

# TESTE DE MATERIAL BAZATE PE SOLICITAREA EPRUVETELOR LA ÎNCOVOIERE

POPESCU Daniela Andreea, VĂDUVA Maria Roxana

Facultatea: Inginerie Mecanica si Mecatronica, Specializarea: Design Industrial, Anul de studii: II-E,  
e-mail: popescu\_andra15@yahoo.com

Conducător științific: Prof.dr.ing. Marin SANDU

*REZUMAT: Prezenta lucrare a avut ca prim obiectiv realizarea unor teste de încovoiere în trei puncte pentru caracterizarea comportamentului mecanic al unor materiale: aluminiu, spumă poliuretanică rigidă, polistiren extrudat. Aceste materiale au fost utilizate la confecționarea unor eșantioane de panouri de tip sandwich (cu miez din spumă poliuretanică rigidă sau din polistiren extrudat și fețe de aluminiu) care au fost supuse testării la încovoiere în trei puncte pentru evaluarea rigidității acestora, a sarcinilor limită și a modurilor de cedare. Pe baza rezultatelor astfel obținute s-a validat metodologia de predimensionare a panourilor sandwich ușoare. Deși sunt aproximative, formulele analitice pot fi recomandate pentru utilizare în proiectare.*

*CUVINTE CHEIE: teste, încovoiere în trei puncte, panouri sandwich*

## 1. Introducere

O categorie importantă de structuri compozite ieftine, ușoare și rezistente este cea a panourilor sandwich. Un panou sandwich se obține prin fixarea cu adeziv a unui miez din material ușor cu rezistență redusă între două plăci rezistente numite fețe (Fig.1). Frecvent miezul este realizat din spume polimerice. Panourile sandwich au rigiditate mare la încovoiere și se utilizează în numeroase domenii ingineresti: construcții, containere termoizolante, structuri de avioane, vagoane, vehicule, poduri, mobilier etc.

În lucrare se aplică metoda standard de predimensionare la încovoiere cilindrică pentru evaluarea rezistenței și rigidității unor eșantioane de panou cu fețe din aluminiu și miezuri din spume polimerice.

Pentru analiza răspunsului unei structuri la sarcinile aplicate, este necesar un model matematic: de bară, de placă omogenă, de placă compozită etc. Acest model include și legile de comportament ale materialului, care, în cazul materialului ideal-elastic, omogen, compact, sunt reprezentate de ecuațiile fizice ale Teoriei elasticității. În aceste relații, care descriu legătura dintre componentele stării de tensiune și parametrii de deformare, intervin caracteristicile elastice ale materialului:  $E$  – modulul de elasticitate longitudinal,  $G$  – modulul de elasticitate transversal,  $\nu$  – coeficientul de contracție transversală.

Determinarea modulului de elasticitate prin întinderea epruvetelor presupune aplicarea unor forțe mari și măsurarea alungirilor cu extensometre de înaltă sensibilitate. Prin comparație, teste de încovoiere în trei puncte se pot realiza mai ușor, prin încărcarea epruvetelor cu mase calibrate și măsurarea deplasărilor (săgeților) cu ceasuri comparatoare. În lucrare, pentru înregistrarea diagramei forță - săgeată la mijlocul epruvetei ( $F-w$ ) testele au fost făcute pe o mașină universală de încercat Lloyd Instruments LRXplus (Fig. 2), cu sarcina nominală de 5 kN, dotată cu sistem de achiziție a datelor în calculator.

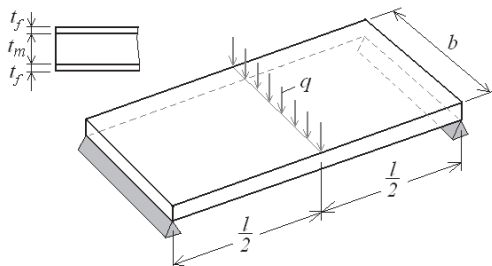


Fig. 1. Schema de încovoiere în trei puncte



Fig. 2. Testarea la încovoiere a polistirenului extrudat

Pentru o analiză liniar-elastică trebuie cunoscute (cel puțin) valorile parametrilor  $E$  și  $\nu$ , iar modulul de forfecare se poate stabili pe baza relației  $G = 0,5 \cdot E / (1 + \nu)$ .

