbție a sunetului (α), pierderea de transmisie a sunetului (STL) și coeficientul de reflexie a sunetului (β).

În cazul obținerii panourilor fonoabsorbante printate 3D designul epruvetelor a fost realizat cu ajutorul software-ului SolidWorks 2016 conform standardelor specifice testării acustice și s-au printat apoi testat acustic mai mult de 15 modele de epruvete (cu configurații interne diferite, grosimi de panou diferite, printarea cu duze de diferite diametre, materiale cu densități diferite sau viteze de imprimare diferite) rezultând un număr de peste 300 eșantioane.

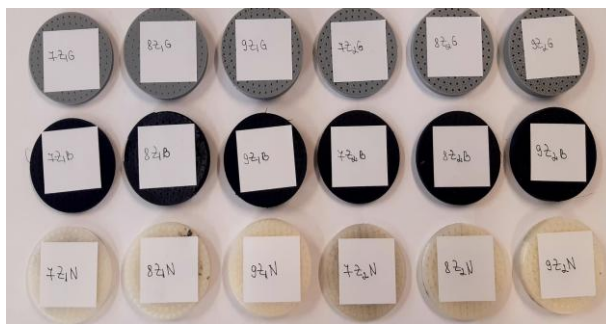
Din probele anterioare au fost selectate (rezultatele cele mai bune) două modele (configurații interne) și anume Z_1 și Z_2 . Pentru fiecare model s-au realizat probe cu 3 grosimi diferite și anume de 4; 6.4 respectiv 8.8 mm pentru Z_1 și pentru modelul Z_2 cu grosimea de 4; 5.33 respectiv 8 mm. Configurația și dimensiunile modelelor Z_1 și Z_2 sunt prezentate în Tabelul 5.5.

Tabelul 5.5. Caracteristicile dimensionale ale mostrelor printate 3D [POP 24a].

Secțiune (Z_1)	Vedere de sus	Secțiune (Z_2)
		
		



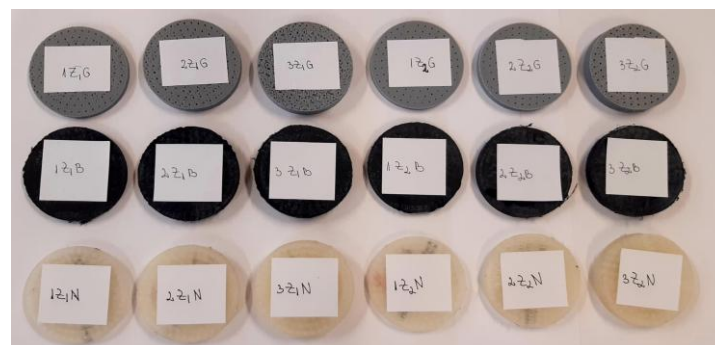
Fiecare set de probe a fost printat cu duza de 0.4, 0.6 si 0.8 mm. și din 3 materiale fiecare (acid polylactic (PLA) si anume: natural, gri si negru) și viteza de 40 mm/s. În total au fost obținute și reanalizate un număr de 54 eşantioane prezentate în Figura 5.20.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.20. Panouri printate 3D, a) Cu duză de 0.4 mm; b) cu duză de 0,6 mm; c) cu duză de 0,8 mm [POP 24a]

Modul de numerotare/identificare este prezentat în Figura 5.21.

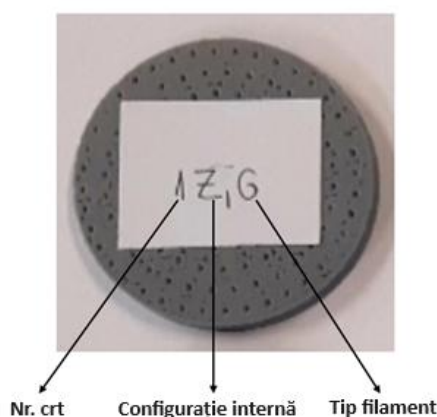
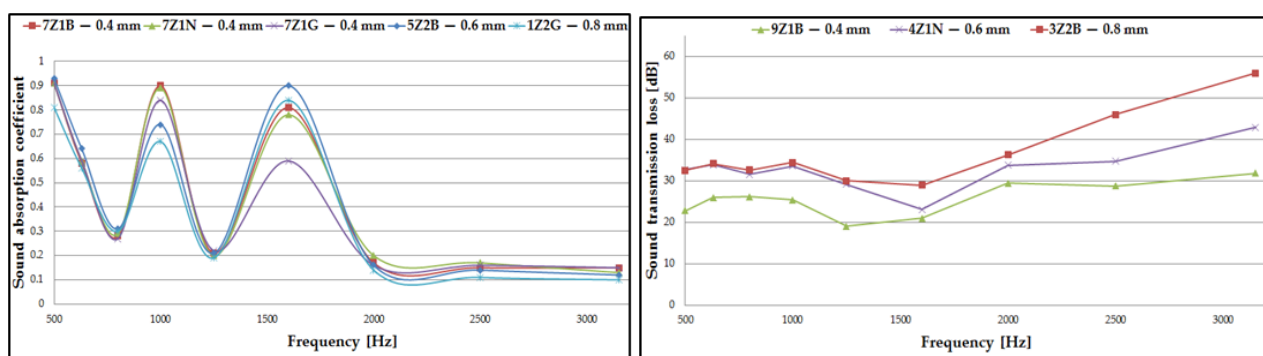


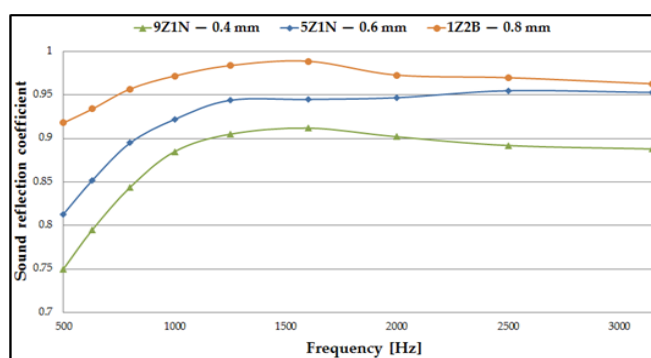
Figura 5.21. Numerotarea eșantioanelor [POP 24a]

