

UNIVERSITATEA TRANSILVANIA DIN BRASOV
FACULTATEA DE INGINERIE MECANICĂ
Departament: INGINERIE MECANICĂ



MODELAREA, TESTAREA ȘI OPTIMIZAREA STRUCTURILOR DIN MATERIALE COMPOZITE RANFORSATE CU ȚESĂTURI ȘI FIBRE NATURALE

Conf.dr.ing. Camelia CERBU,

Universitatea Transilvania din Brașov
Facultatea de Ingineria Mecanică
Departament: INGINERIE MECANICĂ

Introducere

- **Teza de abilitare** prezintă realizările științifice și profesionale ale autoarei în **perioada 2006-2015**, după finalizarea tezei de doctorat.
- **17 decembrie 2005: Teza de doctorat** “*Cercetări privind optimizarea structurală a unor piese din materiale compozite solificate mecanic în condiții de mediu agresiv*”
 - elaborată sub coordonarea științifică a d-lui *prof.dr.ing.dr.h.c. Ioan CURTU*
 - susținută public la *Universitatea Transilvania din Brașov*.
- **iunie 2006: Titlul științific de doctor** în domeniul **Inginerie Mecanică** (domeniul fundamental *Științe Inginerești*), cu *Diploma de doctor nr. 1476 / 2.06.2006*

CUPRINS:

(A) Rezumat

(B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

(B-i) Realizări științifice și profesionale

Capitolul 1: *Modelarea, testarea și optimizarea structurilor din materiale compozite ranforsate cu țesături din fibre de in*

Capitolul 2: *Cercetări experimentale privind comportarea mecanică a materialelor compozite ranforsate cu țesături din sticlă și fibre de lemn*

Capitolul 3: *Efectul tipului de fibre de lemn asupra coeficientului de contracție transversală în cazul materialelor compozite hibride de tipul sticlă-E / făină de lemn / epoxi*

Capitolul 4: *Cercetări privind stările de tensiuni și deformații în cazul componentei șezut-spătar de scaun fabricată din material compozit sticlă / făină de lemn / epoxi*

(B-ii) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

1. *Elemente de succes în cariera profesională*
2. *Planuri de dezvoltare a carierei*

Motivația alegerii temelor de cercetare

- **tendențele actuale** manifestate în toate domeniile industriale de a găsi soluții **de utilizare a surselor naturale de materii prime ieftine și ușor regenerabile** (fibre textile vegetale, deșeuri agricole);
- **necesitatea de proiectare a unor structuri optime din materiale compozite ranforsate hibrid cu țesături din fibre de sticlă și cu țesături din fibre naturale**, în ceea ce privește **modul de dispunere sau alternare a straturilor** ranforsate cu materiale diferite, în scopul îmbunătățirii caracteristicilor mecanice;
- **necesitatea de modelare și simulare a comportării mecanice a structurilor din materiale compozite ranforsate hibrid cu țesături din fibre de sticlă și din fibre naturale**;
- **testarea experimentală** a structurilor din materiale compozite în scopul validării modelelor teoretice;
- **necesitatea estimării duratei de viață a materialelor compozite** prin cercetări legate de: **efectele condițiilor de mediu asupra proprietăților elastice și mecanice; modul de variație a proprietăților (în general, degradare)** după menținere pe termen mai lung în astfel de medii;
- **necesitatea explicării mecanismelor de degradare a materialului compozit** care cauzează reducerea proprietăților în cazul materialelor compozite ranforsate hibrid cu țesături de sticlă și făină de lemn.

(B-i) Realizări științifice și profesionale

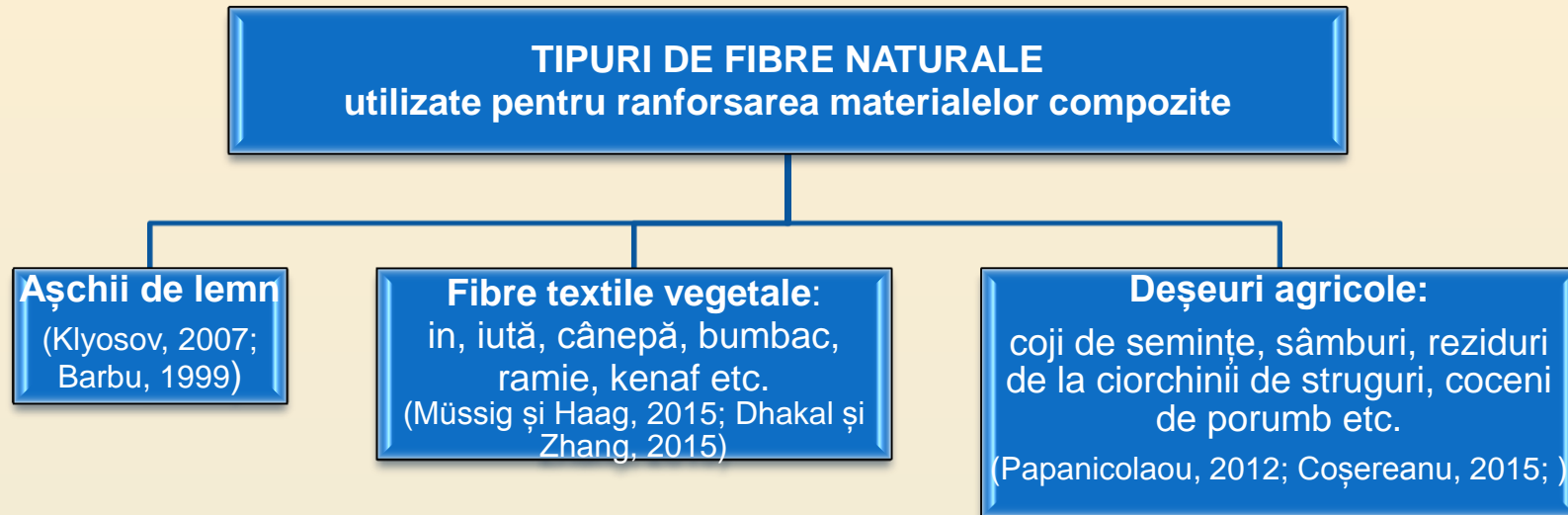
Capitolul 1:

Modelarea, testarea și optimizarea structurilor din materiale compozite ranforsate cu țesături din fibre de in

Probleme tratate în Capitolul 1

- 1.1. Generalități privind materialele compozite ranforsate cu fibre naturale**
- 1.2. Materiale testate și metoda de lucru**
- 1.3. Abordări teoretice**
 - 1.3.1. Teoria de grindă din material compozit stratificat
 - 1.3.2. Cazuri particulare
 - 1.3.3. Analiza cu metoda elementelor finite
- 1.4. Rezultate și discuții**
 - 1.4.1. Rezultate experimentale
 - 1.4.2. Rezultate obținute cu modelul analitic
 - 1.4.3. Rezultate obținute prin modelarea cu elemente finite
- 1.5. Comparația rezultatelor**
 - 1.5.1. Comparația între rezultatele obținute cu modelul analitic și cele obținute cu FEA
 - 1.5.2. Comparația între rezultatele experimentale și cele obținute cu modelul analitic
 - 1.5.3. Comparația între rezultatele experimentale și cele obținute cu modelul FEA
- 1.6. Concluzii**

1.1. Generalități privind materialele compozite ranforsate cu fibre naturale



Scurt istoric al materialelor compozite ranforsate cu în

- **Piramida Dahshur** situată la 40 km de Cairo - s-au descoperit fire de în în cărămizile utilizate pentru construcție (Müssig și Haag, 2015).
- **Primele materiale compozite cu fibre textile vegetale** au fost **panourile din așchii de lemn presate la cald**, cu inserții textile (în, iută, cânepă, ramie etc.) în scopul îmbunătățirii proprietăților mecanice: rezistența la încovoiere crește până la 50% iar modulul de elasticitate E la încovoiere crește cu 18÷50% (Barbu, 1999).

Producția mondială de fibre textile

- **2001-2011: s-au recoltat 4.275.049 ha de culturi de in la nivel mondial, (Müssig și Haag, 2015)**

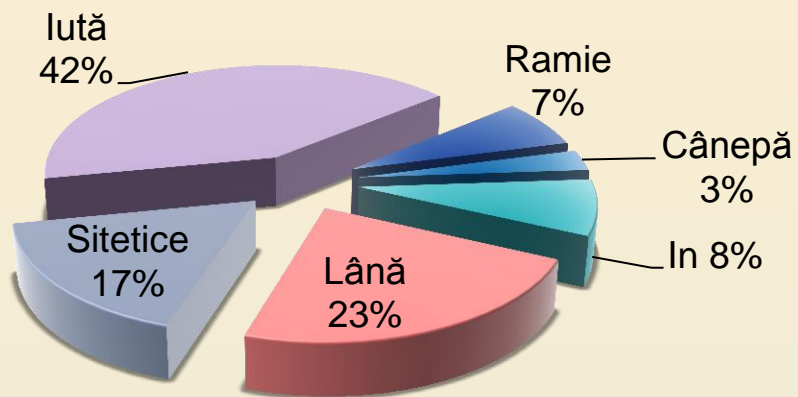
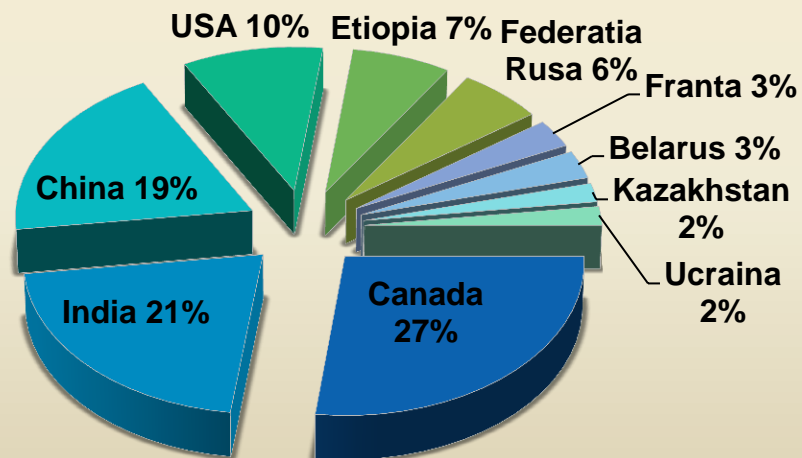


Fig. 1.1. Producția mondială de fibre textile (Barbu, 1999)

Proporția culturilor de in pe principalele țări cultivatoare (Müssig și Haag, 2015)



Cap. 1.1

Avantaje ale utilizării fibrelor textile vegetale ca materiale de ranforsare pentru materialele compozite

- reprezintă sursă ușor regenerabilă de materie primă utilizată pentru ranforsarea materialelor compozite (Carus, 2011);
- sunt mai ieftine în comparație cu fibrele de armare anorganice: prețul de cost al fibrelor lungi de in pe unitatea de kg, este mai mic de 2,14 ori, de 10,71 ori și de 14,28 ori decât cel corespunzător fibrelor de sticlă, fibrelor de aramidă și respectiv, fibrelor de bor) (Barbu, 1999);
- asigură greutate redusă acestor compozite datorită densităților lor reduse în comparație cu fibrele clasice (Tabelul 1.1);
- coeficientul de absorbție al undelor sonore, determinat pt. materialul compozit de tip in / Araldide este cu 21,42% mai mare decât cel corespunzător materialului compozit sticlă-E / Araldide (Prabhakaran et al., 2014).

Tabelul 1.1.
Valorile densităților fibrelor naturale uzuale și cele corespunzătoare fibrelor clasice utilizate pentru ranforsarea materialelor compozite

Tipul fibrelor	Densitate ρ (kg/dm ³)	Referințe bibliografice
Fibre de in	1,4-1,52	(Müssig și Haag, 2015; Müssig, 2010)
Fibre de cânepă	1,4-1,6	(Dhokal și Zhang, 2015)
Fibre de iută	1,3-1,5	(Müssig și Haag, 2015; Müssig, 2010)
Fibre de bumbac	1,5-1,6	(Müssig și Haag, 2015; Müssig, 2010)
Fibre de sticlă	2,16-2,54	(Alămoreanu și Chiriță, 1997)
Fibre de carbon	1,74-1,96	(Alămoreanu și Chiriță, 1997; Soler, 2014)
Fibre de Kevlar	1,45-1,47	(Soler, 2014)
Fibre de bor	2,7	(Soler, 2014)
Fibre de bananier	1,35	(Dhokal și Zhang, 2015)
Lemn		(Curtu și Ghelmeziu, 1984)
Brad	0,374	
Molid	0,4	
Stejar	0,7	
Fag	0,618	
Nuc	0,6	

Dezavantaje majore ale fibrelor vegetale în comparație cu fibrele anorganice (fibre de sticlă, de carbon, de kevlar)

- **Absorb o cantitate mai mare de umiditate în medii umede și se degradează în astfel de medii (Dhakal și Zhang, 2015; Klyosov, 2007; Assarar et al., 2011; Yan et al., 2015):**
 - ***Apa absorbită (13,5% din masă) până la saturație de către materialul **compozit in / epoxi a fost de 12,85 ori mai mare** decât cantitatea de apă absorbită de către materialul **compozit sticlă / epoxi (1,05% din masă) (Assarar et al., 2011).*****
- **Proprietățile mecanice ale fibrelor vegetale se reduc sub acțiunea ciclurilor de îmbătrânire (raze ultraviolete + apă):**
 - ***reducerea cu 29,9% și cu 34,9% a rezistenței la tracțiune și respectiv, a modulului de elasticitate longitudinal E la tracțiune în cazul materialelor compozite din in/epoxi după 1500 ore prin cicluri de îmbătrânire (expunere la raze ultraviolete la 60°C și pulverizare cu apă) (Yan et al., 2015);***
 - ***scăderea cu 10% în cazul modulului de elasticitate E la încovoiere; cu 10,2% în cazul rezistenței la încovoiere (Yan et al., 2015).***

Stadiul actual al cercetărilor privind comportarea mecanică și aplicațiile materialelor compozite cu țesături din fibre de in

- **Modulul de elasticitate E la tracțiune** determinat pentru **materialul compozit in / epoxi** a fost **mai mare cu 152,49%, cu 102,35%, cu 182,35%** decât valorile corespunzătoare materialelor **compozite ranforsate cu fibre de iută, fibre de sisal și respectiv, cu fibre de cânepă** (Codispoti et al., 2013).
- Căi de a **creștere a proprietăților mecanice** ale materialelor compozite ranforsate cu fibre de in **prin îmbunătățirea legăturii la interfața fibre-matrice**:
 - **tratamentul chimic cu NaOH** aplicat asupra fibrelor din in înainte de fabricarea compozitului, urmată de uscarea acestora (Xue și Hu, 2013);
 - interfața dintre fibrele de in și matricea polimerică poate fi îmbunătățită prin **tratamente chimice aplicate matricei**, cu anhidridă maleică, vinil-trimetoxi silan, anhidridă maleică - copolimer polipropilenă (Arbelaiz et al., 2005).
- **Studii comparative între comportarea mecanică a structurilor din materiale compozite ranforsate cu fibre de in și cele ranforsate cu fibre de sticlă**:
 - **pala de rotor de la o turbină eoliană de 11kW**, având lungimea de 3,5 m, fabricată din **material compozit in / poliester** a fost cu 10% mai ușoară decât pala din **sticlă E / poliester** dar a fost mai puțin rigidă (Shah et al., 2013);
 - **tensiunea limită la tracțiune σ_t , modulul de elasticitate E la tracțiune și tensiunea limită la compresiune σ_c** , ale compozitului sticlă / epoxi, **sunt mai mari cu 123,53%, cu 50,03%** și respectiv **cu 76%** decât valorile corespunzătoare determinate pentru materialul compozit de tipul in / epoxi (Liang et al., 2015).

Motivația alegerii temei de cercetare din Capitolul 1:

- **Caracteristicile mecanice ale fibrelor de in sunt mai bune comparativ cu majoritatea fibrelor naturale – Tabel 1.2.**

Tabelul 1.2.

Valorile proprietăților de încovoiere ale fibrelor naturale uzuale și cele corespunzătoare fibrelor clasice utilizate pentru ranforsarea materialelor compozite

Tipul fibrelor	Rezistența la tracțiune σ_t (MPa)	Modulul de elasticitate E la tracțiune (MPa)	Referințe bibliografice
Fibre de sticlă de tip E	2000÷3550	70000÷73000	(Barbu, 1999; Alămoreanu și Chiriță, 1997)
Fibre de in	700÷1100	40000÷70000	(Müssig și Haag, 2015; Barbu, 1999)
Fibrele de cânepă	690÷800	30000÷70000	(Dhakar și Zhang, 2015; Müssig și Haag, 2015)
Fibre de iută	320÷500	30000÷37000	(Müssig și Haag, 2015; Barbu, 1999)
Fibrele de bumbac	450	8000	(Müssig și Haag, 2015)

- **Literatura de specialitate este săracă în rezultate privind testarea mecanică și modelarea comportării mecanice a structurilor din materiale compozite ranforsate hibrid cu țesături din fibre de in și fibre de sticlă.**
- **Necesitatea de a cuantifica efectul modului de dispunere sau alternare a straturilor ranforsate cu materiale diferite (fibre de in și fibre de sticlă), în scopul proiectării unor structuri optime de materiale compozite in /sticla / epoxi..**

Obiective stabilite pentru cercetările prezentate în Capitolul 1:

- **Propunerea unor soluții hibride de materiale compozite ranforsate atât cu țesătură de in cât și cu țesătură de sticlă** care să combine avantajele fibrelor de in cu cele ale fibrelor de sticlă.
- **Testarea experimentală** (tracțiune, încovoiere) și **comparația rezultatelor** în cazul materialelor compozite de tipul **In / epoxi** și **Sticlă / in / epoxi**.
- **Modelarea teoretică** (model analitic și model cu elemente finite) a **grinzilor stratificate solificate la încovoiere din materiale compozite de tipul In / epoxi și Sticlă / in / epoxi**.
- **Comparația rezultatelor obținute prin modelare teoretică (analitic, FEA) cu rezultatele obținute experimental** în ceea ce privește modulul de elasticitate echivalent al stratificatului.
- **Proiectarea structurii materialului compozit Sticlă / in / epoxi în ceea ce privește modul de dispunere a straturilor, în vederea obținerii unor caracteristici superioare de rezistență și rigiditate pentru grinda în scopul parcurgerii pașilor esențiali în stabilirea criteriilor de optimizare.**
- **Comparația rezultatelor experimentale cu rezultate publicate în literatura de specialitate**, obținute pentru structuri similare de materiale compozite stratificate.

Cap. 1.2

1.2. Materiale testate și metoda de lucru

Fig. 1.2. Structura materialelor compozite testate:
a. Material compozit in / epoxi;
b. Compozit *Hibrid 1* sticlă / in / epoxi

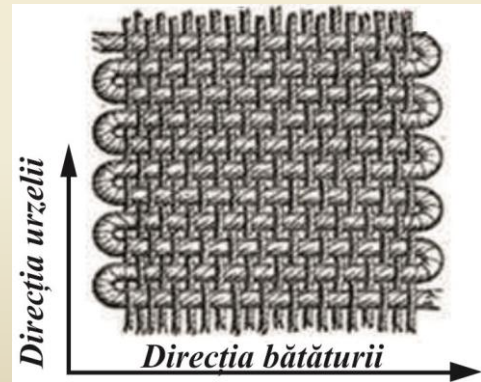
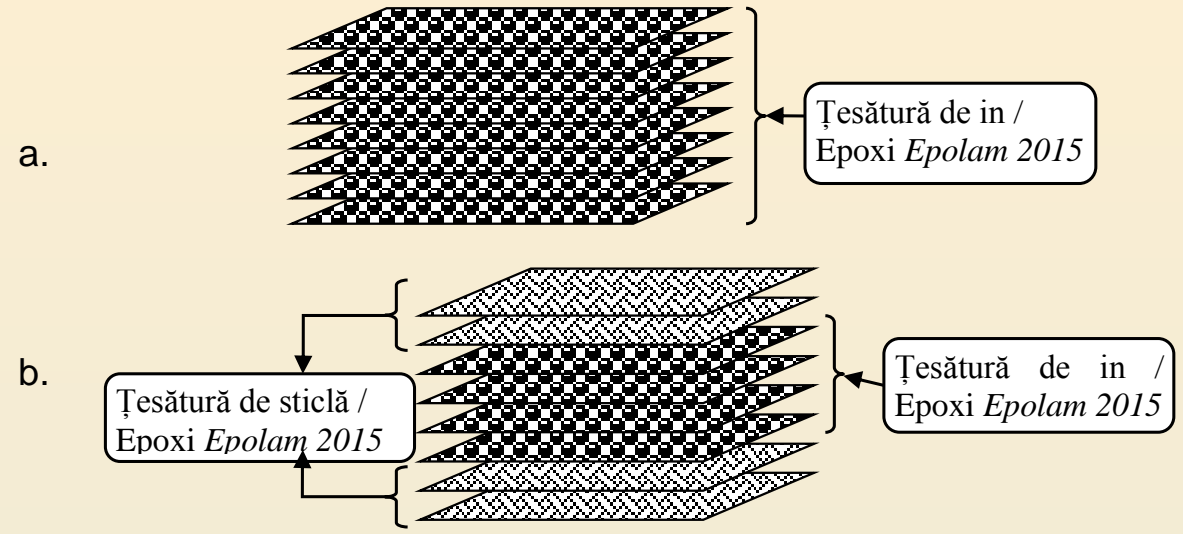


Fig. 1.3. Direcțiile țesăturii plane bidirecționale (Cristaldi et al., 2010)

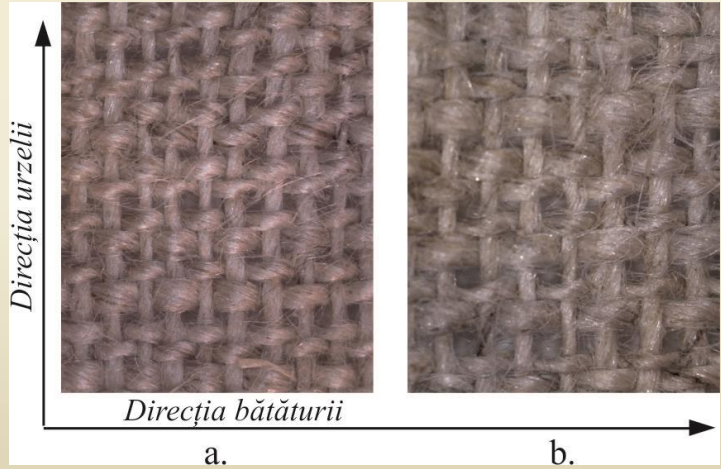


Fig. 1.4. Fotografiile achiziționate cu microscopul ale țesăturii de in utilizată ca material de ranforsare:
a. Zoom 100x; b. Zoom 150x

Cap. 1.2

Pregătirea epruvetelor și testarea mecanică

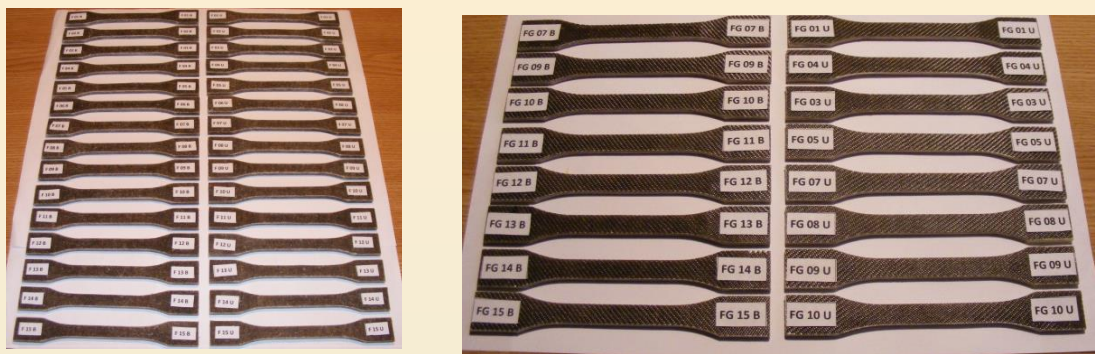
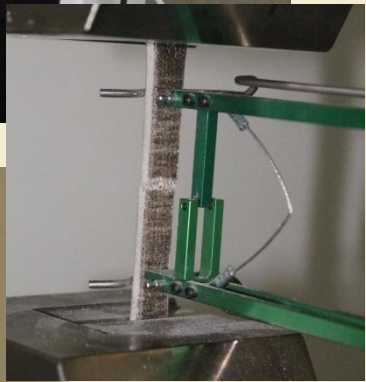
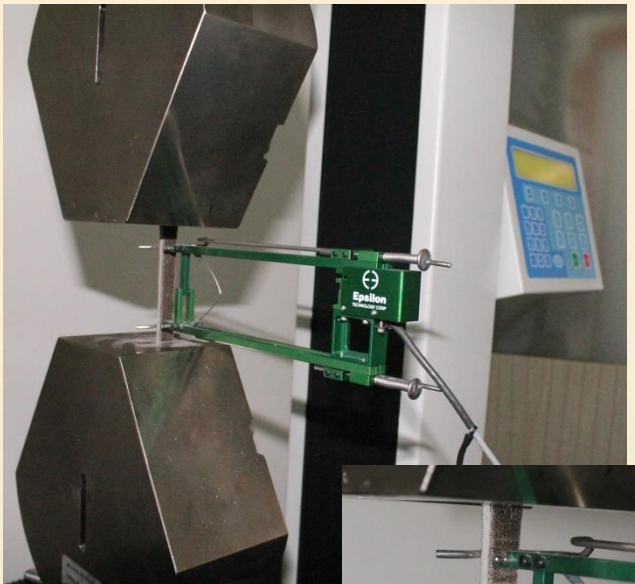


Fig. 1.5. Epruvetele pentru încercarea de tracțiune fabricate din material compozit:
a. In / rășină epoxi; b. Sticlă-E / in / rășină epoxi (SR EN ISO 527-4, 2000)



Fig. 1.6. Epruvete pentru încercarea de încovoiere fabricate din material compozit:
In / rășină epoxi; b. Sticlă-E / in / rășină epoxi (SR EN ISO 14125, 2000)



1.3. Abordări teoretice

Elementul de placă din material compozit stratificat solicitat la încovoiere
(Barbero, 1998; Hadăr, 2002; Alămoreanu și Constantinescu, 2005; Berthelot, 2007 etc.)

Ecuția constitutivă a elementului de placă din material compozit stratificat

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} & B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} & B_{16} & B_{26} & B_{66} \\ B_{11} & B_{12} & B_{16} & D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} & D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} & D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \\ \kappa_x^0 \\ \kappa_y^0 \\ \kappa_{xy}^0 \end{Bmatrix}, \tag{1.1}$$

Material compozit stratificat **simetric special ortotrop** (Fig. 1.7) care nu este solicitat în planul suprafeței mediane ($N_x=N_y=N_{xy}=0$) și care este solicitat doar la încovoiere ($M_x \neq 0; M_y \neq 0$) și torsiune ($M_{xy} \neq 0$):

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 \\ D_{12} & D_{22} & 0 \\ 0 & 0 & D_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \kappa_x^0 \\ \kappa_y^0 \\ \kappa_{xy}^0 \end{Bmatrix} \tag{1.2}$$

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3), \quad i, j = 1, 2, 6;$$

$$[\bar{Q}]_k = [Q]_k = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_1}{\Delta} & \frac{\nu_{12}E_2}{\Delta} & 0 \\ \frac{\nu_{12}E_2}{\Delta} & \frac{E_2}{\Delta} & 0 \\ 0 & 0 & G_{12} \end{bmatrix}, \tag{1.6}$$

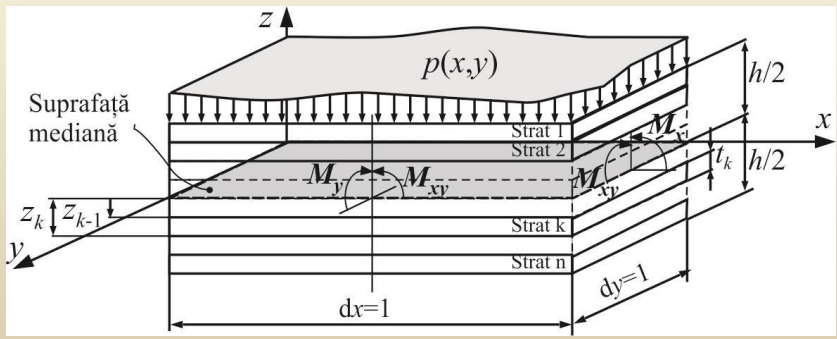


Fig. 1.7. Eforturile secționale care se dezvoltă la nivelul suprafeței mediane a elementului de placă

Cap. 1.3

1.3.1. Teoria de grindă din material compozit stratificat

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} + z \begin{Bmatrix} \kappa_x^0 \\ \kappa_y^0 \\ \kappa_{xy}^0 \end{Bmatrix} = z \begin{Bmatrix} \kappa_x^0 \\ \kappa_y^0 \\ \kappa_{xy}^0 \end{Bmatrix} \quad (1.9)$$

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \int_{-h/2}^{+h/2} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} \cdot z \, dz. \quad (1.10)$$

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (1.12)$$

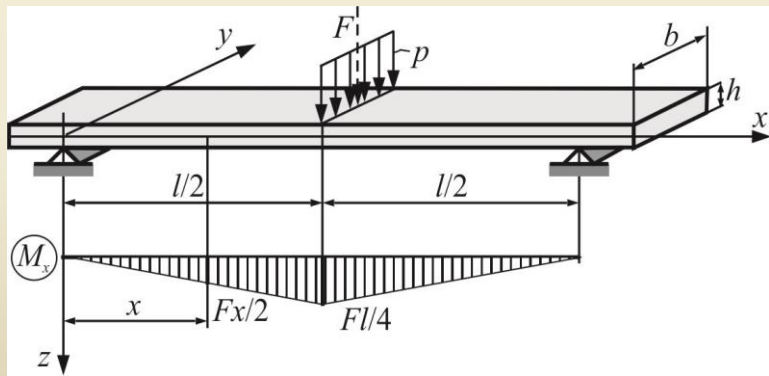
$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} &= \int_{-h/2}^{+h/2} \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot z \begin{Bmatrix} \kappa_x^0 \\ \kappa_y^0 \\ \kappa_{xy}^0 \end{Bmatrix} \cdot z \, dz = \\ &= \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} \kappa_x^0 \\ \kappa_y^0 \\ \kappa_{xy}^0 \end{Bmatrix} \left\{ \int_{-h/2}^{+h/2} z^2 \, dz = \frac{h^3}{12} \right\} \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} \kappa_x^0 \\ \kappa_y^0 \\ \kappa_{xy}^0 \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (1.13)$$

Cap. 1.3

$$\begin{Bmatrix} \kappa_x^0 \\ \kappa_y^0 \\ \kappa_{xy}^0 \end{Bmatrix} = \frac{12}{h^3} \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} \quad (1.14)$$

$$\begin{Bmatrix} \kappa_x^0 \\ \kappa_y^0 \\ \kappa_{xy}^0 \end{Bmatrix} = [D]^{-1} \begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & 0 \\ \delta_{12} & \delta_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \delta_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix}, \quad (1.8)$$

$$\left. \begin{aligned} E_{xi} &= \frac{12}{h^3 \delta_{11}} = \frac{12(D_{11}D_{22} - D_{12}^2)}{h^3 D_{22}}; \\ E_{yi} &= \frac{12}{h^3 \delta_{22}} = \frac{12(D_{11}D_{22} - D_{12}^2)}{h^3 D_{11}}; \\ G_{xyi} &= \frac{12}{h^3 \delta_{66}} = \frac{12D_{66}}{h^3}; \\ \nu_{xyi} &= -\frac{h^3 \delta_{12} E_{xi}}{12} = -\frac{\delta_{12}}{\delta_{11}} = \frac{D_{12}}{D_{22}}; \end{aligned} \right\} \quad (1.16)$$



$$M_y = 0; \quad M_{xy} = 0. \quad (1.17)$$

$$E_x = \frac{12}{h^3 \delta_{11}} = \frac{12(D_{11}D_{22} - D_{12}^2)}{h^3 D_{22}}. \quad (1.19)$$

$$w_{0 \max} = \frac{Fl^3}{48E_x I}, \quad (1.22)$$

Fig. 1.8. Grindă din material compozit solicitată la încovoiere prin metoda celor trei puncte

unde $F=b \cdot p$

Cap. 1.3

1.3.2. Cazuri particulare analizate

In / epoxi

Caracteristici:
 $[D']$; E'_x

Hibrid 1

Caracteristici:
 $[D'']$; E''_x

Hibrid 2

Caracteristici:
 $[D''']$; E'''_x

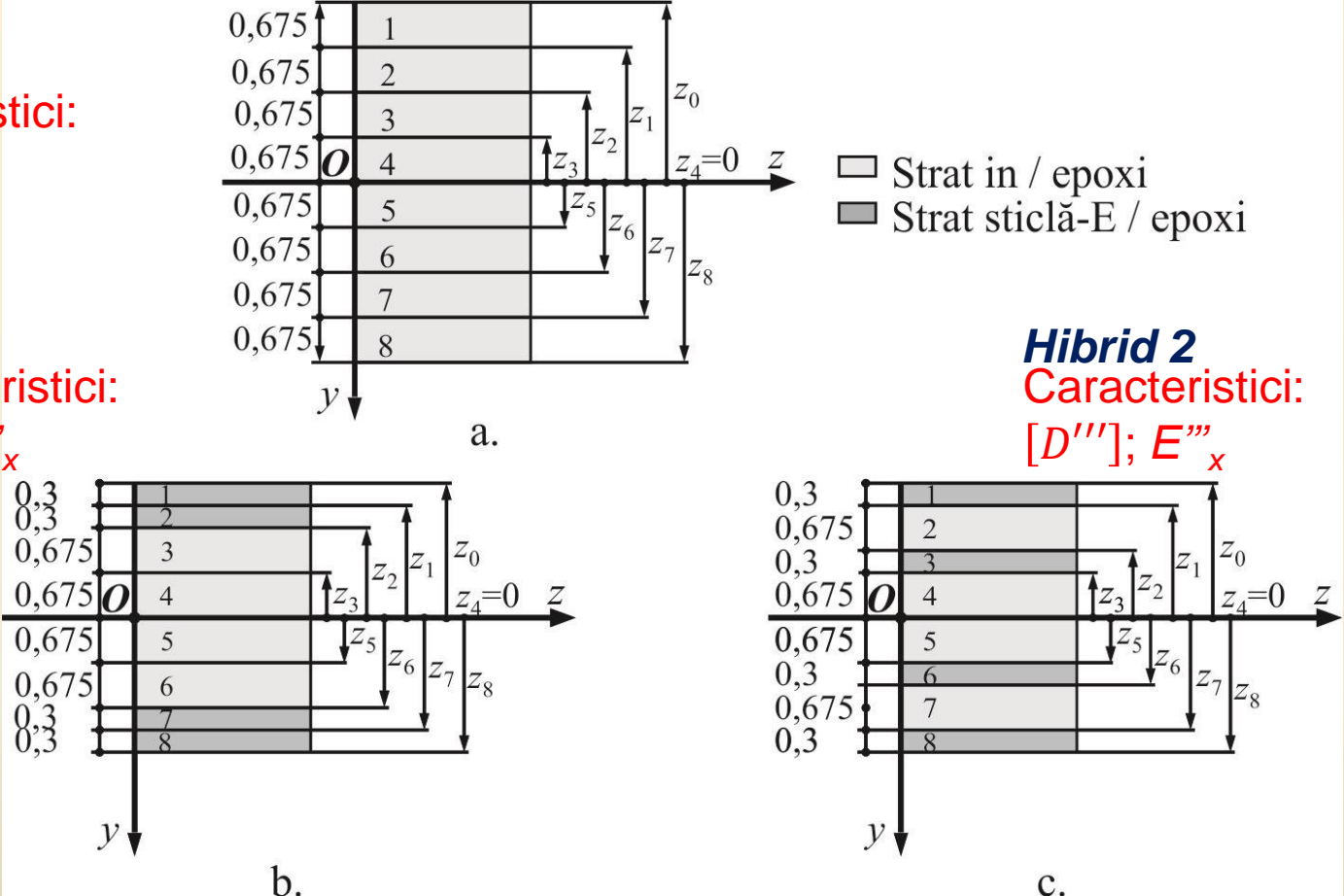


Fig. 1.9. Grosimea și coordonatele straturilor în cazul materialelor compozite analizate:
 material a. Compozit in / epoxi; b. Material compozit *Hibrid 1* sticlă-E / in / epoxi;
 c. Material compozit *Hibrid 2* sticlă-E / in / epoxi (cu straturi alternative)

□ Materialului compozit in / epoxi (Fig. 1.9,a)

$$\begin{aligned}
 D'_{11} = & \frac{1}{3} \sum_{k=1}^8 (\overline{Q_{11}})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) = \frac{1}{3} \overline{Q_{11}}' \left\{ (-2,025)^3 - (-2,7)^3 \right\} + \left[(-1,35)^3 - (-2,025)^3 \right] + \\
 & + \left[(-0,675)^3 - (-1,35)^3 \right] + \left[0^3 - (-0,675)^3 \right] + \left(0,675^3 - 0^3 \right) + \left(1,35^3 - 0,675^3 \right) + \\
 & + \left(2,025^3 - 1,35^3 \right) + \left(2,7^3 - 2,025^3 \right) \left. \right\} = 13,122 \overline{Q_{11}}'; \quad (1.23,a)
 \end{aligned}$$

$$D'_{22} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^8 (\overline{Q_{22}})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) = 13,122 \overline{Q_{22}}'; \quad (1.23,b)$$

$$D'_{12} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^8 (\overline{Q_{12}})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) = 13,122 \overline{Q_{12}}', \quad (1.23,c)$$

$$\begin{aligned}
 E'_x = & \frac{12(D'_{11}D'_{22} - D'^2_{12})}{h^3 D'_{22}} = \frac{12 \left[13,122^2 \overline{Q_{11}}' \cdot \overline{Q_{22}}' - \left(13,122 \overline{Q_{12}}' \right)^2 \right]}{5,4^3 \cdot 13,122 \overline{Q_{22}}'} = \\
 & = \frac{\overline{Q_{11}}' \cdot \overline{Q_{22}}' - \overline{Q_{12}}'^2}{\overline{Q_{22}}'}, \quad (1.24)
 \end{aligned}$$

□ Materialului compozit Hibrid 1 sticlă-E / in / epoxi (Fig. 1.9,b)

$$\begin{aligned}
 D_{11}'' &= \frac{1}{3} \sum_{k=1}^8 (\overline{Q_{11}})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) = \frac{1}{3} \left\{ \overline{Q_{11}}'' [(-1,65)^3 - (-1,95)^3] + \overline{Q_{11}}'' [(-1,35)^3 - (-1,65)^3] + \right. \\
 &+ \overline{Q_{11}}' [(-0,675)^3 - (-1,35)^3] + \overline{Q_{11}}' [0^3 - (-0,675)^3] + \overline{Q_{11}}' (0,675^3 - 0^3) + \\
 &+ \overline{Q_{11}}' (1,35^3 - 0,675^3) + \overline{Q_{11}}'' (1,65^3 - 1,35^3) + \overline{Q_{11}}'' (1,95^3 - 1,65^3) \left. \right\} = \\
 &= 3,303 \overline{Q_{11}}'' + 1,64025 \overline{Q_{11}}';
 \end{aligned} \tag{1.25,a}$$

$$D_{22}'' = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^8 (\overline{Q_{22}})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) = 3,303 \overline{Q_{22}}'' + 1,64025 \overline{Q_{22}}'; \tag{1.25,b}$$

$$D_{12}'' = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^8 (\overline{Q_{12}})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) = 3,303 \overline{Q_{12}}'' + 1,64025 \overline{Q_{12}}', \tag{1.25,c}$$

$$E_x'' = \frac{12 \left[\left(3,303 \overline{Q_{11}}'' + 1,64025 \overline{Q_{11}}' \right) \left(3,303 \overline{Q_{22}}'' + 1,64025 \overline{Q_{22}}' \right) - \left(3,303 \overline{Q_{12}}'' + 1,64025 \overline{Q_{12}}' \right)^2 \right]}{3,9^3 \cdot \left(3,303 \overline{Q_{22}}'' + 1,64025 \overline{Q_{22}}' \right)} \tag{1.26}$$

□ **Materialului compozit Hibrid 2 de tip sticlă-E / in / epoxi (Fig. 1.9,c)**

$$\begin{aligned}
 D_{11}'' &= \frac{1}{3} \sum_{k=1}^8 (\overline{Q_{11}})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) = \frac{1}{3} \left\{ \overline{Q_{11}}'' [(-1,65)^3 - (-1,95)^3] + \overline{Q_{11}}' [(-0,975)^3 - (-1,65)^3] + \right. \\
 &+ \overline{Q_{11}}'' [(-0,675)^3 - (-0,975)^3] + \overline{Q_{11}}' [0^3 - (-0,675)^3] + \overline{Q_{11}}' (0,675^3 - 0^3) + \\
 &+ \overline{Q_{11}}'' (0,975^3 - 0,675^3) + \overline{Q_{11}}' (1,65^3 - 0,975^3) + \overline{Q_{11}}'' (1,95^3 - 1,65^3) \left. \right\} = \\
 &= 2,361375 \overline{Q_{11}}'' + 2,581875 \overline{Q_{11}}';
 \end{aligned} \tag{1.27,a}$$

$$D_{22}''' = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^8 (\overline{Q_{22}})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) = 2,361375 \overline{Q_{22}}'' + 2,581875 \overline{Q_{22}}'; \tag{1.27,b}$$

$$D_{12}''' = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^8 (\overline{Q_{12}})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) = 2,361375 \overline{Q_{12}}'' + 2,581875 \overline{Q_{12}}'. \tag{1.27,c}$$

$$E_x''' = \frac{12 \left[\left(2,3614 \overline{Q_{11}}'' + 2,5819 \overline{Q_{11}}' \right) \left(2,3614 \overline{Q_{22}}'' + 2,5819 \overline{Q_{22}}' \right) - \left(2,3614 \overline{Q_{12}}'' + 2,5819 \overline{Q_{12}}' \right)^2 \right]}{3,9^3 \cdot \left(2,3614 \overline{Q_{22}}'' + 2,5819 \overline{Q_{22}}' \right)}, \tag{1.28}$$

Cap. 1.3

1.3.3. Analiza cu metoda elementelor finite

(Năstăsescu 1995, Ocha și Reddy 1992, Barbero 2008, Popa și Cerbu 2013)

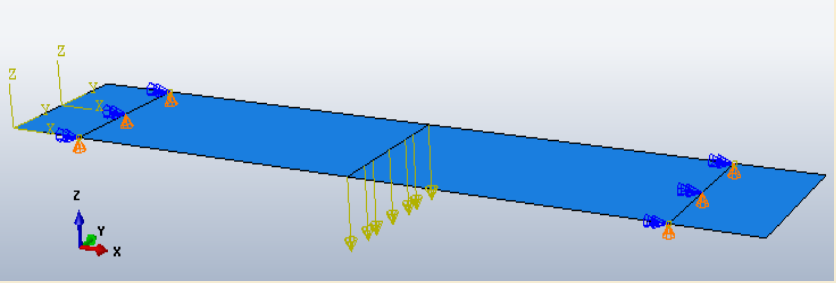


Fig. 1.10. Schema de încărcare

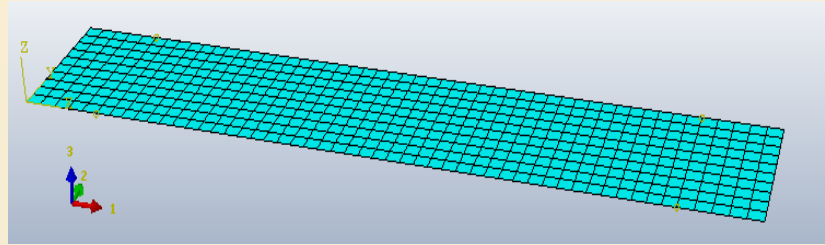
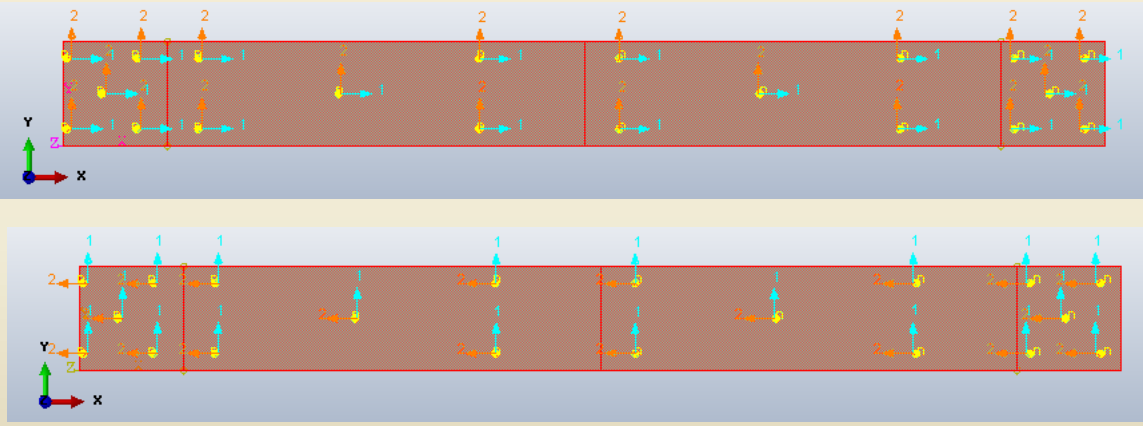


Fig. 1.11. Modelul cu elemente finite



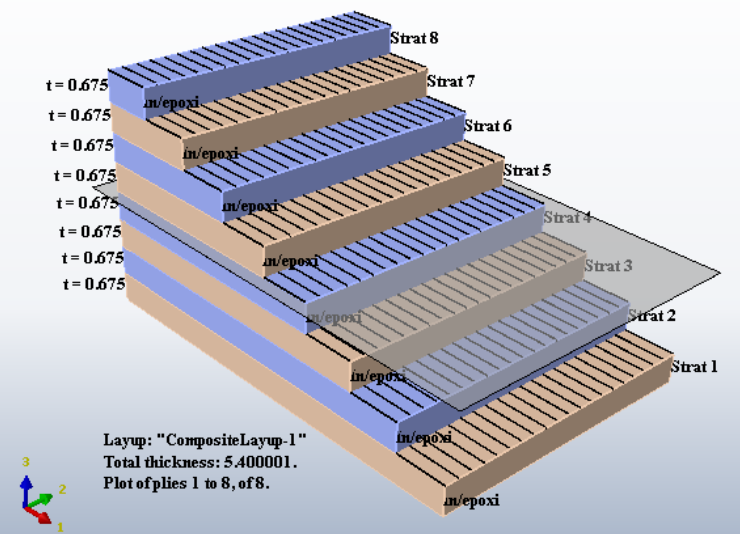
a.

b.