## 2. Testarea materialelor pentru miezurile și fețele panourilor sandwich

Pe baza diagramelor  $F-w$  au fost stabilite valorile modulelor de elasticitate la încovoiere, aplicând formula

$$E = \frac{\Delta F \cdot l^3}{\Delta w \cdot 48 \cdot I}, \quad (1)$$

în care variațiile  $\Delta F$  și  $\Delta w$  corespund unui segment de dreaptă de pe porțiunea liniară a înregistrării,  $l$  este distanța între reazeme iar  $I$  este momentul de inerție al secțiunii epruvetei.

În figurile 3 și 4 sunt prezente curbele  $F-w$  pentru spumă poliuretanică rigidă cu densitate de 100 kg/mc (secțiunea epruvetei 50 x 11,8), respectiv pentru polistiren extrudat cu densitate de 32 kg/mc, (secțiunea epruvetei 50 x 19,5). Se observă că modulele de elasticitate sunt de 30,1 MPa, respectiv 12,3 MPa. Având în vedere forțele de rupere înregistrate se pot calcula rezistențele la rupere ale acestor materiale pentru miezuri ( $\sigma_{r,m}$ ). Pentru tabla din aluminiu din care se fac fețele panourilor sandwich modulul de elasticitate este  $E_f = 68000$  MPa și limita de curgere  $\sigma_{c,f} = 140$  MPa.

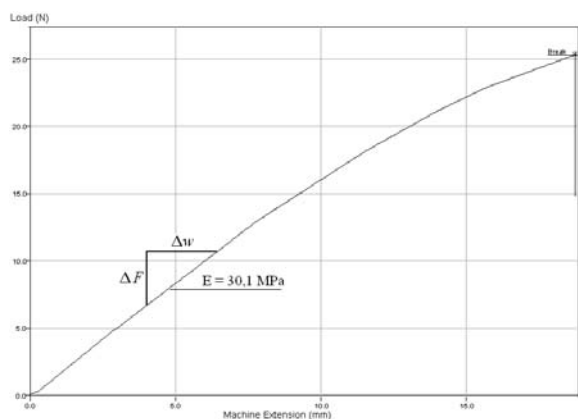


Fig. 3. Curba  $F-w$  pentru spuma poliuretanică rigidă

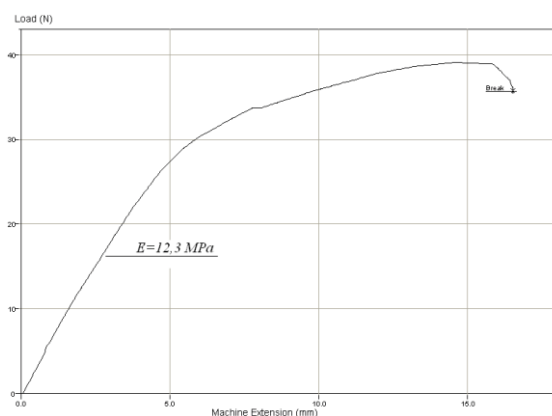


Fig. 4. Curba  $F-w$  polistiren extrudat

## 3. Testarea eșantionelor de panouri sandwich

După cum arată imaginea din figura 5, eșantionul de panou sandwich cu miez din spumă poliuretanică a cedat prin forfecarea miezului. La eșantionul de panou cu miez din polistiren extrudat cedarea s-a produs prin deformare plastică locală a feței superioare (în zona de aplicare a forței). Ca urmare, diagramele  $F-w$  au forme diferite pentru cele două tipuri de panou sandwich (Fig. 6 și 7).

