

CERCETĂRI PRIVIND COMPORTAMENTUL UNOR STRUCTURI DE TIP SANDWICH REALIZATE DIN PLA, CU DIFERITE CONFIGURAȚII ALE MIEZULUI, SOLICITATE LA ÎNCOVOIERE ÎN TREI PUNCTE

BEHAVIORAL STUDY OF PLA 3D PRINTED SANDWICH STRUCTURES WITH DIFFERENT CORE CONFIGURATIONS SUBJECTED TO THREE POINTS BENDING

BURTOIU Mircea-Gabriel,

Facultatea: I.M.S.T., Specializarea: Siguranța și Integritatea Structurilor, Anul de studii: Master I, e-mail: mircea.gabriel25@gmail.com

Conducător științific: Prof.dr.ing. Gabriel JIGA

ABSTRACT: The paper presents a comparative study for three sandwich structures, namely, honeycomb core, inverted honeycomb core and kagome core made of PLA (polylactic acid) with two different thicknesses of the aluminium skins, 0.49 mm and 0.98 mm. The numerical results obtained after the finite element analysis (FEM) in ANSYS Workbench are compared in the linear region of the PLA for a precise prediction of the behaviour of every structure and for determining the impact of the face thickness on the rigidity of each structure.

CUVINTE CHEIE: structuri "sandwich", honeycomb, kagome, încovoiere în trei puncte, PLA

1. Definiție. Informații generale despre o structură de tip sandwich

Structurile de tip sandwich sunt structuri ușoare cu rigiditate mare și un raport foarte bun al rezistenței și greutății proprii. Principalul concept al unei structuri de tip sandwich este faptul că, suprafețele exterioare ce au o rigiditate ridicată, transferă sarcina de încovoiere la miezul supus la forfecare. Comportamentul structurilor de tip sandwich este asemănător grinzilor cu secțiune I.

Structurile compozite de tip sandwich au un comportament anizotrop, rezistența lor diferind în funcție de sarcinile aplicate. Astfel, acest aspect face posibilă producerea de structuri cu anumite proprietăți mecanice pe direcțiile pe care acestea vor fi solicitate. Cele mai întâlnite caracteristici ale acestor structuri sunt: rigiditate, rezistență, izolare termică, putere de absorbție la impact ș.a. .

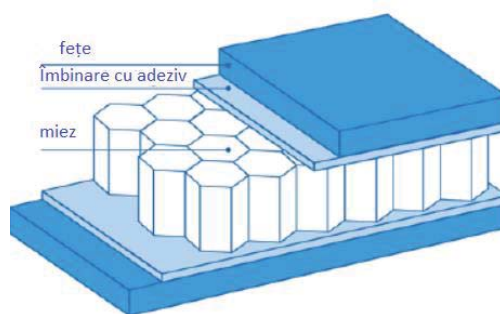


Fig. 1. Structură compozit de tip sandwich [1]

2. Stadiul actual

Principalul concept al unei structuri de tip sandwich este faptul că, suprafețele exterioare ce au o rigiditate ridicată, transferă sarcina de încovoiere la miezul supus la forfecare. Comportamentul structurilor de tip sandwich este asemănător grinzilor cu secțiune I.

Structurile compozite de tip sandwich au un comportament anizotrop, rezistența lor diferind în funcție de sarcinile aplicate. Astfel, acest aspect face posibilă producerea de structuri cu anumite

proprietăți mecanice pe direcțiile pe care acestea vor fi solificate. Cele mai întâlnite caracteristici ale acestor structuri sunt: rigiditate, rezistență, izolare termică, putere de absorbție la impact ș.a.