În figura 5.22 sunt prezentate cele mai bune rezultate obținute ale coeficientului de absorbție, în funcție de frecvență, de pierdere a transmiterii sunetului și de reflexie a sunetului.



a) Coeficientul de absorbție fonică

b. Coeficientul de pierdere a transmiterii sunetului



b) Coeficientul de reflexie a sunetului

Figura 5.22. Coeficienții determinați [POP 24a]

Concluziile studiului [POP 24a]:

- Pentru diametrul duzei de 0.4 mm s-au obținut cele mai mari valori ale coeficientului de absorbție ($\alpha = 0.76-0.91$);
- Pentru diametrul duzei de 0.6 mm, cea mai mare valoare a coeficientului de absorbție ($\alpha = 0.93$) a fost obținută pentru proba 5Z₂B (grosime 5.33 mm, filament Black PLA Pro și configurație internă Z₂);
- Pentru diametrul duzei de 0.8 mm s-au înregistrat cele mai mici valori ale coeficientului de absorbție;
- Valoarea medie pentru coeficientul α cu diametrul duzei de 0.4 mm a fost cu 17% mai mare decât valoarea lui α pentru diametrul duzei de 0.6 mm și cu 58% mai mare față de α pentru diametrul duzei de 0.8 mm;
- Pe baza analizei probelor printate cu cele trei duze de diametre diferite, s-a obținut cea mai mare valoare a pierderii de transmisie a sunetului (STL = 56 dB) pentru diametrul duzei de 0.8 mm;
- Coeficientul de reflexie a prezentat cea mai mare valoare ($\beta = 0.989$) pentru proba 1Z₂B, care a fost printată cu dimensiunea duzei de 0.8 mm și care a avut valoarea maximă care corespundea celui mai mic coeficient de absorbție ($\alpha = 0.02$ la o frecvență de 1600 Hz).

Materialul extrudat utilizat în mostrele printate 3D are, de asemenea, o influență importantă asupra performanței acustice și astfel, pentru coeficientul de absorbție s-au tras următoarele concluzii:

- Pentru o dimensiune a duzei de 0.8 mm, filamentul Grey Tough PLA a avut cele mai mari valori;
- Pentru o dimensiune a duzei de 0.6 mm, filamentele Grey Tough PLA și Black PLA Pro au avut valori apropiate, iar filamentul Natural PLA au avut valori mai mici;
- Pentru o dimensiune a duzei de 0.4 mm, valorile maxime ale α au fost cele mai apropiate obținute pentru cele trei tipuri de materiale.

- Pierderea de transmisie a înregistrat valori obișnuite pentru materialele PLA, arătând un maxim de 56 dB pentru o dimensiune a duzei de 0.8 mm pentru materialul Black PLA Pro.
- Coeficientul de reflexie a avut cele mai mari valori pentru dimensiunea duzei de 0.8 mm și folosind materialul Black PLA Pro.

Un alt factor important care a fost investigat în acest studiu a fost configurația internă a mostrelor printate 3D cu canale în zig-zag. Astfel, cele două configurații (Z_1 și Z_2) au avut valori foarte apropiate ale α pentru cele trei materiale și pentru o dimensiune a duzei de 0.4 mm.

Este de remarcat faptul că valoarea maximă a coeficientului de absorbție ($\alpha = 0.91$) a fost obținută pentru configurația Z_1 , un unghi de înclinare (față de orizontală) de 31° și o grosime a probei de 4 mm. pentru cele trei materiale analizate.

Pierderea de transmisie a sunetului a avut valori opuse coeficientului de absorbție a sunetului, astfel că probele printate cu diametrul duzei de 0.6 mm și 0.8 mm, pentru configurația Z_1 , au avut cele mai mari valori.

Optimizarea panourilor printate a constat nu numai în determinarea parametrilor de printare (viteză, diametru duză, grosime de strat), grosime panou, arhitectură internă ci și din punct de vedere al utilizării unui material cu o anumită densitate.

În concluzie, **panourile fonoabsorbante propuse** în acest studiu **pot fi folosite** cu succes în **diverse aplicații industriale** (în industria auto pot fi folosite la capotă, spațiile de lângă blocul motor, interiorul panoului de portieră a unui autoturism etc; pot fi utilizate și în panouri interioare pentru avioane, case și clădiri) datorită performanțelor acustice ridicate, metodei de fabricație accesibilă, structurii interne ușoare și duratei de viață lungi a materialului de acid polilactic imprimat 3D.

În cazul obținerii **panourilor fonoabsorbante din materiale eco-compozite** utilizând tehnologii de printare 3D a matrițelor necesare, designul acestora a fost realizat cu ajutorul software-ului SolidWorks 2016 **mai mult de 10 modele de matrițe** (configurații diferite a pinilor,

dimensiunea pinilor, forma lor, numărul și dispunerea lor în planul x-y) rezultând un număr de peste 100 eșantioane.

b. Proprietățile izolării termice și fonice ale amestecurilor de biocompozite organice (Thermal and Sound Insulation Properties of Organic Biocomposite Mixtures) [POP 24b]

În acest studiu, au fost analizate amestecuri de biocompozite compuse din pastă de hârtie celulozică armată cu ceară de albine, rășină de brad și materiale vegetale măcinate (coada-calului - *Equisetum arvense*, făină de orez, ace de brad) din punct de vedere al stabilității termice și al izolației fonice. Motivul din spatele studiului a fost că materialele naturale, având o compoziție mai variată, pot prezenta o stabilitate termică mai bună decât materialele sintetice tradiționale utilizate ca izolatori fonici în industrie și mediul construit. Au fost luate în considerare opt amestecuri compozite cu diferite rapoarte de masă între componente. Rezultatele analizei termice au indicat că aceste compozite sunt mai rezistente la oxidare decât celuloza de hârtie singură și au o temperatură de oxidare mai mare (280-290 °C) chiar și decât materialele de izolație tradiționale, cum ar fi spuma poliuretanică sau compozitele reciclate pe bază de plăci textile. Pentru izolarea fonică s-au obținut valori diferite ale coeficientului de absorbție fonică, cuprins între 0.15 și 0.78, în funcție de configurația internă și compoziție.