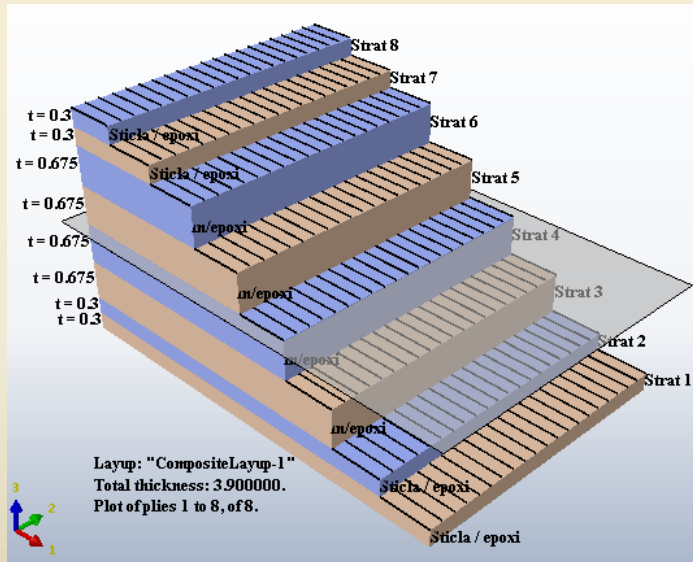
Axa 1 \equiv B
Axa 2 \equiv U

Fig. 1.12. Definirea sistemului de coordonate asociat materialului compozit stratificat
a. Axa 1 a materialului (direcția bătăturii) este paralelă cu direcția lungimii epruvetei; b. Axa 2 a materialului (direcția urzelii) este paralelă cu direcția lungimii epruvetei

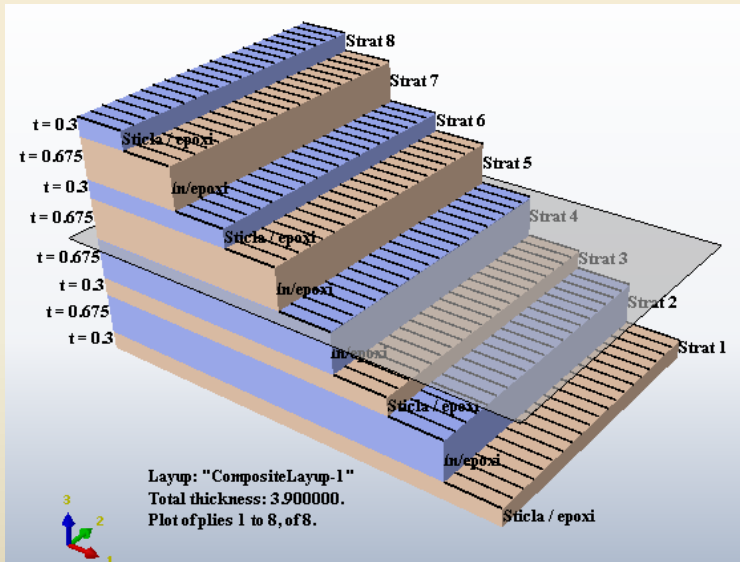
Cap. 1.3



a.



b.



c.

Fig. 1.16. Modelarea materialelor compozite stratificate analizate cu elemente finite în cazul:
 a. In /epoxi; b. *Hibrid 1* sticlă / in / epoxi; c. *Hibrid 2* sticlă / in / epoxi

1.4. Rezultate și discuții

1.4.1. Rezultate experimentale

Încercarea la tracțiune

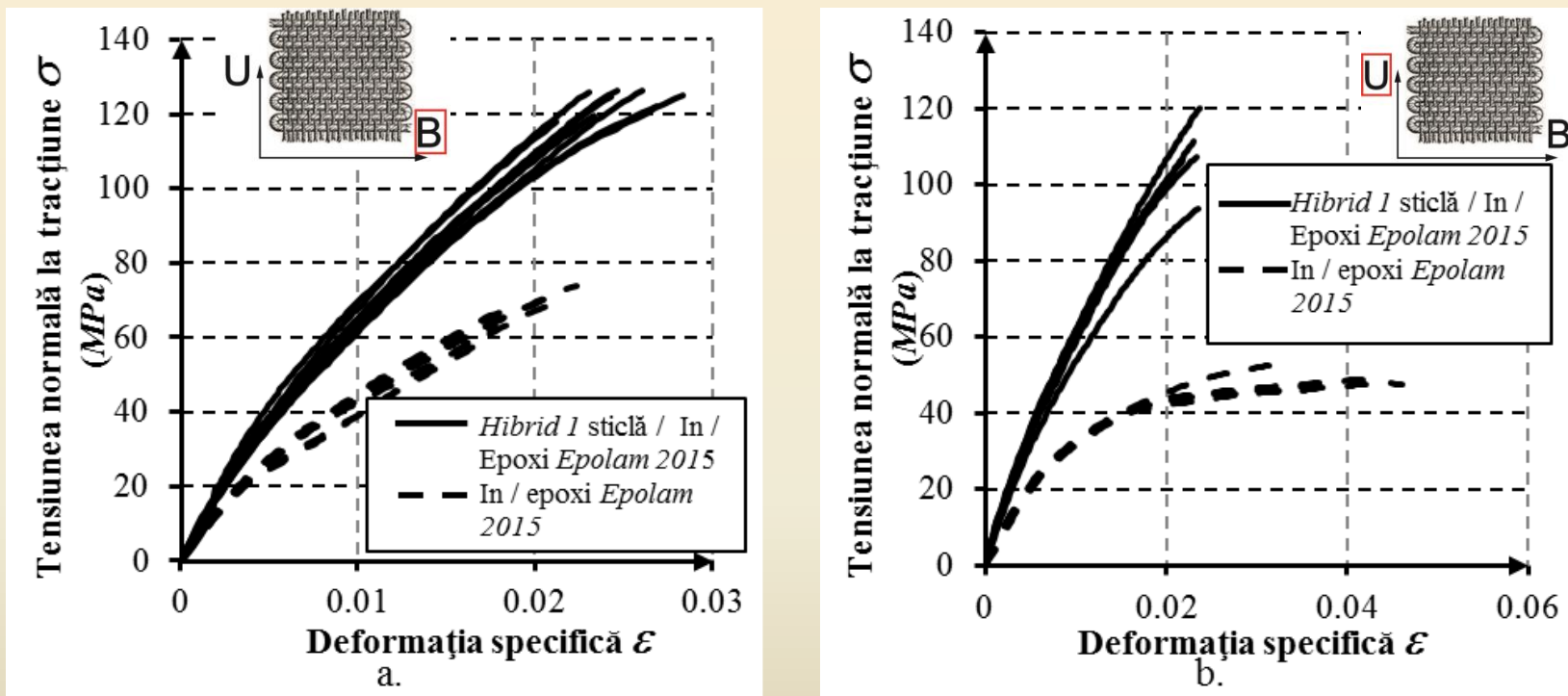
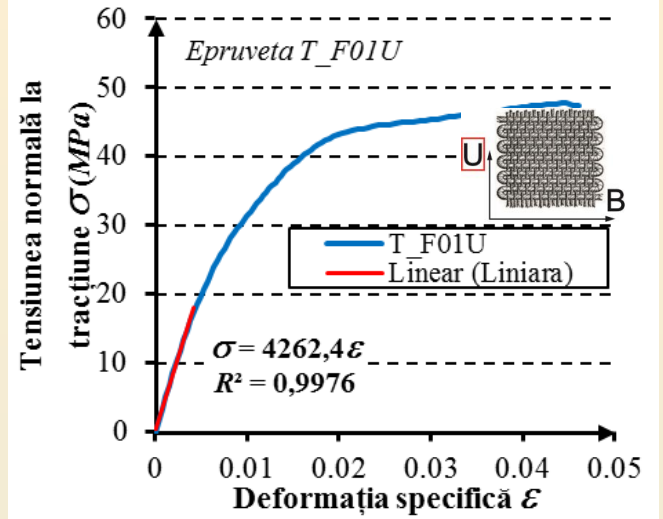
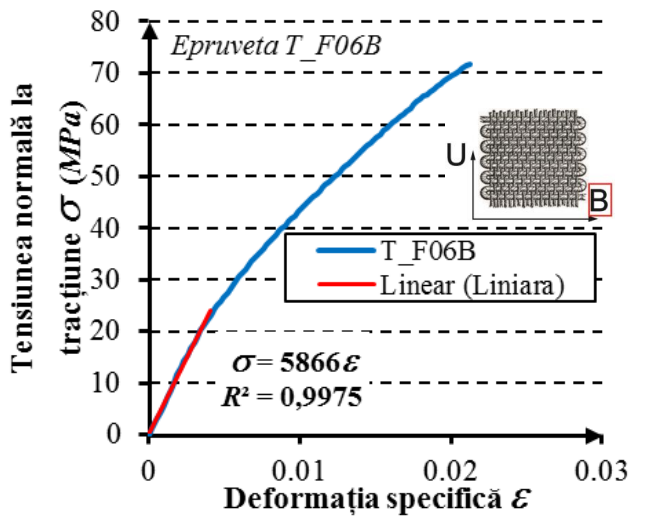


Fig. 1.17. Curbele tensiune-deformație determinate în cazul solicitării de tracțiune în:
a. Direcția bătăturii țesăturii de in; b. Direcția urzelii țesăturii de in

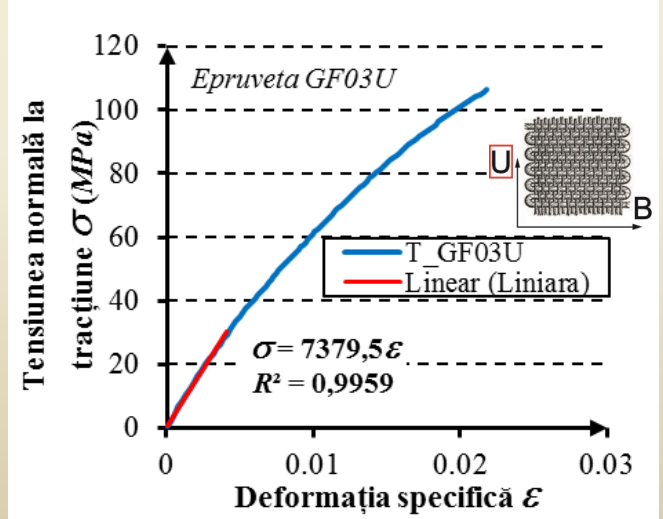
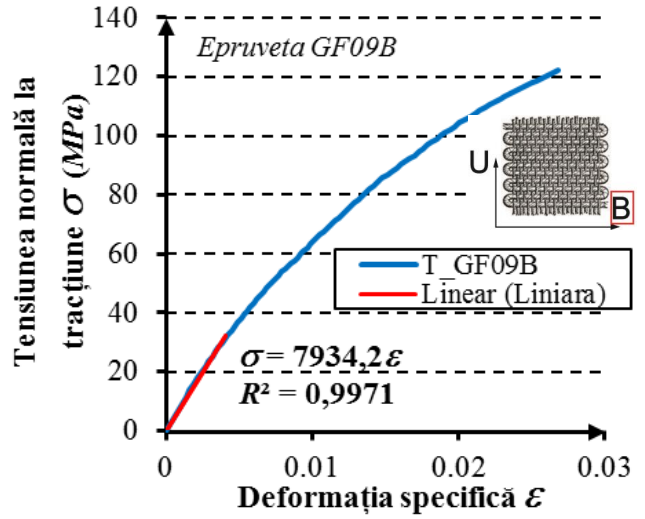
Cap. 1.4

1.4.1. Rezultate experimentale

□ **Materialul compozit in / epoxi**



□ **Materialul compozit Hibrid 1 sticlă-E / in / epoxi**



Încercarea la tracțiune

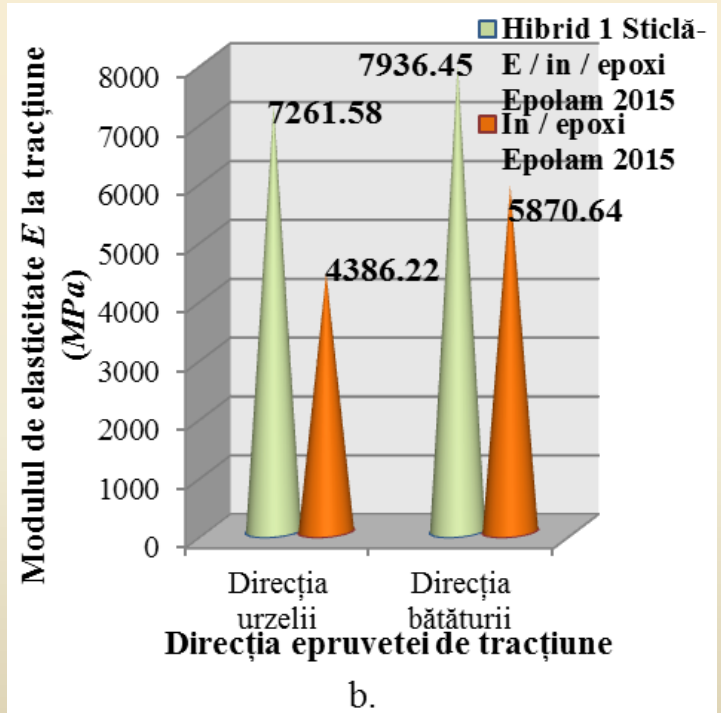
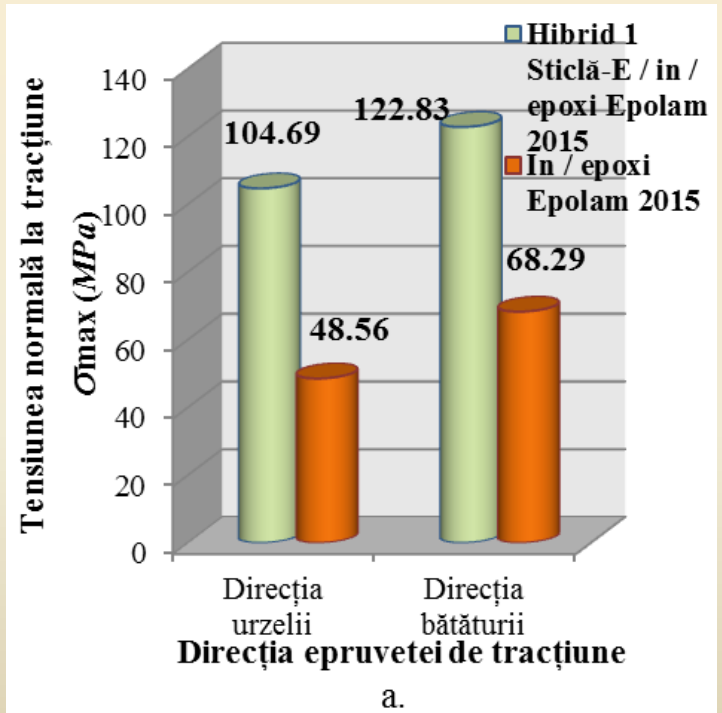
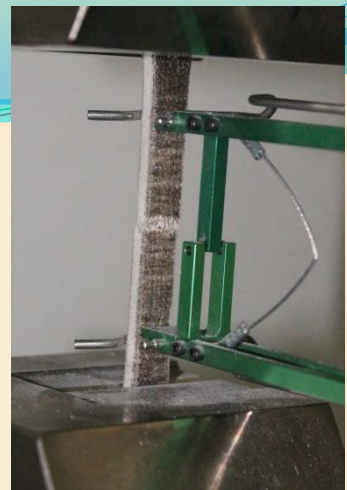


Fig. 1.22. Comparația proprietăților de tracțiune în cazul materialelor compozite testate: a. Tensiunea normală maximă ; b. Modulul de elasticitate E

Încercarea la încovoiere

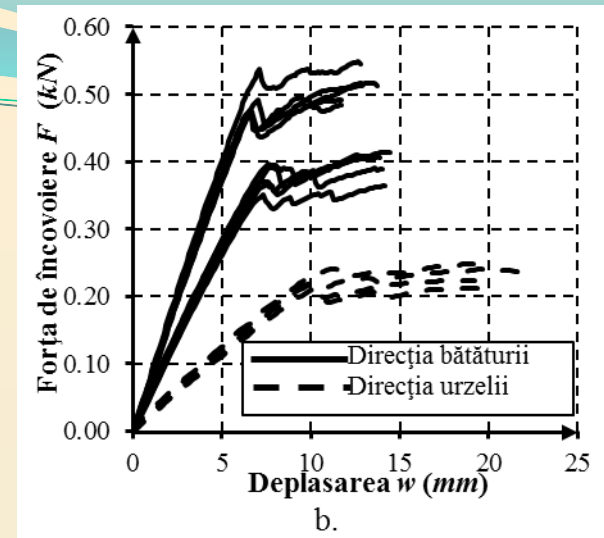
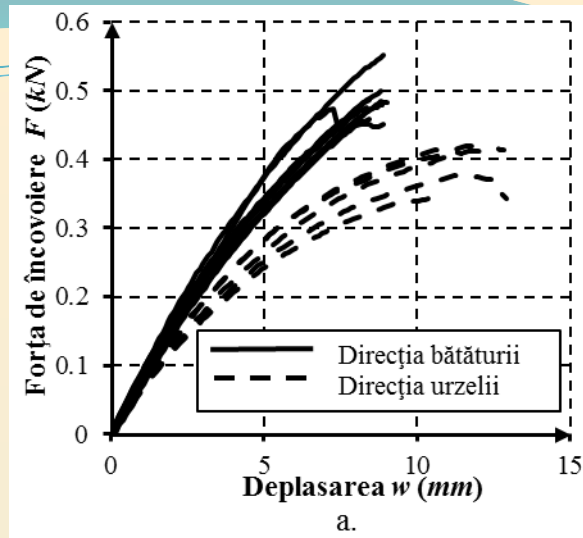
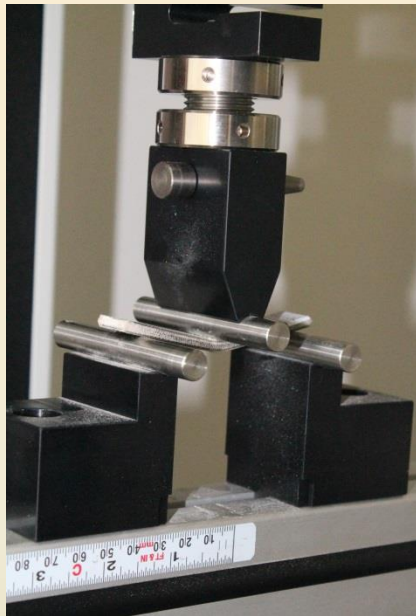


Fig. 1.23. Curbele forță – deplasare înregistrate în cazul: Materialului compozit *in / epoxi*; b. Materialului compozit *Hibrid 1 sticlă-E / in / epoxi*

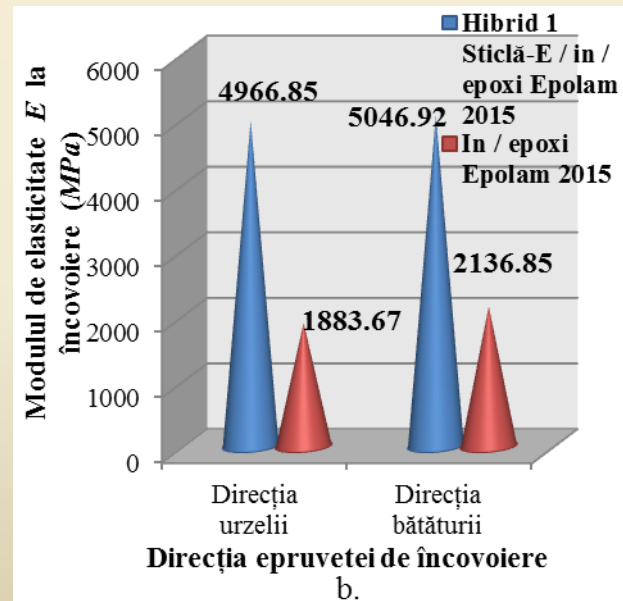
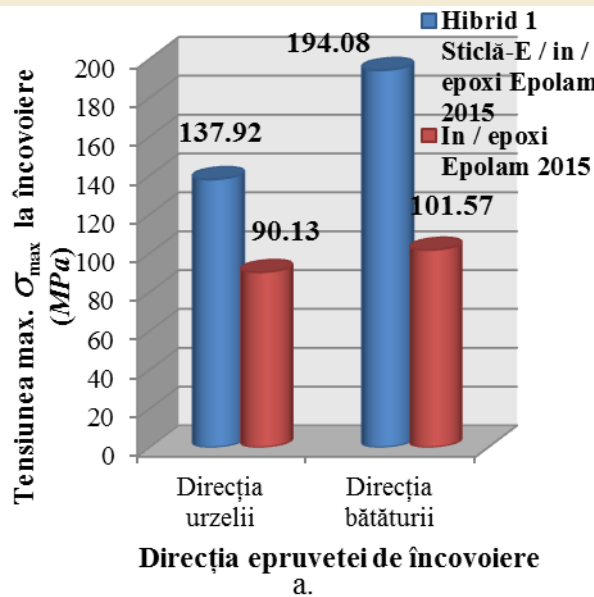


Fig. 1.24. Comparația proprietăților determinate prin încercarea de încovoiere în cazul materialelor compozite testate: a. Tensiunea normală max. ; b. Modulul de elasticitate E

Cap. 1.4

1.4.2. Rezultate obținute cu modelul analitic

Tabelul 1.5

Proprietățile elastice ale straturilor și componentele matricelor $[Q]$ corespunzătoare fiecărui strat în coordonate de material cu axa l paralelă cu direcția bătăturii sau cu direcția urzelii

Tip strat	Direcția	E_1	E_2	ν_{12}	ν_{21}	Δ	\bar{Q}_{11}	\bar{Q}_{12}	\bar{Q}_{22}
Strat in / epoxi	Bătătură	2136,85	1883,67	0,337	0,297	0,9	2374,278	705,330	2092,967
	Urzeală	1883,67	2136,85	0,297	0,337	0,9	2092,967	705,161	2374,278
Strat sticlă / epoxi	Bătătură sau urzeală	6155	6155	0,15	0,15	0,9775	6296,6752	944,5013	6296,6752

Tabelul 1.6

Componentele matricei de rigiditate de încovoiere $[D]$ corespunzătoare materialelor compozite testate la încovoiere, pe direcția bătăturii și respectiv, pe direcția urzelii de in

Tipul materialului compozit	Direcția eprovetei de încovoiere	D_{11}	D_{12}	D_{22}	Modul de elasticitate echivalent E_x (MPa)
Material compozit in / epoxi (8 straturi)	Bătătură	31155,275916	9255,340260	27463,912974	2136,58
	Urzeală	27463,912974	9253,122642	31155,275916	1883,53
<i>Hibrid 1</i> Sticlă-E / in / epoxi (8 straturi)	Bătătură	24692,327675	4276,605326	24230,907307	4842,47
	Urzeală	24230,907307	4276,328124	24692,327675	4752,00
<i>Hibrid 2</i> Sticlă-E / in / epoxi (8 straturi alternative)	Bătătură	20998,900412	4051,395651	20272,590574	4084,20
	Urzeala	20272,590574	4050,959314	20998,900412	3942,97

Cap. 1.4

1.4.3. Rezultate obținute prin modelarea cu elemente finite

Material
compozit
In / epoxi

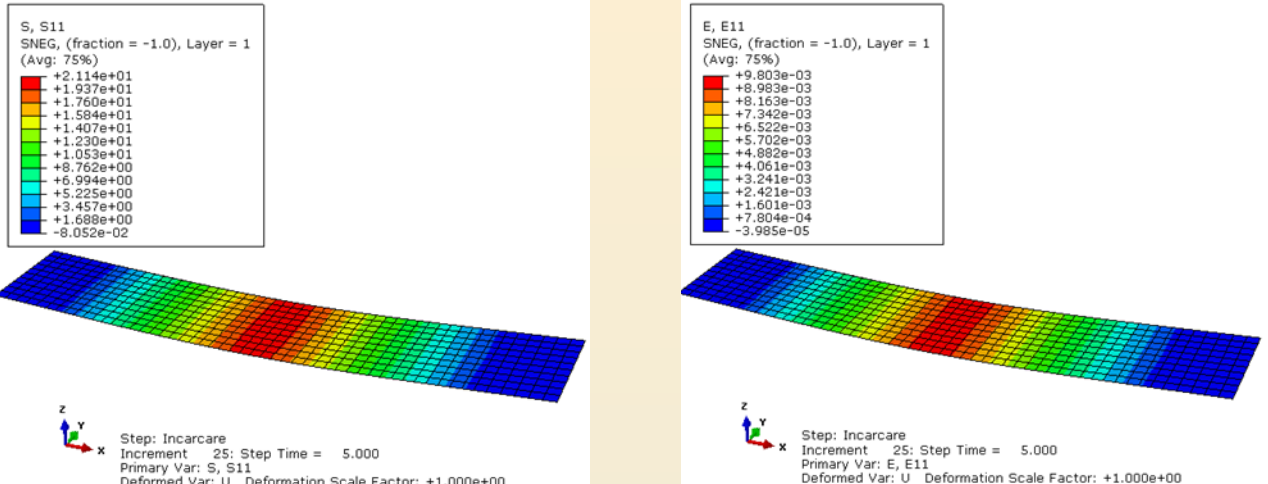


Fig. 1.25. Materialul compozit in / epoxi, lungimea epruvetei este paralelă cu direcția bătăturii țesăturii de in ($F=100\text{ N}$): a. Distribuția tensiunii normale σ_x ; b. Distribuția deformației specifice ϵ_x

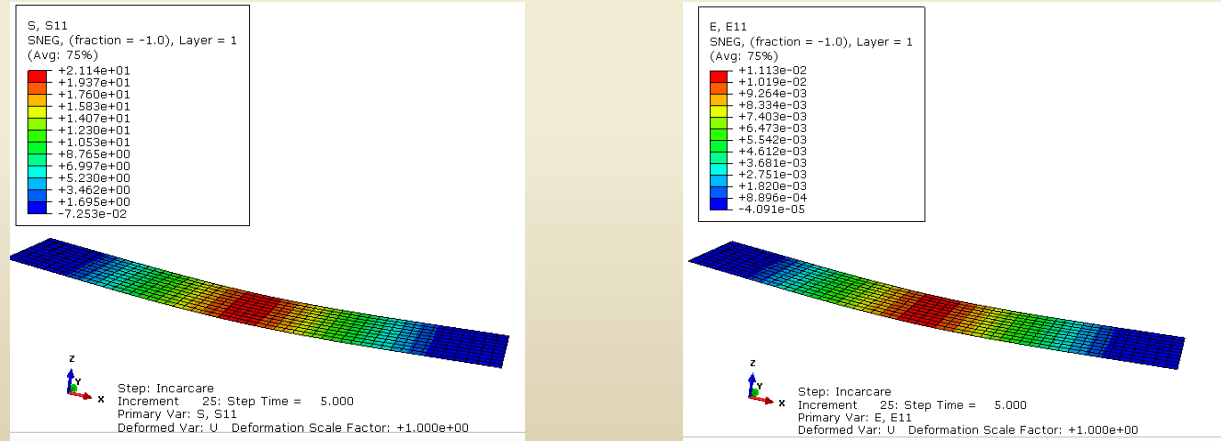


Fig. 1.25. Materialul compozit in / epoxi, lungimea epruvetei este paralelă cu direcția urzelii țesăturii de in ($F=100\text{ N}$): a. Distribuția tensiunii normale σ_x ; b. Distribuția deformației specifice ϵ_x

1.4.3. Rezultate obținute prin modelarea cu elemente finite

**Material
compozit
Hibrid 1
Sticlă / In
/ epoxi**

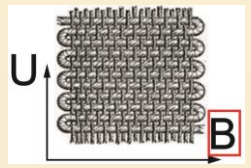
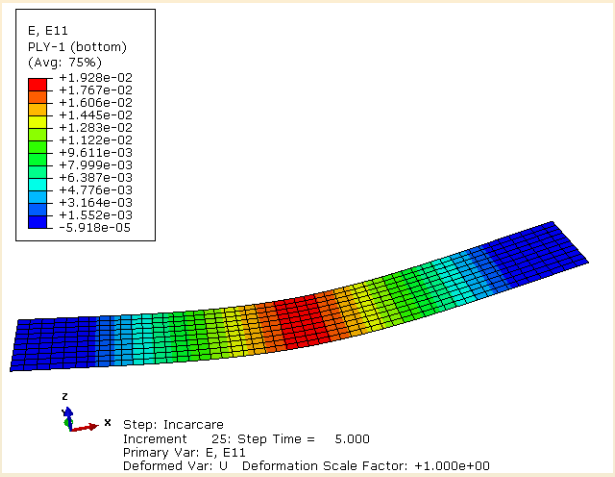
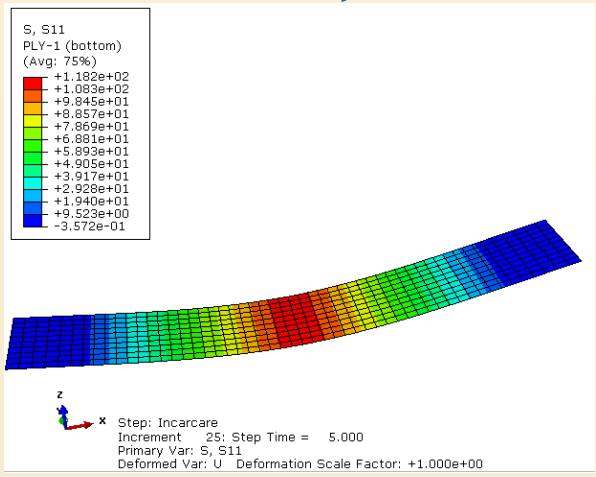


Fig. 1.29. Materialul compozit *Hibrid 1* sticlă /in / epoxi, lungimea epruvetei este paralelă cu direcția bățăturii țesăturii de in ($F=230\text{ N}$): a. Distribuția tensiunii normale σ_x ; b. Distribuția deformației specifice ϵ_x

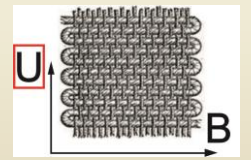
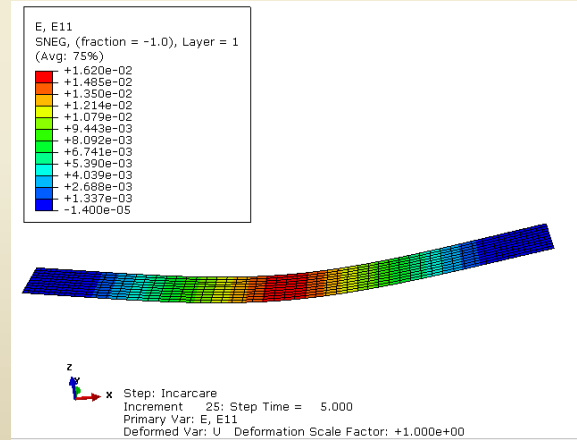
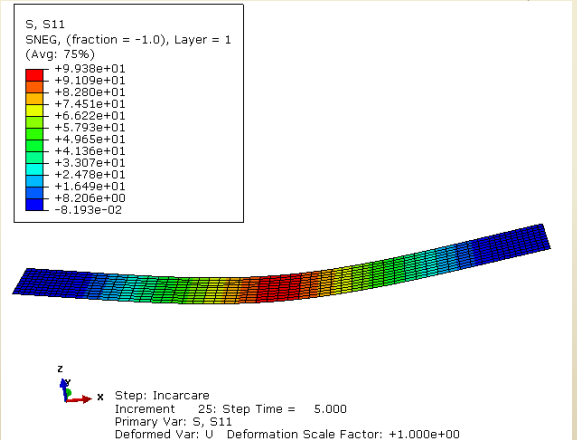


Fig. 1.31. Materialul compozit *Hibrid 1* sticlă /in / epoxi, lungimea epruvetei este paralelă cu direcția urzelii țesăturii de in ($F=100\text{ N}$): a. Distribuția tensiunii normale σ_x ; b. Distribuția deformației specifice ϵ_x

Cap. 1.4

Distribuția tensiunii σ_x pe grosimea materialului compozit in / epoxi în secțiunea critică

Material compozit In / epoxi

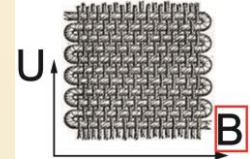
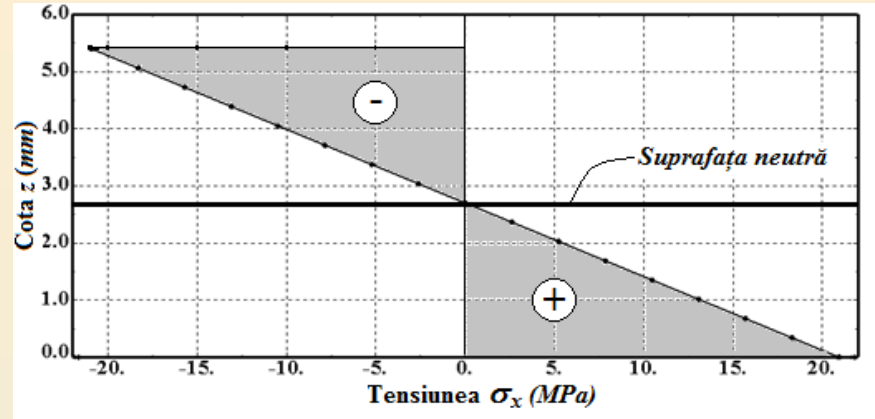


Fig. 1.37. Distribuția tensiunii σ_x ($F=100$ N) pe grosimea materialului compozit in / epoxi în secțiunea critică (epruveta este paralelă cu direcția bățurii)

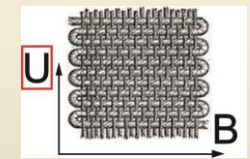
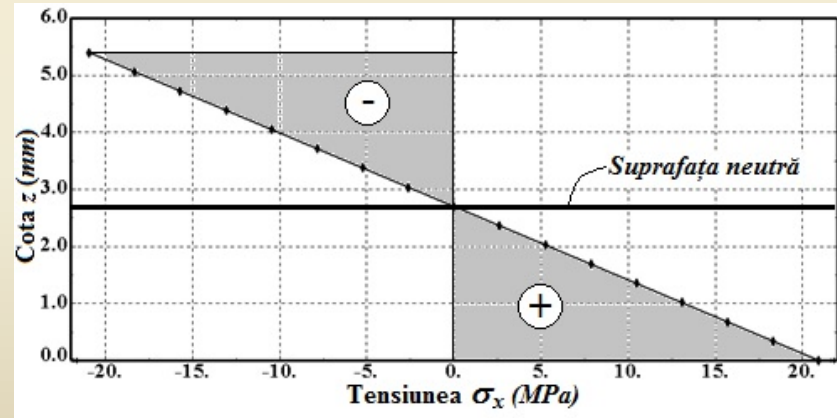


Fig. 1.38. Distribuția tensiunii σ_x ($F=100$ N) pe grosimea materialului compozit in / epoxi în secțiunea critică (epruveta este paralelă cu direcția urzelii)

Cap. 1.4

Distribuția tensiunii σ_x pe grosimea materialului compozit Hibrid 1 sticlă / in / epoxi în secțiunea critică