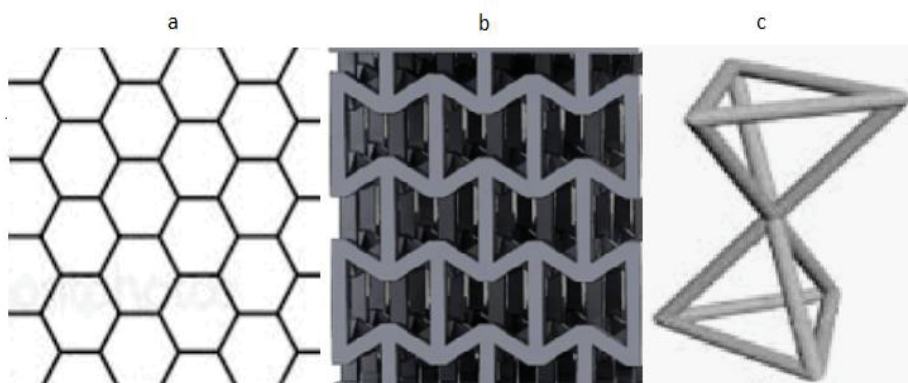


Fig. 2. Tipuri de miezuri (a-fagure, b-fagure inversat, c-kagome) [2]

Domeniul de amploare al acestor tipuri de structuri este cel al aviației, al rachetelor militare și navelor spațiale datorită avantajelor pe care acestea le prezintă:

- structuri rezistente și ușoare;
- rezistență ridicată la oboseală;
- izolare termică bună;
- lipsa organelor de asamblare - număr limitat de concentratori de tensiune, șanse mai mici de apariție a fisurilor. [5]

3. Materiale utilizate în cadrul studiului

Fețele, realizate din tablă din aluminiu, cu două grosimi diferite de 0.49 mm cât și de 0.98 mm sunt lipite cu un adeziv bicomponent de tip rășină epoxidică Bison Epoxy Metal de miez, pentru a obține un transfer de sarcini între componentele stratificatului.

În studiul realizat au fost utilizate două tipuri de miez:

- miez tip fagure (« honeycomb core »);
- miez tip fagure inversat (« inverted honeycomb core »)
- miez tip kagome (« kagome core »)

Tabelul 1. Proprietățile mecanice ale materialelor folosite

Material	Densitate [kg/m ³]	Modulul de elasticitate longitudinal (E) [MPa]	Coefficientul lui Poisson (ν)
Aluminiu	2770	71000	0.33
PLA	1240	3300	0.36
Bison Epoxy Metal	1160	3780	0.35

4. Printarea 3D a miezurilor structurilor sandwich

Cea mai utilizată metoda pentru printarea 3D este FDM (Fusion Deposition Method), care s-a impus ca rezultat al costurilor mici al imprimantelor/ consumabilelor. Aceasta metodă utilizează ca materie primă filamentul de PLA/ABS. [4]

Filamentul din PLA este cel mai utilizat, acest lucru datorându-se în mare parte faptului că este ușor de tipărit, nu emite tot atâtea particule ca și alte materiale și este biodegradabil. [3]

Proprietăți mecanice ale PLA-ului:

- Denumire tehnică: Acid Polilactic (Polylactic Acid – PLA)
- Rezistență la tracțiune: (61 – 66) MPa
- Rezistență la încovoiere: (48 – 110) MPa
- Modulul de elasticitate longitudinal E: 3300 MPa
- Modulul de forfecare G: 1213 Mpa

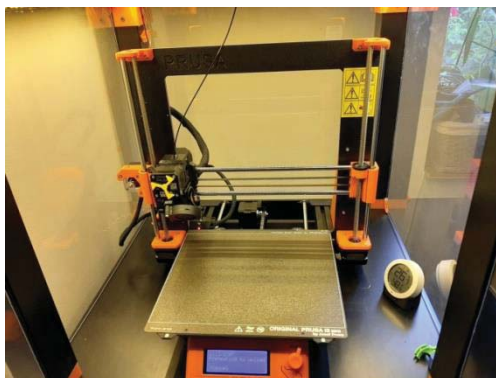


Fig. 3. Imprimanta 3d Prusa i3 MK3S

5. Realizarea epruvetelor

Pentru îmbinarea miezului cu fețele s-a folosit un adeziv bicomponent pe bază de rășină epoxidică Bison Epoxy Metal. În urma aplicării acestuia, epruvetele au stat la uscat timp de aproximativ 10 de ore la temperatura camerei (20°C). După uscare, grosimea totală a stratului de rășină măsurată se situa în jurul valorii de 0.1 mm pentru toate tipurile de structuri.