În Figura 5.23 sunt prezentate câteva modele de panouri din materiale eco-compozite, miezuri din celuloză reciclată și sistemele de matrițe din polimeri utilizate (matriță, inel detașabil și extractor).



Figura 5.23. Panouri din materiale eco-compozite, a) inele de extracție; b) matrițe; c) extractoare; d) miezuri din celuloză; e) panouri fonoizolante [POP 24b]

În final a fost determinată forma (romb cu vârfurile rotunjite) și dimensiunile pinilor matrițelor (dimensiuni mai mari pentru obținerea miezului din celuloză reciclată și mai mici pentru obținerea panoului compozit și „acoperirea” cu amestec lichid de ceară de albine+rășină de brad+ coada calului măcinată), rezultând un panou eco-compozit cu un coeficient de absorbție fonică de 0.99.

5.3.2. Dezvoltarea și obținerea panourilor fonoabsorbante optimizate

În urma cercetărilor efectuate și optimizărilor succesive, au rezultat o serie de panouri cu o arhitectură internă bine determinată și proprietăți fonoabsorbante ridicate ($\alpha > 0.95$).

În Figura 5.24 sunt prezentate arhitecturile interne (forma golurilor din structura printată), la scara 5:1.

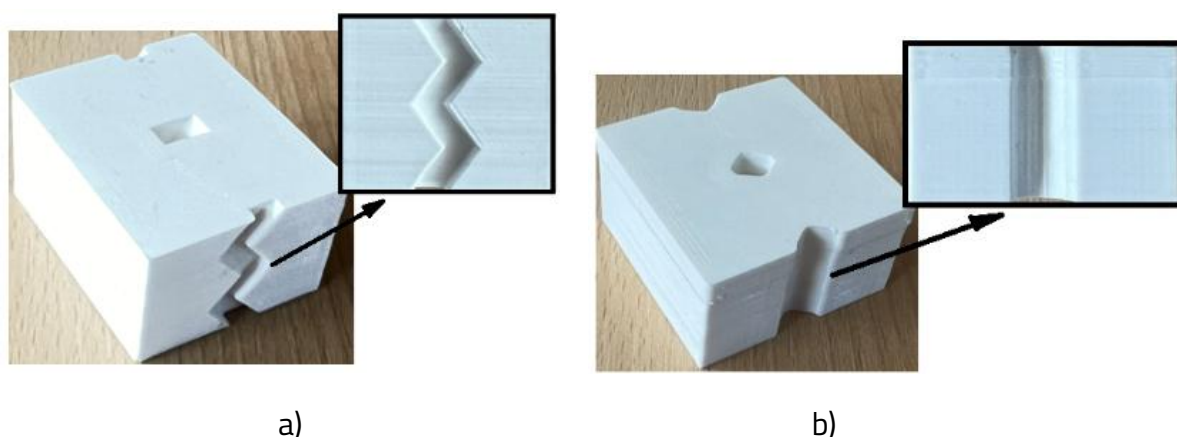


Figura 5.24. Arhitectura internă panouri printate 3D. a) arhitectura internă Z_2 ; b) arhitectura internă R_{v5} (romb cu vârfurile rotunjite) [POP 24b]

În Figura 5.25 este prezentat un panou compus din nouă panouri fonoabsorbante independente și proprietățile determinate, arhitectura internă, densitatea materialului utilizat și valoarea coeficientului α (coeficient de absorbție fonică) cuprins între $0.95 \div 0.99$, panouri obținute direct din modele CAD.



Figura 5.25. Panou format din nouă panouri individuale printate 3D [POP 24b]

În paralel au fost efectuate cercetări privind obținerea panourilor fonoabsorbante din materiale eco-compozite iar în continuare voi descrie procedeul de obținere:

Etape 1. Obținerea miezului din celuloză reciclată.

Panoul din celuloză (hârtie reciclată și amestecată cu apă până devine pastă) a fost turnat în matrița din polimer I (Figura 5.26).

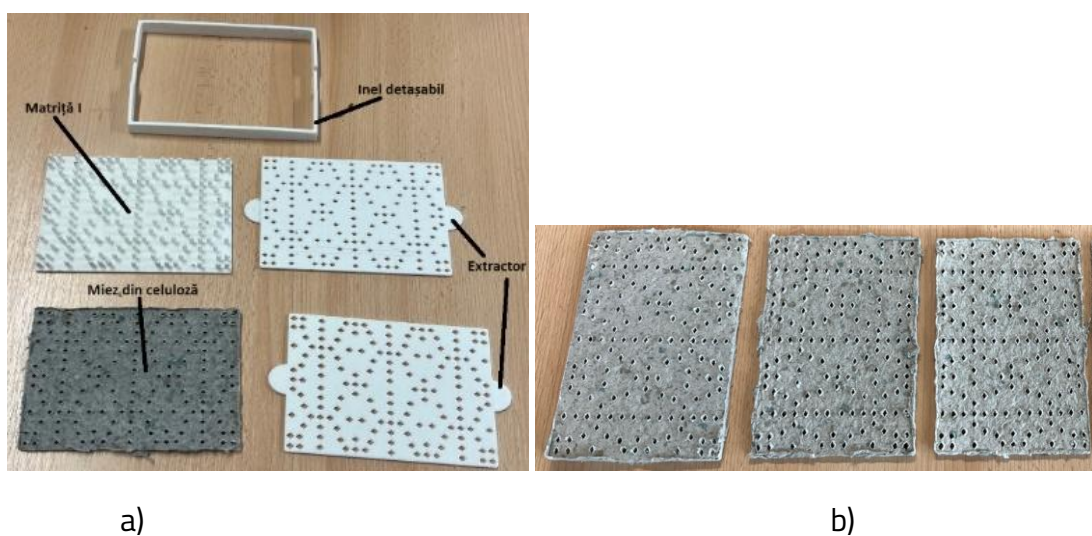


Figura 5.26. a) Sistem de obținere a miezurilor din celuloză; b) Miezuri din celuloză pregătite pentru etapa 2

Panoul inițial, care reprezintă baza (miezul), este realizat din celuloză, respectiv hârtie reciclată, tocată, umectată și turnată în matrița (I) care este prevăzută cu 19 pini cu baza romb și 10 mm înălțime, un extractor cu 19 perforații, inel detașabil, și după uscare se extrage cu ajutorul extractorului.