Material compozit Hibrid 1 Sticlă / In / epoxi

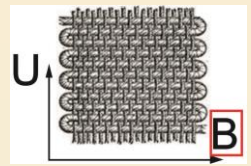
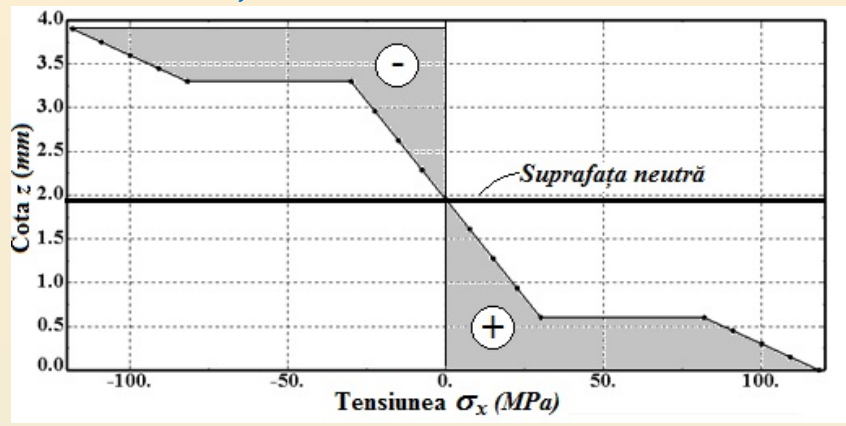


Fig. 1.39. Distribuția tensiunii σ_x ($F=230\text{ N}$) pe grosimea materialului compozit Hibrid 1 sticlă / in / epoxi în secțiunea critică (epruveta este paralelă cu direcția bățurii)

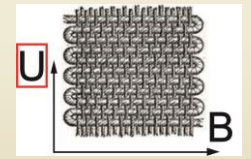
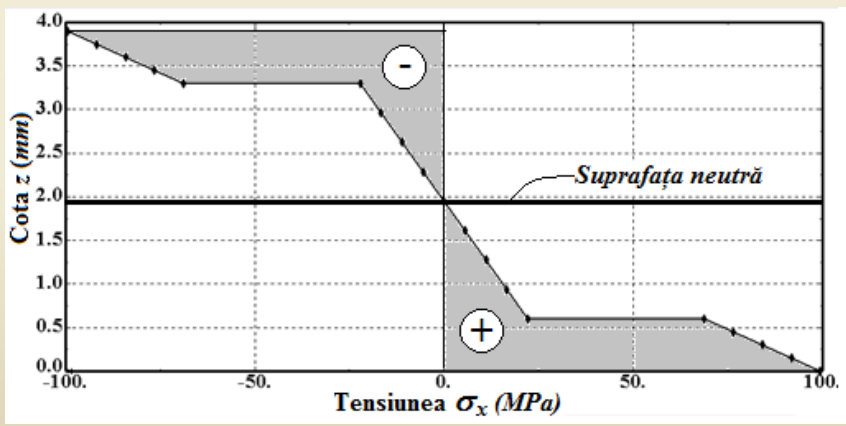


Fig. 1.41. Distribuția tensiunii σ_x ($F=100\text{ N}$) pe grosimea materialului compozit Hibrid 1 sticlă / in / epoxi în secțiunea critică (epruveta este paralelă cu direcția urzelii)

Cap. 1.4

Distribuția tensiunii σ_x pe grosimea materialului compozit Hibrid 2 sticlă / in / epoxi (straturi alternative) în secțiunea critică

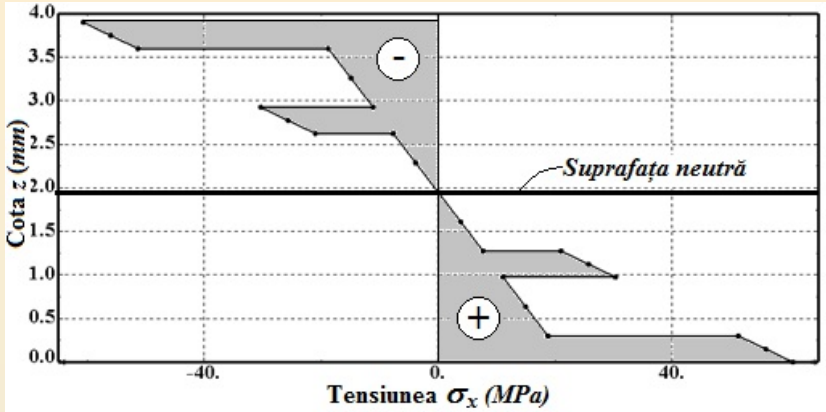


Fig. 1.42. Distribuția tensiunii σ_x ($F=100\text{ N}$) pe grosimea materialului compozit Hibrid 2 sticlă / in / epoxi (straturi alternative) în secțiunea critică (epruveta este paralelă cu direcția bătăturii)

Material compozit Hibrid 2 Sticlă / In / epoxi

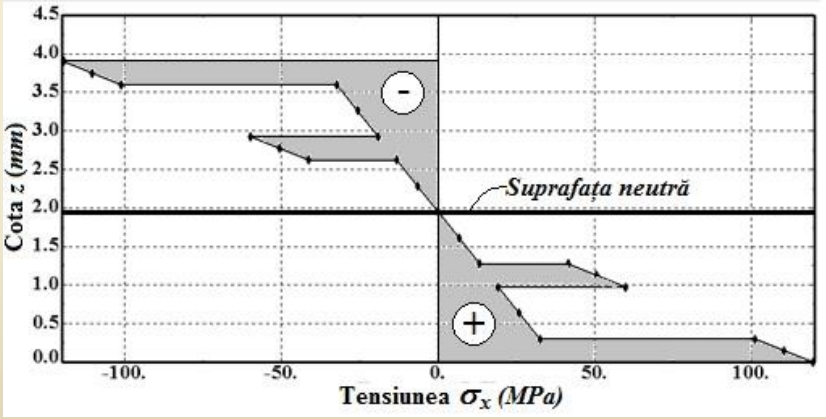


Fig. 1.43. Distribuția tensiunii σ_x ($F=100\text{ N}$) pe grosimea materialului compozit Hibrid 2 sticlă / in / epoxi (straturi alternative) în secțiunea critică (epruveta este paralelă cu direcția urzelii)

1.5. Comparația rezultatelor

1.5.1. Comparația între rezultatele obținute cu modelul analitic și cele obținute cu FEA

Tabelul 1.14

Comparația între rezultatele obținute cu modelul analitic și cele obținute cu modelul FEA în ceea ce privește modulul de elasticitate echivalent E_x în funcție de direcția epruvetei

Tipul materialului compozit	Direcția epruvetei de încovoiere	Modulul de elasticitate echivalent E_x (MPa)		Eroarea FEA versus model analitic (%)
		Model analitic	Model FEA	
Material compozit in / epoxi (8 straturi)	Bătătură	2136,58	2101,40	1,647
	Urzeala	1883,53	1855,27	1,501
<i>Hibrid 1</i> Sticlă-E / in / epoxi (8 straturi)	Bătătură	4842,47	4756,26	1,780
	Urzeală	4752,00	4704,06	1,009
<i>Hibrid 2</i> Sticlă-E / in / epoxi (8 straturi alternative)	Bătătură	4084,20	4018,58	1,607
	Urzeală	3942,97	3905,66	0,946

Cap. 1.5

In / epoxi

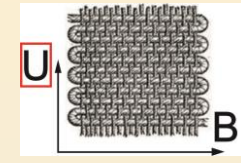
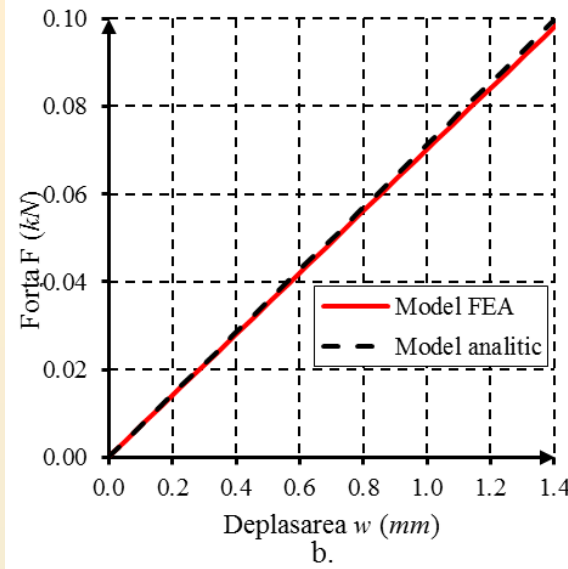
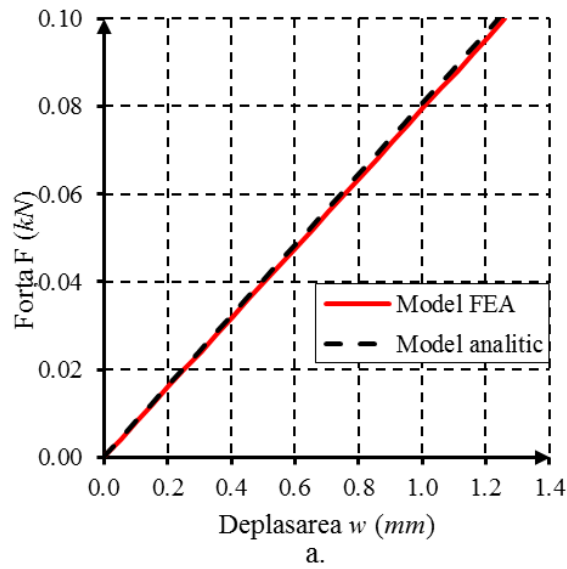
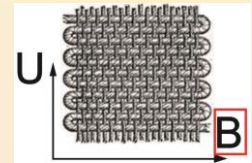


Fig. 1.44. Comparația între rezultatele obținute cu modelul analitic și cele obținute cu modelul FEA în ceea ce privește curba forță – deplasare ($F-w$) în cazul materialului compozit *in / epoxi*:

a. Epruveta paralelă cu direcția bătăturii; b. Epruveta paralelă cu direcția urzelii

Hibrid 1 Sticlă /
In / epoxi

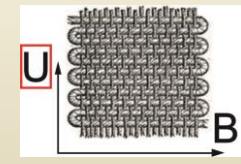
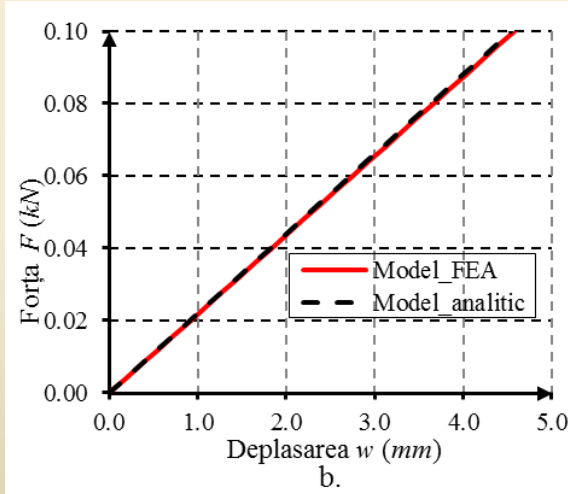
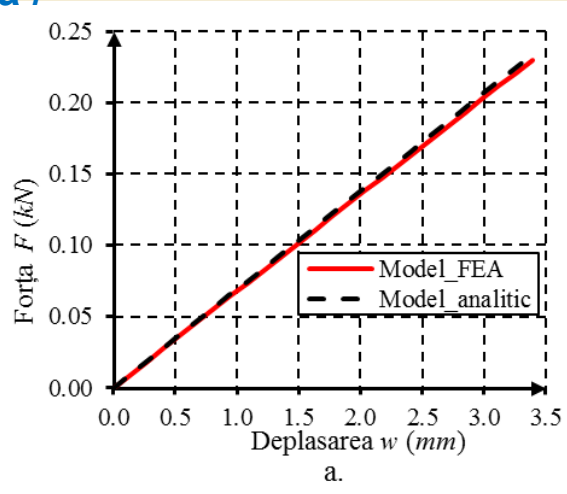
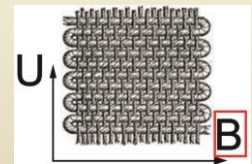


Fig. 1.45. Comparația între rezultatele obținute cu modelul analitic și cele obținute cu modelul FEA în ceea ce privește curba forță – deplasare ($F-w$) în cazul materialului compozit *Hibrid 1 sticlă-E / in / epoxi*:

a. Direcția bătăturii; b. Direcția urzelii

Hibrid 2 Sticlă / In / epoxi

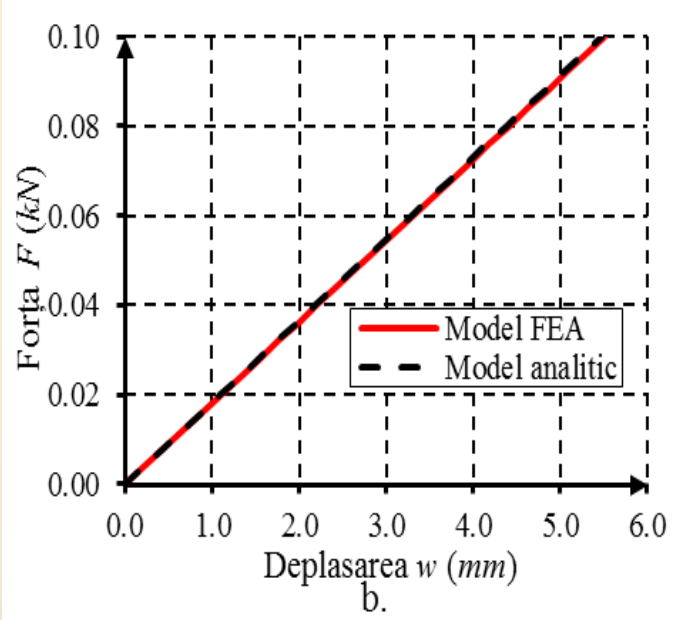
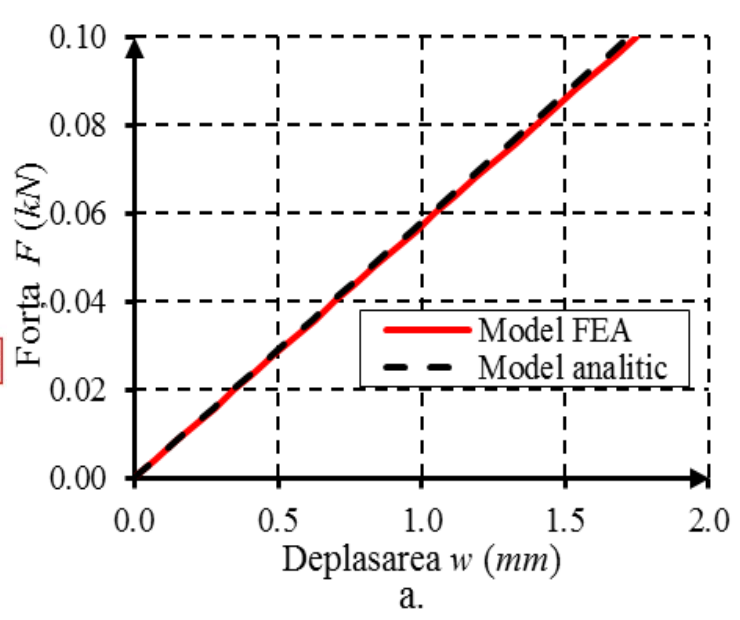


Fig. 1.46. Comparația între rezultatele obținute cu modelul analitic și cele obținute cu modelul FEA în ceea ce privește curba forță – deplasare ($F-w$) în cazul materialului compozit Hibrid 2 sticlă-E / in / epoxi: a. Direcția bătăturii; b. Direcția urzelii

Cap. 1.5

1.5.2. Comparația între rezultatele experimentale și cele obținute cu modelul analitic

Tabelul 1.18

Comparația între rezultatele experimentale și cele obținute cu modelul analitic referitoare la modulul de elasticitate echivalent E_x la încovoiere în funcție de direcția epruvetei

Tipul materialului compozit	Direcția epruvetei de încovoiere	Modulul de elasticitate echivalent E_x la încovoiere (MPa)		Eroarea exp. versus model analitic (%)
		Model analitic	Experimental	
Material compozit in / epoxi (8 straturi)	Bătătură	2136,58	2136,85	0,013
	Urzeală	1883,53	1883,67	0,007
<i>Hibrid 1</i> Sticlă-E / in / epoxi (8 straturi)	Bătătură	4842,47	5046,92	4,222
	Urzeală	4752,00	4966,85	4,521

1.5.3. Comparația între rezultatele experimentale și cele obținute cu modelul FEA

Tabelul 1.19

Comparația între rezultatele experimentale și cele obținute cu modelul FEA referitoare la modulul de elasticitate echivalent E_x la încovoiere în funcție de direcția epruvetei

Tipul materialului compozit	Directia	Modulul de elasticitate echivalent E_x la încovoiere (MPa)		Eroare Exp. versus FEA (%)
		Model FEA	Experimental	
Material compozit in / epoxi (8 straturi)	Bătătură	2101,40	2136,85	1,687
	Urzeală	1855,27	1883,67	1,531
<i>Hibrid 1</i> Sticlă-E / in / epoxi (8 straturi)	Bătătură	4756,26	5046,92	6,111
	Urzeală	4704,06	4966,85	5,586

Cap. 1.5

In / epoxi

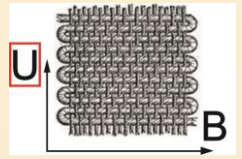
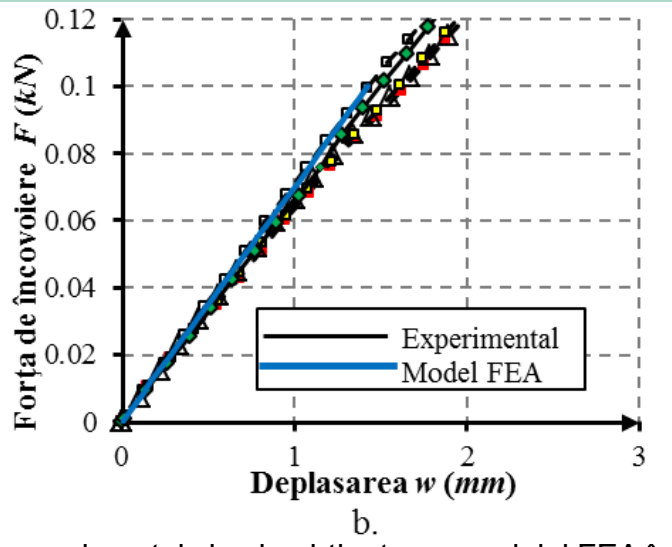
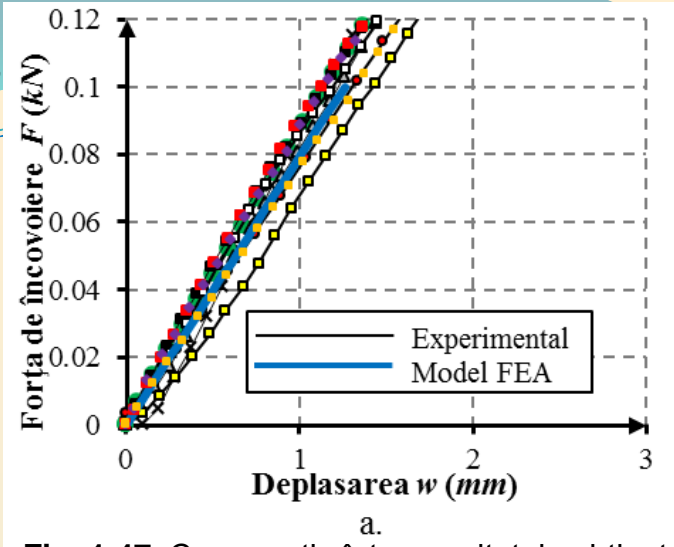
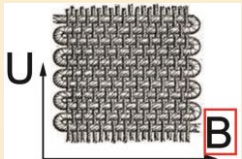


Fig. 1.47. Comparația între rezultatele obținute experimental și cele obținute cu modelul FEA în ceea ce privește curba forță – deplasare ($F-w$) în cazul materialului compozit in / epoxi:
 a) Direcția epruvetei paralelă cu direcția bățăturii; b) Direcția epruvetei paralelă cu direcția urzelii

Hibrid 1 Sticlă / In / epoxi

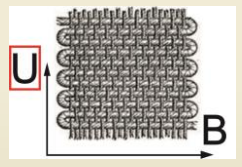
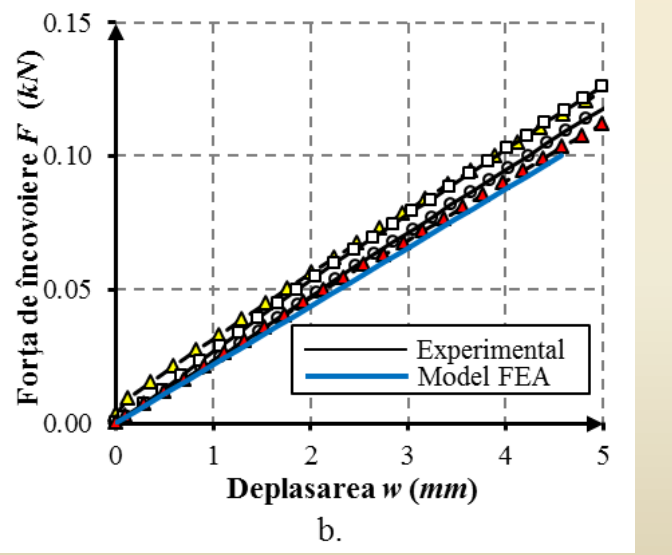
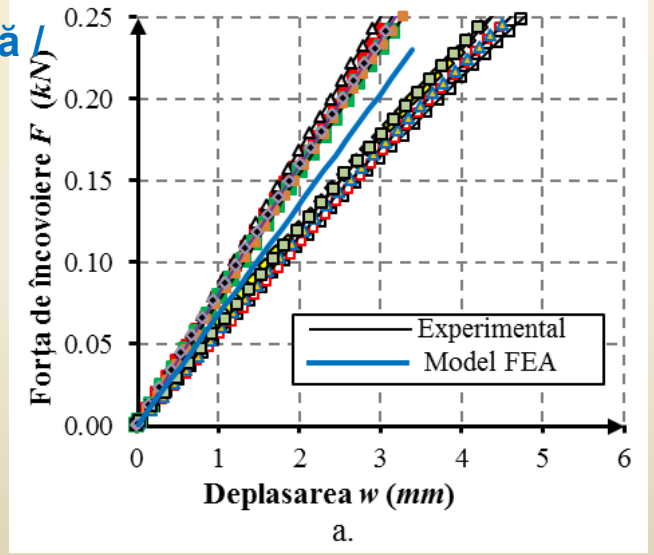
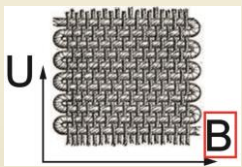


Fig. 1.48. Comparația între rezultatele obținute experimental și cele obținute cu modelul FEA în ceea ce privește curba forță – deplasare ($F-w$) în cazul materialului compozit Hibrid 1 sticlă-E / in / epoxi:
 a) Direcția epruvetei paralelă cu direcția bățăturii; b) Direcția epruvetei paralelă cu direcția urzelii

1.6. Concluzii

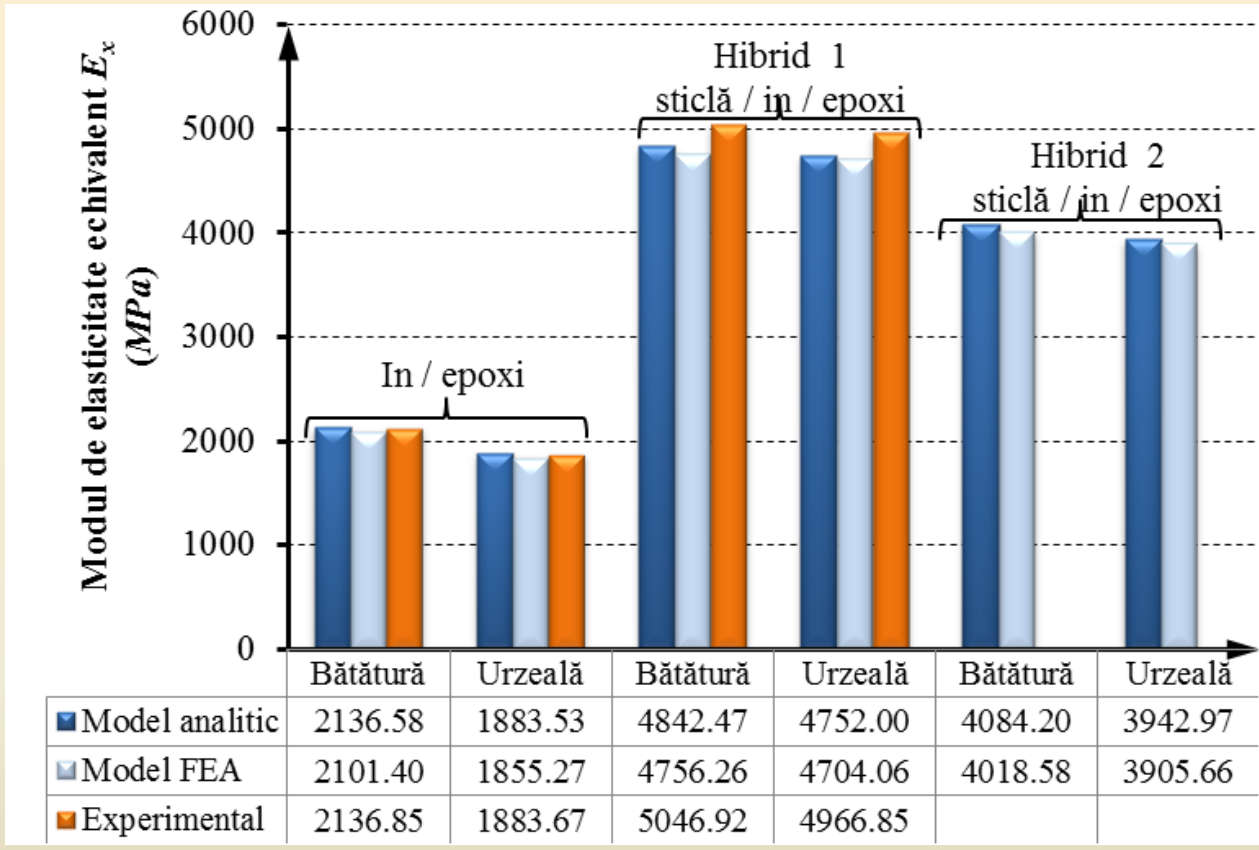


Fig. 1.49. Comparația rezultatelor teoretice cu cele obținute experimental referitoare la modulul de elasticitate echivalent E_x la încovoiere pe direcția bătăturii și respectiv, pe direcția urzealii

1.6. Concluzii

Principalele concluzii:

- **Modul de elasticitate echivalent $E_x = 4842,47$ MPa** la încovoiere pentru modelul analitic corespunzător materialului **compozit Hibrid 1 pe direcția bătăturii** este mai mare cu **18,56%** decât valoarea calculată pentru modelul analitic corespunzător **compozitului Hibrid 2** pe aceeași direcție (Tab. 1.14 și Fig. 1.49).
- Materialului compozit **Hibrid 1 sticlă-E / in / epoxi**: valoarea maximă a **tensiunii la tracțiune σ_{max}** este mai mare cu **17,32%** (Fig. 1.22, a) **pe direcția bătăturii** (122,83 MPa) decât valoarea corespunzătoare **pe direcția urzelii** (104,69 MPa); **modulul de elasticitate E** înregistrat la solicitarea de **tracțiune** este mai mare cu **9,29%** (Fig. 1.22, b) **pe direcția bătăturii** (7936,45 MPa) decât cea înregistrată **pe direcția urzelii** (7261,58 MPa).
- **Proprietățile de tracțiune** măsurate pe direcția bătăturii **cresc** în cazul materialului **compozit Hibrid 1** față de cele corespunzătoare materialului **compozit in / epoxi**, după cum urmează: **cu 35,19%** în cazul **modulului lui Young E** ; **cu 79,86%** pentru valoarea maxima a **tensiunii normale la tracțiune σ_{max}** .
- **Valorile mici ale erorilor (0,007÷4,521%)** validează modelele analitice de grindă în cazul compozitelor testate experimental (**in / epoxi și Hibrid 1 sticlă-E / in / epoxi**).
- **Relațiile modulelor de elasticitate echivalente E_x** corespunzătoare modelelor de grindă solificate la încovoiere, se pot utiliza în cazul oricărei grinzi solificate la încovoiere fabricate din același tip de material compozit, unul dintre cele analizate.
- **Modelările teoretice ale materialelor compozite analizate** se pot extinde la orice structură fabricată din același tip de material.

Cap. 1.6

Comparații cu rezultate publicate în literatura de specialitate

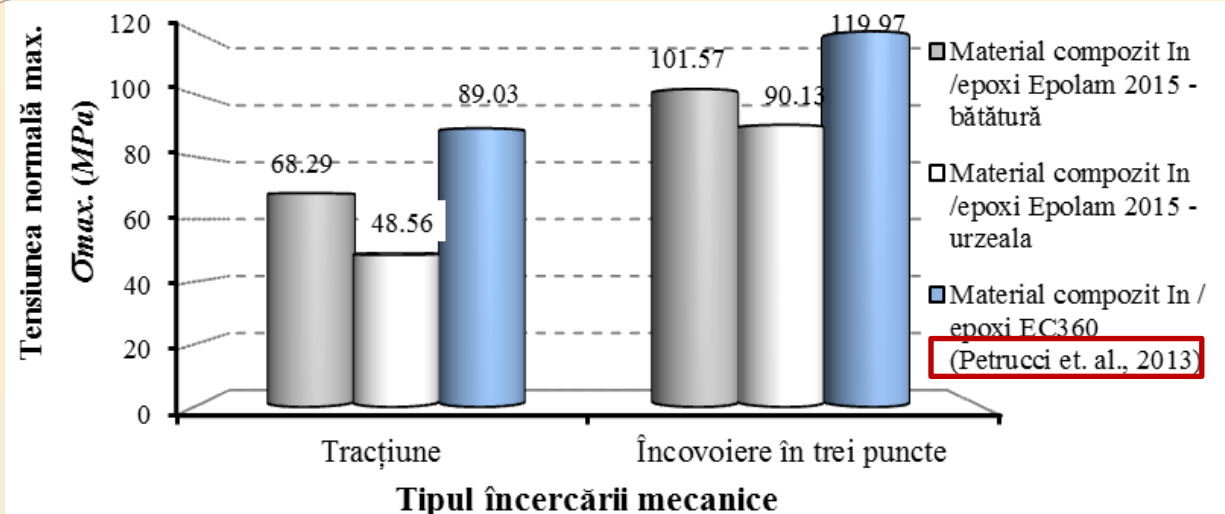


Fig. 1.50. Comparația rezultatelor experimentale obținute pentru tensiunea la tracțiune și încovoiere în cazul compozitului In / epoxi cu cele publicate în lucrarea (Petrucci et al., 2013)

Tabelul 1.20
Structura materialelor compozite analizate în lucrarea (Petrucci et al., 2013)

Tipul materialului compozit	Tipul țesăturilor de ranforsare	Tip stratificat	Raportul volumic de fibre V_f (%)
Material compozit In / epoxi EC360	Țesătură din in bidirecțională ($\rho = 292g/m^2$)	[0/90] _{2s}	24,82
Material compozit hibrid Sticlă / In / Bazalt* /epoxi EC360	Țesătură mat sticlă ($\rho = 100g/m^2$) Țesătură in bidirecțională ($\rho = 292g/m^2$) Țesătură bazalt bidirecțională ($\rho = 300g/m^2$)	[Sticlă/In/Bazalt] _s	21,18 din care: - in 11,72%, - bazalt 7,16%, - sticlă 2,30%.

*Bazalt = Material ceramic artificial, obținut dintr-o materie primă (argilă, masă ceramică) cu temperatură joasă de vitrifiere și utilizat la fabricarea tuburilor de canalizare, a recipientelor pentru lichide agresive, a cărămizilor pentru trotuare (<http://dexonline.ro/definitie/bazalt>, accesat 3.06.2015). În acest caz, se utilizează sub formă de țesătură de bazalt.

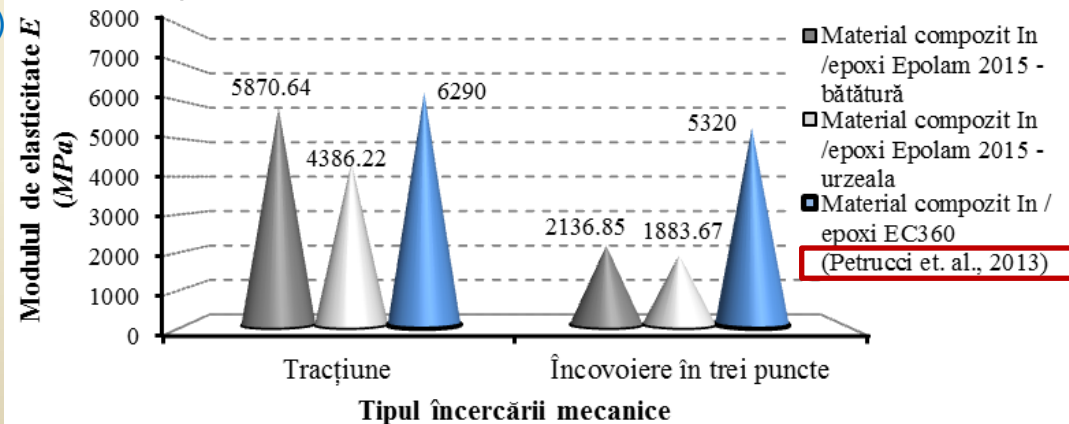


Fig. 1.51. Comparația rezultatelor experimentale obținute pentru modulul de elasticitate la tracțiune / încovoiere în cazul compozitului In / epoxi cu cele publicate în (Petrucci et al., 2013)

Comparații cu rezultate publicate în literatura de specialitate

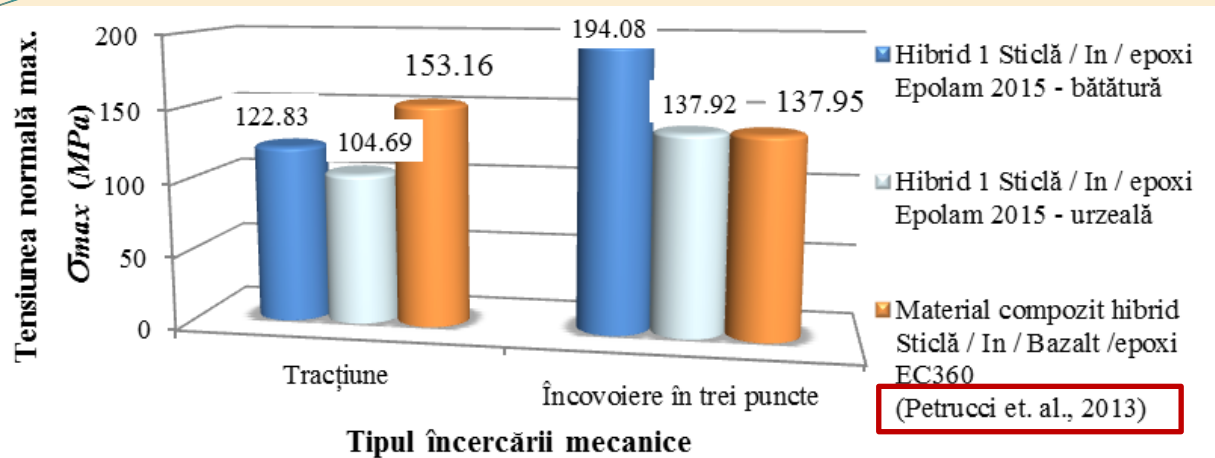


Fig. 1.52. Comparația rezultatelor experimentale obținute pentru tensiunea la tracțiune / încovoiere în cazul *Hibrid 1 Sticlă / in / epoxi* cu cele publicate în (Petrucci et al., 2013)

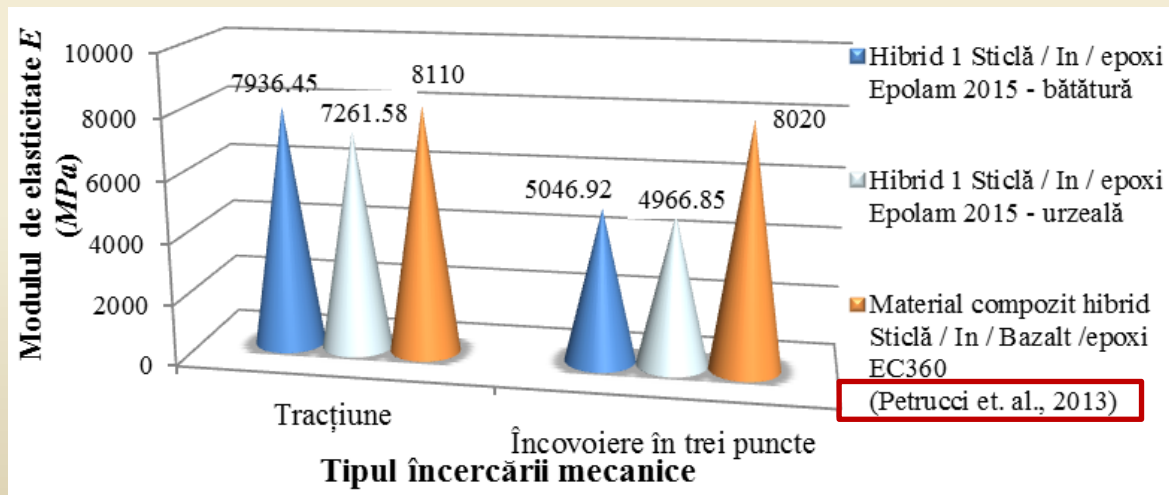


Fig. 1.53. Comparația rezultatelor experimentale obținute pentru modulul de elasticitate la tracțiune / încovoiere în cazul materialului *Hibrid 1 Sticlă / in / epoxi* cu cele publicate în (Petrucci et al., 2013)

Cap. 1.6

Diseminarea rezultatelor din Capitolul 1:

✓ **Publicarea unui articol în revistă cotate ISI cu factor de impact Cerbu, Camelia, *Practical solution for improving the mechanical behaviour of the composite materials reinforced with flax woven fabric, Advances in Mechanical Engineering (SAGE Journals)*, ISSN 1687-8132 (Impact Factor: 0,5 / 2013; **SRI: 0,787 / 2014**), Vol. 7, Nr. 4, **April 2015**, DOI: 10.1177/1687814015582084**

✓ **Publicarea unui articol în revistă indexată ISI Cerbu, Camelia, *Mechanical characterization of the flax / epoxy composite material*, The 8th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2014, 9-10 October 2014, Tîrgu-Mureș, România, **Procedia Technology (ELSEVIER)**, ISSN 2212-0173, Vol. 19, **2015**, p. 268–275. DOI: 10.1016/j.protcy.2015.02.039,**

✓ **Publicarea unui articol în Proceeding-ul conferinței COMAT 2014 Cerbu, Camelia, *Aspects Concerning to the Mechanical Properties of the glass / flax / epoxy composite material*, **Proceeding of The 5th International Conference Advanced Composite Materials Engineering COMAT 2014**, 16-17 October 2014, Brașov, ISBN 978-606-19-0411-2, p. 30-34**

The collage consists of four overlapping screenshots from academic journals and conference proceedings:

- Top-left:** SAGE Journals page for 'Advances in Mechanical Engineering'. It shows the article title 'Practical solution for improving the mechanical behaviour of the composite materials reinforced with flax woven fabric' by Camelia Cerbu. The abstract mentions finding a practical solution for improving behavior in bending.
- Top-right:** A smaller view of the same article page, focusing on the abstract and keywords.
- Bottom-left:** The cover of 'Procedia Technology' journal, Volume 19, 2015, pages 268-275. It is the 8th International Conference Interdisciplinarity in Engineering (INTER-ENG 2014).
- Bottom-right:** The article page for 'Mechanical Characterization of the Flax/Epoxy Composite Material' by Camelia Cerbu in 'Procedia Technology'. It includes the abstract and keywords.