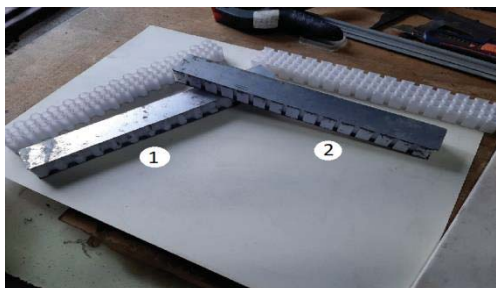


Fig. 4. Structurile de tip fagure și fagure inversat (1-miez fagure, 2-fagure inversat)

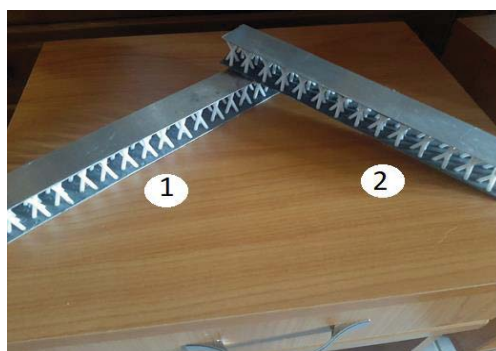


Fig. 5. Structurile cu miez de tip kagome (1-kagome 0.98, 2-kagome 0.49)

Astfel, s-au obținut șase structuri diferite de tip sandwich, două cu miez fagure cu grosimi diferite, două cu miez fagure inversat cu grosimi diferite și două cu miez kagome cu grosimi diferite, astfel:

- Honeycomb 0.98 (Miez fagure cu grosime fețe aluminiu de 0.98 mm)
- Honeycomb 0.49 (Miez fagure cu grosime fețe aluminiu de 0.49 mm)
- Honeycomb inv 0.98 (Miez fagure inversat cu grosime fețe aluminiu de 0.98 mm)
- Honeycomb inv 0.49 (Miez fagure inversat cu grosime fețe aluminiu de 0.49 mm)
- Kagome 0.98 (Miez kagome cu grosime fețe aluminiu de 0.98 mm)
- Kagome 0.49 (Miez kagome cu grosime fețe aluminiu de 0.49 mm)

6. Analiza cu elemente finite în mediul de lucru ANSYS Workbench

Materialele definite pentru analizele statice realizate pe cele șase tipuri de structuri sandwich sunt:

- Aliaj din Aluminiu (bibliotecă ANSYS)
- Rășină epoxidică (bibliotecă ANSYS)
- PLA - definit în urma testelor de tracțiune, ca material izotrop prin modulul de elasticitate longitudinal și coeficientul lui Poisson
 1. $E = 3300 \text{ MPa}$
 2. $\nu = 0.36$
 3. $\rho = 1.24 \text{ g/cm}^3$

Pentru simularea încercării de încovoiere în trei puncte, am impus următoarele blocaje:

- Displacement center: 5 mm
- Remote Displacement 1 și 2 (Free/0/0/Free/0)
- Vertex (0 all DOF) – eliminare mișcare corp rigid