Etapa 2. Obținerea panoului multistrat din materiale eco-compozite.

Panoul din celuloză uscat obținut în etapa 1 este consolidat cu un liant natural compus din amestec de rășină de brad + ceară de albine + coada calului în matrița metalică II (Figura 5.27).

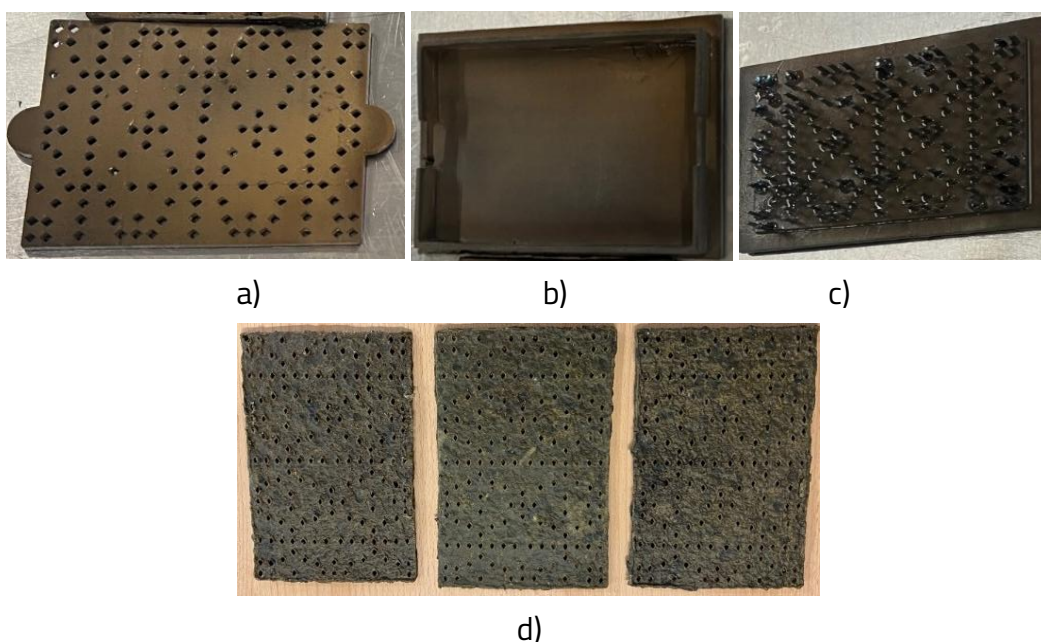


Figura 5.27. Ansamblu matriță II. a) Extractor; b) Rama detașabilă; c) Matriță; d) Panouri fonoabsorbante din eco-compozite [POP 24b]

Liantul formează o peliculă de suprafață și pătrunde și în porii stratului superficial, care are dimensiunea pinilor mai mică, și astfel se umplu și golurile dintre găurile realizate de pinii de la matrița I și pinii de la matrița II, cu același liant.

După întărire, piesa obținută se extrage și se testează acustic. Forma golurilor, poziționarea lor și dimensiunile găurilor realizate, conduc la o accentuare a gradului de absorbție fonică.

Rezultatele experimentale sunt excelente rezultând un coeficient de absorbție fonică ($\alpha=0.99$) la frecvența de 1000 Hz, $\alpha=0.94$ la frecvența de 3150 Hz și $\alpha=0.88$ la frecvența de 2500 Hz.

Forma optimizată a panoului (forma pinilor, dimensiunea și dispunerea lor, miezul și compoziția amestecului de ceară + rășină + coada calului), împreună cu tehnologia de obținere fac obiectul cererilor de brevet, național (**a 2024 00099**) și internațional (**PCT/RO2024/000011**).

Utilizarea materialelor naturale în panourile de izolare fonică prezintă un progres semnificativ în domeniul ingineriei acustice, oferind o alternativă promițătoare față de omologii sintetici tradiționali. Aceste panouri demonstrează performanțe excepționale în ceea ce privește diverși parametri acustici, depășind adesea materialele convenționale în anumite situații.

Un avantaj cheie constă în compoziția lor cu mai multe fațete, care încorporează diverse componente naturale ce îmbunătățesc sinergic stabilitatea termică, rezistența mecanică și durabilitatea mediului.

Prin acest studiu am determinat comportamentul termic al materialelor naturale compozite derivate din pastă de hârtie reciclată, ceară de albine, rășină de brad și diverse materiale de umplutură, cum ar fi pulbere de coada-calului, făină de orez și ace de brad măcinat.

Aceste panouri compozite naturale prezintă un comportament de degradare termică superior, debutul degradării fiind de până la 290°C în comparație cu spumele poliuretanice. De asemenea, au demonstrat o stabilitate termică promițătoare în regimuri ciclice de încălzire-răcire, evidențiind potențialul aplicațiilor care necesită rezistență la stres termic.

Încorporarea de goluri modelate în compozite oferă o cale promițătoare pentru îmbunătățirea parametrilor lor acustici.

În acest studiu au fost cercetate mai multe arhitecturi ale acestor goluri, și anume goluri circulare, triunghiulare și ondulate. Prin modificarea structurii interne și a presiunii de turnare, compozitele pot obține proprietăți bune de izolare fonică și de absorbție a sunetului (coeficienți de absorbție a sunetului de până la 0.99), făcându-le candidați versatili pentru diverse aplicații acustice.