Capitolul 2:

Cercetări experimentale privind comportarea mecanică a materialelor compozite ranforsate cu țesături din sticlă și fibre de lemn

Probleme tratate în Capitolul 1

- 2.1. Generalități privind materialele compozite pe bază de fibre de lemn**
- 2.2. Cercetări privind efectul tipului de fibre de lemn asupra comportării mecanice a materialelor compozite**
- 2.3. Efectul tipului fibrelor de lemn asupra comportării mecanice după imersiune în apă a materialelor compozite ranforsate cu țesătură de sticlă și făină de lemn**
- 2.4. Comportarea mecanică în timp a materialului compozit de tip sticlă-E / făină de lemn de brad / epoxi sub acțiunea umidității**
- 2.5. Concluzii**

Generalități privind materialele compozite pe bază de fibre de lemn

- ❑ **Fabricarea unor noi materiale compozite prin utilizarea ca material de ranforsare sau ca material pentru matrice**, a următoarelor materiale reciclabile: **polietilenă de densitate ridicată reciclabilă (HDPE) și plasticul reciclat din sticlele de tip PET; deșeuri de lemn; alte materiale fibroase cum sunt textilele** (Al-Maadeed *et al.*, 2014; Klyosov, 2007; Bartl *et al.*, 2005; Avila și Duarte, 2003).
- ❑ **Materialele compozite pe bază de fibre lemn** sunt utilizate pe scară largă deoarece adăugarea de făină de lemn la materialele plastice conduce la **reducerea semnificativă a costurilor de materiale** în timp ce **caracteristicile mecanice sunt îmbunătățite față de materialele plastice fără ranforsare** (Klyosov, 2007).
- ❑ **Raportul volumic al fibrelor naturale în** materialele compozite joacă un rol important în ceea ce privește **comportarea mecanică a acestor materiale compozite după imersiune în apă** (Dhakal *et al.*, 2007; Ayensu, 2000; Papanicolaou *et al.*, 2012). Ranforsarea cu un raport volumic de **26% de fibre de cânepă este optim** în cazul materialului compozit de tip **cânepă / polimer** deoarece asigură **creșterea rezistenței la tracțiune cu 20% după 30 ore de imersiune în apă** (Dhakal *et al.*, 2007).
- ❑ **Dimensiunea fibrelor de lemn** cât și **conținutul de fibre de lemn** sunt **factori interni care influențează proprietățile mecanice** ale materialelor compozite fabricate din polietilenă cu densitate ridicată (HDPE) reciclabilă și făină de lemn (Cui *et al.*, 2008). Astfel, s-a dovedit că **cu cât mărimea fibrelor de lemn din făina de lemn este mai mică, cu atât proprietățile mecanice sunt mai bune**.
- ❑ **Natura hidrofilică a lemnului are un efect negativ** asupra materialelor compozite plastice pe bază de lemn. **Lemnul conține tanini** care “*formează complecși de culoare închisă cu sărurile de fier deoarece taninii sunt compuși fenolici și poli-fenolici solubili în apă*” (Klyosov, 2007).

Generalități privind materialele compozite pe bază de fibre de lemn

- ❑ **Materiale compozite plastice pe bază de fibre de lemn** se utilizează ca panouri de izolație fonică sau termică (Thompson *et al.*, 2010).
- ❑ Materiale compozite plastice pe bază de fibre de lemn se obțin prin **injectare în matriță, a unui amestec format din rășină termoplastică sub formă de granule și fibre de lemn** (Al-Maadeed *et al.*, 2014; Adhikary *et al.*, 2008; Cui *et al.*, 2008).
- ❑ Cercetări efectuate asupra **panourilor din fibre de lemn care conțin inserții din țesături din fibre naturale (in, iută) sau din fibre anorganice (fibre de sticlă sau de carbon), obținute prin presare la cald.** Combinarea fibrelor de lemn cu țesăturile din fibre naturale prezintă **avantajul compatibilității dintre cele două componente** ținând cont de faptul că acestea conțin în diverse procente: celuloză; hemiceluloză; lignină; pectină etc. Utilizarea inserțiilor din **țesături din fibre naturale** are următoarele avantaje: **asigură îmbunătățirea rezistenței și rigidității panourilor** din fibre de lemn; **fibrele naturale** reprezintă o **sursă regenerabilă de materie primă.** (Cristaldi *et al.*, 2010; Barbu, 1999).
- ❑ Țesăturile din fibre naturale (in, cânepă, iută, bumbac etc.) au câteva dezavantaje: **absorb umiditate și se degradează în mediu umed; se degradează sub acțiunea razelor ultraviolete și necesită tratamente speciale;** au proprietăți mecanice limitate (**rezistențele la tracțiune sunt de ≈ 1100 MPa și ≈ 320 MPa în cazul fibrelor de in și iută, comparativ cu ≈ 3400 MPa în cazul fibrelor de sticlă**) (Cristaldi *et al.*, 2010; Barbu, 1999).
- ❑ **Panourile din fibre de lemn și inserții din fibre naturale sau sintetice** conțin adezivi pe bază de **formaldehidă și / sau rășini termoplastice sub formă de granule și sunt fabricate prin presare la cald la cca. 180-200 °C** (Barbu, 1999; Adhikary *et al.*, 2008; Cui *et al.*, 2008). Procedeele tehnologice **presupune investiții în echipament de presare.**
- ❑ În ultimii ani, s-a pus accent pe utilizarea deșeurilor de lemn sub formă reciclată **ca făină de lemn**, pentru a ranforșa astfel de **materiale compozite polimerice** hibride cu **inserții de țesături din fibre de sticlă** (Cerbu *et al.*, 2009-2011) sau cu **țesături din fibre de ramie** (Kishi și Fujita, 2008).

Obiective de cercetare privind materialele compozite pe bază de rășini termorigide ranforsate hibrid cu țesătură de sticlă și făină de lemn:

- *studiul privind efectul tipului de fibre de lemn asupra comportării mecanice a materialelor compozite ranforsate cu fibre de lemn;*
- *efectul tipului fibrelor de lemn asupra comportării mecanice după imersiune în apă a materialelor compozite ranforsate cu țesătură de sticlă și făină de lemn;*
- *identificarea tipului de fibre de lemn recomandabile pentru fabricarea materialelor compozite care sunt solicate mecanic în mediu umed;*
- *identificarea unei soluții de material compozit hibrid sticlă / făină de lemn / rășină îmbunătățită în ceea ce privește țesătura de sticlă utilizată pentru ranforsare și tipul de rășină pentru aplicații în mediu umed;*
- *comportarea mecanică în timp a materialului compozit de tip sticlă-E / făină de lemn de brad / epoxi sub acțiunea umidității.*

Cap. 2.2

Cercetări privind efectul tipului de fibre de lemn asupra comportării mecanice a materialelor compozite

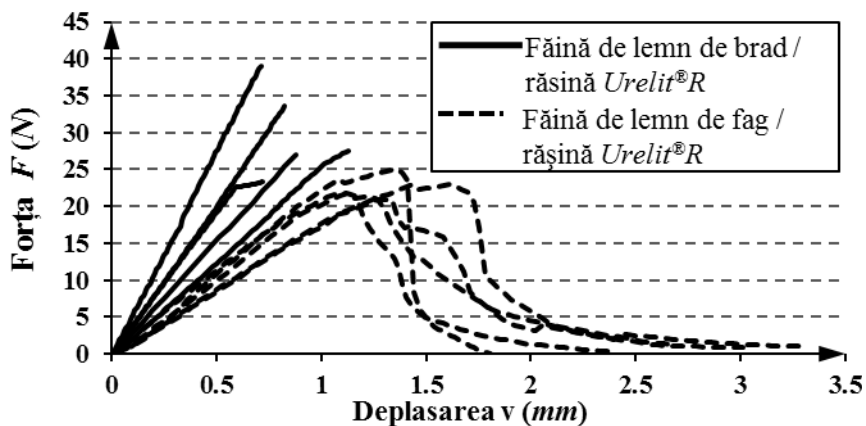


Fig. 2.1. Comparația curbelor forță – deplasare ($F-v$) obținute în cazul materialelor compozite cu făină de lemn de brad și cu făină de lemn de fag

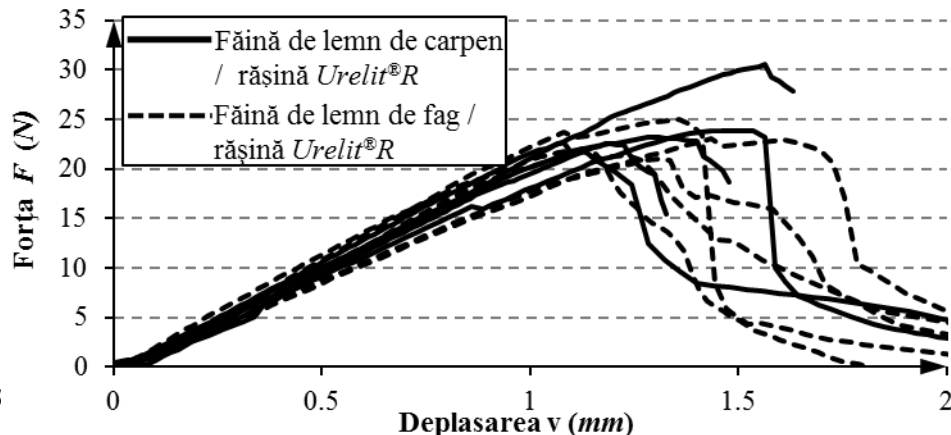


Fig. 2.2. Comparația curbelor forță – deplasare ($F-v$) obținute în cazul materialelor compozite cu făină de lemn de carpen și cu făină de lemn de fag

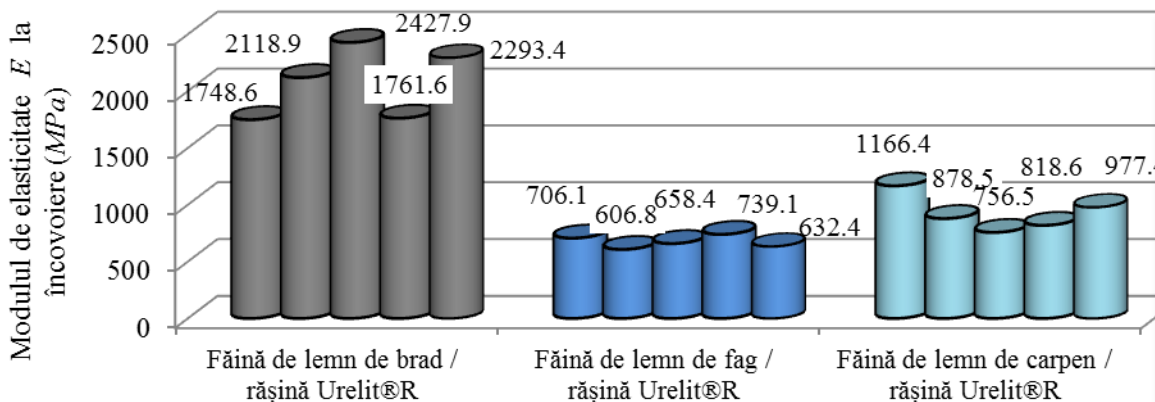
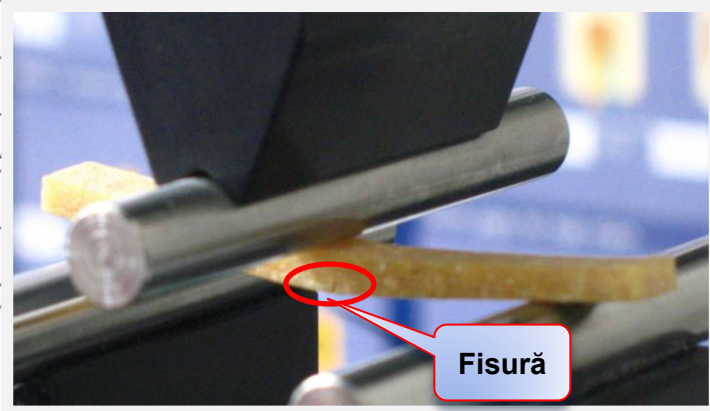


Fig. 2.3. Efectele tipului de fibre de lemn asupra modulului de elasticitate E la încovoiere în cazul materialelor compozite pe bază de rășină ureo-formaldehidică de tip Urelit®R



Cap. 2.2



Făină de lemn de brad /
Rășină ureo-formaldehidică Urelit®R



Făină de lemn de fag /
Rășină ureo-formaldehidică Urelit®R



Făină de lemn de carpen /
Rășină ureo-formaldehidică Urelit®R

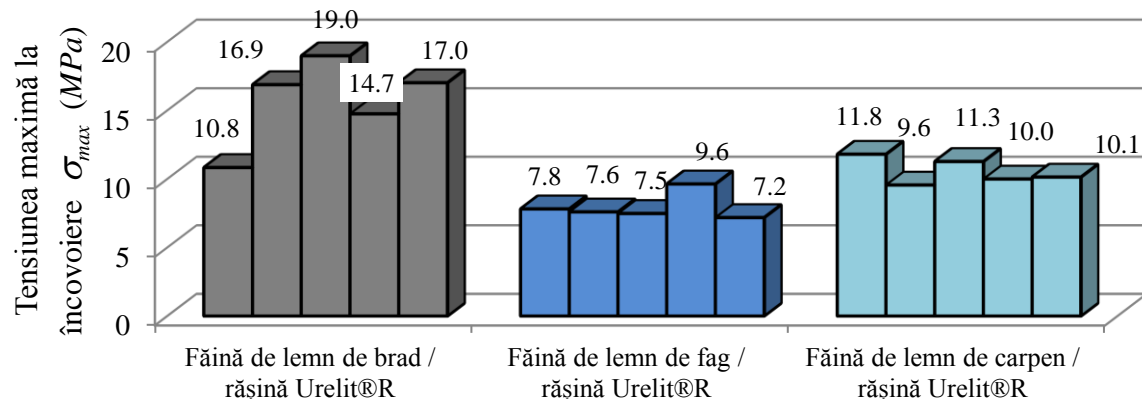


Fig. 2.4. Efectele tipului de fibre de lemn asupra tensiunii maxime la încovoiere în cazul materialelor compozite pe bază de rășină ureo-formaldehidică de tip Urelit®R

Tabel 2.2

Valorile medii ale caracteristicilor mecanice obținute prin încercarea de încovoiere în cazul materialelor compozite ranforsate cu făină de lemn

Tipul materialului compozit	Unitate de măsură	Făină de fag / rășină Urelit®R	Făină de carpen / rășină Urelit®R	Făină de brad / rășină Urelit®R
Modulul de elasticitate E la încovoiere	(MPa)	668,5	919,48	2070,1
Tensiunea maximă σ_{\max} la încovoiere	(MPa)	7,9	10,548	16,9
Energia de deformație U până la forța maximă	($\times 10^{-3} J$)	15,8	17,73	13,8
Modul de rigiditate EI_z la încovoiere	($\times 10^4 N \cdot mm^2$)	6,2387	6,7128	10,891
Forța maximă F_{\max}	(N)	22,904	24,445	30,539
Deplasarea v_{\max} la forța maximă	(mm)	1,4059	1,3655	0,92725
Deformația specifică maximă ϵ_{\max}	-	0,015686	0,014025	0,008953

Cap. 2.3

2.3. Efectul tipului fibrelor de lemn asupra comportării mecanice după imersiune în apă a materialelor compozite ranforsate cu țesătură de sticlă și făină de lemn

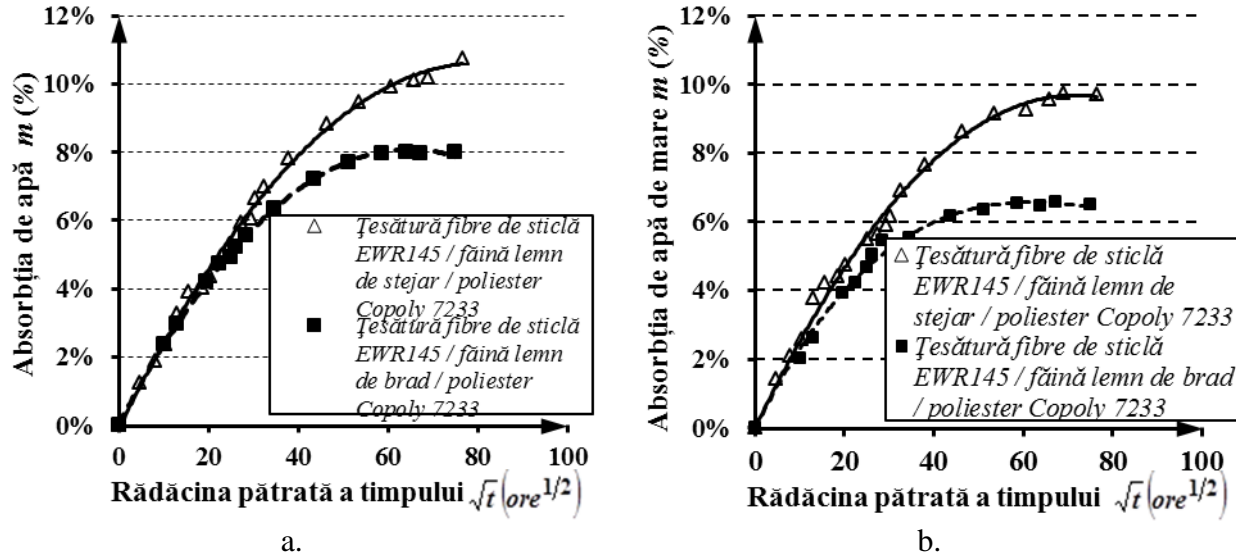


Fig. 2.7. Curbele de absorbție în cazul materialelor compozite hibride de tip Sticlă EWR145 / făină de lemn / poliester Copoly 7233 în timpul imersiunii în: a. Apă; b. Apă de mare



Fig. 2.11. Epruvetă din material compozit țesătură de sticlă EWR145 / făină de lemn de stejar / poliester Copoly, testată la încovoiere după imersiune timp de 5612 ore în apă



Fig. 2.12. Fotografii ale epruvetelor (după încovoiere) din material compozit țesătură de sticlă EWR145 / făină de lemn de stejar / poliester Copoly 7233, degradate după imersiune timp de 5853 ore în: a. Apă; b. Apă de mare

Cap. 2.3

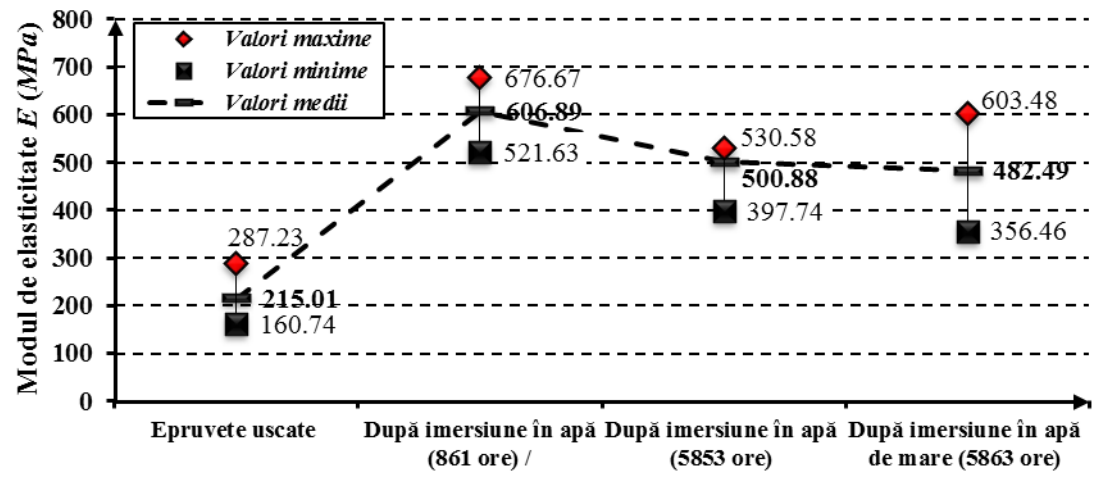


Fig. 2.8. Valorile modulelor de elasticitate E determinate prin încercarea la încovoiere în cazul materialului compozit de tipul *sticlă EWR145 / făină lemn de stejar / poliester Colpoly 7233*

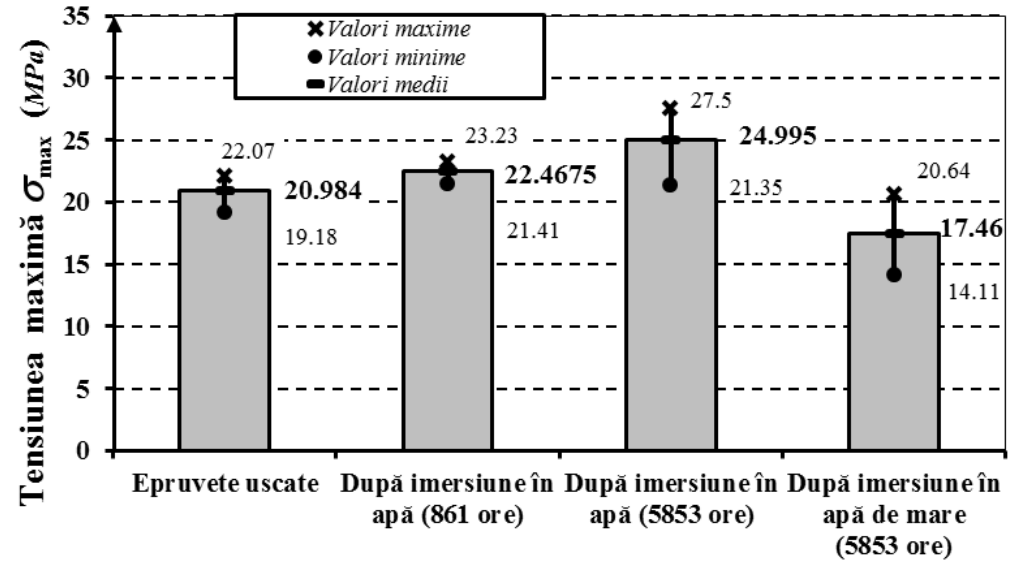


Fig. 2.9. Valorile tensiunii normale determinate prin încercarea la încovoiere în cazul materialului compozit de tipul *sticlă EWR145 / făină lemn de stejar / poliester Colpoly 7233*

Cap. 2.3

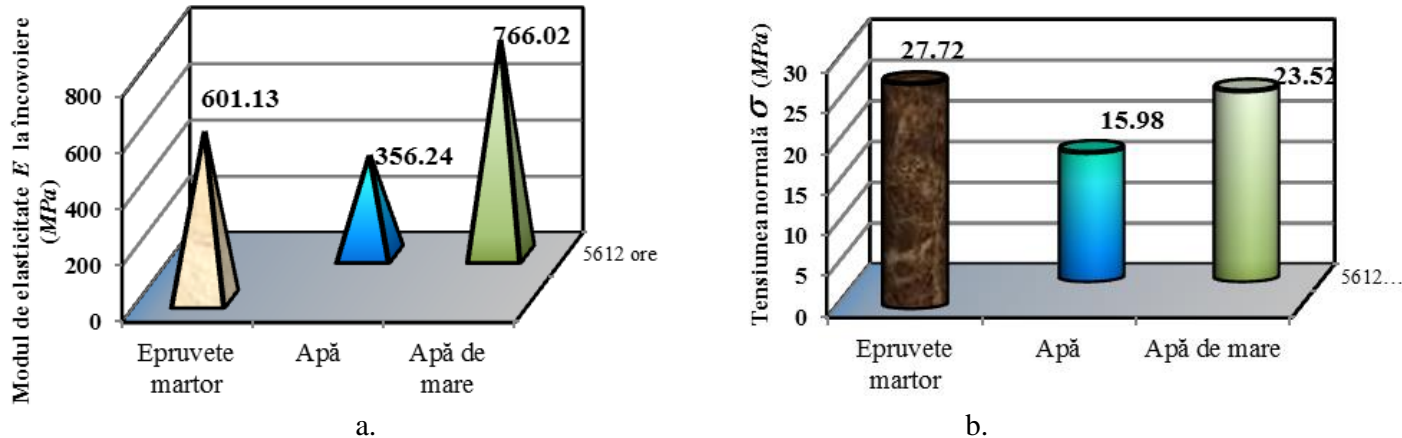


Fig. 2.10. Variația proprietăților de încovoiere în funcție de mediul de imersiune în cazul materialului compozit *Sticlă-EWR145 / făină de lemn de brad / poliester Colpoly 7233*:
a. Modulul de elasticitate E ; b. Tensiunea normală maximă σ

Concluzia finală

- Să se reia cercetările referitoare la efectele umidității absorbite asupra materialului compozit hibrid ranforsat cu țesătură de sticlă și cu făină de lemn de brad pentru o structură de material îmbunătățită, fabricată din: țesătură de sticlă având densitatea pe unitatea de suprafață 160 g/m^2 de și cu mărimea mai mică a ochiurilor; făină de lemn de brad cu fibre de lemn având mărimea mai mică decât $500 \mu\text{m}$; rășină epoxi *Epolam 2015* care este recomandată pentru aplicații în mediu umed conform Fișei tehnice (2006).

Cap. 2.4

Comportarea mecanică în timp a materialului compozit de tip sticlă-E / făină de lemn de brad / epoxi sub acțiunea umidității

Materiale testate

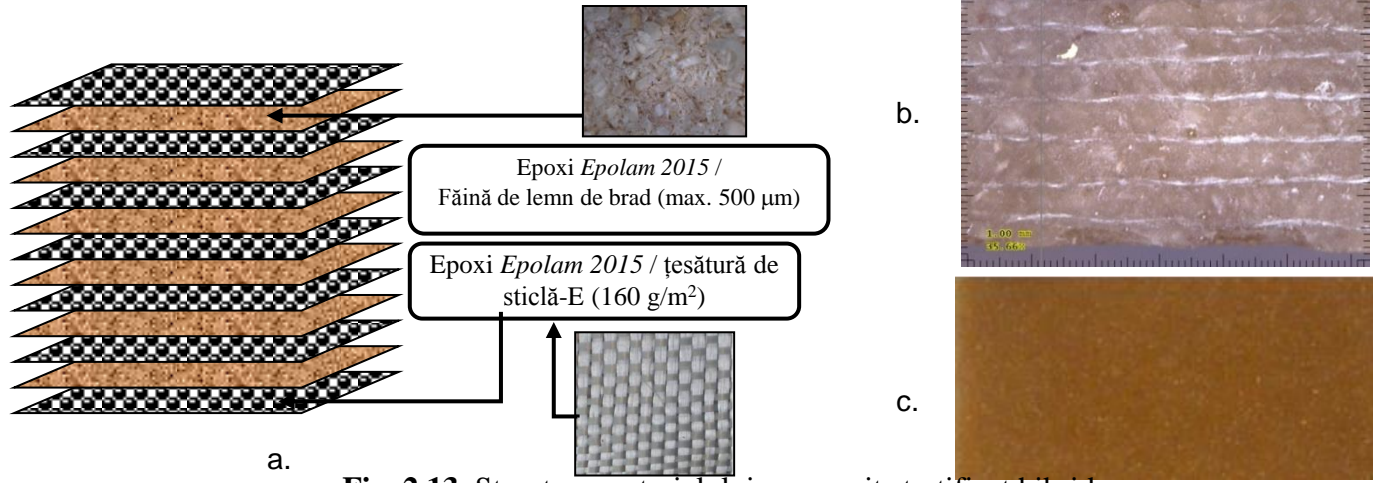


Fig. 2.13. Structura materialului compozit stratificat hibrid:
a.Schematic; b. Fotografie înregistrată cu microscopul digital; c. Suprafața materialului compozit

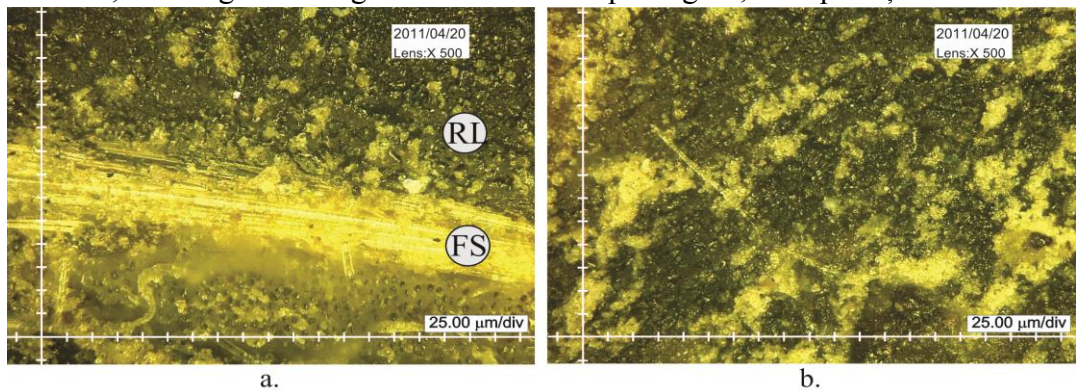


Fig. 2.14. Fotografii (500x) ale secțiunii compozitului în care se prezintă:
a. Un strat din țesătură de sticlă și rășină; b. Un strat din rășină epoxi ranforsată cu făină de lemn de brad (FS – fibre de sticlă, RL – strat din rășină ranforsată cu făină de lemn)

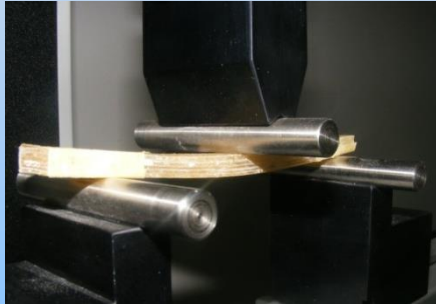
Cap. 2.4

Metoda de testare

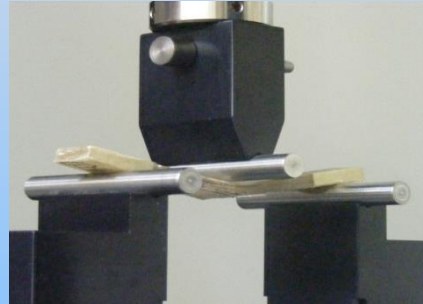
1. Imersiunea în apă (EN ISO 62 / 2008)

- pentru 1177 ore (\approx 1 lună și 19 zile);
- pentru 3048 ore (\approx 4 luni și 7 zile);
- pentru 6572 ore (\approx 9 luni și 4 zile).

2. Încercarea la încovoiere prin metoda celor trei puncte (EN ISO 14125) înainte și după imersiune în apă



a.



b.

Fig. 2.15. Încercarea la încovoiere prin metoda celor trei puncte:
a. Înainte de rupere; b. După ruperea primului strat.

3. Încercarea la impact prin testul Charpy (EN ISO 14125) înainte și după imersiune în apă

Echipamentul de testare la impact HIT50P (Zwich)

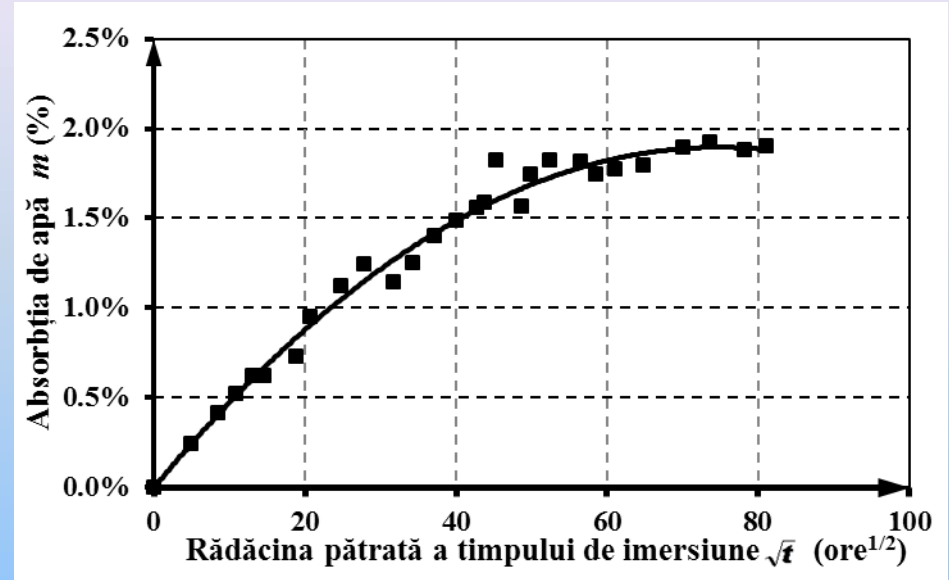
4. Analiza la microscop a materialului degradat



2.4.2. Rezultate și discuții

- Datele de absorbție

Fig. 2.18. Curba de absorbție de apă pe durata celor 6572 ore de imersiune în apă



- Efectele duratei de imersiune asupra curbelor F-v la încovoiere

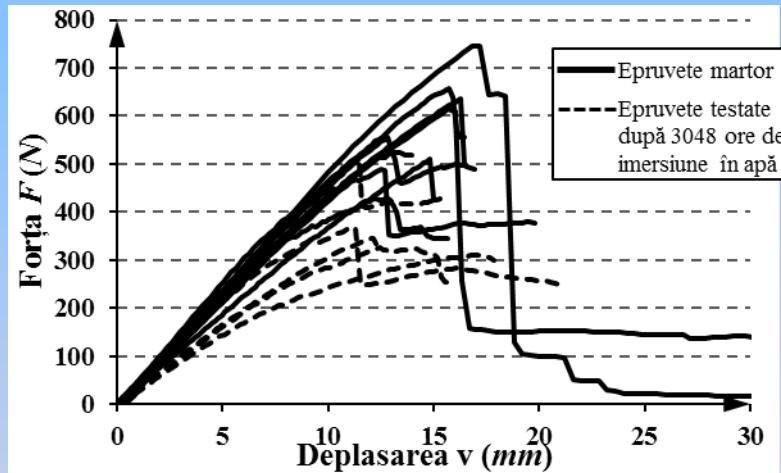


Fig. 2.19. Curbele $F-v$ înregistrate în încercarea la încovoiere, înainte și după imersiune în apă

Cap. 2.4 ▪ Efectele duratei de imersiune asupra asupra caracteristicilor mecanice de încovoiere

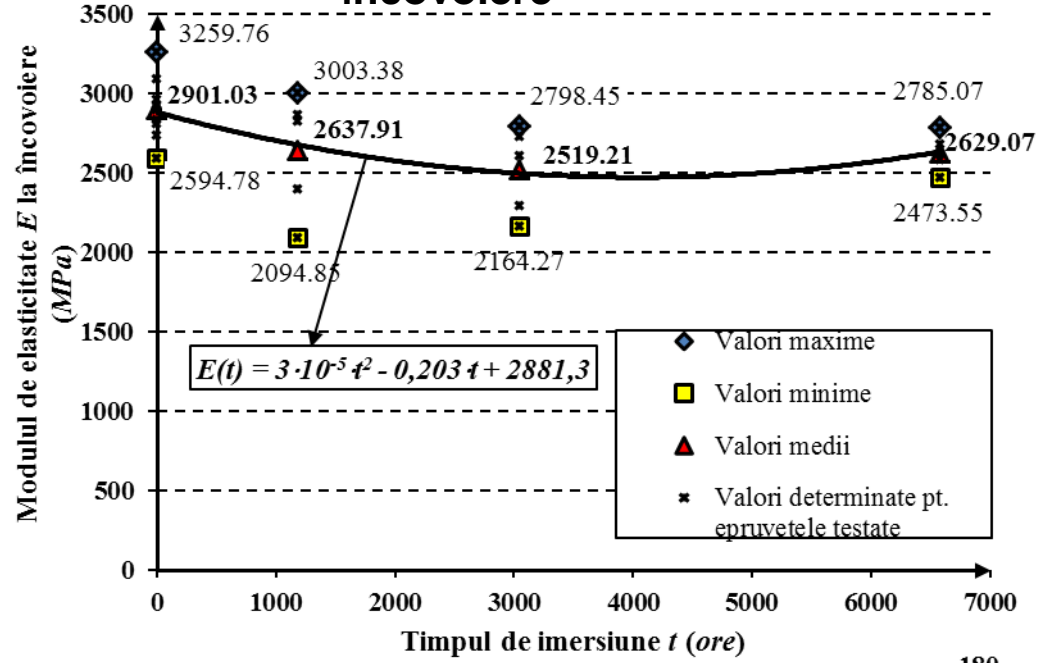
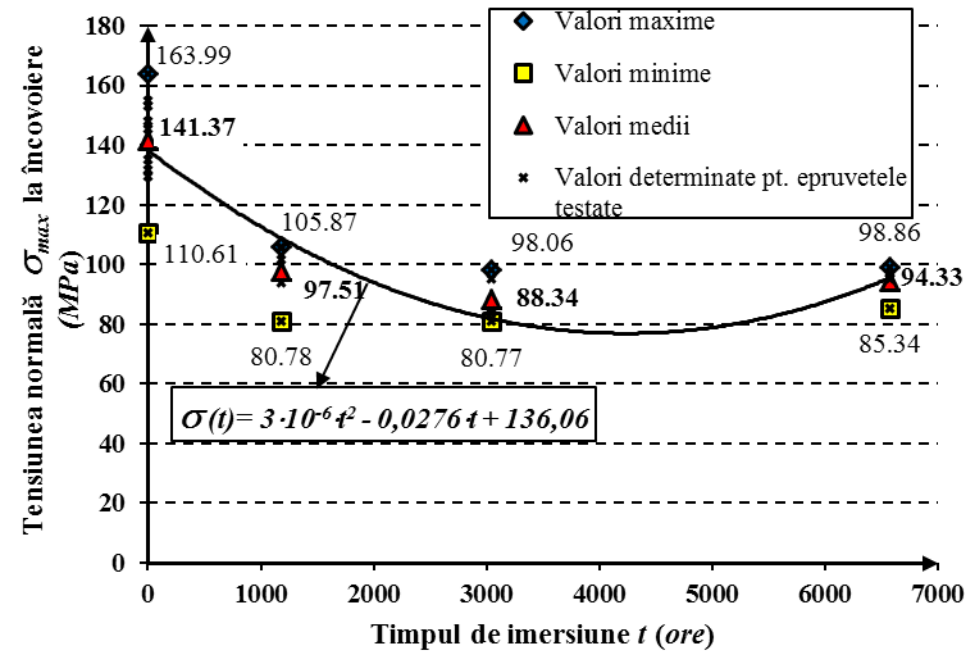


Fig. 2.20. Variația modului de elasticitate E la încovoiere în funcție de durata de imersiune în apă

Fig. 2.21. Variația tensiunii normale maxime la încovoiere în funcție de durata de imersiune în apă



Cap. 2.4

- Efectele duratei de imersiune asupra caracteristicilor de impact în testul *Charpy*

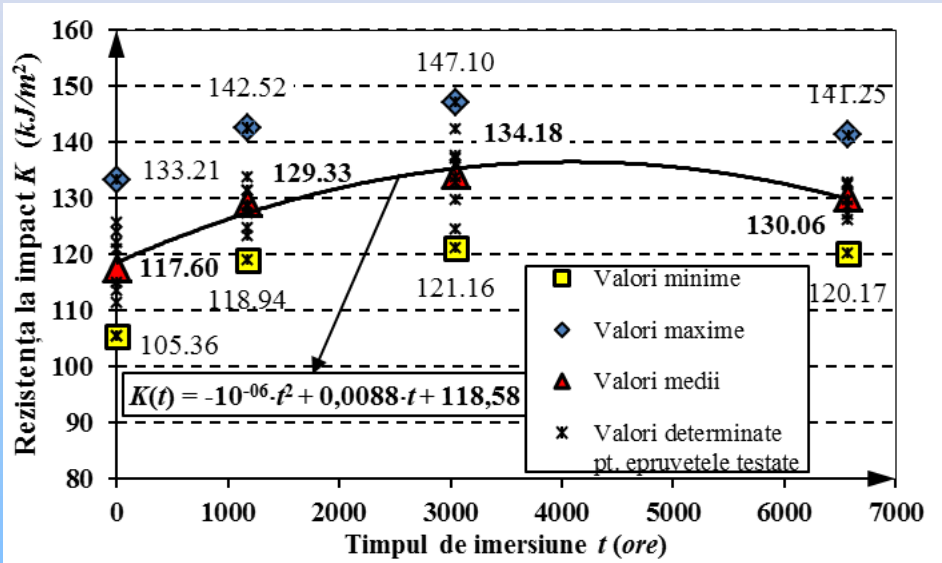
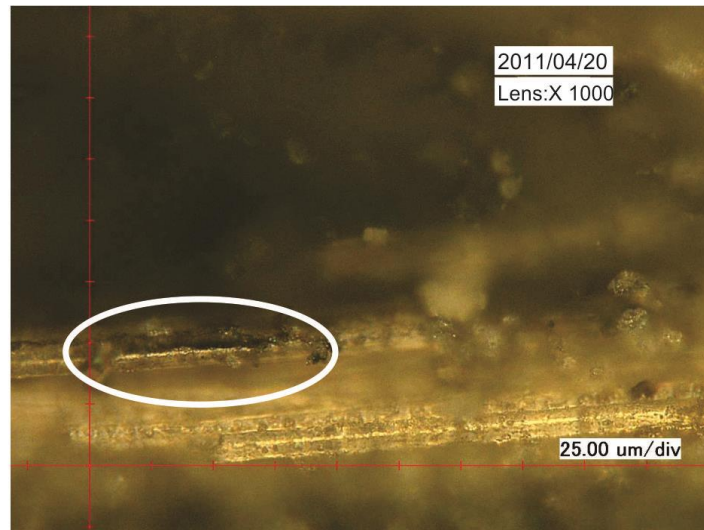


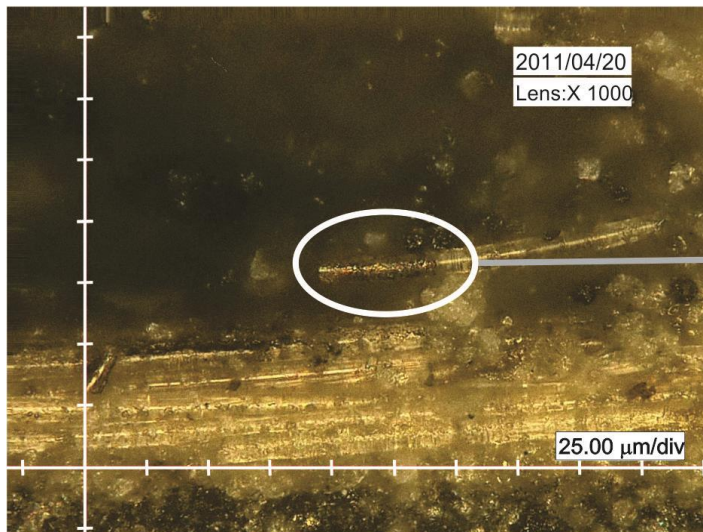
Fig. 2.23. Variația rezistenței la impact determinată prin testul *Charpy*, în funcție de durata de imersiune în apă

Cap. 2.4.2. Rezultatele analizelor la microscop a zonelor de rupere

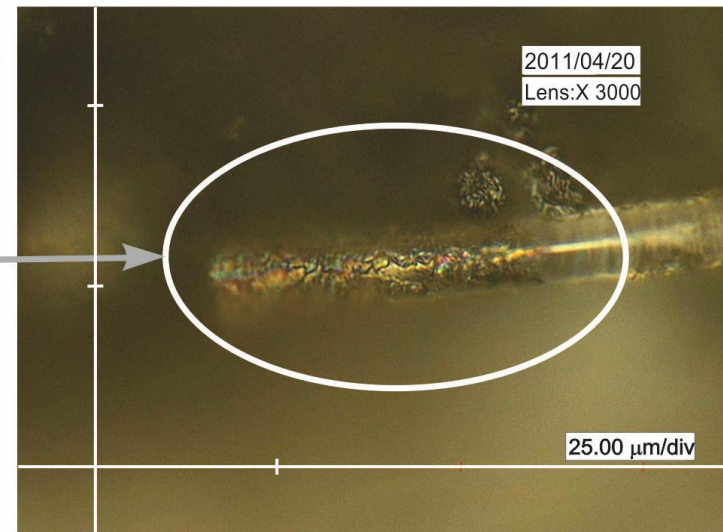
- zonele deteriorate (micro-fisuri) alternează cu suprafețele lucioase care caracterizează fibrele de sticlă



a.



b.



c.