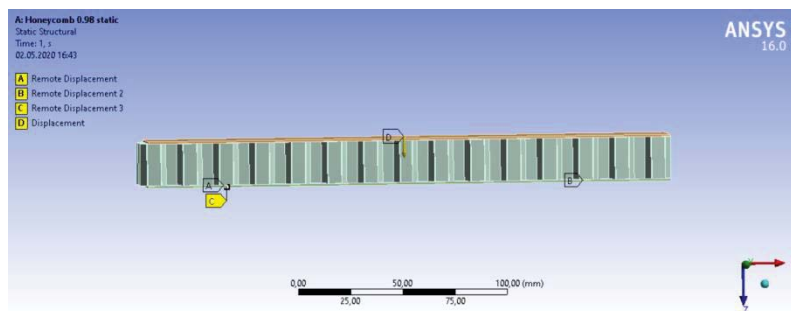


Fig. 6. Exemplu definire încărcări Ansys Workbench

Limita de curgere a PLA-ului este de 51 MPa. Astfel pentru o predicție mai bună asupra comportamentului linear al fiecărei structuri a fost stabilită la fiecare tip, limita de deformație la care această tensiune este atinsă pentru estimarea forței maxime aplicate la încovoiere. Se poate observa în acest studiu două seturi de rezultate, unele cu tensiunile rezultate la o deformație de 5 mm, iar celelalte cu tensiunile rezultate la deformația în care PLA-ul și-a atins limita de curgere.

7. Rezultate analiză cu elemente finite structuri cu miez fagure

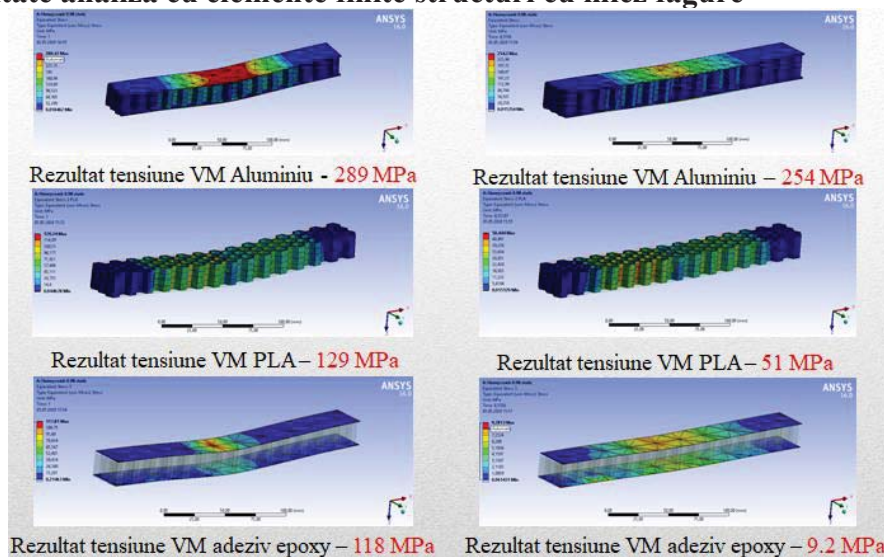


Fig. 7. Rezultate FEM Honeycomb 0.98 (deformație 5mm/1.7mm)

Pentru structura cu miez de tip fagure cu grosime a fețelor de 0.98, tensiunea de 51 MPa din miezul de PLA a fost atinsă la o săgeată de 1.7 mm.