Cercetările viitoare ar putea să se concentreze pe optimizarea în continuare a compoziției și structurii acestor compozite pentru a le îmbunătăți și menține performanța acustică, menținând în același timp stabilitatea termică și beneficiile de mediu.

În plus, explorarea materialelor de umplură noi și rafinarea proceselor de fabricație ar putea debloca noi posibilități de îmbunătățire a eficienței generale și a aplicabilității acestor materiale compozite naturale.

Concluzie generală:

În urma cercetărilor efectuate în cadrul proiectului mai sus descris pot afirma cu certitudine că rezultatele obținute sunt foarte bune, afirmație susținută de cererile de brevet național/internațional depuse, lucrărilor ISI publicate și evaluării cu calificativul „Excelent,, după finalizarea proiectului de către autoritatea de finanțare UEFISCDI.

CONCLUZII

În prezenta teză de abilitare, am prezentat rezultatele cercetărilor proprii obținute după finalizarea lucrării de doctorat din 2009, privind:

Capitolul 1 conține date și rezultate despre optimizarea compozițiilor fizice și chimice ale materialelor compozite de tipul rășini armate precum și optimizarea proceselor utilizate la confecționarea reperelor cu pereți subțiri, îmbunătățirea tehnologiilor de fabricare și studiul influenței acestora asupra caracteristicilor finale a reperelor cu pereți subțiri. Au fost dezvoltate metode experimentale de stabilire a caracteristicilor fizico-mecanice a reperelor produse și modelarea matematică în funcție de rezultatele obținute a grosimii materialelor compozite și determinarea numărului de straturi optim precum și a domeniilor de utilizare a acestor materiale compozite.

Capitolul 2 oferă o perspectivă utilă asupra comportamentului materialelor utilizate pentru fabricarea aditivă și ar putea extinde baza de date internațională existentă referitoare la înțelegerea procesării-structură-proprietate a acestor materiale, implementarea și demonstrarea unui concept nou de obținere a unor structuri de materiale eco-compozite utilizând o tehnologie aditivă 3D. În partea a doua au fost prezentate rezultatele referitoare la comportarea mecanică a pieselor printate 3D și factorii determinanți. În primul rând se află tipul de material și, numai după aceea, de arhitectura internă. Reducerea consumului de material, păstrând în același timp cât mai mult posibil rezistența mecanică, este un deziderat de lungă durată al fabricației aditive iar în această direcție, alegerea configurației standard duce la o reducere cu 45% a consumului de material, în timp ce pentru configurația tubulară, această reducere poate ajunge la 60% și prezintă cele mai bune proprietăți de absorbție a energiei. Rezultatele prezentate ar putea oferi o perspectivă utilă asupra comportamentului acelor materiale utilizate pentru fabricarea aditivă cu arhitecturi interne diferite și ar putea extinde baza de date internațională existentă referitoare la proprietățile de prelucrare-structură-

mecanice ale acestor materiale. Această dependență le permite utilizatorilor să rezolve provocarea efectelor necunoscute ale calității imprimării asupra proprietăților mecanice ale unei piese printate 3D folosind un proces în doi pași pentru a estima rezistențele la tracțiune pentru un anumit material.

Capitolul 3 prezintă rezultatele obținute în cazul pieselor sinterizate solar cu geometrie internă controlată, prin utilizarea unui negativ printat 3D și metalurgia pulberilor. Această abordare nu a fost folosită până acum și poate fi considerată o inovație în domeniu mai ales că, configurația propusă a pieselor din cupru este dificil de realizat folosind alte tehnologii. Utilizarea energiei solare în procesul de sinterizare este fezabilă datorită avantajelor sale: energie curată, energie inepuizabilă, ecologică, scurtarea timpului de tratament termic iar rezultatele prezentate în acest studiu au arătat că sinterizarea cu energie solară concentrată poate fi aplicată cu succes la sinterizarea pieselor de tipul schimbătoare de căldură din cupru cu morfologie imprimată 3D controlată.

Capitolul 4 prezintă datele obținute în urma studiului cu privire la printarea reperelor metalice din A6 Steel cu ajutorul tehnologiei Selective Laser Sintering (SLS), acoperite cu Ni și utilizarea energiei solare în procesul de tratament termic, energie solară care este fezabilă datorită avantajelor sale: energie curată, energie inepuizabilă, ecologică și scurtarea proceselor de tratament termic datorita vitezelor foarte mari de încălzire.

Capitolul 5 prezintă rezultatele obținute în cazul panourilor fonoabsorbante printate 3D precum și a panourilor obținute din materiale eco-compozite obținute din hârtie reciclată și liant natural compus din amestec de rășină de brad + ceară de albine + coada calului din punct de vedere a proprietăților fonoabsorbante cât și caracterizarea lor fizico-mecanic, termic, microscopic etc. Tot în cadrul studiului au fost prezentate panourile printate optimizate și care a constat nu numai în determinarea parametrilor de printare (viteză, diametru duză, grosime de strat), grosime panou, arhitectură internă ci și din punct de vedere al utilizării unui material cu o anumită densitate. În concluzie, panourile fonoabsorbante propuse în acest studiu pot fi

folosite cu succes în diverse aplicații industriale (în industria auto pot fi folosite la capotă, spațiile de lângă blocul motor, interiorul panoului de portieră a unui autoturism etc; pot fi utilizate și în panouri interioare pentru avioane, case și clădiri) datorită performanțelor acustice ridicate, metodei de fabricație accesibilă, structurii interne ușoare și duratei de viață lungi a materialului de acid polilactic imprimat 3D.

În urma cercetărilor efectuate în cadrul proiectelor mai sus descrise pot afirma cu certitudine că rezultatele obținute sunt foarte bune și deschid calea unor direcții noi de cercetare.

B. REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE ȘI PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI

B3 Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

Activitatea didactică reprezintă o sarcină de mare răspundere pentru un cadru didactic la orice nivel dar mai ales pentru sistemul universitar. Astfel, dezvoltarea activității didactice, a autorului tezei de abilitare, se va baza pe principii bine definite și respectate: promovarea activităților didactice orientate spre student, mentorat și activități de cercetare care să stârnească pasiune pentru știință și cercetare studenților.