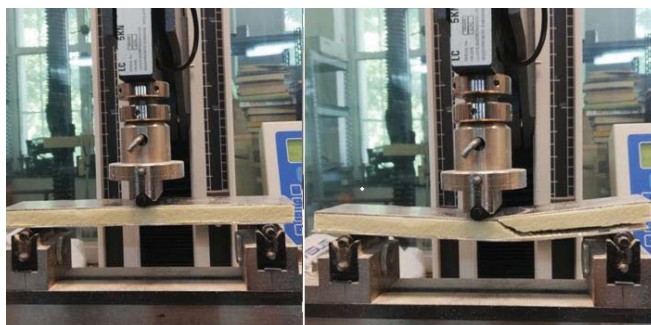


Fig. 5. Modul de cedare în cazul eșantionului de panou sandwich cu miez din spumă poliuretanică rigidă

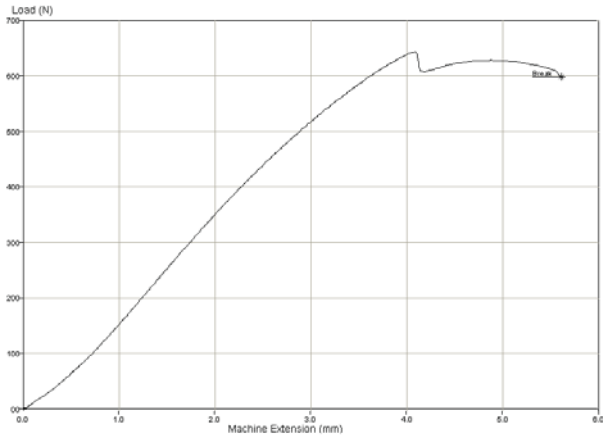


Fig. 6. Diagrama  $F-w$  pentru eșantionul de panou cu miez din spumă poliuretanică rigidă

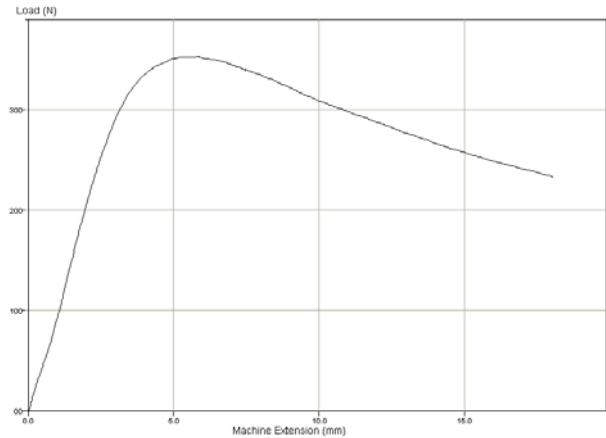


Fig. 7. Diagrama  $F-w$  pentru eșantionul de panou cu miez din polistiren extrudat

#### 4. Calcul analitic la încovoiere cilindrică pe baza modelului de bară

Acest calcul se bazează pe teoria de bară compozită cu fețe rezistente și miez de rigiditate relativ redusă. Schema de încărcare este prezentată în figura 1. Testul realizat conform acestei scheme este cunoscut sub titulatura de „încovoiere în trei puncte”. Se impune condiția ca distanța între reazeme  $l$  să fie mai mare decât de trei ori lățimea  $b$  a barei ( $l > 3b$ ). Sarcina totală aplicată este  $F = q \cdot b$ .

Comportamentul barei compozite se evaluează cu următoarele relații [1], [2]:

- Rigiditatea de încovoiere a barei

$$D = \frac{1}{2} \cdot E_f \cdot t_f \cdot h^2 \cdot b, \quad (2)$$

unde  $E_f$  este modulul de elasticitate longitudinal al materialului fețelor,  $t_f$  - grosimea feței,  $t_m$  - grosimea miezului,  $h = t_f + t_m$  - distanța între suprafețele mediane ale fețelor.

- Rigiditatea de forfecare a miezului

$$S = b \cdot h \cdot G_m, \quad (3)$$

în care  $G_m$  este modulul de forfecare al miezului din polistiren.

Săgeata maximă a barei compozite

$$w_{\max} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot D} + \frac{F \cdot l}{4 \cdot S}. \quad (4)$$

Primul termen este datorat încovoierii fețelor iar cel de-al doilea, forfecării miezului.