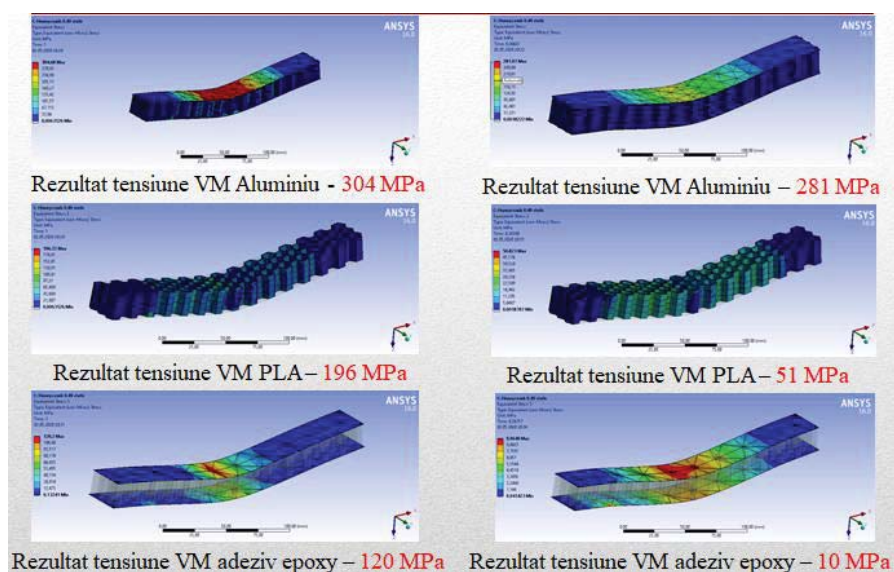


Fig. 8. Rezultate FEM Honeycomb 0.49 (deformație 5mm/1.31mm)

Pentru structura cu miez de tip fagure cu grosime a fețelor de 0.49, tensiunea de 51 MPa din miezul de PLA a fost atinsă la o săgeată de 1.31 mm.

8. Rezultate analiză cu elemente finite structuri cu miez fagure inversat

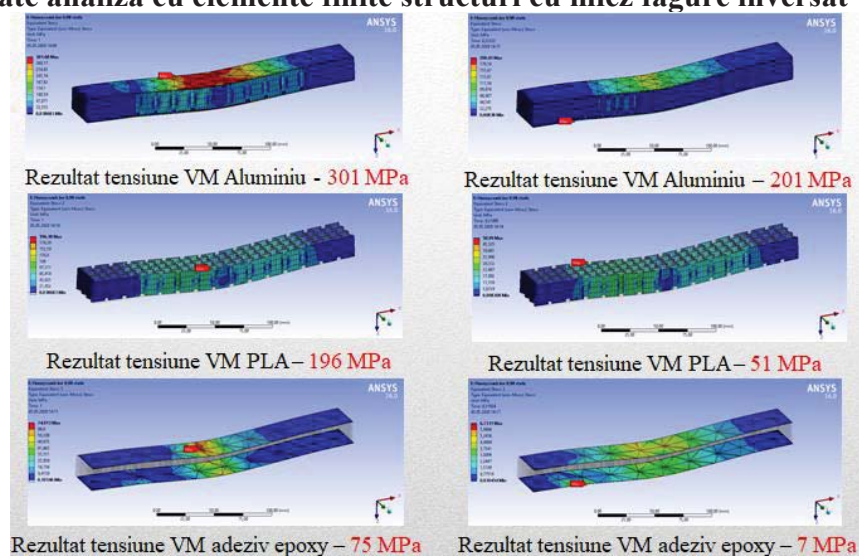


Fig. 9. Rezultate FEM Honeycomb inv 0.98 (deformație 5mm/1.12mm)

Pentru structura cu miez de tip fagure inversat cu grosime a fețelor de 0.98, tensiunea de 51 MPa din miezul de PLA a fost atinsă la o săgeată de 1.12 mm.

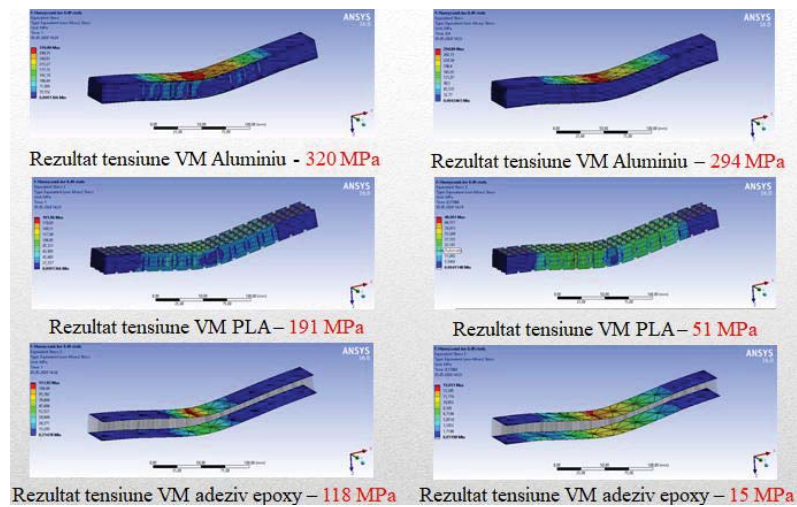


Fig. 10. Rezultate FEM Honeycomb inv 0.49 (deformație 5mm/1.86mm)