Planurile de evoluție și de dezvoltare ale carierei vizează trei direcții principale: activitatea didactică, activitatea de cercetare științifică și activitatea profesională.

a. Planuri de dezvoltare ale activității didactice

- ✓ în continuare am să aplic strategiile de predare-învățare centrate pe student prin implicarea acestora activ în procesul de învățare și dezvoltarea unor relații de respect reciproc;
- ✓ utilizarea și îmbunătățirea metodelor de predare de tip interactiv în raport cu evoluția și schimbările în știință;
- ✓ actualizarea suporturilor de curs și a lucrărilor practice și elaborarea de noi suporturi de curs și/sau îndrumare de laborator ;
- ✓ participarea la cursuri de pregătire și programe orientate spre îmbunătățirea abilităților de predare;
- ✓ completarea activităților didactice cu activități de cercetare științifică și practică în vederea dezvoltării studenților din punct de vedere profesional și integrării mai bune al acestora pe piața muncii;
- ✓ introducerea celor mai recente tendințe și descoperiri în domeniul de specialitate în fișele disciplinelor și prezentarea lor la orele de curs;

- ✓ informarea și documentarea permanentă în domeniul de activitate și în domenii conexe, în corelație cu evoluția științei;
- ✓ dezvoltarea capacităților studenților de a executa sarcini profesionale complexe în baza unui plan de lucru și utilizarea conceptelor de bază din domeniul managementului de cercetare în ingineria materialelor;
- ✓ respectarea în continuare a normelor de etică profesională și de conduită morală;

b. Planuri de dezvoltare ale activității de cercetare științifică

Capacitatea de lucru în echipă și capacitatea de a coordona proiecte de cercetare precum și colaborarea profesională și științifică cu membrii departamentului și ai facultății din care fac parte, sau altor facultăți și institute de cercetare, sunt atuurile care reies din activitățile de cercetare științifică, desfășurate de autorul tezei de abilitare.

Direcțiile principale de dezvoltare ale activității de cercetare științifică avute în vedere (dar nu limitat doar la acestea), în scopul de a crește relevanța și impactul cercetărilor autorului tezei de abilitare, sunt următoarele:

- ✓ creșterea impactului și a vizibilității rezultatelor, prin publicarea cercetărilor în jurnale indexate ISI, situate în zona roșie/galbenă (Q1/Q2) în principal;
- ✓ participarea la conferințe naționale și internaționale din domeniul ingineriei materialelor și printării 3D;
- ✓ depunerea unor proiecte de cercetare, la competițiile naționale și internaționale, în scopul atragerii de fonduri, pentru dezvoltarea infrastructurii de cercetare a departamentului;
- ✓ participarea în continuare în calitate de coordonator sau de membru, în proiecte de cercetare naționale, internaționale și cu terți;
- ✓ dezvoltarea în continuare a laboratorului de cercetare, destinat fabricării, prin tehnologii aditive, a produselor industriale;
- ✓ protejarea ideilor cu potențial creativ, prin depunerea unor cereri de brevete de invenție atât naționale cât și internaționale;

- ✓ continuarea și consolidarea legăturilor cu membrii centrelor de cercetare din străinătate (CNRS PROMES Franța și CIEMAT-PSA Spania) și elaborarea unor proiecte de cercetare împreună cu aceștia;
- ✓ continuarea colaborărilor cu alte departamente din cadrul Institutului de Cercetare - Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov;

c. Planuri de evoluție și dezvoltare ale carierei profesionale

Continuarea activității de cercetare științifică și a activității didactice constituie axa prioritară în dezvoltarea viitoarei cariere profesionale prin acțiuni responsabile, prin comunicare, integritate, colaborare și transparență.

Autorul tezei de abilitare apreciază că planul personal de dezvoltare, al carierei didactice și științifice, este în acord cu planul de dezvoltare al departamentului de Știința materialelor și al Universității Transilvania din Brașov.

Pe plan profesional își propune să continue procesul de formare și de dezvoltare personală, prin cursuri de instruire, care să îl mențină în contact cu noutățile tehnice și cu problemele științifice actuale.

În activitatea de cercetare își propune continuarea temelor desfășurate până în prezent în domeniul materialelor compozite și al printării 3D și demararea studiului proprietăților materialelor compozite procesate cu tehnologia Fused Granular Fabrication (FGF), o tehnologie nouă, cu cercetări puține la nivel internațional, dar cu potențial foarte mare în special datorită utilizării materialelor reciclate și compozitelor obținute după rețete proprii.

Își exprimă convingerea, că obiectivele propuse de autorul tezei de abilitare, vor contribui la dezvoltarea departamentului Știința materialelor și, implicit, la creșterea vizibilității domeniului de doctorat Ingineria materialelor, din cadrul Universității Transilvania din Brașov bazându-se pe colaborările actuale și cele viitoare și pe sprijinul nemijlocit al Universității Transilvania din Brașov.

B4 Bibliografie

[POP 11a] **Pop, M.A.** and Constantinescu, A., (2011). Obtaining technology for thin-wall patterns manufacturing used in foundry and their physico-mechanical properties. *Metalurgia International*, 16(5), p.93.

[POP 11b] **Pop, M.A.** and Constantinescu, A., (2011). Comparative study between the behaviour of composite resin reinforced with glass fibre. Mechanical properties. *Proceedings of ModTech*, pp.889-893.

[POP 12] **Pop, M.A.**, Monescu, V. and Constantinescu, A., (2012). Modelling and optimizing the resistance to traction of reinforced resin type composite materials. In *Proceedings of ModTech International Conference-New face of TMCR* (pp. 785-788).

[HRE 12] Hreniuc, L. and **Pop, M.A.**, (2012). Mechanical properties of the composite materials (resin reinforced with glass fibre). *Metalurgia International*, 17(3), p.67.

[POP 13] **M.A., POP**, MOTOC, D.L., Constantinescu, A., GEAMĂN, V. and Alexandru, R., (2013). Cte assessment of various glass fibre reinforced polymer composite architectures. *Metalurgia International*, 18, pp.131-134.