Fig. 2.27. Zone degradate la suprafața fibrelor de sticlă:

a, b. Fotografii cu zoom 1000x; c. Fotografie a fibrei de sticlă degradată (zoom 3000x)

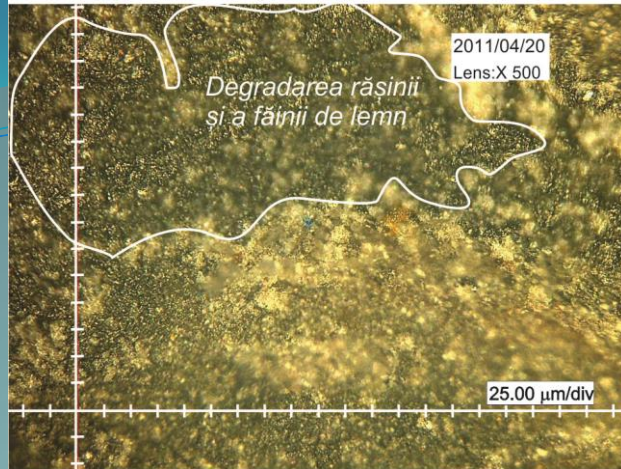


Fig. 2.28. Zona degradată cauzată de oxidarea rășinii din stratul din făină de lemn / epoxi

- **Lignina** este un material fotosensibil iar **culoarea acesteia se modifică de la culoarea maronie la gri sub acțiunea razelor ultraviolete (UV) și sub acțiunea apei** (Fig. 2.28). **Celuloza și hemiceluloza** sunt polizaharide și acestea conțin multe grupări hidroxil (-OH) care **facilitează formarea de legături de hidrogen cu structura polimerului** (Klyosov 2007).
- **Moleculele de apă** sunt absorbite în interiorul materialului compozit hibrid și apoi, acestea **plasticizează polimerul din cauza legăturilor chimice care se formează** (Cerbu 2005, Maggana și Pissis 1999).
- **Legătura de hidrogen formată între moleculele de apă și structura celulozică este cauza degradării caracteristicilor mecanice** în cazul materialului compozit sticlă / făină de lemn / epoxi după imersiunea de lungă durată în apă (Dhakal et al., 2007).
- **Degradarea legăturii la interfața dintre fibrele de sticlă și rășina polimerică reprezintă cauza atât a dezvoltării microfisurilor cât și a depunerii de oxizi la acest nivel** (Cerbu, Fig. 2.27).
- **Cauza creșterii proprietăților mecanice la saturație** (Fig. 2.20...2.22) **este atribuită umflării suplimentare a fibrelor de lemn** în mod similar cu comportarea fibrelor de cânepă și cu cea a fibrelor de iută (Ayensu, 2000). Astfel, după **umflarea fibrelor de lemn din cauza absorbției de umiditate, acestea umple golurile de la interfața** dintre rășină și fibrele de sticlă. **În consecință, îmbunătățirea contactului la nivelul interfeței fibre-rășină**, a condus la îmbunătățirea comportării mecanice la încovoiere a materialului compozit hibrid sticlă / făină de lemn / rășină la saturație (curba de absorbție din Fig. 2.18).

Principalele concluzii

- Cauzele degradării proprietăților mecanice sunt următoarele: **deteriorările care au avut loc la interfața dintre fibrele de sticlă și rășină** (Fig. 2.27, c); **efectele plasticizării structurii celulozice a fibrelor de lemn prin formarea de legături de hidrogen**.
- **Imersiunea completă în apă este considerată ca un procedeu de îmbătrânire accelerată** (Springer, 1988; Abdul Khalil et al., 2011; Pomiès et al., 1995). Deoarece tensiunea maximă σ_{max} la încovoiere a scăzut cu 33,27% după 6572 ore de imersiune în apă, **se recomandă utilizarea cu anumite restricții a unui astfel de material compozit hibrid pentru aplicații în medii cu umiditate ridicată pe termen lung**.
- **Caracteristicilor mecanice (modulul de elasticitate la încovoiere $E=2901$ MPa; tensiunea maximă la încovoiere $\sigma_{max}=141$ MPa; rezistența la impact $K=117,6$ kJ/m²) corespunzătoare materialul compozit sticlă-E / făină de lemn de brad / rășină epoxi face ca acesta să poată fi utilizat pentru: fabricarea plăcilor utilizate în construcții, componente de mobilier, ornamente, carcase și așa mai departe**
- **Se recomandă ca în cazul aplicațiilor de exterior** (mobilier de grădină, terase) sau în medii cu umiditate ridicată, **să se utilizeze făină de lemn de brad sau cea provenită din alte specii de rășinoase, deoarece acestea au un conținut redus de tanini** (Klyosov, 2007).
- **Fibrele de lemn** provenite din deșeuri de lemn, reprezintă o **sursă regenerabilă și sustenabilă de materie primă** care poate fi utilizată ca material de ranforsare sau ca umplutură în cazul materialelor compozite.
- **Avantajela** utilizării fibrelor de lemn: **aspect natural apropiat lemnului** și nu necesită utilizarea coloranților artificiali; **reducerea numărului de straturi de fibre de sticlă**; **reducerea costurilor de materiale**.

Cap. 2.5

Comparația rezultatelor cu cele din literatura de specialitate

Comparația datelor referitoare la absorbția de apă

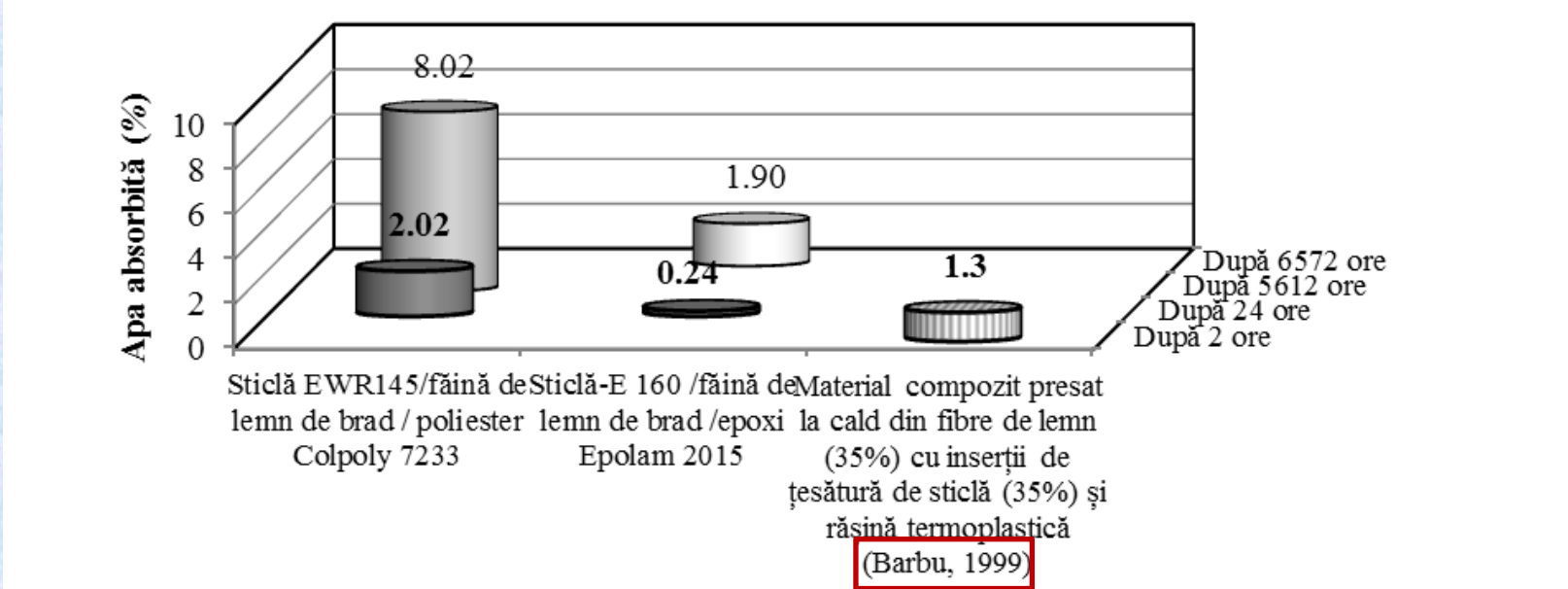


Fig. 2.29. Comparația rezultatelor cu cele din literatura de specialitate în ceea ce privește absorbția de apă

Comparația rezultatelor cu cele din literatura de specialitate

Comparația datelor referitoare la tensiunea de rupere la încovoiere

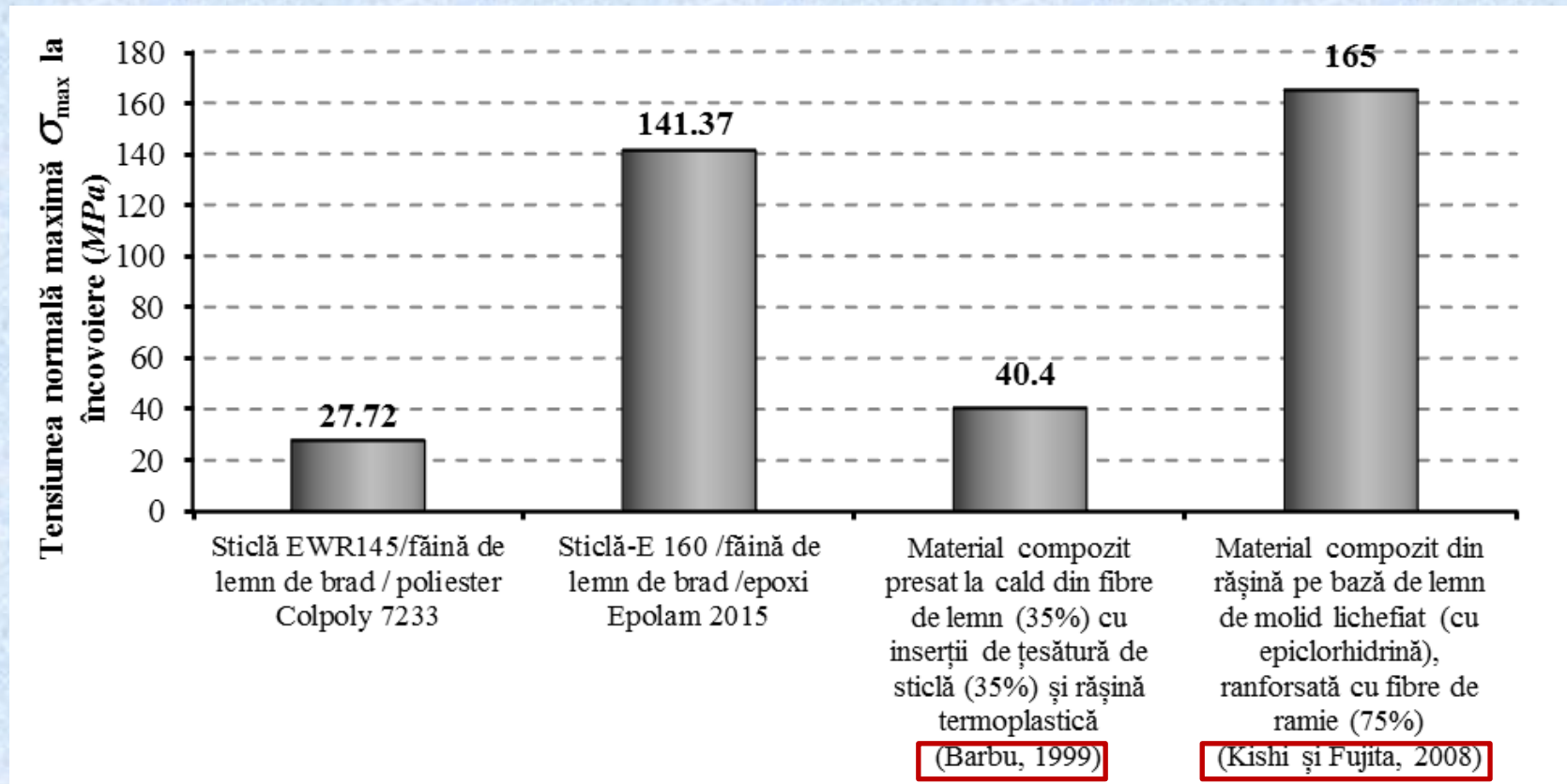


Fig. 2.30. Comparația rezultatelor cu cele din literatura de specialitate în ceea ce privește tensiunea normală max. σ_{max} la încovoiere

Comparația rezultatelor cu cele din literatura de specialitate

Comparația datelor referitoare la modulul de elasticitate E la încovoiere

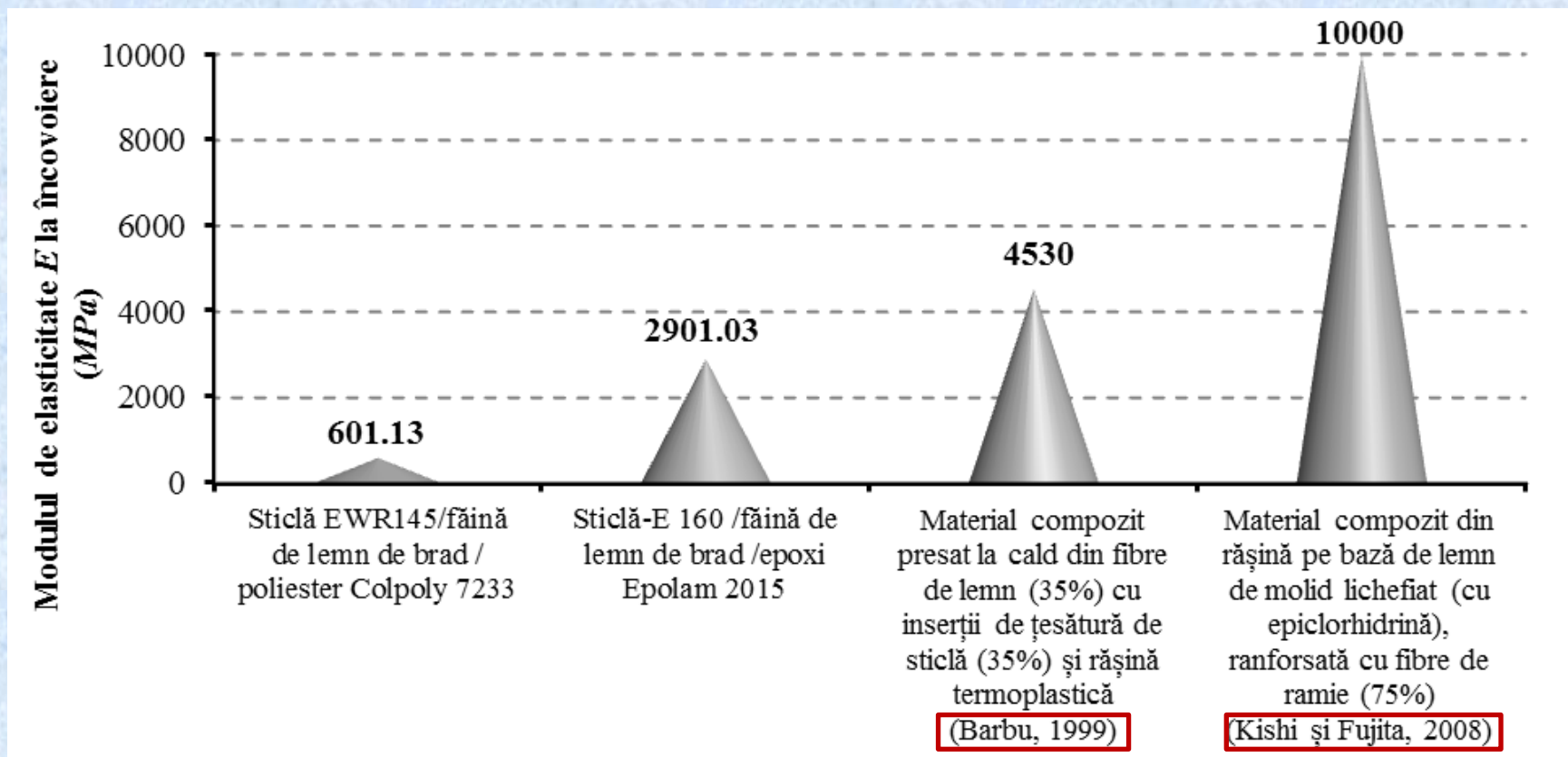
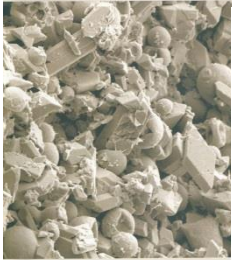


Fig. 2.31. Comparația rezultatelor cu cele din literatura de specialitate în ceea ce privește modulul de elasticitate E la încovoiere

Cap. 2.5

Diseminarea rezultatelor din Capitolul 2:



Effects of the Wood Species on the Mechanical Characteristics in Case of E-glass Fibres/Wood Flour/Polyester Composite Materials

Abstract: The paper describes some aspects concerning the effects of the type of wood species on some mechanical characteristics of a new type of composite material filled with E-glass fibres and wood flour. The paper also shows the effects of the moisture absorption on the mechanical behaviour in bending after immersion in an alkaline aqueous solution and on the mechanical behaviour in bending after immersion in a water solution of sodium hydroxide. The paper also shows the effects of the moisture absorption on the mechanical behaviour in bending after immersion in a water solution of sodium hydroxide. The paper also shows the effects of the moisture absorption on the mechanical behaviour in bending after immersion in a water solution of sodium hydroxide.

Publicarea unui articol în revistă cotate ISI

- **Cerbu, Camelia, Curtu, I., Ciofoaia, V., Roșca I. C., Hanganu, L. C., Effects of the wood species on the mechanical characteristics in case of some E-glass fibres/wood flour/polyester composite materials, Revista Materiale Plastice, ISSN 0025-5289, Vol. 47, Nr. 1, martie 2010, p.109-114**

Citări:

- **2 citări în reviste ISI cu factor de impact** (1 citare în *Materials & Design - FI: 3.171 / 2014*; 1 citare în *Journal of Reinforced Plastics & Composites (2015) - FI: 1,503 / 2014*)
- **1 citare în revistă indexată ISI**
- **7 citări în reviste indexate BDI**
- **2 citări în Proceedings conferințe internaționale indexate ISI.**

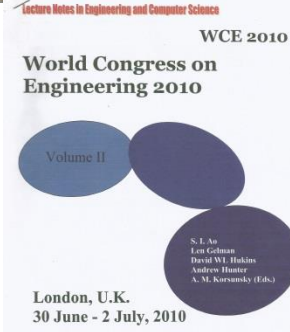


Particularități privind comportarea mecanică în mediu umed în cazul unui material compozit hibrid cu făină de lemn / Particularities concerning the mechanical behaviour in wet environment in case of a hybrid composite material with wood flour

Abstract: The paper describes the effect of the wood species on the mechanical characteristics of a hybrid composite material filled with wood flour and E-glass fibres. The paper also shows the effect of the moisture absorption on the mechanical behaviour in bending after immersion in an alkaline aqueous solution and on the mechanical behaviour in bending after immersion in a water solution of sodium hydroxide. The paper also shows the effect of the moisture absorption on the mechanical behaviour in bending after immersion in a water solution of sodium hydroxide.

Publicarea unui articol în revistă indexată BDI

- **Cerbu, Camelia, Curtu, I., Particularități privind comportarea mecanică în mediu umed în cazul unui material compozit hibrid cu făină de lemn / Particularities concerning the mechanical behaviour in wet environment in case of a hybrid composite material with wood flour, Revista ProLigno, ISSN 1841-4737, Vol. 5, Nr. 3, septembrie 2009, p.37-45, <http://www.proligno.ro/ro/articles/2009/200903.htm> (Sursa BDI: Google Scholar, EBSCO)**



Solutions for Improving of the Mechanical Behaviour of the Composite Materials Filled with Wood Flour

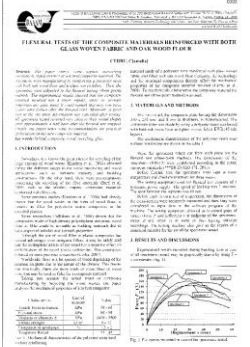
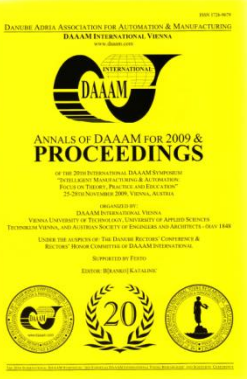
Abstract: The paper describes the effect of the wood species on the mechanical characteristics of a hybrid composite material filled with wood flour and E-glass fibres. The paper also shows the effect of the moisture absorption on the mechanical behaviour in bending after immersion in an alkaline aqueous solution and on the mechanical behaviour in bending after immersion in a water solution of sodium hydroxide. The paper also shows the effect of the moisture absorption on the mechanical behaviour in bending after immersion in a water solution of sodium hydroxide.

Publicarea în Proceedings indexate BDI

- **Cerbu, Camelia, Luca-Motoc, Dana, Solutions for improving of the mechanical behaviour of the composite materials filled with wood flour, Proceedings of The World Congress on Engineering 2010, Vol. II, ISBN 978-988-18210-7-2, WCE 2010, June 30 - July 2, 2010, London, U.K; Publisher: Newswood Limited; Organization: International Association of Engineers; p. 1097-1100; (Sursa BDI: Scopus, Google Scholar)**

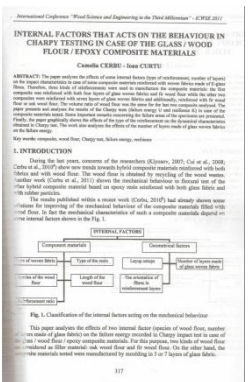
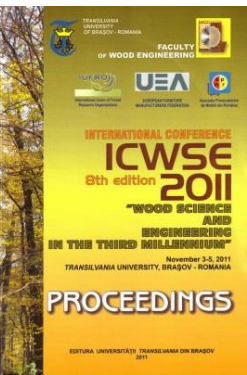
CERBU Camelia – Teza de abilitare
Universitatea Transilvania din Brașov, 17 septembrie, sala CP8

Cap. 2.5



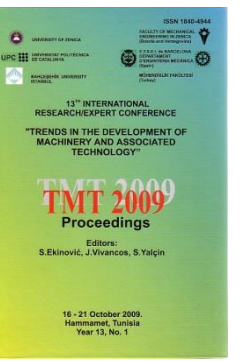
✓ Publicarea în Proceedings indexat ISI

- Cerbu, Camelia, *Flexural tests of the Composite materials reinforced with both glass woven fabric and oak wood flour, Annals of DAAAM for 2009 & Proceedings of the 20th International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: focus on Theory, Practice & Education"*, Vol. 20, No. 1, 25-28th November 2009, Vienna, Austria, ISSN 1726-9679, ISBN 978-3-901509-70-4, Editor Branko Katalinic, p. 303-304 (Sursa BDI: ISI Web of Science, SCOPUS, Google Scholar, EBSCO)



✓ Participarea la conferințe internaționale organizate în străinătate și în țară

- Cerbu, Camelia, Curtu, I., *Internal factors that acts on the behaviour in Charpy testing in case of the glass / wood flour / epoxy composite materials, Proceedings of The International Conference "Wood Science and Engineering in the Third Millenium" ICWSE 2011, Transilvania University of Brasov, 3-5 November 2011, ISSN 1843-2689, p. 317-322;*



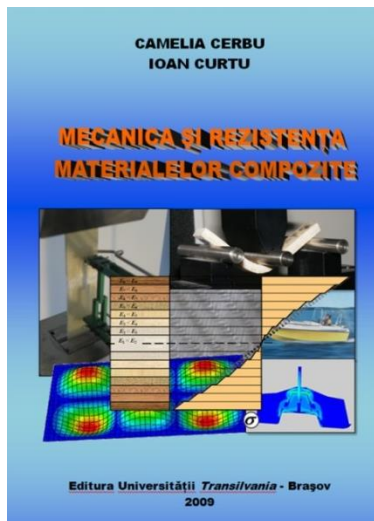
- Ciofoaia, V., Cerbu, Camelia, Sechel, D., *About the effects of the moisture absorption on mechanical behaviour in tensile test of composites made of E-glass woven fabrics, Proceedings of The 13th International Research / Expert Conference - Trends in the Development of Machinery and Associated Technology TMT 2009, 16-21 October, 2009, Hammamet-Tunisia, ISSN 1840-4944, p. 797-800.*

✓ Grant național câștigat în calitate de director

Proiect de cercetare exploratorie PN-II-PCE, Program IDEI, cod ID_733 / 2008, nr. 601 / 19.01.2009, *Cercetări privind comportarea mecanică a unor structuri compozite și nano-compozite hibride ranforsate cu particule, țesături și materiale reciclate în condiții agresive de mediu*; director: **Cerbu Camelia**; finanțator: UEFISCDI, CNCSIS.

Perioada de derulare: 2009-2011

Valoare totală: 423385,93 lei.



✓ Publicarea unor rezultate într-un capitol din cartea (în editură acreditată CNCSIS):

Cerbu Camelia, Curtu Ioan, Mecanica și rezistența materialelor compozite, Editura Universității Transilvania din Brașov, ISBN 978-973-598-614-8, 2009, 264 pagini.

© 2009 EDITURA UNIVERSITĂȚII TRANSILVANIA DIN BRAȘOV

Adresa: 500091 Brașov,
B-dul Tului Mânzii 41A
Tel: 0268 - 476050
Fax: 0268 476051
E-mail: editura@unitbv.ro



Tipărit la:
Tipografia Universității Transilvania din Brașov
B-dul Tului Mânzii 41A
Tel: 0268 - 476050

Toate drepturile rezervate

Editură acreditată de CNCSIS
Adresa nr.1615 din 29 mai 2002

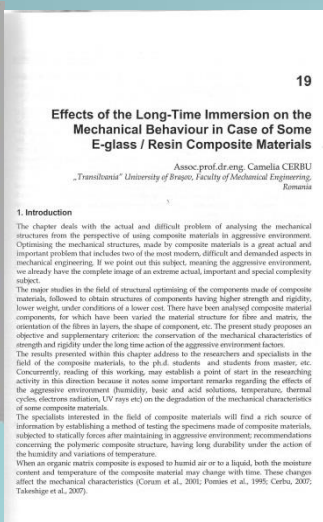
Referenți științifici: Prof. univ. dr. ing. Vasile CIOFOAIA
Prof. univ. dr. ing. Ios BALCU

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

CERBU, CAMELIA
Mecanica și rezistența materialelor compozite / Camelia Cerbu, Ioan Curtu -
Brașov : Editura Universității "Transilvania", 2009
Bibliogr.
ISBN 978-973-598-614-8
I. Cerbu, Ioan
539.4

Chibăniile de publicare-editare prezum și rezultatele cercetărilor de știință în domeniul de fizică au
fost finanțate de UEFISCDI - România (Programa Națională de Cercetare Științifică de Învățământ
Superior și de Cercetare Științifică) prin Proiectul de Cercetare Exploratorie
(Program IDEI), Contract nr. ID_733/2008, CNCSIS, director: Conf.dr.ing. Camelia CERBU

Capitol în carte



Cerbu, Camelia (unic autor), Chapter 19 “*Effects of the long-time immersion on the mechanical behaviour in case of some E-glass / resin composite materials*”,
 In book: “**Woven Fabric Engineering**”, ISBN 978-953-307-194-7, **SCIYO Publisher**, Published in print edition August 2010, **Editor: Polona Dobnik Dubrovski**, p. 363-386 (24 pagini).

Link:

<http://www.intechopen.com/articles/show/title/effects-of-the-long-time-immersion-on-the-mechanical-behaviour-in-case-of-some-e-glass-resin-composi>

DOI: 10.5772/10462

INTECHopen - beta - InTechWeb.org

Home Books Journals Search by ISBN, ISSN, Author, Title Search

Browse By Subject

- Biological Sciences (12)
- Computer and Information Science (97)
- Earth Sciences (14)
- Electrical and Electronic Engineering (111)
- Engineering (74)**
 - Aeronautical Engineering (3)
 - Aerospace Sciences (3)
 - Automotive Industry (2)
 - Civil Engineering (4)
 - Control Engineering (3)
 - Control Systems (5)
 - Control Systems Engineering (8)
 - Electronics (7)
 - Energy (9)
 - Energy Engineering (4)
 - Engineering Management (6)
 - Environmental Engineering (17)
 - Gas and Petroleum (2)
 - Industrial Engineering (12)
 - Mechanical Engineering (12)

Effects of the Long-Time Immersion on the Mechanical Behaviour in Case of Some E-glass / Resin Composite Materials

Camelia Cerbu

Source: [Woven Fabric Engineering](#). Book edited by: Polona Dobnik Dubrovski, ISBN: 978-953-307-194-7
 Publisher: Sciyo, Publishing date: November 2010

File View My Favorites List Report a bug Chapter

1 / 24

Share this article on: Facebook Twitter StumbleUpon LinkedIn YouTube

23 views, 1

19

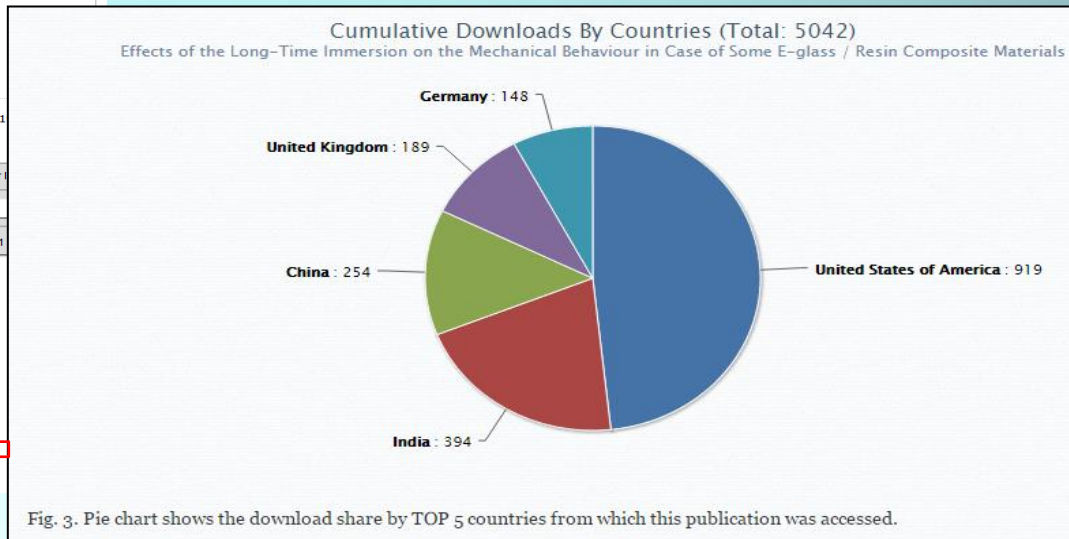
Effects of the Long-Time Immersion on the Mechanical Behaviour in Case of Some E-glass / Resin Composite Materials

Assoc. prof. dr. eng. Camelia CERBU
 „Transilvania” University of Braşov, Faculty of Mechanical Engineering, Romania

Statistică privind descărcarea format-ului pdf al capitolului

Total : 5042 descărcări

USA, Germania, United Kingdom, China, India: 1904 descărcări



Capitolul 3:

Efectul tipului de fibre de lemn asupra coeficientului de contracție transversală în cazul materialelor compozite hibride de tipul sticlă-E / făină de lemn / epoxi

Probleme tratate în Capitolul 3

3.1. Introducere

3.2. Materiale testate și metoda experimentală

3.2.1. Materiale

3.2.2. Metoda de lucru

3.2.3. Aproximarea datelor experimentale

3.3. Rezultate și discuții

3.4. Concluzii

3.1. Introducere

Stadiul actual al cercetărilor privind determinarea coeficienților de contracție transversală a materialelor compozite și metodele experimentale abordate

- ***Utilizarea mărcilor tensometrice aplicate pe epruvete pentru analiza variației deformației specifice ε_l în direcția longitudinală a epruvetei sollicitate la tracțiune (direcția forței de tracțiune) în funcție de deformația specifică ε_t în direcția transversală pe direcția solicitării la tracțiune în cazul țesăturilor cu fire dublu spiralate și a compozitelor ranforsate cu astfel de țesături (Miller et al., 2009).***
- ***Într-o altă lucrare s-a studiat variația hiperbolică a coeficientului lui Poisson ν în funcție de deformația specifică longitudinală în cazul sulfurii de polifenilen ranforsată cu fibre de carbon, prin utilizarea mărcilor tensometrice, a fibrelor optice și a unui extensometru pentru măsurarea deformațiilor specifice (Baere et al., 2009).***
- ***Analiza micro-deformațiilor plastice în rășina epoxi ranforsată cu fibre scurte de borosilicat (35% în greutate), care se dezvoltă în timpul încercării de tracțiune, prin metoda corelării digitale a imaginii (DIC). Comportarea anizotropă depinde de unghiul de orientare al fibrelor față de direcția de încărcare (Godara și Raabe, 2007).***
- ***În structurile din materiale compozite stratificate au loc câteva fenomene locale în ceea ce privește câmpul deformațiilor (Hadăr et al., 2007; Stan et al., 2011).***
- ***Utilizarea metodei DIC pentru măsurarea deformației locale de la vârful fisurii, considerată ca parametru de rupere, în scopul caracterizării deteriorărilor de la interfața epruvetelor de tip sandwich cu două defecte interlaminare inițiale (Constantinescu et al., 2009).***

Motivația alegerii temei de cercetare prezentată în Capitolul 3

- **Necesitatea determinării coeficienților de contracție transversală** (coeficientul lui Poisson ν_{12} în planul 12 de ranforsare al materialului compozit) **în scopul modelării și simulării comportării mecanice** a pieselor fabricate din **materiale compozite hibride ranforsate atât cu fibre de sticlă cât și cu făină de lemn**.
- **Necesitatea cunoașterii efectului fibrelor de lemn** (făină de lemn) **asupra coeficientul lui Poisson ν_{12}** în planul 12 de ranforsare al materialului compozit.
- **Metoda corelării digitale a imaginilor** (metoda DIC) este o **metodă modernă și precisă, utilizată frecvent** pentru măsurarea deformațiilor în inginerie mecanică.
- În cazul **structurilor din materiale compozite formate din straturi subțiri** numite “lamine” **coeficienții de contracție transversală interlaminară ν_{23} și ν_{13} nu intervin în calculele de rezistență** (Barbero, 1998; Berthelot, 2007; Alămoreanu și Chiriță, 1997). Ca urmare, în software-le de analiză cu elemente finite (ca de exemplu, **Abaqus**), **nu intervin în etapa de definire a caracteristicilor de material pentru straturile subțiri din materiale compozite** (Cerbu și Popa, 2013).

Obiectivele principale ale Capitolului 3

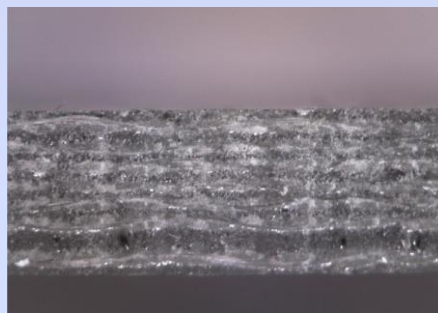
- **Utilizarea metodei corelării digitale a imaginilor** combinată cu încercarea de tracțiune **în scopul determinării coeficientului lui Poisson ν_{12}** corespunzător planului 12 de ranforsare, în cazul **materialului compozit hibrid din rășină epoxi ranforsată atât cu fibre de sticlă cât și cu făină de lemn.**
- **Analiza efectelor tipului fibrelor de lemn asupra coeficientului lui Poisson ν_{12}** prin comparația dintre rezultatele corespunzătoare **materialului compozit sticlă-E / făină de lemn / epoxi** cu cele obținute în cazul materialelor compozite **ranforsate fie doar cu țesătură de sticlă, fie doar cu făină de lemn.**
- **Comparația rezultatelor cu cele din literatura de specialitate.**

3.2. Materiale testate și metoda experimentală

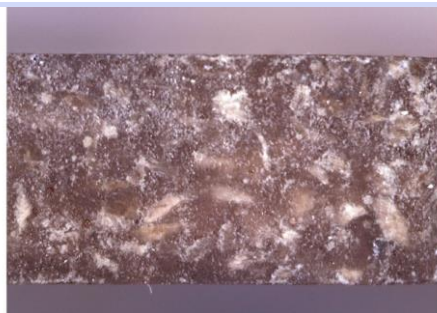
Tabelul 3.1.

Codificarea și structura de material corespunzătoare epruvetelor testate în vederea determinării coeficientului lui *Poisson*

Material compozit	Codificare epruvete	Material pentru matrice	Material de ranforsare	Grosimea medie a epruvetelor (mm)
<i>Compozit 1</i>	G01...G10	Rășină	Țesătură de sticlă (7 straturi)	2,5
<i>Compozit 2</i>	K01... K10	epoxi de	Făină de lemn de stejar	3,0
<i>Compozit 3</i>	4GK01... 4GK10	tip	Țesătură de sticlă (4 straturi) + făină de lemn de stejar	3,5
<i>Compozit 4</i>	4GF01... 4GF10	<i>Epolam 2015</i>	Țesătură de sticlă (4 straturi) + făină de lemn de brad	4,0



a.



b.



c.



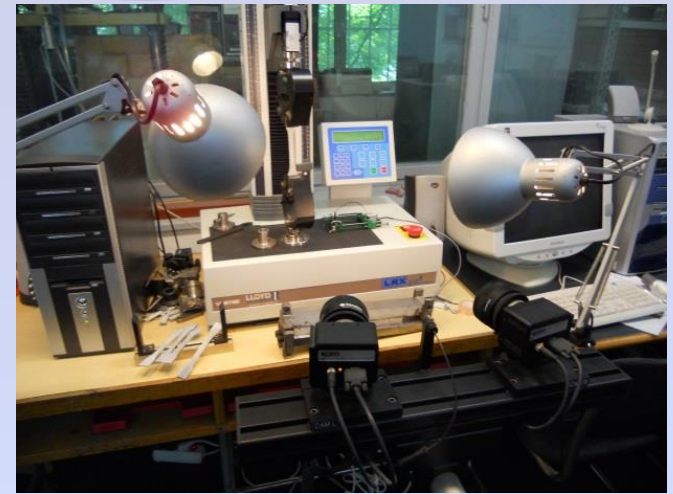
d.

Fig. 3.1. Fotografii în secțiune pentru materialele compozite testate, achiziționate cu microscopul digital: a. *Compozit 1*; b. *Compozit 2*; c. *Compozit 3*; d. *Compozit 4*

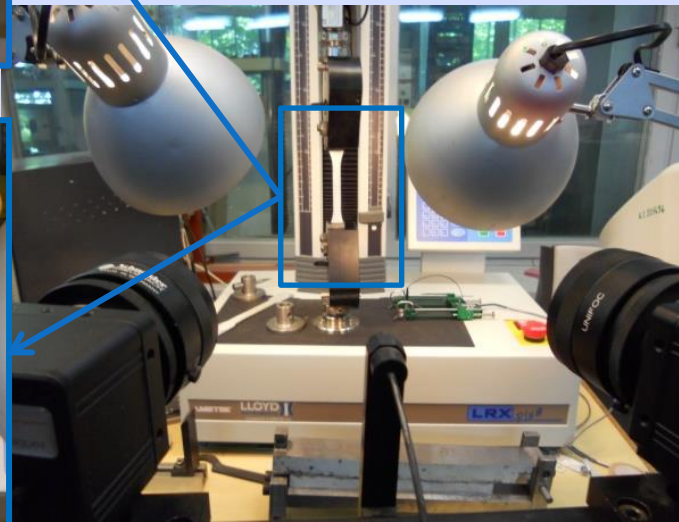
3.2. Metoda de lucru



a.



b.



c.