Pentru structura cu miez de tip fagure inversat cu grosime a fețelor de 0.49, tensiunea de 51 MPa din miezul de PLA a fost atinsă la o săgeată de 1.86 mm.

9. Rezultate analiză cu elemente finite structuri cu miez kagome

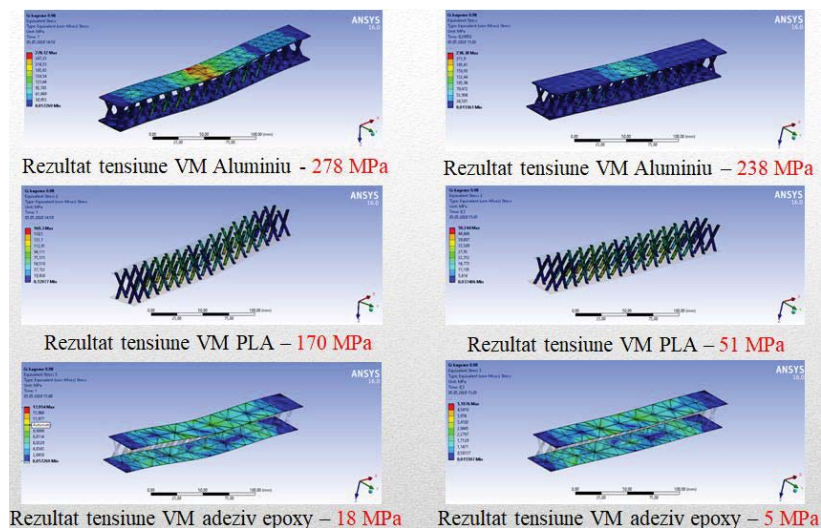
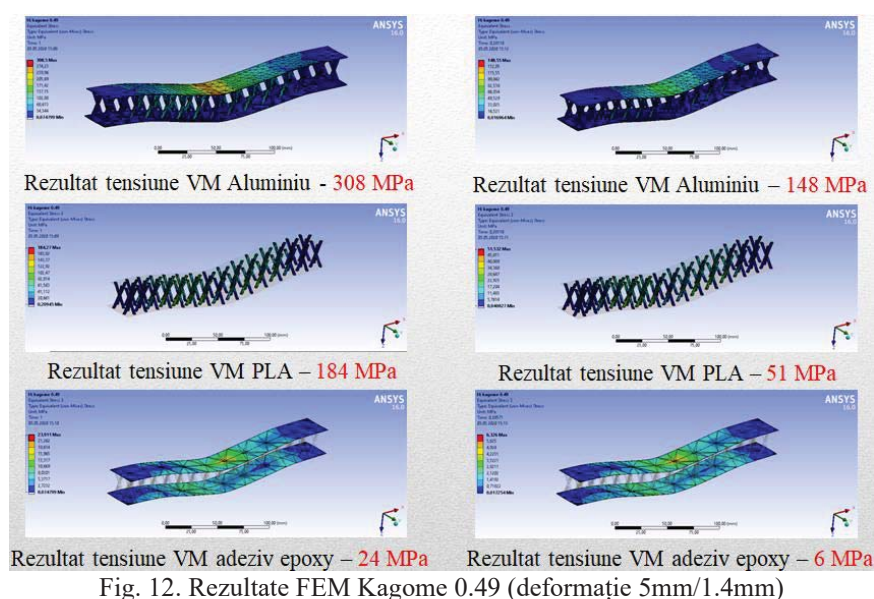