- Tensiunea maximă de încovoiere în fața barei compozite

$$\sigma_f = \frac{F \cdot l}{4 \cdot h \cdot t_f \cdot b}. \quad (5)$$

- Tensiunea de forfecare a miezului

$$\tau_m = \frac{F}{2 \cdot h \cdot b}. \quad (6)$$

Tensiunile calculate cu formulele (5) și (6) trebuie să nu depășească valorile admisibile corespunzătoare.

### Calculul eșantionului de panou sandwich cu miez din spumă poliuretanică rigidă

Valorile parametrilor de material:  $E_f = 68000$  MPa,  $E_m = 30,1$  MPa,  $\nu_f = 0,33$ ,  $\nu_m = 0,3$ ,  $G_m = 11,5$  MPa,  $\sigma_{r,m} \approx 1$  MPa,  $\sigma_{c,f} = 140$  MPa.

S-a considerat o sarcină  $F = 100$  N și următoarele valori pentru parametrii geometrici:  $l = 180$  mm,  $b = 50$  mm,  $t_f = 1$  mm,  $t_m = 11,8$  mm. Cu aceste date s-a calculat rigiditățile  $D = 2,785 \cdot 10^8$  N·mm<sup>2</sup>,

$$S = 7360 \text{ N, și săgeata maximă } w_{\max} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot D} + \frac{F \cdot l}{4 \cdot S} = 0,043 + 0,611 = 0,654 \text{ mm.}$$

Diagrama din figura 6 evidențiază, la aceeași încărcare, o valoare a deplasării de aproximativ 0,6 mm (cu 9% mai mică decât cea calculată).

Tensiunile maxime în fețe și în miez au valorile  $\sigma_f = 7,03$  MPa și  $\tau_m = 0,078$  MPa, sub cele maxime admisibile.

### Calculul eșantionului de panou sandwich cu miez din polistiren extrudat

Parametrii de material:  $E_f = 68000$  MPa,  $E_m = 12,3$  MPa,  $\nu_f = 0,33$ ,  $\nu_m = 0,2$ ,  $G_m = 5,12$  MPa,  $\sigma_{r,m} = 0,42$  MPa,  $\sigma_{c,f} = 140$  MPa.

Încărcare cu forța  $F = 100$  N. Parametrii geometrici:  $l = 180$  mm,  $b = 50$  mm,  $t_f = 1$  mm,  $t_m = 19,5$  mm. Valorile rigidităților:  $D = 7,144 \cdot 10^8$  N·mm<sup>2</sup>,  $S = 5253$  N,

$$\text{și săgeata maximă } w_{\max} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot D} + \frac{F \cdot l}{4 \cdot S} = 0,017 + 0,856 = 0,873 \text{ mm.}$$

Diagrama din figura 7 evidențiază, la aceeași încărcare, o valoare a deplasării de aproximativ 0,95 mm (cu 8% mai mare decât cea calculată).

Valorile tensiunilor maxime în fețe și în miez au fost  $\sigma_f = 4,39$  MPa și  $\tau_m = 0,048$  MPa, sub cele maxime admisibile.

## CONCLUZII

În activitatea proiectanților de structuri de rezistență apare frecvent situația când nu se pot satisface la nivelul maxim toate cerințele de performanță tehnică.

Plăcile sandwich sunt structuri avansate care întrunesc cerințe severe: masa specifică redusă, rezistență și rigiditate ridicate, cost redus.

În lucrare, pe baza unor teste de încovoiere, a fost validată o metodologie simplă de predimensionare. Relațiile de calcul pot fi utilizate și pentru optimizare structurală, de exemplu, pentru stabilirea grosimilor adecvate pentru fețe și miez dacă sunt cunoscute caracteristicile materialelor și sarcina impusă.

## BIBLIOGRAFIE

- [1]. Allen H.G. (1969), *Analysis and design of structural sandwich panels*, Pergamon Press, Oxford
- [2]. ASTM C 393-00, *Standard test method for flexural properties of sandwich constructions*