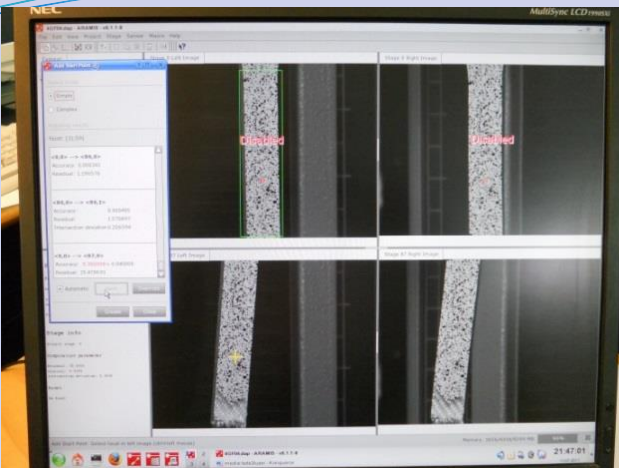


d.

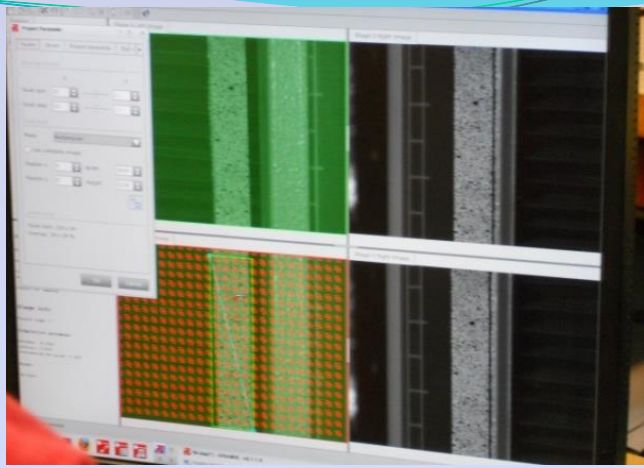
Fig. 3.2. Echipamentele de testare:

a. Vedere de ansamblu; b,c. Mașină de încercare la tracțiune de tipul *LR5K Plus* (LLOYD Instruments); d. Sistemul *Aramis*

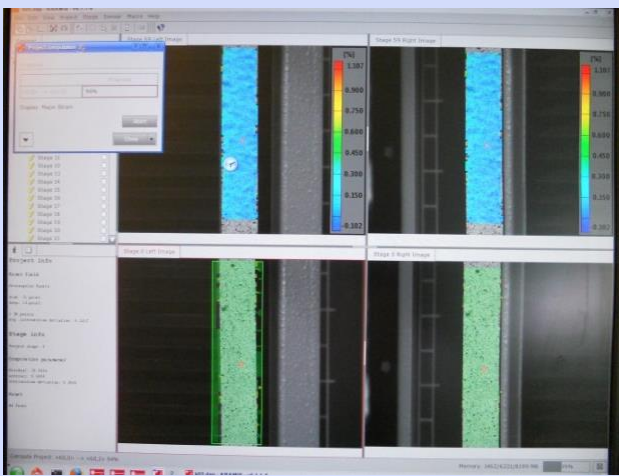
Cap. 3.2



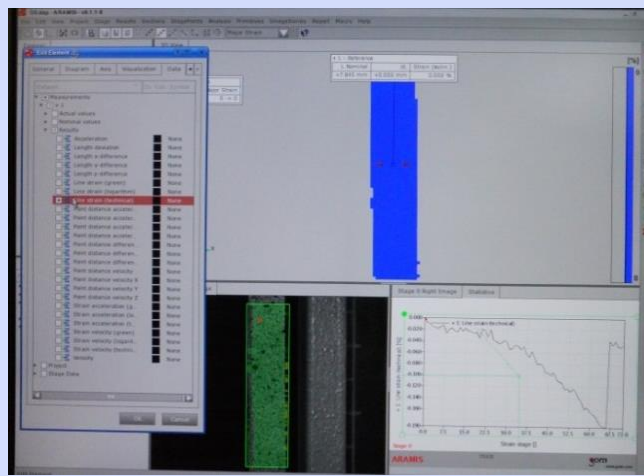
a.



b.



c.



d.

Fig. 3.4. Achiziția de date cu soft-ul ARAMIS-v6.1.1-8:
a,b – selectarea punctelor de calcul; c. imaginea preluată de la camerele foto în timp real; d. curba în timp real

3.2.3. Aproximarea datelor experimentale

- Aproximarea datelor experimentale s-a făcut prin **metoda celor mai mici pătrate** (Attaway, 2009; Ghinea și Firețeanu, 2007).
- S-a utilizat **regresia liniară** care înseamnă aproximarea printr-o funcție liniară a setului de date experimentale $(\varepsilon_{li}, \varepsilon_{ti})$ cu $i = \overline{1, n}$, funcție care *minimizează suma pătratelor dintre dreapta de aproximare și punctele corespunzătoare setului de date experimentale*.
- **O măsură a calității aproximării datelor experimentale (gradul de precizie)** prin curba obținută prin metoda regresiei pătratice (în acest caz, de tip liniară), se numește **valoare pătrată notată cu R**, care poate fi calculată utilizând următoarea relație de calcul aplicată în cazul unui set de date experimentale având coordonatele (x_i, y_i) cu $i = \overline{1, n}$ (Attaway, 2009):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (3.1)$$

unde n reprezintă numărul punctelor din setul de date; y_i reprezintă ordonata punctului i ; x_i reprezintă abscisa punctului i ; f_i este *valoarea funcției regresiei liniare*.

În relația (3.1), \bar{y} reprezintă *valoarea medie a datelor din setul de date*, calculată cu relația:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i. \quad (3.3)$$

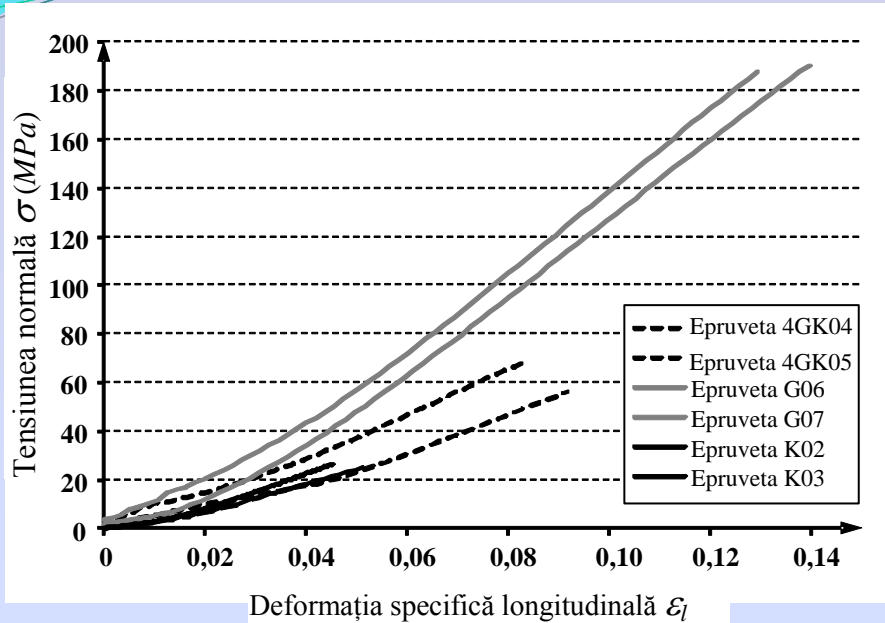


Fig. 3.5. Curbele înregistrate în cazul epruvetelor fabricate din materialele: *Compozit 1, Compozit 2, Compozit 3*

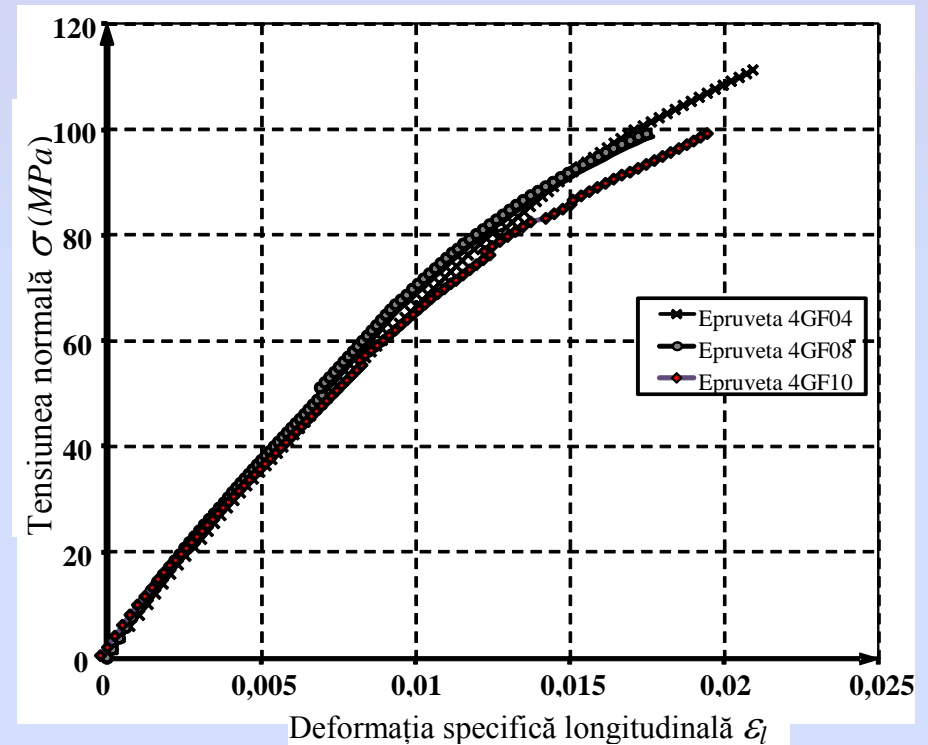


Fig. 3.6. Curbele înregistrate în cazul epruvetelor fabricate din materialul *Compozit 4*

Cap. 3.3

Material compozit Sticlă-E / epoxi

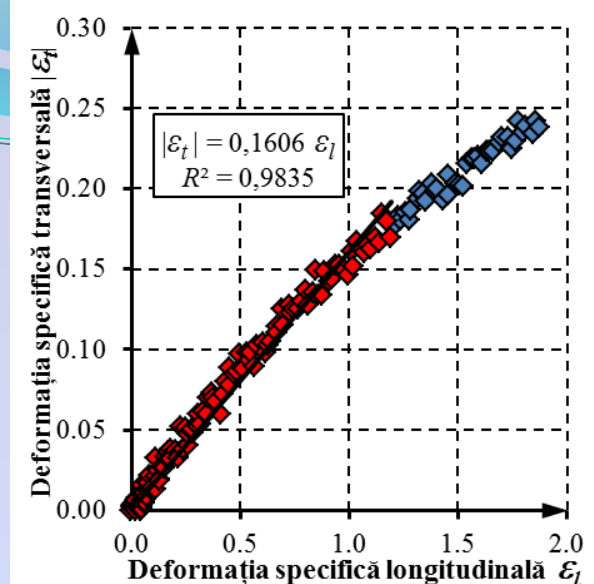
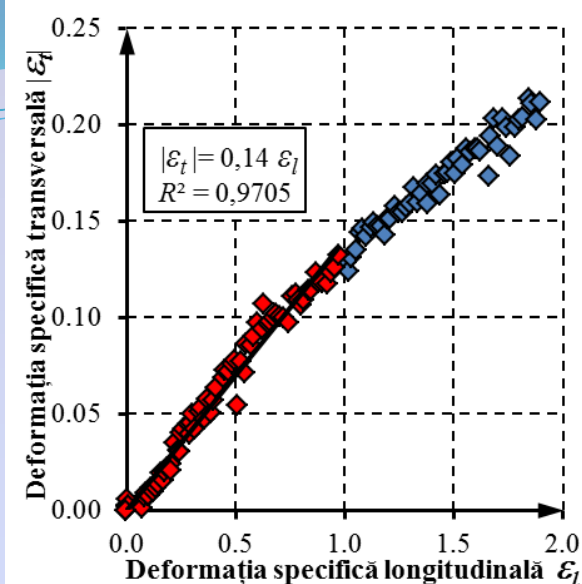


Fig. 3.7. Variația deformației specifice transversale $|\epsilon_t|$ în funcție de deformația specifică longitudinală ϵ_l în cazul materialului *Compozit 1* de tipul *Sticlă-E / epoxi*

Material compozit Făină de lemn de stejar / epoxi

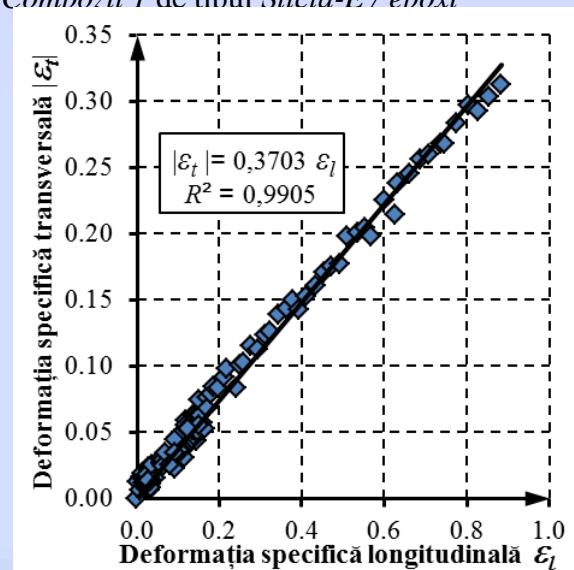
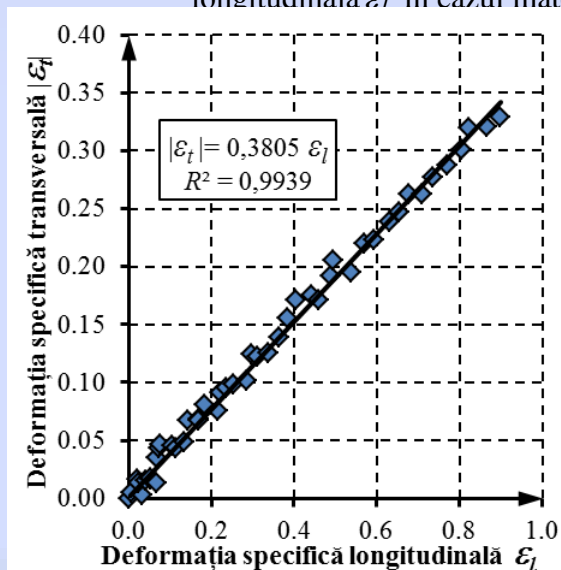


Fig. 3.8. Variația deformației specifice transversale $|\epsilon_t|$ în funcție de deformația specifică longitudinală ϵ_l în cazul materialului *Compozit 2* de tipul *făină lemn stejar / epoxi*

Cap. 3.3

Material
compozit
Sticlă-E /
Făină de lemn
de stejar / epoxi

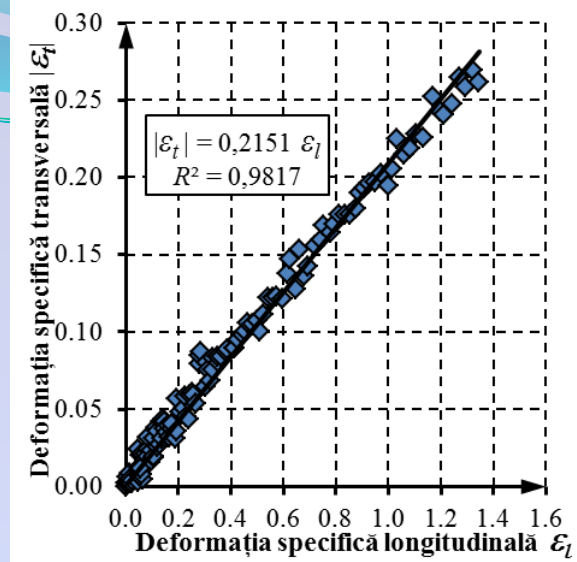
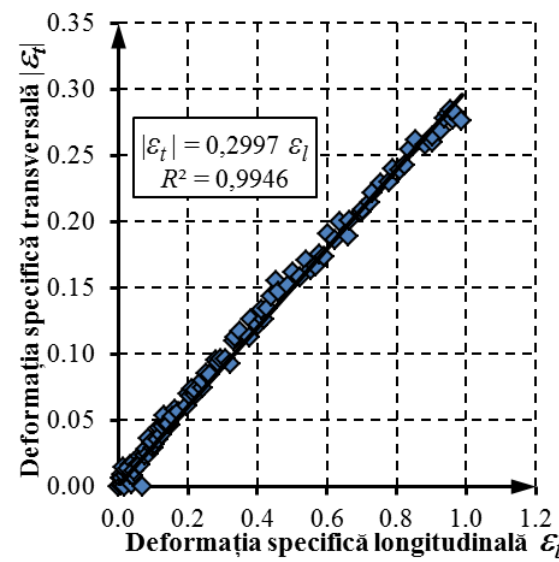


Fig. 3.9. Variația deformației specifice transversale $|\epsilon_t|$ în funcție de deformația specifică longitudinală ϵ_l în cazul materialului *Compozit 3* de tipul *Sticlă-E / făină lemn stejar / epoxi*

Material
compozit
Sticlă-E /
Făină de lemn
de brad / epoxi

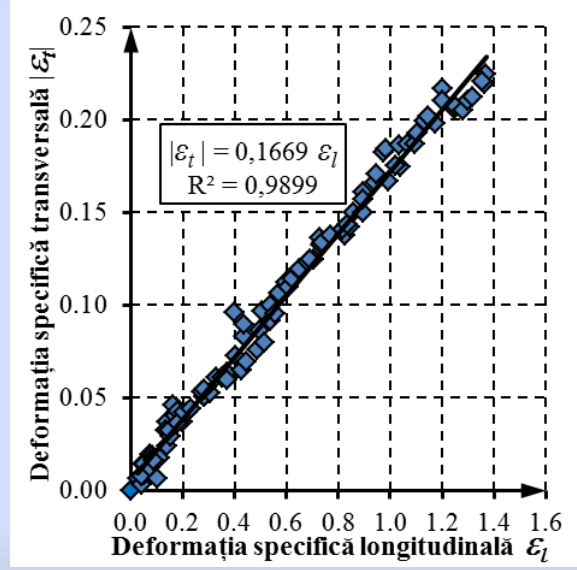
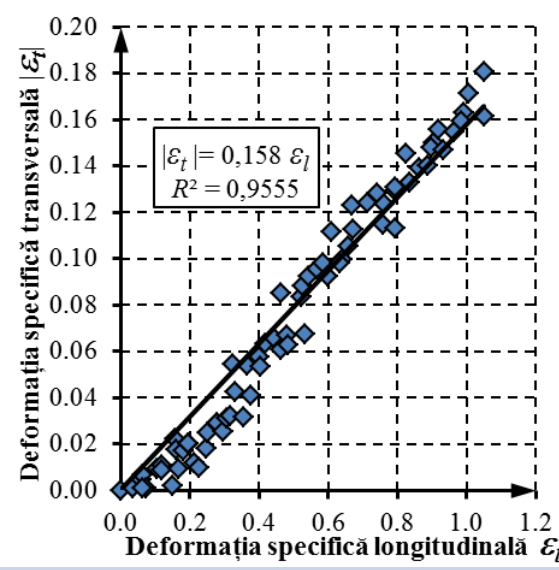


Fig. 3.10. Variația deformației specifice transversale $|\epsilon_t|$ în funcție de deformația specifică longitudinală ϵ_l în cazul materialului *Compozit 4* de tipul *Sticlă-E / făină lemn brad / epoxi*

3.4. Concluzii

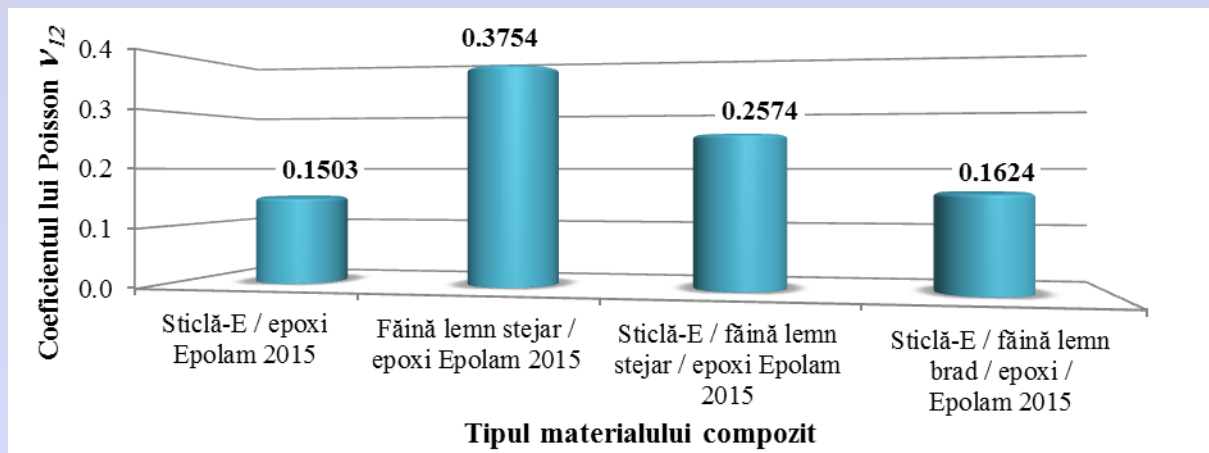


Fig. 3.11. Comparația coeficienților lui Poisson ν_{12}

- **Ranforsarea suplimentară cu făină de lemn în cazul materialelor compozite ranforsate cu fibre de sticlă, conduce la creșterea coeficientului lui Poisson ν_{12} .**
- **Cea mai mare valoare a coeficientului lui Poisson $\nu_{12}=0,3754$ corespunde materialului ranforsat doar cu făină de lemn de stejar iar cea mai mică valoare $\nu_{12}=0,1503$ s-a obținut (în cazul materialului ranforsat doar cu țesătură de sticlă (Fig. 3.11), care este comparabilă cu cea din literatura de specialitate (Liang et al., 2015).**
- **În cazul materialelor compozite hibride, coeficientul lui Poisson ν_{12} este mai mare în cazul ranforsării cu făină de lemn de stejar față de cazul utilizării făinii de lemn de brad.**

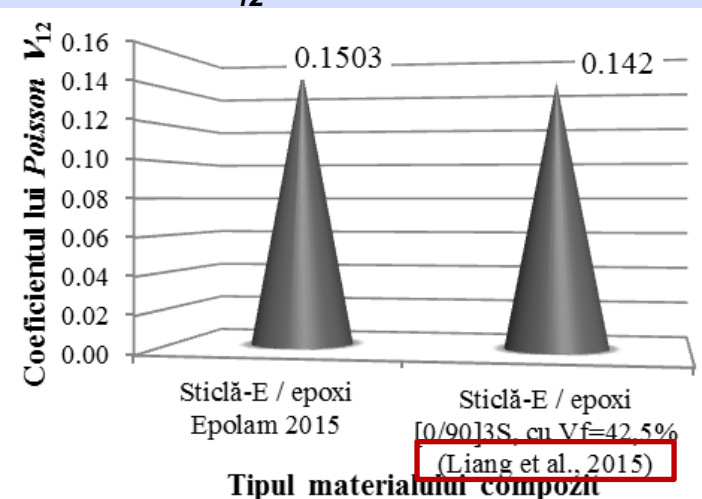


Fig. 3.12. Comparația dintre coeficientul lui Poisson determinat în cazul materialului sticlă-E / epoxi și rezultatele din literatura de specialitate

Direcții de continuare a cercetărilor prezentate în Capitolul 3

- **Utilizarea valorilor coeficienților lui *Poisson* ν_{12} determinați, în modelarea și simularea comportării mecanice a structurilor din materiale compozite (vezi Cap. 1 și Cap. 4).**
- ***Analiza efectelor dimensiunilor fibrelor de lemn asupra coeficientului lui *Poisson* ν_{12} în planul de ranforsare.***
- **Determinarea prin metoda DIC a *coeficienților de contracție transversală interlaminară* ν_{13} și ν_{23} .**
- ***Determinarea coeficienților de contracție transversală a materialelor compozite analizate în Capitolul 1 (In / epoxi și Sticlă / in / epoxi).***

Capitolul 4:

Cercetări privind stările de tensiuni și deformații în cazul componentei șezut-spătar de scaun fabricată din material compozit sticlă / făină de lemn / epoxi

Obiective principale

- Realizarea la nivel de prototip a componentei de șezut-spătar a scaunului, componentă fabricată din material compozit de tipul Sticlă-E / făină de lemn brad / epoxi.
- Cercetările teoretice și experimentale privind stările de tensiuni și deformații care se dezvoltă în componenta de șezut-spătar sub acțiunea solicitărilor mecanice.

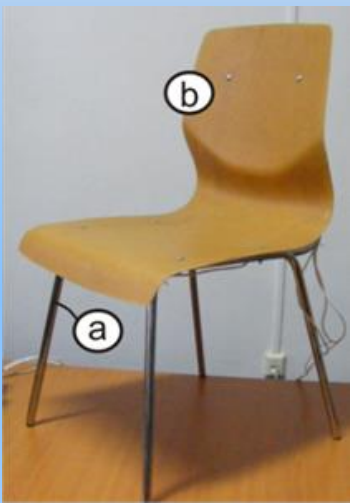


Fig. 4.1. Scaunul analizat:
a. Structura metalică; b. Componenta șezut-spătar fabricată din material compozit hibrid de tipul țesătură de sticlă-E / făină de lemn brad / epoxi



Fig. 4.2. Elemente de mobilier din stratificate mulate din lemn existente pe piață:
a.d. Produse fabricate integral din materiale stratificate mulate din lemn; e...h. Modele de componente de șezut-spătar fabricate din materiale stratificate mulate din lemn

Cap. 4

Comparație între componenta șezut-spătar din materialul compozit sticlă-E / făină de lemn de brad / epoxi și varianta din material stratificat mulat din lemn

Avantaje

- **Masa componentei fabricată din materialul compozit sticlă-E / făină de lemn de brad / epoxi Epolam 2015** este de **1,3 kg** în timp ce masa variantei din **material stratificat mulat din lemn este egală cu 3,1 kg**.
- Fabricarea variantei din materialul compozit sticlă-E / făină de lemn de brad / epoxi *Epolam 2015* **se poate face prin tehnologia manuală de turnare strat cu strat, cu investiție minimă în echipamente, în cazul seriilor mici de fabricație.**
- Varianta din materialul compozit hibrid (Fig. 4.1) **utilizează făină de lemn care se obține prin măcinarea deșeurilor lemnoase** (inclusiv cele rezultate prin prelucrarea lemnului) care reprezintă o **sursă regenerabilă și sustenabilă de materie primă**. Soluția are implicații ecologice.
- **Culoare naturală apropiată lemnului de brad** (fără introducerea coloranților).
- Componenta din **material compozit hibrid** se poate utiliza în **cazul mobilierului pentru grădini, terase (umiditate)**.

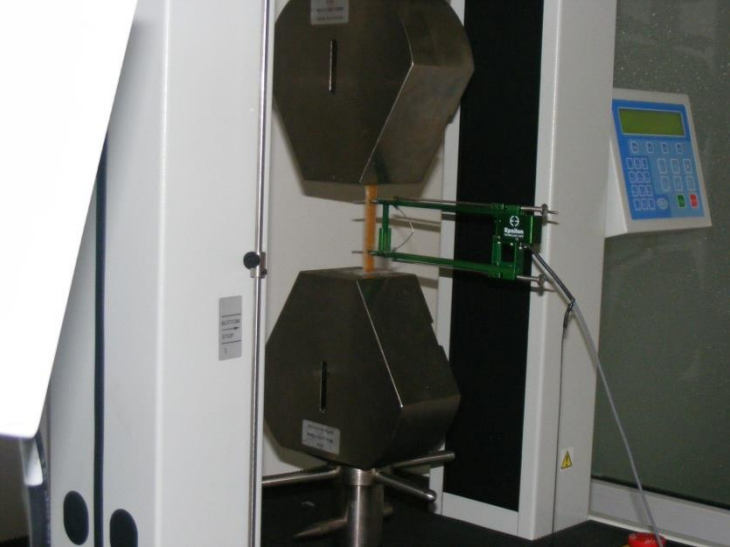
Dezavantaje

- **Tehnologia manuală** prin care s-a realizat prototipul componentei șezut-spătar, **nu se pretează la producție de serie mare**.
- **Dificultăți în automatizarea tehnologiei din cauza soluției vâscoase de rășină cu făina de lemn** și turnării acestuia între straturile din țesătură de sticlă.
- În proiectarea componentelor de **mobilier de grădină** trebuie să se țină cont de **degradarea proprietăților mecanice** când se analizează starea de tensiuni și deformații care se dezvoltă în astfel de piese sub acțiunea solicitărilor mecanice.
- **Rigiditatea mai mică** a componentei de șezut-spătar din materialul compozit sticlă-E / făină de lemn de brad / epoxi.

Probleme tratate în Capitolul 4

- 4.1. Caracterizarea mecanică a materialului compozit hibrid definit în modelarea numerică
- 4.2. Cercetările teoretice privind stările de tensiuni și deformații în cazul componentei de șezut-spătar din material compozit sticlă-E / făină de lemn de brad / epoxi *Epolam 2015*
- 4.3. Cercetările experimentale privind stările de deformații în cazul componentei de șezut-spătar din material compozit sticlă-E / făină de lemn de brad / epoxi *Epolam 2015*
- 4.4. Comparația dintre rezultatele teoretice și cele experimentale
- 4.5. Aplicarea rezultatelor experimentale referitoare la degradarea proprietăților mecanice ale materialului compozit hibrid, la modelul de piesă
- 4.6. Concluzii

Cap. 4.1. Caracterizarea mecanică a materialului compozit hibrid definit în modelarea numerică



Echipament de testare la tracțiune de tipul LR5K Plus (LLOYD Instruments)

Sticlă-E / făină de lemn de brad / epoxi

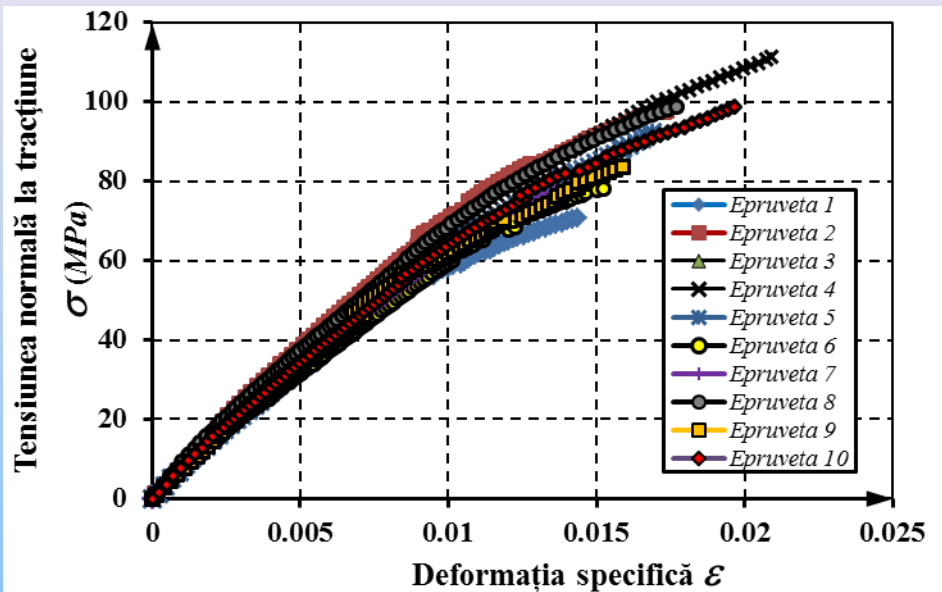


Fig. 4.4. Curbele determinate prin încercarea la tracțiune



SR EN ISO 527-4 / 2000

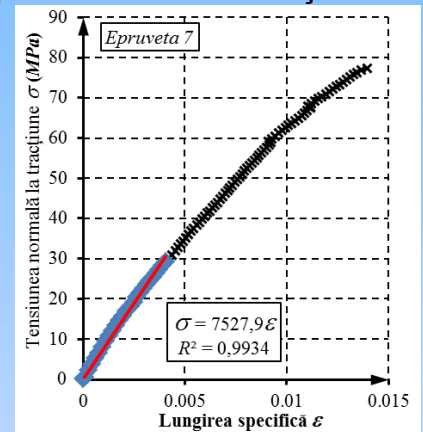
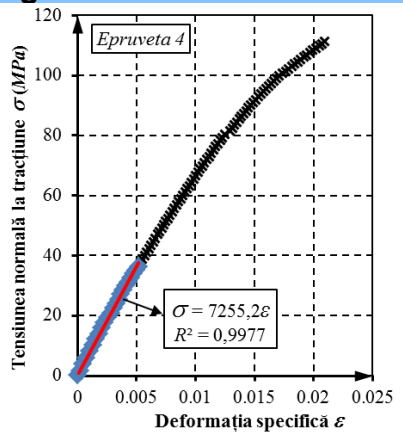


Fig. 4.5. Determinarea modulului de elasticitate E la tracțiune pentru fiecare epruvetă

Tabelul 4.1

Caracteristicile mecanice determinate prin încercarea de tracțiune pentru materialul compozit hibrid din care este fabricată componenta de șezut-spătar a scaunului analizat

Epruveta	Modul de elasticitate E (MPa)	Forța maximă F _{max} (kN)	Tensiunea normală max. σ _{max} (MPa)	Lungirea Δl (mm)	Lungirea specifică ε	Energia de deformație U până la F _{max} (N·mm)
1	7199,1	3,686400	70,69	0,79169	0,0158338	1837,85
2	7833,7	3,878274	97,60	0,87134	0,0174268	2003,53
3	7237,8	3,104560	82,11	0,66123	0,0132246	1043,52
4	7255,2	4,192764	111,26	1,20808	0,0241617	3221,31
5	6682,3	3,749768	92,31	0,84887	0,0169774	1759,53
6	6698,0	3,765132	78,25	0,77173	0,0154346	1672,93
7	7527,9	2,685678	77,24	0,70498	0,0140995	1092,44
8	7793,5	4,156425	98,75	1,70758	0,0341516	8619,73
9	6773,8	3,781463	83,50	0,80359	0,0160717	1752,76
10	7251,9	4,072213	98,82	0,11259	0,0022518	1201,59
Valoare medie	7225,3	3,707268	89,05	0,84817	0,0169633	2420,52

- Coeficientul de contracție transversală $\nu_{12} = 0,1624$ în planul de ranforsare 12 cu fibre (capitolul 3)

▪ Caracteristici mecanice obținute prin încercarea la încovoiere prin metoda celor trei puncte

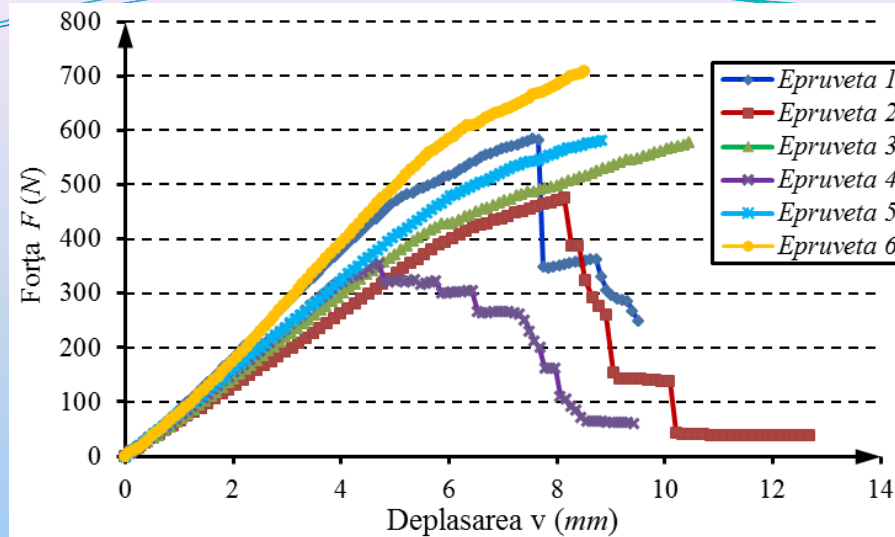


Fig. 4.6. Curbele $F-v$ înregistrate în încercarea de încovoiere a materialului compozit sticlă-E / făină de lemn de brad / epoxi din care este fabricată componenta de șezut-spătar a scaunului

SR EN ISO 14125 / 2000



Tabelul 4.2

Caracteristicile mecanice de încovoiere pentru materialul compozit din care este fabricată componenta de șezut-spătar a scaunului analizat

Epruveta	Lățime (mm)	Grosime (mm)	Moment de inerție I_z (mm ⁴)	Modul de rezistența W_z (mm ³)	Modul de elasticitate E (MPa)	Tensiune normală max. σ_{max} (MPa)	Energia de deformație U până la (N·mm)
1	20,1	4,4	142,6832	64,856	3574,2	144,16	2567,07
2	20,2	4,0	107,7333	53,867	3338,0	141,36	2128,99
3	20,1	3,8	91,9106	48,374	4378,4	190,64	3612,33
4	20,0	4,0	106,6667	53,333	4017,6	106,61	856,27
5	20,2	4,1	116,0170	56,594	3802,6	164,31	2986,09
6	20,2	4,4	143,3931	65,179	3695,3	173,70	3398,09
Valoare a medie	20,1	4,1	118,0673	57,034	3801,0	153,46	2591,47

Cap. 4.2

4.2. Cercetările teoretice privind stările de tensiuni și deformații în cazul componentei de șezut-spătar din material compozit sticlă-E / făină de lemn de brad / epoxi Epolam 2015

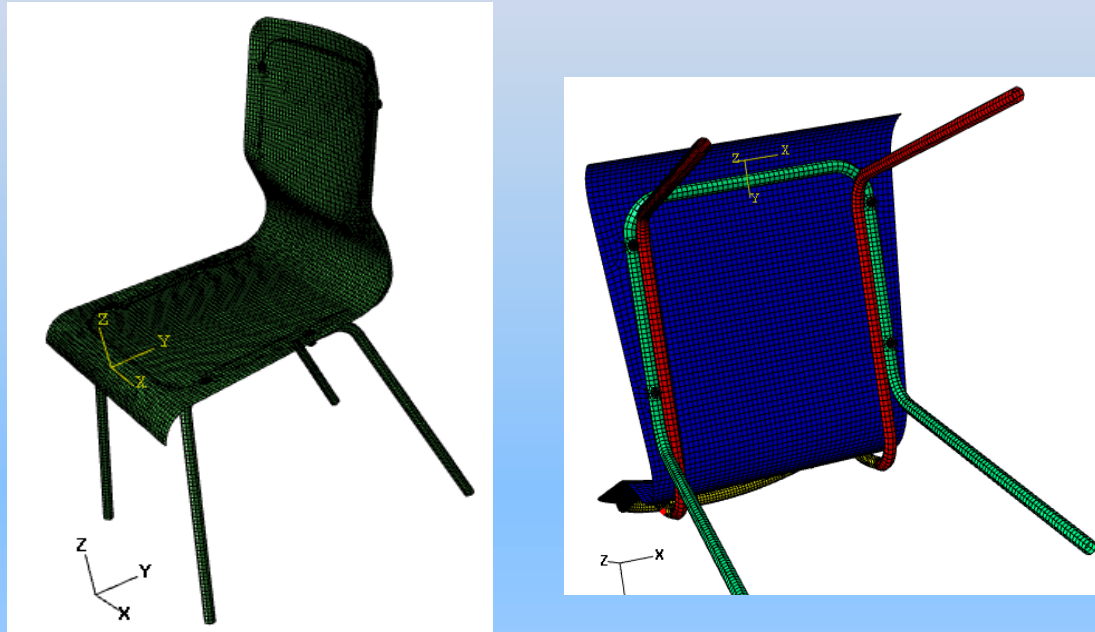


Fig. 4.7. Modelul cu elemente finite a scaunului analizat

▪ Scheme de încărcare utilizate în modelarea cu elemente finite



Fig. 4.8. Schema I de încărcare

- 75% din greutatea corpului ($m=100\text{ kg}$) este uniform distribuită pe șezut.
- 25% din greutatea corpului este uniform distribuită pe spătar

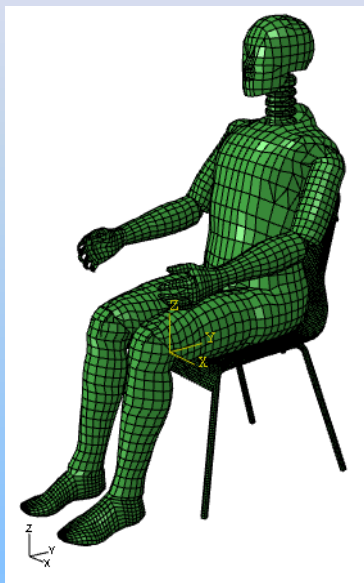


Fig. 4.9. Schema a II-a de încărcare

- Modelare cu un manechin care cântărește 100 kg când se aplică o forță de tip gravity (75% în direcția axei Oz și 25% în direcția axei Oy).