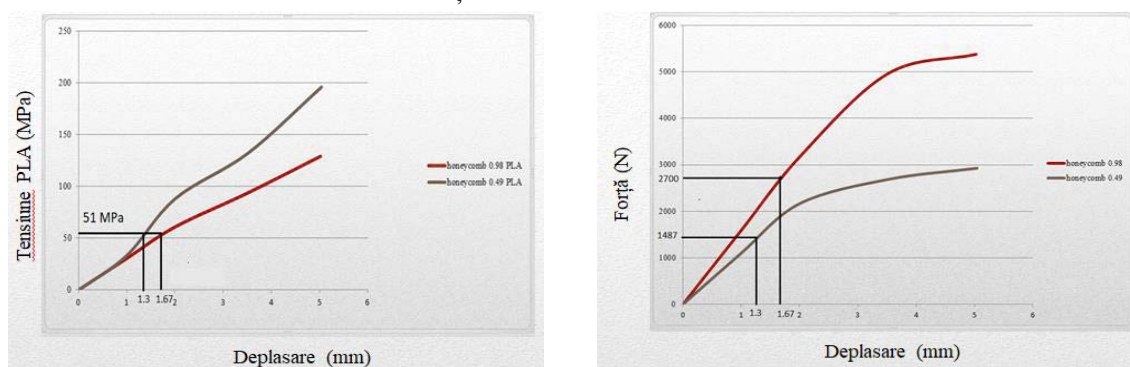
Fig. 11. Rezultate FEM Kagome 0.98 (deformație 5mm/1.5mm)

Pentru structura cu miez de tip kagome cu grosime a fețelor de 0.98, tensiunea de 51 MPa din miezul de PLA a fost atinsă la o săgeată de 1.5 mm.

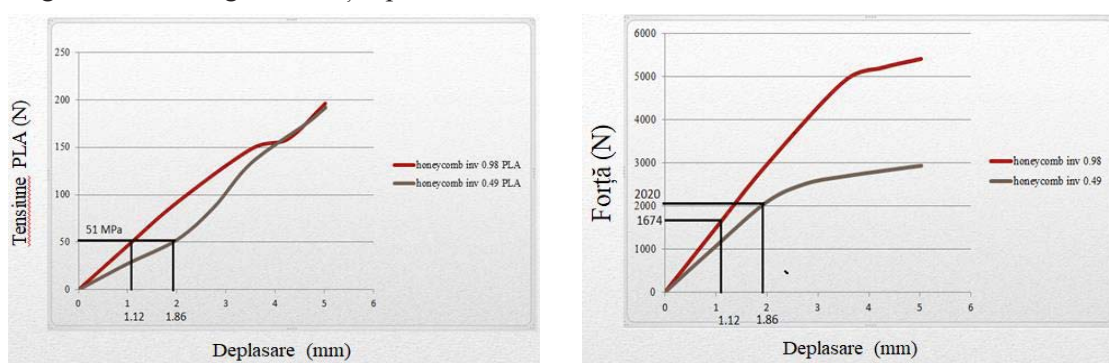
Pentru structura cu miez de tip kagome cu grosime a fețelor de 0.49, tensiunea de 51 MPa din miezul de PLA a fost atinsă la o săgeată de 1.4 mm.



10. Centralizarea datelor obținute în urma analizei cu element finit



În urma analizei cu elemente finite, prin corelarea rezultatelor obținute, structura Honeycomb 0.98 atinge limita de curgere a PLA-ului la forța aplicată de 2700 N, în timp ce structura Honeycomb 0.49 atinge limita de curgere la forța aplicată de 1487 N.



În urma analizei cu elemente finite, prin corelarea rezultatelor obținute, structura Honeycomb inv 0.98 atinge limita de curgere a PLA-ului la forța aplicată de 1674 N, în timp ce structura Honeycomb inv 0.49 atinge limita de curgere la forța aplicată de 2020 N.