[POP 17] **Pop, M.A.**, Geaman, V., Radomir, I., Bedo, T., Milosan, I., Zaharia, S.M., Florea, B., Semenescu, A. and Chivu, O.R., (2017). The Degradation Effects to Hand Made Composite Materials by Using Acids. *MATERIALE PLASTICE*, 54 (3), p.433.

[POP 20a] **Pop, M.A.**, Constantinescu Al., Geamăn V.: Brevet de invenție: „MATERIAL COMPOZIT MULTISTRAT DIN FIBRĂ DE STICLĂ, MODEL DE FORMARE CE ÎL UTILIZEAZĂ, ȘI PROCEDEU DE REALIZARE A ACESTUIA,, RO 128812 B1 / 2020, https://ro.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=20200330&DB=&locale=ro_RO&CC=RO&NR=128812B1&KC=B1&ND=4

[TRA 17a] Trappey, Amy JC, Charles V. Trappey, and Curry LS Chung (2017). IP portfolios and evolution of biomedical additive manufacturing applications, *Scientometrics* 111.1,pag. 139.

[TRA 17b] Trappey, Amy JC, Charles V. Trappey, and Kurt LC Lee (2017). Tracing the Evolution of Biomedical 3D Printing Technology Using Ontology-Based Patent Concept Analysis, *Technology Analysis & Strategic Management* 29.4, pag. 339-352.

[ZAH 17] Zaharia SM, **Pop MA**, Semenescu A, Florea B, Chivu OR (2017). Mechanical Properties and Fatigue Performances on Sandwich Structures with CFRP Skin and Nomex Honeycomb Core, *Materiale Plastice*, ISSN: 0025-5289, Vol. 54, No.1, pag. 67-72.

[AVE 01] Avella, M., Bonadies, E., Martuscelli, E., & Rimedio, R. (2001). European current standardization for plastic packaging recoverable through composting and biodegradation. *Polymer testing*, 20(5), 517-521.

[JOS 00] K. Joseph, L.H.C. Mattoso, R.D. Toledo, S. Thomas, L.H. Carvalho, L. Pothén, S. Kala, and B. James (2000). *Natural Fiber Reinforced Composites*, Natural Polymers and Agrofibers Composites, pag. 159.

[POP 19] **Pop, M.A.**, Croitoru, C., Bedó, T., Geamăn, V., Radomir, I., Cosniță, M., Zaharia, S.M., Chicos, L.A. and Milosan, I., (2019). Structural changes during 3D printing of bioderived and synthetic thermoplastic materials. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(17), p.47382.

[WU 17] Wu, Y., Isakov, D. and Grant, P.S., (2017). Fabrication of composite filaments with high dielectric permittivity for fused deposition 3D printing. *Materials*, 10(10), p.1218.

[KAB 17] Kaboorani, A., (2017). Characterizing water sorption and diffusion properties of wood/plastic composites as a function of formulation design. *Construction and Building Materials*, 136, pp.164-172.

[SON 17] Song, Y., Li, Y., Song, W., Yee, K., Lee, K.Y. and Tagarielli, V.L., (2017). Measurements of the mechanical response of unidirectional 3D-printed PLA. *Materials & Design*, 123, pp.154-164.

[TSU 05] Tsuji, H., Miyase, T., Tezuka, Y. and Saha, S.K., 2(005). Physical properties, crystallization, and spherulite growth of linear and 3-arm poly (L-lactide) s. *Biomacromolecules*, 6(1), pp.244-254.

[POP 20b] **Pop, M.A.**, Croitoru, C., Bedo, T., Geamăn, V., Radomir, I., Zaharia, S.M. and Chicoș, L.A., (2020). Influence of internal innovative architecture on the mechanical properties of 3D polymer printed parts. *Polymers*, 12(5), p.1129.

[TYM 14] Tymrak, B.M., Kreiger, M. and Pearce, J.M., (2014). Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions. *Materials & Design*, 58, pp.242-246.

[DAW 16] Dawoud, M., Taha, I. and Ebeid, S.J., (2016). Mechanical behaviour of ABS: An experimental study using FDM and injection moulding techniques. *Journal of manufacturing Processes*, 21, pp.39-45.

[Pop 20c] **Pop M.A.**: Solar sintering of parts with controlled cellular morphology architecture made in moulds obtained by 3D printing, (2020). Horizon 2020 Research and Innovation Programme nr. ctr:823802, (SFERA-III - proiect de cercetare de scurtă durată)

[Pop 22a] **Pop, M.A.**, Croitoru, C., Bedo, T., Geamăn, V., Radomir, I., Crișan, A., Guillot, E., Miloșan, I., Zaharia, S.M. and Chicoș, L.A., (2022). The Influence of Solar Sintering on Copper Heat Exchanger Parts with Controlled 3D-Printed Morphology. *Materials*, 15(9), p.3324.

[www the 24] ultima accesare 25.07.2024

<https://www.thermofisher.com/search/browse/category/us/en/90347140>

[HOR 05] Horita, Z., & Langdon, T. G. Microstructures and microhardness of an aluminum alloy and pure copper after processing by high-pressure torsion (2005). *Materials Science and Engineering: A*, 410, 422-425.

[REN 20] Ren, C. X., Wang, Q., Hou, J. P., Zhang, Z. J., Yang, H. J., & Zhang, Z. F. (2020) Revealing the maximum microhardness and thickness of hardened layers for copper with various grain sizes. *Materials Science and Engineering: A*, 778, 139113.

[PAN 06] Pan, M. Y., Gupta, M., Tay, A. A. O., & Vaidyanathan, K. (2006). Development of bulk nanostructured copper with superior hardness for use as an interconnect material in electronic packaging. *Microelectronics Reliability*, 46(5-6), 763-767.

[SON 15] Song, P., Fu, Z., Liu, L. and Fu, C.W., (2015). Printing 3D objects with interlocking parts. Computer Aided Geometric Design, 35, pp.137-148.