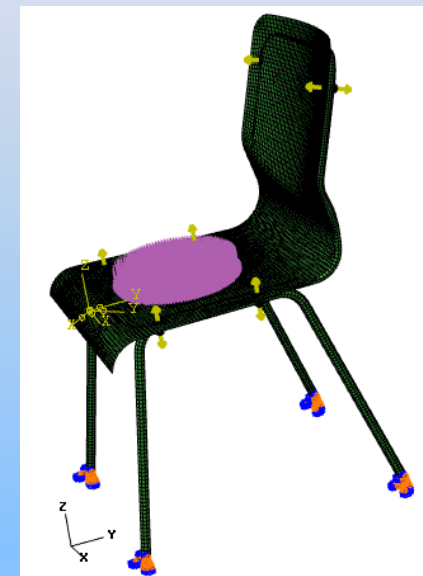
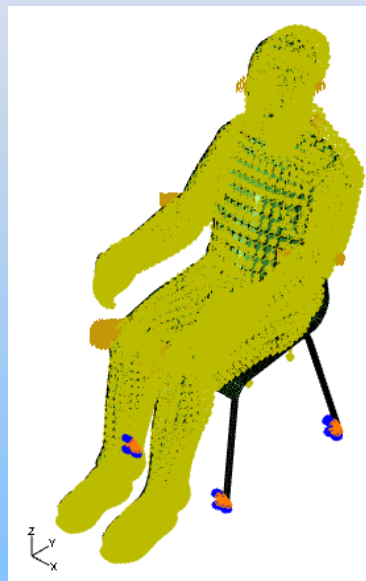


Fig. 4.10. Schema a III-a de încărcare

- Se utilizează doar pentru comparații cu rezultatele experimentale.

Cap. 4.2

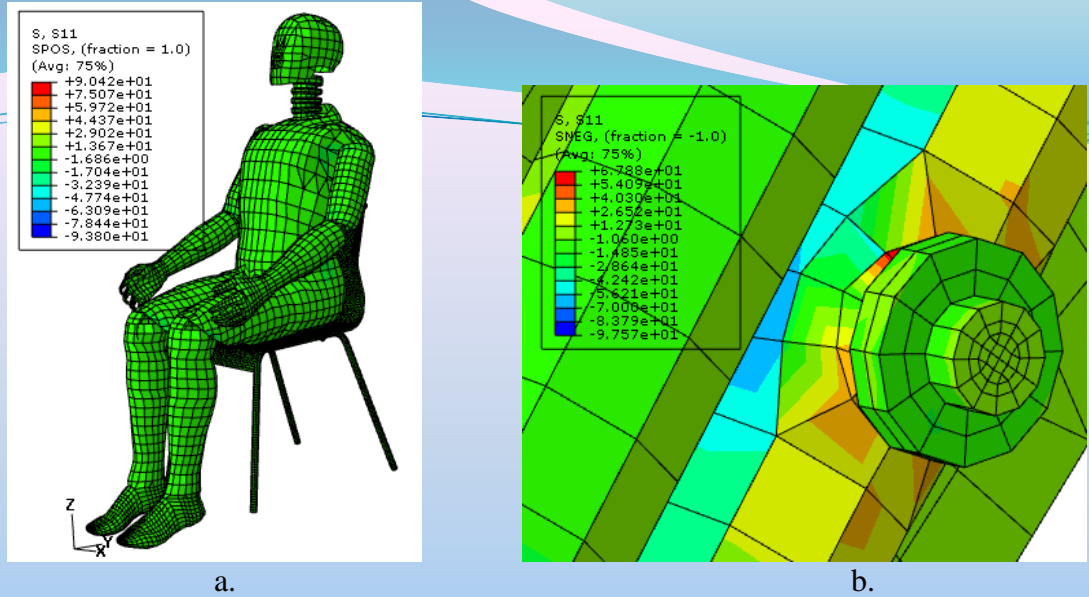
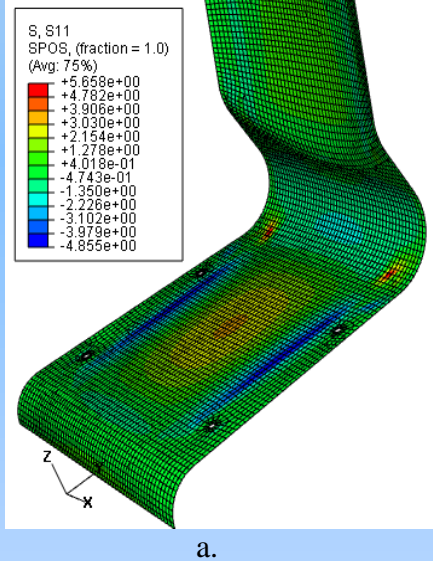


Fig. 4.14. Distribuția de tensiuni normale σ_x în direcția axei Ox în cazul Schemei a II-a de încărcare: a. Distribuția tensiunilor pentru întreg modelul; b. Detaliu privind distribuția tensiunilor în asamblarea cu șurub

Schema I de încărcare



Schema a II-a de încărcare

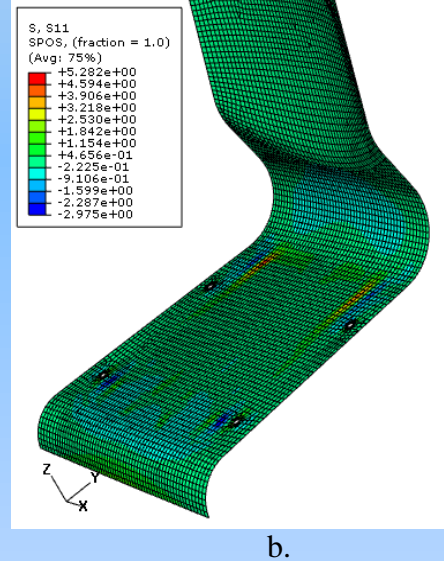
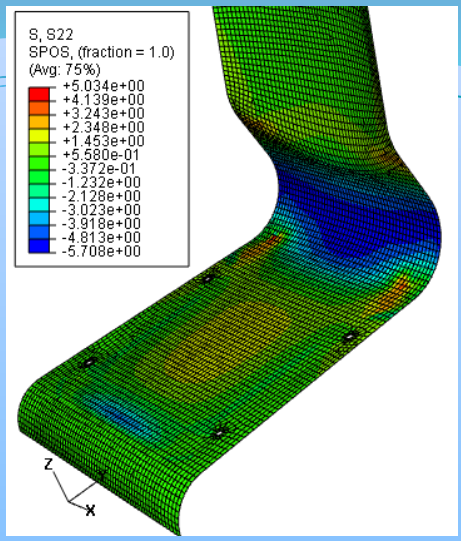


Fig. 4.15. Distribuția de tensiuni normale σ_x în direcția axei Ox , în componenta din material compozit hibrid: a. Schema I de încărcare; b. Schema a II-a de încărcare

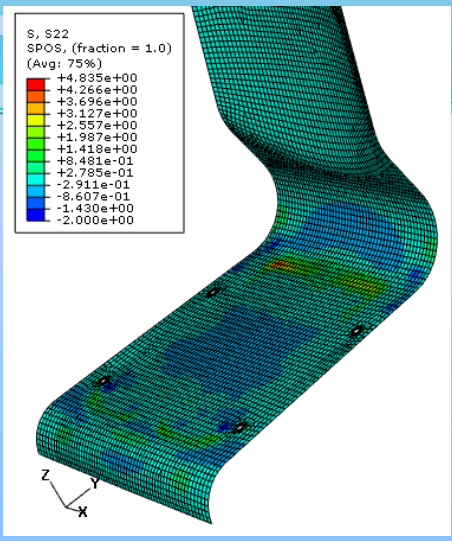
Cap. 4.2

Schema I de încărcare



a.

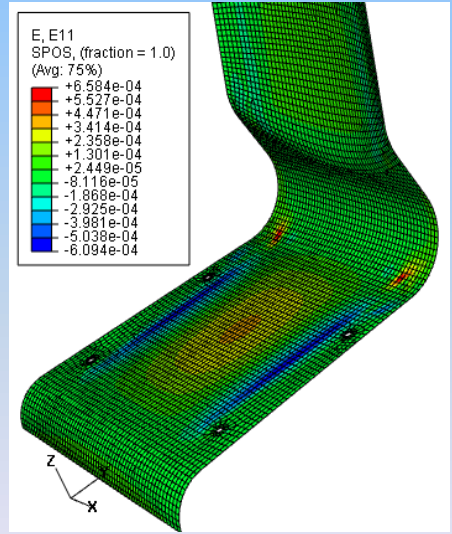
Schema a II-a de încărcare



b.

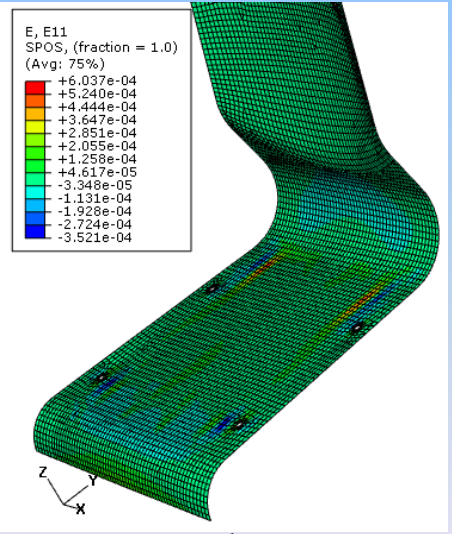
Fig. 4.16. Distribuția de tensiuni normale σ_y în direcția axei Oy , în componenta din material compozit hibrid: a. Schema I de încărcare; b. Schema a II-a de încărcare

Schema I de încărcare



a.

Schema a II-a de încărcare

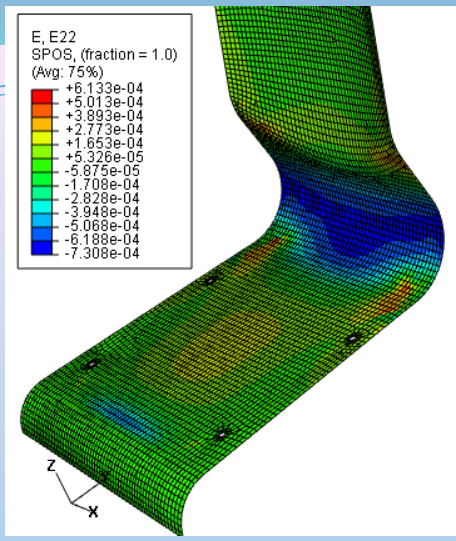


b.

Fig. 4.17. Distribuția de deformații specifice ϵ_x în direcția axei Ox , în componenta din material compozit hibrid: a. Schema I de încărcare; b. Schema a II-a de încărcare

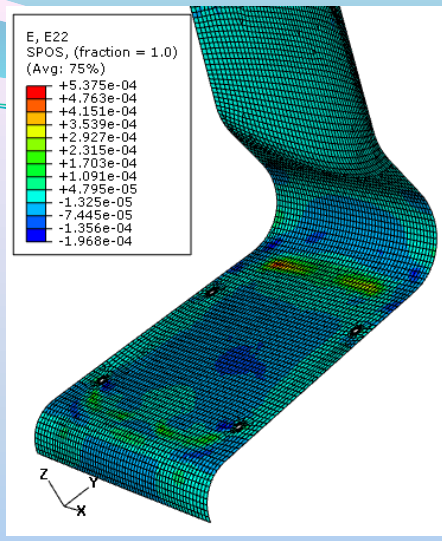
Cap. 4.2

Schema I de încărcare



a.

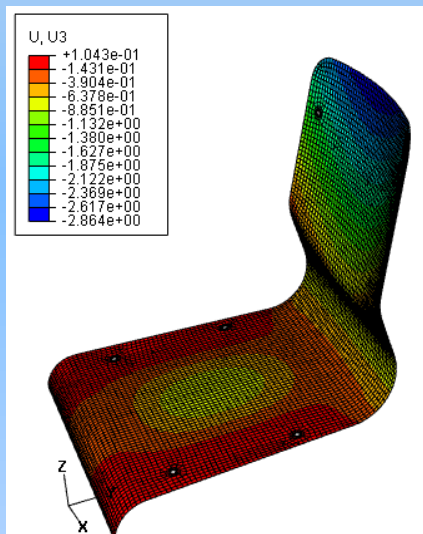
Schema a II-a de încărcare



b.

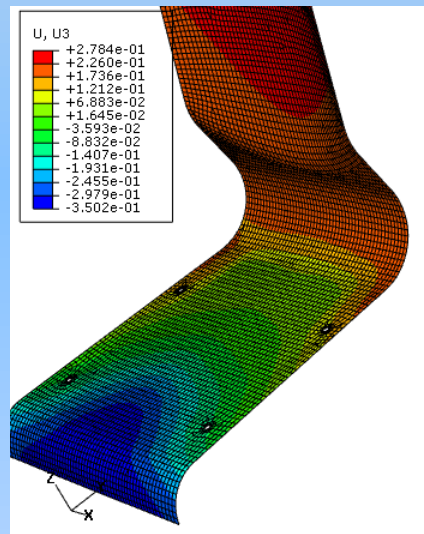
Fig. 4.18. Distribuția de deformații specifice ε_y în direcția axei Oy , în componenta din material compozit hibrid: a. Schema I de încărcare; b. Schema a II-a de încărcare

Schema I de încărcare



a.

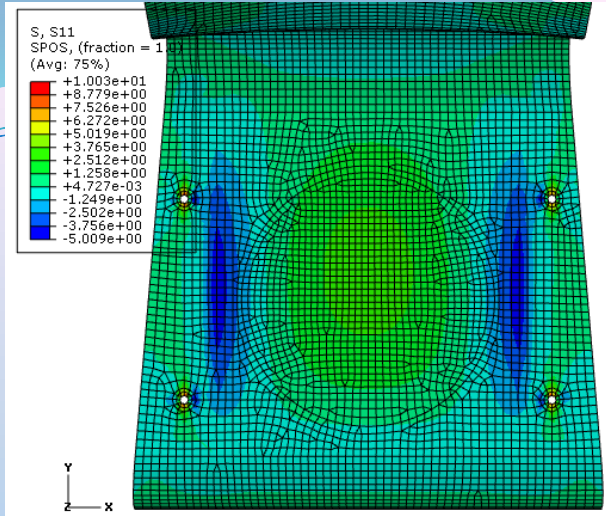
Schema a II-a de încărcare



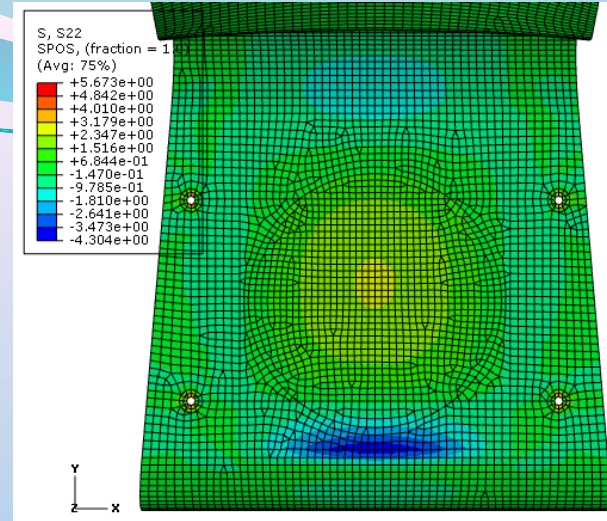
b.

Fig. 4.19. Deplasările w în direcția axei Oz perpendiculară pe șezut, în componenta din material compozit hibrid: a. Schema I de încărcare; b. Schema a II-a de încărcare

Cap. 4.2

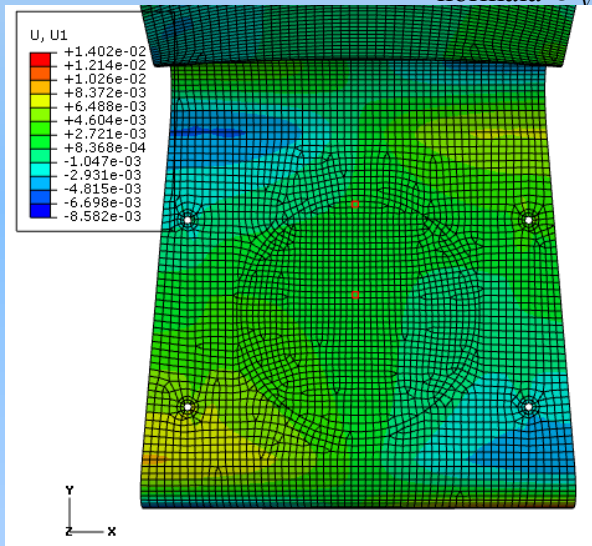


a.

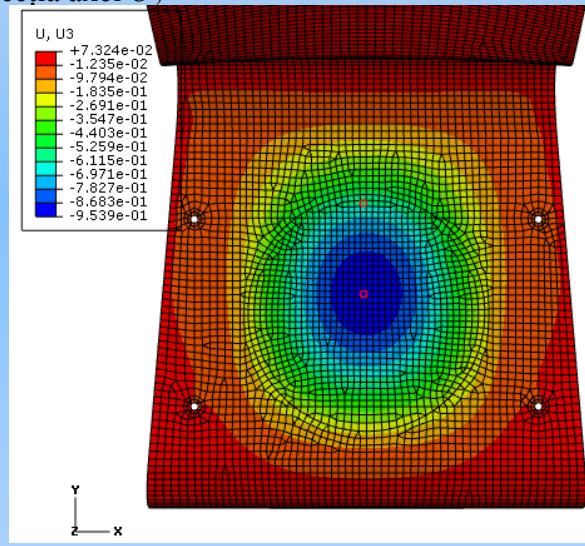


b.

Fig. 4.21. Distribuția tensiunilor normale în componenta din material compozit în cazul Schemei a III-a de încărcare ($F = 294,3 \text{ N}$): a. Tensiunea normală σ_x în direcția axei Ox ; b. Tensiunea normală σ_y în direcția axei Oy



a.



b.

Fig. 4.22. Distribuția deplasărilor pentru componenta din material compozit în cazul Schemei a III-a de încărcare ($F = 294,3 \text{ N}$): a. Deplasările u în direcția axei Ox ; b. Deplasările w în direcția axei Oz

Cap. 4.3

Cercetările experimentale privind stările de deformații în cazul componentei de șezut-spătar din material compozit sticlă-E / făină de lemn de brad / epoxi Epolam 2015

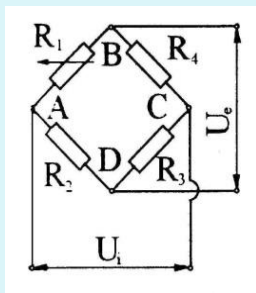


Fig. 4.23. Montaj de tip sfert de punte (Hoffman, 1989; Szava et al., 2001)

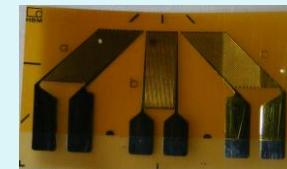
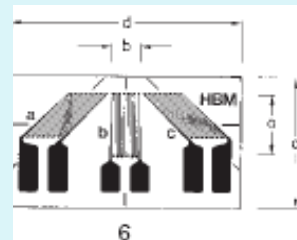


Fig. 4.24. Traductor electric rezistiv de tip rozetă 1-RY88-6/350

▪ **Traductoare electrice rezistive de tip rozetă 0/45/90, 1-RY88-6 / 350 Ω** (Fig. 4.24) fabricate de firma *HBM* cu următoarele caracteristici: rezistența de: $350,0 \Omega \pm 0,3\%$ (la 24°C); constantele traductorului electric rezistiv pentru fiecare rezistență $k_a = 2,13 \pm 1\%$, $k_b = 2,15 \pm 1\%$, $k_c = 2,13 \pm 1\%$ (la 24°C); sensibilitate transversală (rezistența a: 0% ; rezistența b: $-0,3\%$; rezistența c: 0%); lungimea de măsurare este de 6 mm .

▪ **Adaptoare pentru lucrul cu traductoare electrice rezistive în $\frac{1}{4}$ punte și $\frac{1}{2}$ punte cu rezistența de $120/350 \text{ Ohm}$;**

• **Două amplificatoare universale MX840** (plăci de achiziție date), cu câte opt canale;

• **Pachetul software Catman Easy** pentru prelucrarea datelor, specializat pe tensometrie.

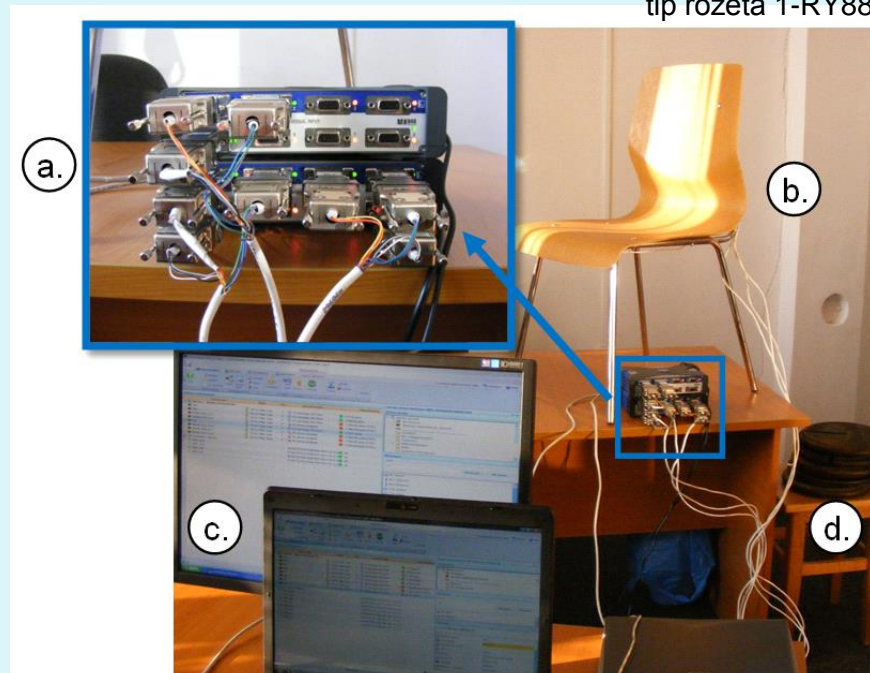


Fig.4.26. Standul experimental utilizat pentru măsurarea deformațiilor prin metoda tensometrică electrică rezistivă: a. Amplificatoare universale MX840 cu adaptoare pt. traductoare cu $\frac{1}{4}$ punte; b. Scaun analizat; c. Aplicație *Catman Easy* pentru achiziția și prelucrarea datelor; d. Mase etalon; e. Solicitarea mecanică a scaunului cu mase etalon

Cap. 4.3

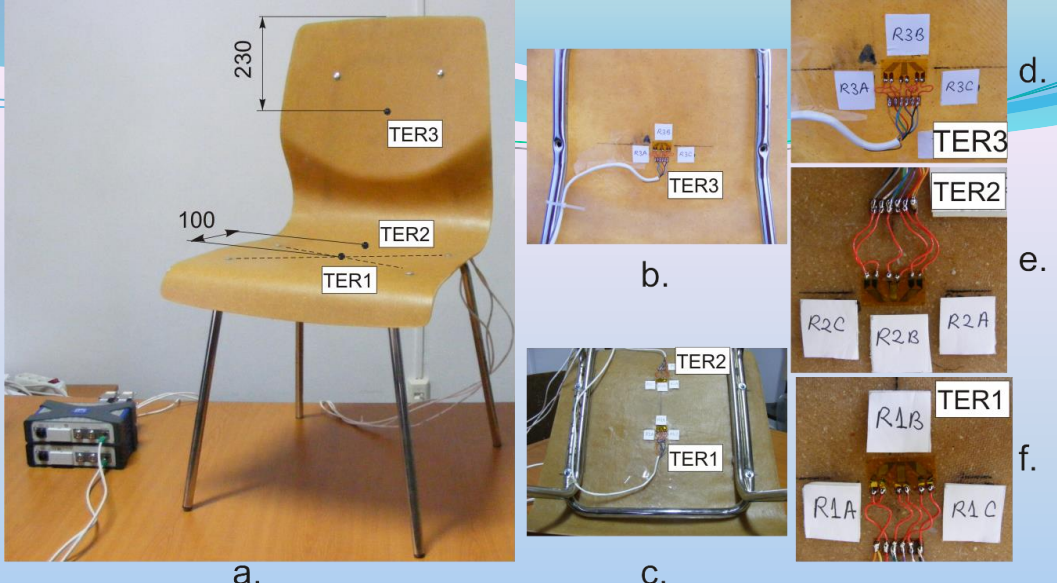


Fig.4.27. Montarea traductoarelor electrice rezistive de tip rozetă (TER) pentru măsurarea deformațiilor în scaun: a.Modul de amplasare al traductoarelor electrice rezistive (TER) pe scaun; b. *TER 3* lipită pe partea din spate a spătarului; c. *TER1* și *TER2* lipite pe partea inferioară a șezutului; d,e și f. Detalii traductoare electrice rezistive

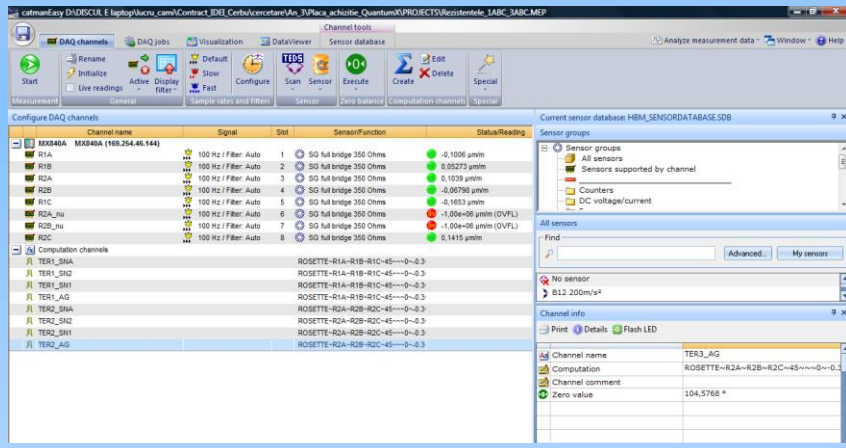


Fig. 4.28. Definirea canalelor pentru achiziția datelor și inițIALIZAREA acestora la valoarea zero în software-ul *Catman Easy*

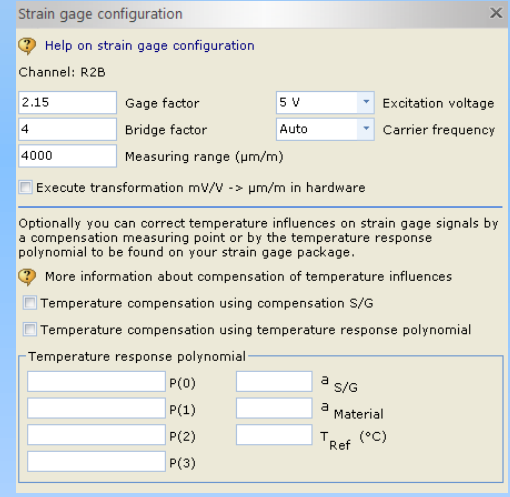
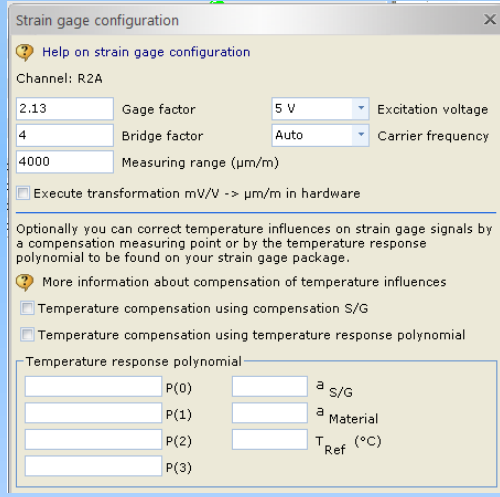


Fig. 4.29. Definirea constantelor pentru fiecare marcă tensometrică și pentru fiecare rezistență $k_a = 2,13 \pm 1\%$, $k_b = 2,15 \pm 1\%$, $k_c = 2,13 \pm 1\%$

Cap. 4.4 Comparația dintre rezultatele teoretice și cele experimentale

Schema a III-a de încărcare:

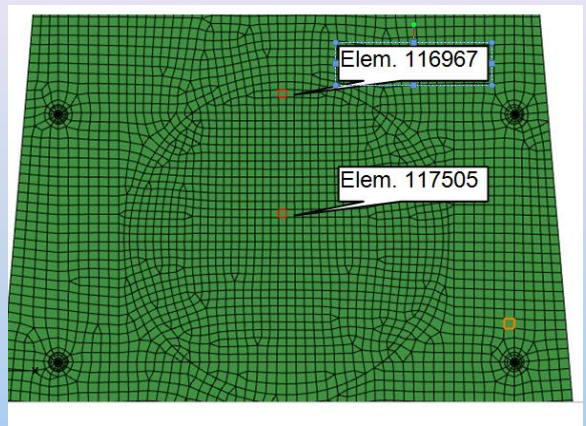


Fig. 4.31. Elementele finite din modelul numeric pentru care s-au analizat valorile deformațiilor specifice

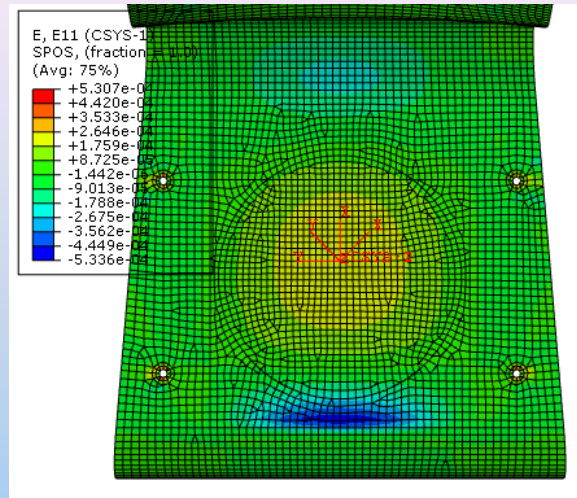


Fig. 4.32. Definirea sistemelor de coordonate CSYS-1 și CSYS-2 (Schema a III-a de încărcare)

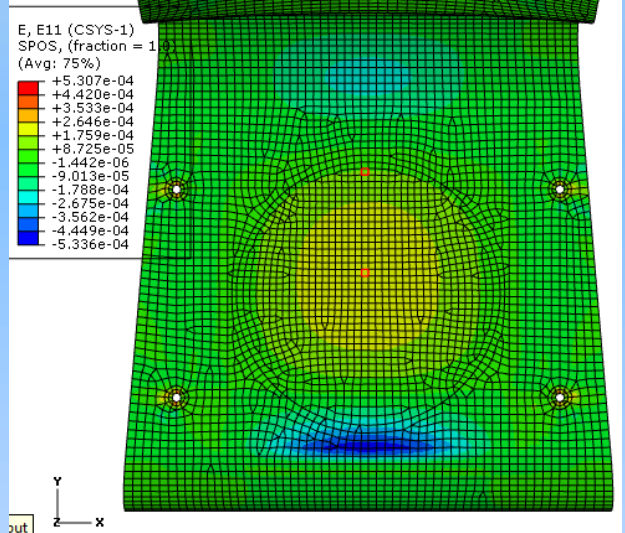
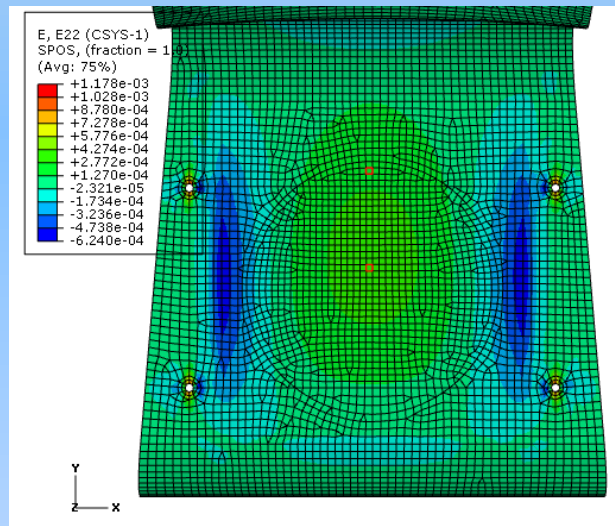


Fig. 4.33. Distribuția deformațiilor specifice în raport cu sistemul de coordonate CSYS-1 în cazul Schemei a III-a de încărcare ($F = 294,3\text{ N}$)



Cap. 4.4

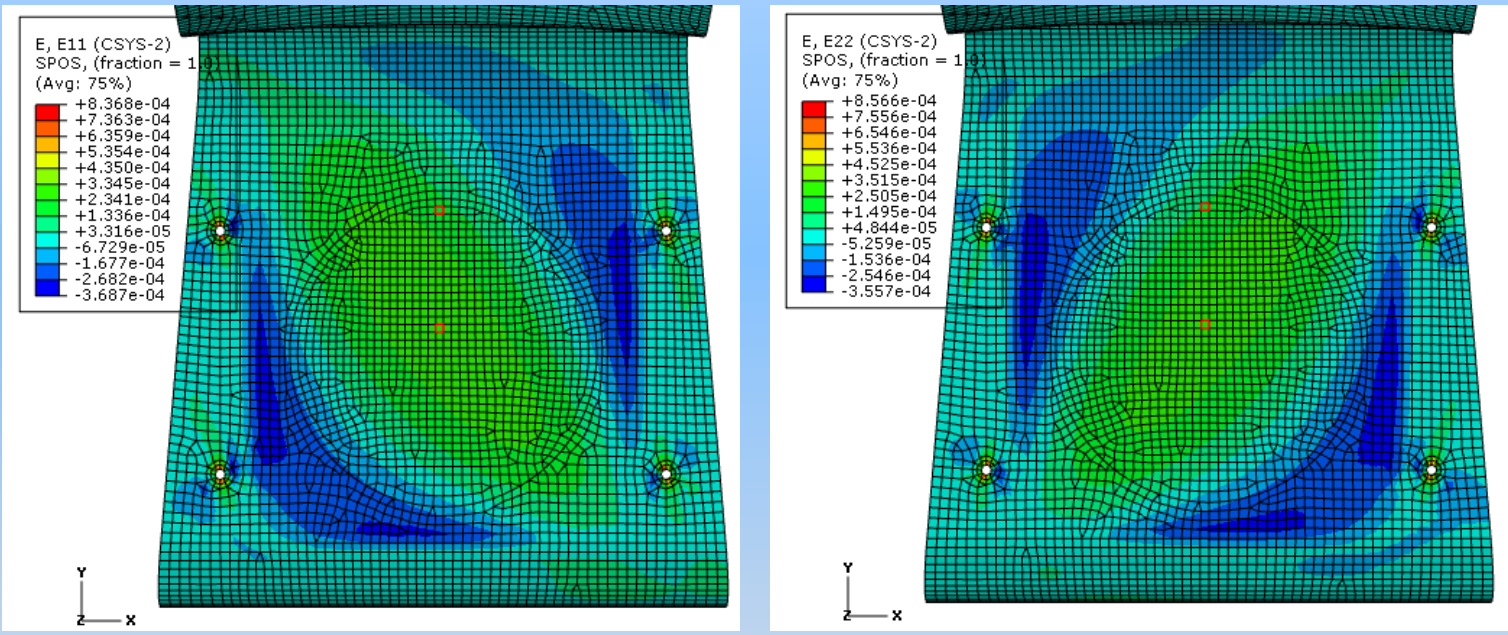


Fig. 4.34. Distribuția de deformații specifice ε în raport cu sistemul de coordonate CSYS-2 1 în cazul Schemei a III-a de încărcare ($F = 294,3 N$)

Tabelul 4.4

Comparația rezultatelor teoretice (*Schema a III-a* de încărcare) cu cele experimentale

Forța (N)		98,1		196,2		294,3				
Presiune p (N/mm^2)		0,00228112		0,004562		0,006843				
		$\varepsilon (x10^{-6})$		Err (%)	$\varepsilon (x10^{-6})$		Err (%)	$\varepsilon (x10^{-6})$		Err. (%)
		Teoretic	Exp.		Teoretic	Exp.		Teoretic	Exp.	
Marca tensometrică TER 1	R1A	97,19	86,41	11,10	194,81	181,20	6,99	292,43	255,18	12,74
	R1B	81,04	72,25	10,85	164,16	152,82	6,91	247,28	217,98	11,85
	R1C	97,19	88,56	8,87	194,81	188,43	3,28	292,43	265,50	9,21
Marca tensometrică TER 2	R2A	58,02	54,52	6,03	117,30	111,78	4,70	176,58	162,67	7,88
	R2B	29,01	26,52	8,58	60,35	55,22	8,50	91,68	82,34	10,18
	R2C	58,02	53,08	8,52	117,30	101,23	13,70	176,58	154,87	12,29

$$Eroarea = \frac{|\varepsilon_e - \varepsilon_t|}{\varepsilon_t} \cdot 100 (\%),$$

Erorile de măsurare care au apărut în timpul investigației experimentale pot fi cauzate de:

- **nealinierea traductoarelor electrice rezistive față de direcțiile care au fost considerate pentru analiza deformațiilor specifice în modelul cu elemente finite și anume, direcțiile axelor corespunzătoare sistemelor de coordonate CSYS-1 și CSYS-2; astfel, pentru variații unghiulare cuprinse între 0° și $\pm 4^\circ$ se pot ajunge la valori ale erorilor până la 65% (Hoffman, 1989);**
- **lipirea necorespunzătoare a mărcilor tensometrice, astfel încât contactul dintre suprafața acestora și suprafața piesei nu este perfectă;**
- **sensibilități referitoare la deformațiile specifice ε_t în direcție transversală, în cazul materialelor compozite;**
- **modul de aplicare a forței de încărcare cu referire la contactul dintre mase etalon și suprafața componentei de șezut-spătar a scaunului.**

Cap. 4.5

Aplicarea rezultatelor experimentale referitoare la degradarea proprietăților mecanice ale materialului compozit hibrid, la modelul de piesă

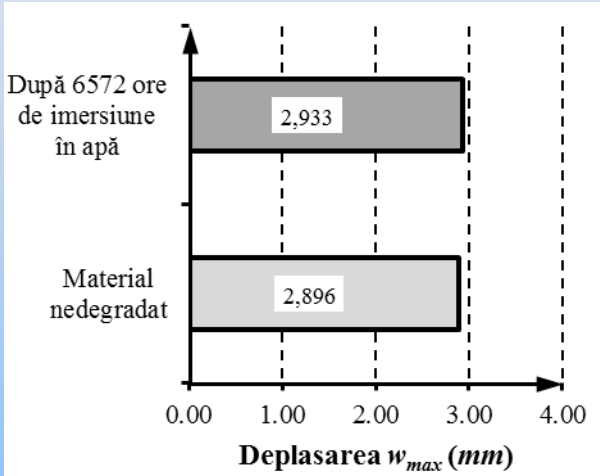


Fig. 4.37. Variația valorii max. a deplasării în direcția axei Oz, după degradarea materialului compozit prin imersiune în apă (Schema I de încărcare)

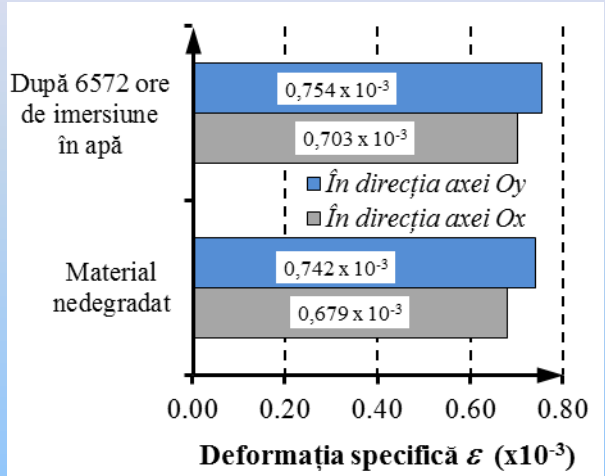
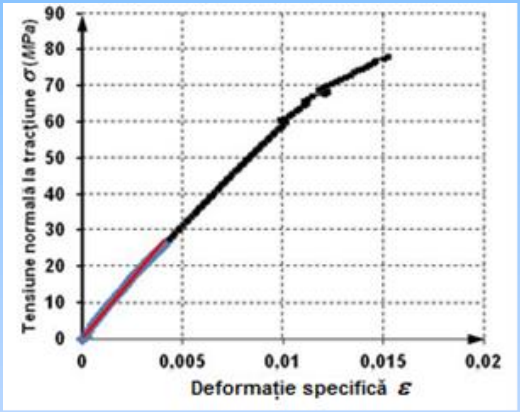


Fig. 4.38. Variația valorilor maxime ale deformațiilor specifice, după degradarea materialului compozit prin imersiune în apă (Schema I de încărcare)



Înainte de imersiune: $E=7225 \text{ MPa}$

↘ După 6572 ore de imersiune în apă: $E=6605 \text{ MPa}$ (Tabel 4.3)

Concluzii

- Cea mai mare valoare a deplasării $w = 2,86 \text{ mm}$ pe direcția axei Oz corespunde Schemei I de încărcare.
- Ținând cont de cauzele semnalate pentru erori, **cercetările experimentale validează într-o bună aproximare, rezultatele teoretice/**
- Utilizând rezultatele din cercetarea experimentală efectuată pe epruvete, s-a putut **utiliza modelul numeric în scopul analizei efectului degradării materialului, cuantificabil prin efectul reducerii caracteristicilor elastice (modulul de elasticitate E), asupra variației deplasării pe direcție perpendiculară pe șezut și a deformațiilor specific $\varepsilon_x, \varepsilon_y$.**
- Se observă că **valoarea maximă a tensiunii normale $\sigma_x = 10,03 \text{ MPa}$ (Fig. 4.39) care se încadrează în domeniul liniar-elastic de pe curbele tensiune-deformație corespunzătoare materialului compozit nedegradat (Fig. 4.12) și respectiv, materialului compozit degradat (Fig. 4.36) din cauza absorbției de apă după 6572 ore de imersiune. În concluzie, validarea modelului cu elemente finite s-a făcut pentru domeniul elastic.**
- După definirea în modelul teoretic, a **caracteristicilor elastice corespunzătoare materialului compozit degradat din cauza absorbției de apă, s-a constatat creșterea cu 1,28% a deplasării în direcția axei Oz perpendiculară pe șezutul scaunului.**
- Modelarea materialului poate fi aplicată și în cazul altor structuri fabricată din același material compozit.