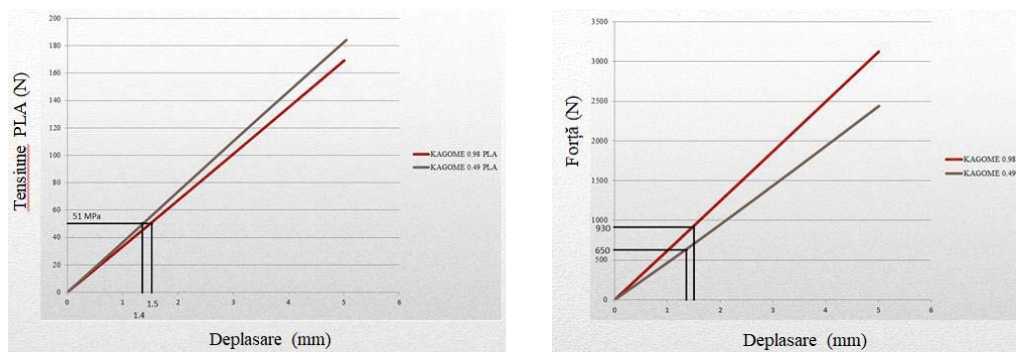


Fig. 15. A) Dependență tensiune PLA – deplasare Kagome B) Dependență forță - deplasare Kagome
În urma analizei cu elemente finite, prin corelarea rezultatelor obținute, structura Kagome 0.98 atinge limita de curgere a PLA-ului la forța aplicată de 930 N, iar Kagome 0.49 la 650 N.

Tabelul 2. Centralizarea rezultatelor obținute

Tip structură	Tensiune PLA [MPa]	Tensiune Al [MPa]	Tensiune Epoxy [MPa]	Deformație [mm]	Forță aplicată [N]
Honeycomb 0.98	51	254	9.2	1.67	2700
Honeycomb 0.49	51	281	10	1.3	1487
Honeycomb inv 0.98	51	201	7	1.12	1674
Honeycomb inv 0.49	51	294	15	1.86	2020
Kagome 0.98	51	238	5	1.5	930
Kagome 0.49	51	148	6	1.4	650

11. Concluzii

- În vederea validării modelului numeric în raport cu cel experimental, s-a ales ca domeniu, zona liniară de deformație a PLA-ului;
- Ca reper pentru compararea rezultatelor a fost aleasă limita de curgere a PLA-ului de 51 MPa
- Pentru calculul tensiunilor, acestea s-au determinat atât în fețe cât și în miez. În acest sens, rezultatele numerice vor fi validate cu cele experimentale până la săgeata maximă determinată;
- Structura cea mai rezistentă este Honeycomb 0.98 în care PLA-ul a atins limita de curgere la o valoare a forței superioare;
- În structura Honeycomb inv 0.49 se obține o tensiune de curgere în Aluminiu, fapt ce va duce la o valoare a săgeții mai mare;
- Structura cea mai puțin rigidă este Kagome 0.49 întrucât limita de curgere a PLA-ului se atinge la valoarea cea mai mică a forței;

12. Bibliografie

- [1] *** https://www.researchgate.net/figure/Elytra-sandwich-structures-with-steel-skins_fig1_267551720
- [2] Bucur, C., Bucur, A.M., *Survey of the state of the art composites and sandwich structures*, 2015, Cluj-Napoca
- [3] *** <https://store3d.ro/care-este-diferenta-intre-filamentele-abs-si-cele-pla/>
- [4] Additive manufacturing technologies: state of the art and trends Julien Gardan
- [5] https://www.researchgate.net/figure/Elytra-sandwich-structures-with-steel-skins_fig1_267551720

14. Notații

Următoarele simboluri sunt utilizate în cadrul lucrării:

- E = modulul de elasticitate longitudinal
- ν = coeficientul lui Poisson
- ρ = densitate de material
- PLA = acid polilactic