[Pop 22b] **Pop, M.A.**: Improving the properties of A6 steel 3D printed and nickel-plated parts by solar treatment, (2020). Horizon 2020 Research and Innovation Programme nr. ctr: 823802, SURPF2201310034, 2020 (SFERA-III - proiect de cercetare de scurtă durată)

[THE 24] ultima accesare 25.07.2024

<https://www.thermofisher.com/search/browse/category/us/en/90347140>

[AGA 95] Agarwala, M., Bourell, D., Beaman, J., Marcus, H. and Barlow, J., (1995). Post-processing of selective laser sintered metal parts. Rapid Prototyping Journal, 1(2), pp.36-44.

[TIW 15] Tiwari, S.K., Pande, S., Agrawal, S. and Bobade, S.M., (2015). Selection of selective laser sintering materials for different applications. Rapid prototyping journal, 21(6), pp. 630.

[POP 24] **M.A. POP**, C. GABOR, T. Bedo, V. GEAMĂN (2024) Improvement of the desorption-adsorption-diffusion process in 3D printed nickel-plated parts through concentrated solar treatment, 13th International Conference on Materials Science and Engineering - BraMat 2024.

[POP 23a] **Pop, M.A.**, Cosnita, M., Croitoru, C., Zaharia, S.M., Matei, S. and Spîrchez, C., (2023). 3D-Printed PLA Molds for Natural Composites: Mechanical Properties of Green Wax-Based Composites. Polymers, 15(11), p.2487. WOS:001005765300001, Q1 ,

[POP 23b] Zaharia, S.M., **Pop, M.A.**, Cosnita, M., Croitoru, C., Matei, S. and Spîrchez, C., (2023). Sound Absorption Performance and Mechanical Properties of the 3D-Printed Bio-Degradable Panels. Polymers, 15(18), p.3695. WOS:001072568300001, Q1

[ISO10534-2 98] Acoustics—Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes—Part 2: Transfer-Function Method; International Standard ISO 10534-2 (1998-11); ISO International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.

[ASTM E1050 10] American Society of Testing Materials (ASTM) E1050. Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphone and a Digital Frequency Analysis System, ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.

[MIL-STD-401B 67] Military standard: sandwich constructions and core materials, general test methods.

[ASTM C393/C393M 11] Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure; American Society for Testing and Materials: West Conshohocken, PA, USA, 2011.

[ILY 21] Ilyas, R.A.; Sapuan, S.M.; Harussani, M.M.; Hakimi, M.Y.A.Y.; Haziq, M.Z.M.; Atikah, M.S.N.; Asyraf, M.R.M.; Ishak, M.R.; Razman, M.R.; Nurazzi, N.M.; Norrrahim, M.N.F.; Abral, H.; Asrofi, M. (2021). Polylactic Acid (PLA) Biocomposite: Processing, Additive Manufacturing and Advanced Applications. *Polymers* 2021, 13.

[BER 23] Bergaliyeva, S.; Sales, D.L.; Delgado, F.J.; Bolegenova, S.; Molina, S.I. (2023). Manufacture and Characterization of Polylactic Acid Filaments Recycled from Real Waste for 3D Printing. *Polymers*, 15, 2165.

[KRA 22] Krapež Tomec, D.; Kariž, M.(2022). Use of Wood in Additive Manufacturing: Review and Future Prospects. *Polymers*, 14, 1174.

[MÜL 22] Müller, M.; Jirků, P.; Šleger, V.; Mishra, R.K.; Hromasová, M.; Novotný, J. (2022) Effect of Infill Density in FDM 3D Printing on Low-Cycle Stress of Bamboo-Filled PLA-Based Material. *Polymers*, 14, 4930.

[ZHU 19] Zhu, Y.; Gao, Y.; Jiang, J.; Gu, H.; Lv, S.; Ni, H.; Wang, X.; Jia, C. (2019). Study on effects of FFF 3D printing parameters on mechanical properties of polylactic acid. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2019, 688, 2019.

[JIA 17] Jiang, C.; Moreau, D.; Doolan, C. (2017). Acoustic Absorption of Porous Materials Produced by Additive Manufacturing with Varying Geometries. In *Proceedings of the ACOUSTICS 2017, Perth, Australia, 19–22 November 2017*.

[SEK 21] Sekar, V.; Eh Noum, S.Y.; Sivanesan, S.; Putra, A.; Chin Vui Sheng, D.D.; Kassim, D.H. (2021). Effect of Thickness and Infill Density on Acoustic Performance of 3D Printed Panels Made of Natural Fiber Reinforced Composites. *J. Nat. Fibers* 2021, 1–9.

- [GÓM 21] Gómez Escobar, V.; Moreno González, C.; Rey Gozalo, G. (2021). Analysis of the Influence of Thickness and Density on Acoustic Absorption of Materials Made from Used Cigarette Butts. *Materials* 2021, 14, 4524.
- [LIU 16] Liu, Z.Q.; Zhan, J.X.; Fard, M.; Davy, J.L. (2016). Acoustic properties of a porous polycarbonate material produced by additive manufacturing. *Mater. Lett.*, 181, 296.
- [POP 23c] Mihai Alin POP, Mihaela COȘNIȚĂ, Sebastian Marian ZAHARIA, Simona Corina MATEI, Cosmin SPÎRCHEZ (2023). Effect of the Infill Pattern on Sound Absorption Properties and Some Mechanical Properties of 3D Printed Parts, *Innovative Manufacturing Engineering & Energy*, Chișinău–Republica Moldova, 12–14
- [POP 24a] Matei, S., **Pop, M. A.**, Zaharia, S. M., Coșniță, M., Croitoru, C., Spîrchez, C., & Cazan, C. (2024). Investigation into the Acoustic Properties of Polylactic Acid Sound-Absorbing Panels Manufactured by 3D Printing Technology: The Influence of Nozzle Diameters and Internal Configurations. *Materials*, 17(3), 580.
- [POP 24b] **Pop, M.A.**, Croitoru, C., Matei, S., Zaharia, S.M., Coșniță, M. and Spîrchez, C., (2024). Thermal and Sound Insulation Properties of Organic Biocomposite Mixtures. *Polymers*, 16(5), p.672.