Diseminarea rezultatelor publicate în Capitolul 4



ASOCIAȚIA GENERALĂ A INGINERILOR DIN ROMÂNIA
BULETINUL AGIR
FOȘDANȚII ȘI ESTERILOR
10000 IȘTOIL
ANUL XVII, NR. 1, IANUARIE-MARTIE 2012
www.buletinulagir.ro

CREATIVITATE, INVENTICĂ, ROBOTICĂ

Editura AGIR

ANALIZA STĂRILOR DE TENSIUNI-DEFORMAȚII ÎN COMPONENTE DE MOBILIER REALIZATE DIN MATERIALE COMPOZITE

Conf. dr. ing. Camelia CERBU,
Universitatea "Transilvania" din Brașov

RESUMAT: Lucrarea analizează starea de tensiuni și deformări care se dezvoltă în componentele de șezut spătar și unii scaun. Aceasta componentă este montată pe o structură metalică și este fabricată dintr-un material compozit hibrid pe baza de rășină polimerică răsunată atate cu fibre de sticlă și cu faia de leni. Pentru a modela materialul s-a utilizat caracteristicile mecanice (modul de elasticitate E și tracțiune, coeficientul lui Poisson ν - curba tensiune-deformație) determinate prin încercări mecanice. S-a propus un model numeric al structurii de scaun pentru a analiza atât a starea de tensiuni cât și starea de deformație care se dezvoltă în timpul solicitării mecanice. Se consideră cazul de încărcare în caz 75% din greutatea corpului este uniform distribuită pe șezut în timp ce 25% din greutatea acționează asupra spatelui.

Cuvinte cheie: materiale compozite, tensiuni, deformări

Abstract: The work analyzes the states of stresses and strains that develop in seat-back component of a chair. This component is mounted on a metallic structure and it is made of a hybrid composite material based on polymer resin reinforced both with glass fibers and with wood flour. To model the material it used the mechanical characteristics (modulus of elasticity E and tensile test, Poisson's ratio ν , stress-strain curve σ vs ϵ) determined by mechanical tests. It proposes a numerical model of the chair structure to analyse both the state of stresses and the state of strains that develops during the mechanical loading. It considers the loading case when 75% of the weight of the body is uniformly distributed on the seat while 25% of weight acts on the seat-back.

Keywords: composite materials, stresses, strains

✓ **1 articol publicat în revistă indexată BDI : Cerbu, Camelia, Analiza stărilor de tensiuni și deformații în componente de mobilier realizate din materiale compozite, Buletinul AGIR, ISSN 1224-7928 (categoria B+, cod 415 CNCSIS), Online: ISSN 2247-3548, anul XVII, Nr.1, ianuarie-martie 2012, p.78-81; (sursa BDI: INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL, ACADEMIC KEYS, getCITED).**

✓ **1 articol prezentat la Conferința internațională ModTech 2015, 17-20 iunie 2015 - Selectat pentru publicare în Indian Journal Of Engineering & Materials Sciences (IJEMS), ISSN: 0971-4588 (Print) – FI: 0,413 / 2014 – este în recenzie.**

✓ **Componenta de șezut-spătar este propusă ca aplicație practică în Cererea de brevet CBI A/01214/24.11.11 (BI RO 127882 A0), Rezumat de brevet publicat în BOPI 10/30.10.2012**



Buletinul Agir
ISSN 1224-7928, 4 numere pe an
BDI: INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL, ACADEMIC KEYS, getCITED
Online: ISSN 2247-3548

PREȚURI: | COLEGIUL EDITORIAL | RECENZARE ACCEPTARE | NORME EDITORIALE | NUMERE PUBLICATE | CONTACT

ANALIZA STĂRILOR DE TENSIUNI-DEFORMAȚII ÎN COMPONENTE DE MOBILIER REALIZATE DIN MATERIALE COMPOZITE

Autorizatori: Conf. dr. ing. Camelia CERBU

Rezumat: Lucrarea analizează starea de tensiuni și deformări care se dezvoltă în componentele de șezut spătar și unii scaun. Aceasta componentă este montată pe o structură metalică și este fabricată dintr-un material compozit hibrid pe baza de rășină polimerică răsunată atate cu fibre de sticlă și cu faia de leni. Pentru a modela materialul s-a utilizat caracteristicile mecanice (modul de elasticitate E și tracțiune, coeficientul lui Poisson ν - curba tensiune-deformație) determinate prin încercări mecanice. S-a propus un model numeric al structurii de scaun pentru a analiza atât a starea de tensiuni cât și starea de deformație care se dezvoltă în timpul solicitării mecanice. Se consideră cazul de încărcare în caz 75% din greutatea corpului este uniform distribuită pe șezut în timp ce 25% din greutatea acționează asupra spatelui.

Cuvinte cheie: materiale compozite, tensiuni, deformări

Abstract: The work analyzes the states of stresses and strains that develop in seat-back component of a chair. This component is mounted on a metallic structure and it is made of a hybrid composite material based on polymer resin reinforced both with glass fibers and with wood flour. To model the material it used the mechanical characteristics (modulus of elasticity E and tensile test, Poisson's ratio ν , stress-strain curve σ vs ϵ) determined by mechanical tests. It proposes a numerical model of the chair structure to analyse both the state of stresses and the state of strains that develops during the mechanical loading. It considers the loading case when 75% of the weight of the body is uniformly distributed on the seat while 25% of weight acts on the seat-back.

Keywords: composite materials, stresses, strains



Indian Journal of Engineering & Materials Sciences

National Institute of Science Communication and Information Resources, CSIR
New Delhi, India
Volume: 17(1) 2014
Indian National Science Academy, New Delhi, India

ROȘIA
PENTRU INVENȚII ȘI MARCI
București

RO 127882 A0
cl. INCL.
827N 3/00 (2006.01)
B23B 17/02 (2006.01)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(1) Nr. cerere 01/211 012/11
(2) Data de depunere: 24.11.2011

(3) Data publicării cererii: 10.03.2012
(4) Inventor: CERBU CAMELIA, CNP: 35524 NR. 14, BL. 8 SC. 4A 15 ȘOS.ȘTEF. BV. NO. 1
(5) Solicitant: CERBU CAMELIA, CNP: 35524 NR. 14, BL. 8 SC. 4A 15 ȘOS.ȘTEF. BV. NO. 1

(6) **MATERIAL COMPOZIT STRATIFICAT HIBRID PENTRU APLICĂȚII DE EXTERIOR, PROCEDU DE OBTINERE ȘI METODA DE UTILIZARE**

(7) Rezumat:
Invenția se referă la un material stratificat hibrid format dintr-un material compozit răsunat cu fibre de sticlă și cu faia de leni, în care se utilizează rășină polimerică răsunată atate cu fibre de sticlă și cu faia de leni. Pentru a modela materialul s-a utilizat caracteristicile mecanice (modul de elasticitate E și tracțiune, coeficientul lui Poisson ν - curba tensiune-deformație) determinate prin încercări mecanice. S-a propus un model numeric al structurii de scaun pentru a analiza atât a starea de tensiuni cât și starea de deformație care se dezvoltă în timpul solicitării mecanice. Se consideră cazul de încărcare în caz 75% din greutatea corpului este uniform distribuită pe șezut în timp ce 25% din greutatea acționează asupra spatelui.

(8) **Figuri:**

Direcții de continuare a cercetărilor prezentate în Capitolul 4

- ***Extinderea modelării materialului și la alte structuri fabricate din același tip de material compozit Sticlă-E / făină de lemn / epoxi.***
- Căutarea de oportunități în vederea gasirii unei ***companii interesate de fabricarea componentei de șezut-spătar la nivel industrial.*** Procedeu tehnologic care să permită automatizarea.
- Reluarea testelor de material și a măsurărilor pentru deformații pentru ***produsul fabricat în condiții industriale în vederea brevetării și omologării produsului.***

Capitolul 5:

Concluzii finale și contribuții științifice originale

Concluzii finale și contribuții științifice originale

Tabelul 5.1

Caracteristicile mecanice ale materialelor compozite analizate în prezenta teză de abilitare

Nr. Crt.	Tipul materialului compozit	Tracțiune		Încovoiere		Coeficientul de contracție transversală ν_{12}	
		Tensiunea maximă $\sigma_{\max t}$ (MPa)	Modulul de elasticitate E (MPa)	Tensiunea maximă $\sigma_{\max i}$ (MPa)	Modulul de elasticitate E (MPa)		
1	In / epoxi <i>Epalam</i> 2015 ($V_f=40\%$)	Bătătură	68 (C)	5871 (C)	102 (D)	2137 (D)	0,337
		Urzeală	49 (C)	4386 (D)	90 (D)	1884 (D)	0,297
2	<i>Hibrid 1</i> – Sticlă / In / epoxi <i>Epalam</i> 2015 ($V_f=40\%$)	Bătătură	123 (A)	7936 (A)	194 (A)	5047 (A)	-
		Urzeală	105 (B)	7262 (B)	138 (C)	4967 (A)	-
3	<i>Hibrid 2</i> – Sticlă / In / epoxi <i>Epalam</i> 2015 ($V_f=40\%$)	Bătătură	-	-	-	4084 (B)	-
		Urzeală	-	-	-	3943 (C)	-
6	Făină de brad / rășină <i>Urelit®R</i> ($V_f=40\%$)	-	-	17 (E)	2070 (D)	-	
7	<i>Sticlă-EWR145*</i> / făină de lemn de brad / poliester <i>Colpoly 723</i>	-	-	28 (E)	601 (E)	-	
9	<i>Sticlă-E**</i> / făină lemn de brad / epoxi <i>Epalam</i> 2015 ($V_{f\text{sticla}}=10,12\%$; $V_{f\text{lemn}}=15,23\%$)	89 (B)	7225 (B)	163 (B)	3801 (C)	0,1624	

*Țesătură de Sticlă-EWR145: bidirecțională, cu mărimea ochiurilor 5 mm, densitate 145 g/m²;

** Țesătură de Sticlă-E: bidirecțională, mărimea ochiurilor sub 0,5 mm, densitate 160 g/m²

(A)...(E) – indicator care arată poziția în clasament, din punctul de vedere al caracteristicii mecanice respective (A- corespunde la valoarea cea mai mare, E- corespunde la valoarea cea mai mică).

Principalele contribuții științifice originale se evidențiază prin:

- **Material compozit hibrid Sticlă-E / in / epoxi: stabilirea poziției straturilor astfel încât comportarea mecanică la încovoiere să fie îmbunătățită**
- **Valorile teoretice ale modulelor de elasticitate echivalente E_x la încovoiere, calculate cu modelul analitic de grindă compozită, corespunzătoare materialelor compozite de tipul In / epoxi Epolam 2015 și Sticlă / In / epoxi Epolam 2015 pe direcțiile bătăturii și respectiv ale urzelii, au fost validate de rezultatele experimentale (eroarea maximă a fost de 6,11%).**
- **Material compozit sticlă-E / făină de lemn de brad / epoxi Epolam 2015: funcții care arată variația caracteristicilor mecanice de încovoiere și impact, în funcție de durata de imersiune și s-au arătat cauzele degradării proprietăților: apariția microfisurilor la interfața dintre fibrele de sticlă și rășina epoxi, din cauza apei absorbite care oxidează rășina polimerică și de asemenea, degradează fibrele de lemn.**
- **S-a dovedit că ranforsarea cu făină de lemn de stejar conduce la creșterea coeficientului de contracție transversală ν_{12} , astfel că $\nu_{12}=0,2574$ în cazul Sticlă / făină lemn de stejar / epoxi Epolam 2015, comparativ cu $\nu_{12}=0,15$ în cazul Sticlă / epoxi Epolam 2015.**
- **Cercetările teoretice efectuate cu privire la stările de deformații în cazul componentei șezut-spătar de scaun, fabricată din materialul compozit Sticlă-E / făină lemn de brad / epoxi Epolam 2015, au fost validate de rezultatele experimentale obținute prin măsurarea deformațiilor specifice în punctele piesei reale, prin metoda tensometrică electrică rezistivă.**

(B-ii) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

Studii

- 1991–1996**, Universitatea *Transilvania* din Braşov, **Facultatea de Inginerie Tehnologică**, specializarea **Tehnologia Construcţiilor de Maşini (TCM)**, Şefă de promoţie, titlul *Inginer în profilul Mecanic*,
- 1996–1997**, Studii aprofundate (Master) în cadrul Universităţii *Transilvania* din Braşov, **Facultatea de Inginerie Tehnologică**, specializarea: **Inginerie Tehnologică Asistată de Calculator**, titlul de *Master în profilul Mecanic*
- 1999–2005**, Universitatea *Transilvania* din Braşov, **Facultatea de Inginerie Mecanică**, titlul de **Doctor în domeniul Inginerie Mecanică**, susţinută public la data de **17 dec. 2005**, **Diploma de doctor, nr. 1476 / 2.06.2006.**

Experienţa profesională şi didactică

- noiembrie 1996 – oct. 1997**, *Institutul de Autovehicule Rutiere Braşov (S.C. I.N.A.R S.A.)*
- **inginer în cercetare-proiectare**
- oct. 1997 – oct. 2000**, *Intreprinderea de Unelte şi Scule (S.C. I.U.S. S.A.)* din Braşov
- **inginer în cadrul Departamentul de cercetare – proiectare**
- oct. 2000 – oct. 2002**, Universitatea *Transilvania* din Braşov, *Catedra Rezistenţa Materialelor şi Vibraţii*
- **asistent universitar**
- oct. 2000 – oct. 2007**, **Şef de lucrări**
- oct. 2007– prezent**, **Conferenţiar universitar**

Activități și responsabilități

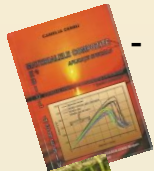
- predarea cursurilor de: **Mecanica Materialelor Compozite** (IM, an III); **Rezistența Materialelor** (AR-IFR, an II); **Dinamica Structurilor Mecanice** (IM, an III); **Modelarea și Simularea Comportării Neliniare a Materialelor** (Master STIM, an I); **Materiale Plastice, ceramice și compozite** (AR – IFR, an IV);
- **coordonarea de proiecte de diplomă și disertație;**
- **secretar științific al Comisiei de licență** a programului de studiu *Inginerie Mecanică* începând cu prima promoție (2002);
- coordonare studenților pentru realizarea lucrărilor pentru participarea la **Sesiunile științifice studențești** (total 16 lucrări);
- **pregătirea studenților și participarea la faza națională a Concursului „C.C. Teodorescu” pe teme de rezistența materialelor, la două (2) ediții** care s-au organizat la *Universitatea Politehnica din București*.

Competențe manageriale și de organizare

- **coordonare a trei (3) granturi de cercetare** câștigate prin competiție națională, în calitate de **director de proiect;**
- **2008 - 2011 – secretar științific al Catedrei de Rezistența Materialelor și Vibrații;**
- **2011 - prezent, membră a Consiliului Facultății de Inginerie Mecanică;**
- **din 2012 - coordonatoarea Programului de studiu Inginerie Mecanică în limba engleză;**
- **2013 – prezent, coordonatoarea Centrului de Cercetare C02B, "Simulare Numerică, Testare și Mecanica Materialelor Compozite" al Departamentului de Inginerie Mecanică** din cadrul Institutului de Cercetare – Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov.

Elemente definitorii ale activității de cercetare în domeniul tezei de abilitare

- **Teza de doctorat:** “Cercetări privind optimizarea structurală a unor piese din materiale compozite solicitate în condiții agresive de mediu”;
- **6** articole publicate în reviste cotate ISI (**2** articole – **singură autoare**; **4** articole – **prim autor**);
- **27** articole publicate în reviste sau volume indexate ISI / BDI, din care **20** articole – **prim autor**;
- **3 granturi de cercetare naționale** în calitate de **director de proiect**;
- **Monografii relevante sau capitole din monografii**



- **Cerbu Camelia (2006).** *Materialele compozite și mediul agresiv. Aplicații speciale*; Editura Universității Transilvania Brașov, ISBN 973-635-861-5, ISBN 978-973-635-861-6;

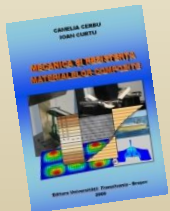


- **Cerbu Camelia (2010).** capitolul 19 “*Effects of the long-time immersion on the mechanical behaviour in case of some E-glass / resin composite materials*” în cartea “*Woven Fabric Engineering*”, ISBN 978-953-307-194-7, Editor: Polona Dobnik Dubrovski; *SCIYO Publisher*, 2010; p. 363-386 (24 pagini);



- Popa Alexandru Constantin V., **Cerbu Camelia (2013).** *Introducere în Metoda Elementelor Finite*, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2013, ISBN 978-606-19-0332-0, 562 pagini;

- **1 Cerere brevet de invenție** (menționat mai înainte)
- **Cărți de specialitate, suporturi de curs în domeniul mecanicii materialelor compozite**



- **Cerbu Camelia; Curtu Ioan – Mecanica și rezistența materialelor compozite**, Editura Universității *Transilvania* din Brașov, ISBN 978-973-598-614-8, 2009, 250 pagini;

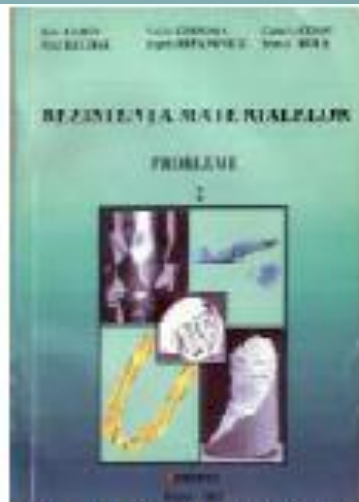
Alte cărți, cursuri de rezistența materialelor – publicate în colectiv de autori



Reprografia Universității
"Transilvania" din Brașov



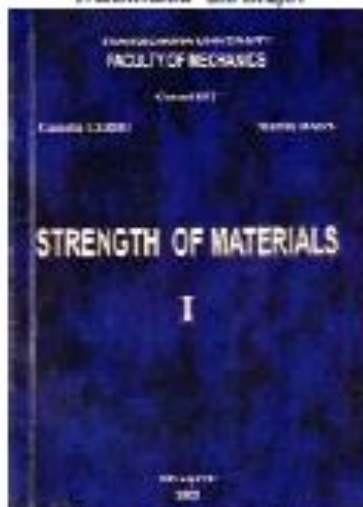
Editura Infomarket Brașov, 2001
ISBN 973 - 8204 - 16 - X



Editura Infomarket Brașov, 2002
ISBN 973 - 8204 - 40 - 2



Editura Tehnico-Info Chișinău, 2004
ISBN 9975-63-241-8



Reprografia Universității
"Transilvania" din Brașov, 2002

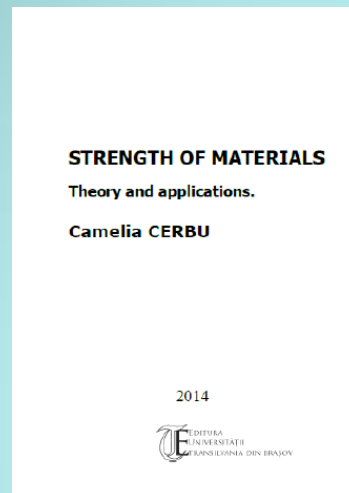
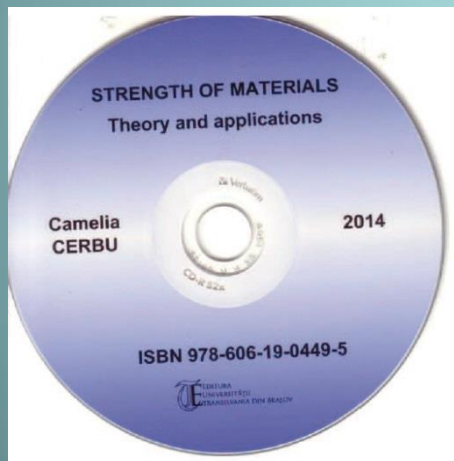
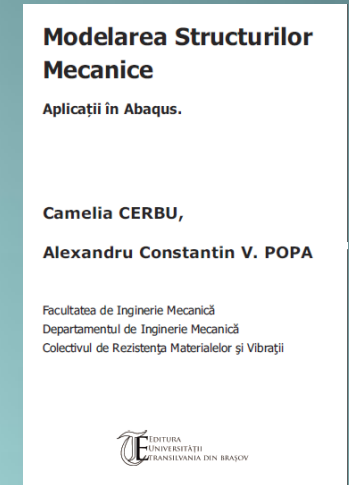
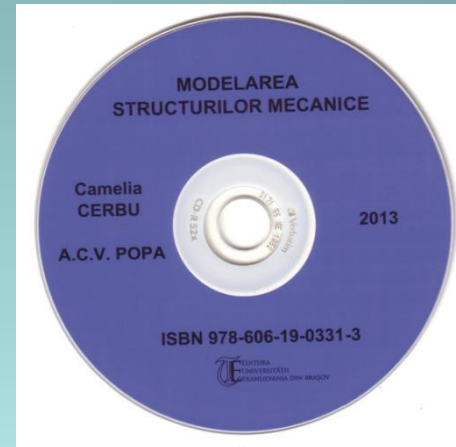
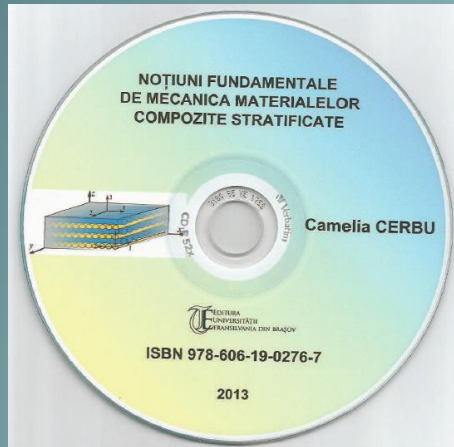


Editura Infomarket Brașov, 2003
ISBN 973-8204-51-8



Editura Infomarket Brașov, 2005
ISBN 973-8204-76-3

Cărți în format electronic în domeniul tezei de abilitare



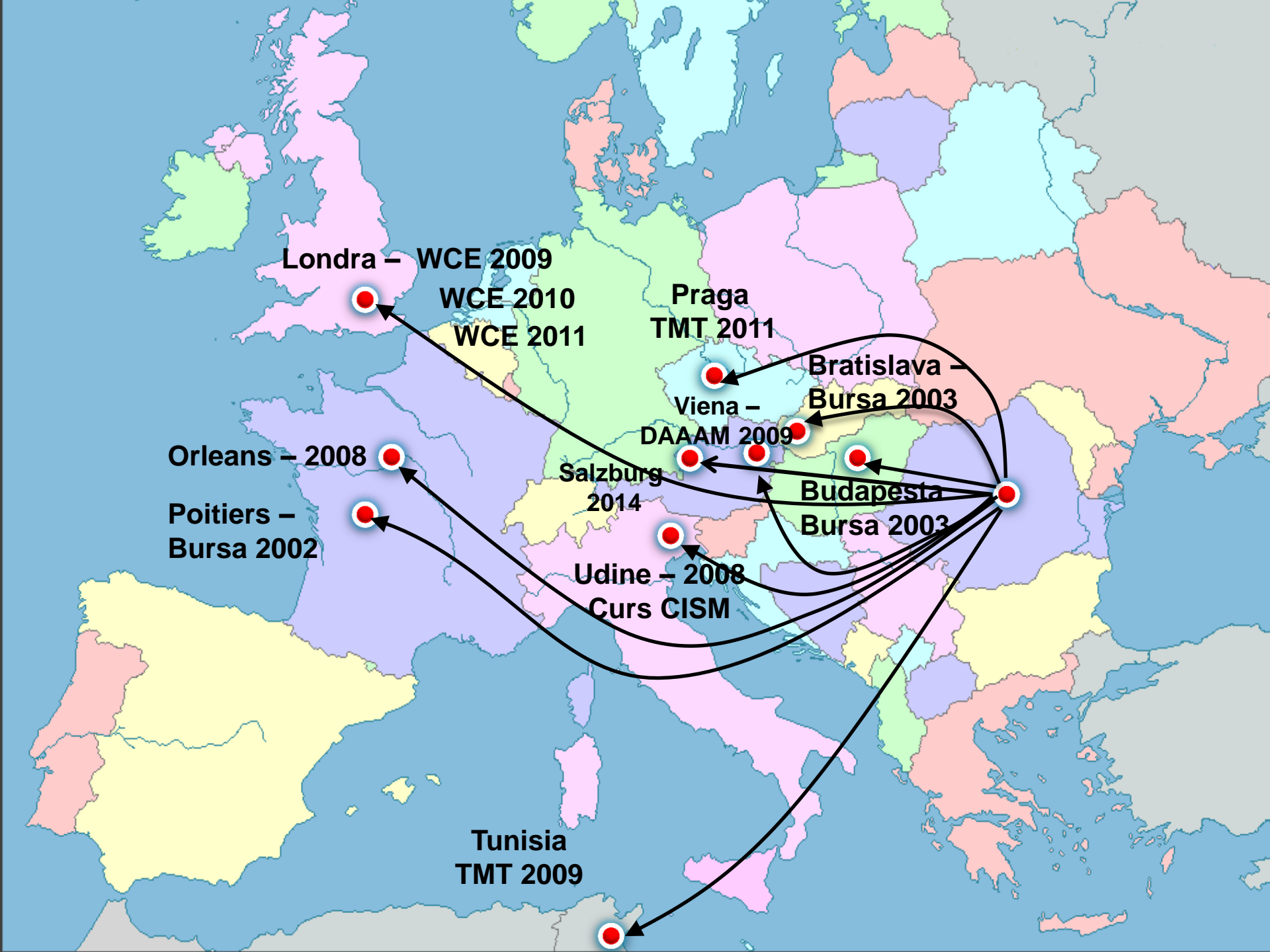
Autonomia și vizibilitatea activității științifice

➤ **Publicații ca autor principal**

- număr lucrări indexate ISI Web of Science: **13** (**4-singur autor, 8-prim autor, 1-colaborare**);
- număr lucrări indexate BDI: **20** (indexate Scopus, EBSCO, sciencedirect, Index Copernicus, DOAJ, ULRICHSWEB, SCPIO, Academic Keys, Google Scholar, **fără cele indexate ISI Web of Science**); dintre acestea **3 articole-singur autor** și **11 articole- prim autor**;
- număr lucrări în volumele conferințelor: **49** – conferințe internaționale (**10-singur autor, 24-prim autor**); **13** – conferințe naționale (**4-singur autor, 6-prim autor**).

➤ **Granturi de cercetare în calitate de coordonator de proiect**

- 1. Contract IDEI, Proiect de cercetare exploratorie PN-II-PCE, cod ID_733 / 2008, nr. 601 / 19.01.2009**; Titlul: „Cercetări privind comportarea mecanică a unor structuri compozite și nano-compozite hibride ranforsate cu particule, țesături și materiale reciclate în condiții agresive de mediu”; **director de proiect: CERBU Camelia**; Valoare totală: **423385,93 lei = 100166,86 Euro / 2009-2011**; Finanțator: UEFISCDI.
- 2. Grant de tip AT, cod 132 CNCSIS, Nr. contract: 4GR /28.05.2007**; Titlul: „Cercetări privind conservarea caracteristicilor mecanice ale pieselor din materiale compozite cu matrice polimerică solicitate în mediu coroziv cu variații de temperatură și umiditate”; **director de proiect: CERBU Camelia**; **40.000 lei = 11985,73 Euro**; Finanțator: UEFISCDI
- 3. Grant de tip AT, cod 414, nr. 33.253 / 25.06.2003, 33.369 / 29.06.2004**; Titlul: “Optimizarea structurală a pieselor din materiale compozite ce lucrează în condiții agresive de mediu (umiditate, temperatură, ciclu termic, etc.)”; **director de proiect: CERBU Camelia**; **57000 ROL = 1459,18 Euro** (27000 ROL / 2003, 30000 ROL / 2004); Finanțator: UEFISCDI



Londra – WCE 2009

WCE 2010

WCE 2011

Praga

TMT 2011

Bratislava –

Bursa 2003

Viena –

DAAAM 2009

Orleans – 2008

Salzburg

2014

Budapest

Bursa 2003

Poitiers –

Bursa 2002

Udine – 2008

Curs CISM

Tunisia

TMT 2009

(B-ii) ➤ *Prezentări orale la conferințe internaționale din străinătate și din țară*



Fig. B-ii.1. Prezentare orală a lucrării la The World Congress on Engineering – WCE 2009 (organizată de IAENG), London, U.K, 1-3 July, 2009



Fig. B-ii.2. Prezentare orală a lucrării la The World Congress on Engineering 2010 - WCE 2010, (organizată de IAENG), London, U.K, June 30 - July 2, 2010



Fig. B-ii.3. Prezentare orală a lucrării în cadrul Conferinței TMT 2009, Hammamet-Tunisia, 16-21 October, 2010

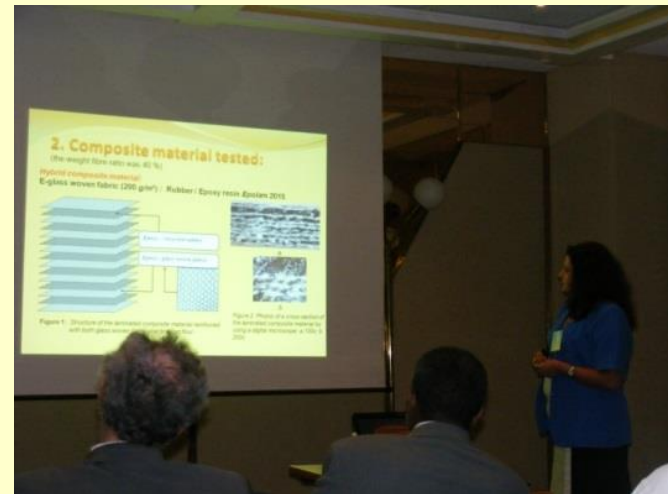


Fig. B-ii.4. Prezentare orală a lucrării în cadrul Conferinței TMT 2011, 12-18 September, Prague, Czech Republic, 2011

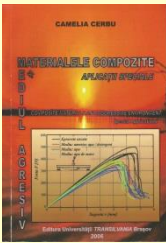
(B-ii)**Numărul total de citări obținute pentru articolele publicate****Tabelul B-ii.1**

Numărul de citări în reviste cotate ISI sau în reviste / volume indexate BDI, ale articolelor publicate de Cerbu Camelia

Nr. Articole publicate de Cerbu C. în Rev. cotate ISI sau în reviste / volume indexate ISI / BDI	Nr. citări în Reviste ISI cu factor de impact	Nr. citări în publicații ISI fără factor de impact	Nr. citări în publicații BDI
6 Articole în Reviste ISI	-2 citări în <i>Composites Part B: Engineering</i> (FI: 2,602 / 2014); -3 citări în <i>Materials & Design</i> (Impact factor: 3,171/ 2014) -1 citare în <i>Journal of Optoelectronics and Advanced Materials</i> (FI: 0,563/2013) -7 citări în <i>Materiale Plastice</i> (FI: 0,463/ 2013) - 2 citări în <i>Optoelectronics and Advanced Materials, Rapid Comunication</i> (FI: 0,449 / 2013)	- 3 citări în reviste ISI fără factor de impact (-1 citare în <i>Advanced Materials Research</i> ; - 1 citare în <i>Applied Mechanics and Materials</i> ; - 1 citare în <i>Agronomy Research</i>) - 4 citări în Proceeding-uri indexate ISI	- 9 citări în Reviste indexate BDI; - 4 citare în Proceeding indexat BDI;
7 Articole în Proceeding-uri indexate ISI	-1 citare în <i>Materiale Plastice</i> (FI: 0,379 / 2012)	-	- 3 citări în Reviste indexate BDI; - 1 citare în Proceeding indexat BDI;
20 Articole în Reviste sau Proceeding-uri indexate BDI	-	-	- 8 citări în Reviste indexate BDI
Total citări = 48 citări	16 citări în Reviste ISI cu factor de impact	7 citări în publicații ISI fără factor de impact (3 în reviste + 4 în Proceeding-uri)	25 citări în publicații BDI (20 în reviste + 5 în Proceeding-uri)

(B-ii)

➤ “Noutăți editoriale” - Prezentarea cărților în revistă indexată BDI

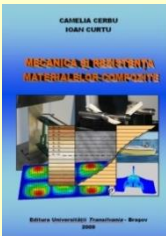


- Revista *ProLigno*, ISSN 1841-4737 (categoria B+, cod 746 CNCSIS), vol. 3, nr. 1, martie 2007, prezintă în cadrul secțiunii “Recent Publications”, p. 79, un rezumat al cărții următoare:

Cerbu Camelia, *Materialele compozite și mediul agresiv. Aplicații speciale*; Editura Universității Transilvania Brașov, ISBN 978-973-635-861-6; 2006, format B5 tipărit, 256 pagini; <http://www.proligno.ro/en/articles/2007/1/publications.htm>;

- Revista *ProLigno*, ISSN 1841-4737 (categoria B+, cod 746 CNCSIS), vol. 5, nr. 4, decembrie 2009, prezintă în cadrul secțiunii “Recent Publications”, p. 88, un rezumat al cărții următoare:

Cerbu Camelia, Curtu Ioan, *Mecanica și rezistența materialelor compozite*, Editura Universității Transilvania din Brașov, ISBN 978-973-598-614-8, 2009, format B5 tipărit, 264 pagini; <http://www.proligno.ro/en/articles/2009/4/publications.htm>.



➤ Referent științific și membru în Comisii de evaluare

- **Recenzor la reviste de specialitate** renumite, o parte fiind **în domeniul materialelor compozite**: *Journal of Composite Materials - Part B: Engineering*, Elsevier, *Journal of Composite Materials* (din colecția Sage Journals); *Journal Recent Patents on Materials Science* (publicat de Bentham Science Publisher).

- **Expert evaluator în Comisiile de evaluare a proiectelor de cercetare** depuse în cadrul competițiilor naționale lansate de CNCSIS / UEFISCDI (2009-2010).

- **Evaluator ARACIS** și a fost membră a **Comisiilor de evaluare externe pentru diverse programe de studiu din domeniul Inginerie Mecanică** la diverse Universități din România (Universitatea Politehnică din Timișoara, Academia Tehnică Militară, Universitatea Tehnică “Gh. Asachi” din Iași etc.).

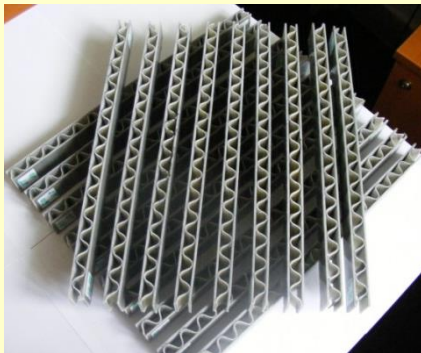
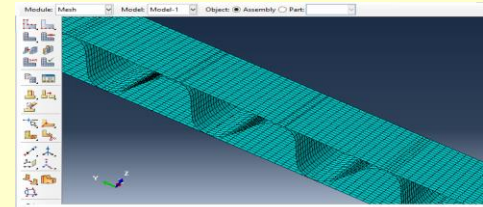
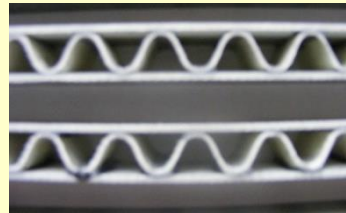
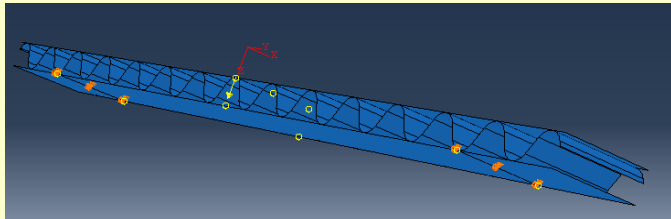
FIȘA PENTRU VERIFICAREA STANDARDELOR MINIMALE

Nr. crt.	Criterii de evaluare	Minim de îndeplinit (puncte)	Punctaj calculat
1	Criteriul (CDI) Activitate de cercetare științifică, dezvoltare tehnologică și inovare	Minim 10 puncte, din care minim 6 puncte din criteriul CDI-ART (<i>Articole științifice publicate în reviste de specialitate cotate ISI sau în reviste / volume indexate ISI sau BDI</i>)	44,247 puncte din care 27,887 puncte din criteriul CDI-ART
2	Criteriul (DID) Activitate didactică și profesională	Minim 10 puncte, din care minim 6 puncte din criteriul DID-MSD (<i>Manuale support curs, format tipărit sau format electronic</i>)	26,24 puncte – integral din criteriul DID-MSD
3	Criteriul (RIA) Recunoaștere și impactul activității	Minim 10 puncte din care - <i>Contribuție principală (minim 60%) în calitate de director grant/proiect</i>	18,637 puncte din care 9,381 puncte în calitate de director de granturi de cercetare
Total		Minim 30 puncte	89,124 puncte

Planuri de dezvoltare a activității de cercetare științifică

Direcțiile viitoare de cercetare ale autoarei prezentei teze de abilitare:

- ❑ *Modelarea, simularea și testarea caracteristicilor mecanice ale structurilor din materiale compozite de tip sandwich cu miez din diferite tipuri de profile, cu aplicații în industria autovehiculelor.*
- ❑ *Optimizarea structurilor din materiale compozite de tip sandwich cu miez din diferite tipuri de profile, care sunt solicitate mecanic în condiții agresive de mediu (umiditate, variații de temperatură, cicluri termice, raze ultraviolete etc.).*



Figuri:
Încercări recente efectuate
cu masteranzi în scopul
diseminării în lucrări
științifice.

Direcțiile viitoare de cercetare (continuare):

- ❑ *Optimizarea structurilor din materiale compozite hibride ranforsate cu fibre de sticlă și fibre naturale solicitate static sau dinamic (solicitări ciclice de oboseală) în scopul îmbunătățirii durabilității.*
- ❑ *Cercetări privind comportarea mecanică a structurilor din materiale compozite hibride de tip sandwich cu miezuri din fibre naturale sau materiale reciclabile cu aplicații în industria automobilelor (sau industria materialelor de construcții).*
- ❑ *Cercetări privind comportarea mecanică a îmbinărilor utilizate între componentele din structurile din materiale compozite ranforsate cu țesături.*

▪ Bibliografie – selectiv (în total, 134 referințe bibliografice)

- Abdul Khalil, H.P.S.; Jawaid, M.; Abu Bakar, A. (2011). Woven hybrid composites: Water absorption and thickness swelling behaviors, *BioResources* 6 (2), p. 1043-1052, DOI: 10.15376/biores.6.2.1043-1052;
- Adhikary, K. B.; Pang, S.; Staiger, M. P. (2008). Long-term moisture absorption and thickness swelling behaviour of recycled thermoplastics reinforced with *Pinus radiata* sawdust. *Chemical Engineering Journal*, vol. 142 (2), p. 190-198, doi: 10.1016/j.cej.2007.11.024. (2007);
- Alămoreanu, Elena; Constantinescu, D.M. (2005). Proiectarea plăcilor compozite laminate, Editura Academiei Române, București;
- Al-Maadeed, M. A.; Shabana, Y. M.; Khanam, P.N. (2014). Processing, characterization and modeling of recycled polypropylene/glass fibre/wood flour composites, *Materials and Design*, vol. 58, p. 374–380, DOI:10.1016/j.matdes.2014.02.044;
- Arbelaiz, A.; Fernández, B.; Cantero, G.; Llano-Ponte, R.; Valea, A.; Mondragon, I. (2005). Mechanical properties of flax fibre/polypropylene composites. Influence of fibre/matrix modification and glass fibre hybridization, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 36 (12), 2005, p. 1637–1644;
- Ayensu, A. (2000). Interfacial debonding of natural fibre reinforced composites, *Quarterly Science Vision*, vol. 6 (1), 25–34;
- Baere, I.; Van Paepegem, W.; Degrieck J. (2009). On the nonlinear evolution of the Poisson's ratio under quasi-static loading for a carbon fabric-reinforced thermoplastic. Part I: Influence of the transverse strain sensor, *Polymer Testing*, ISSN 0142-9418, vol. 28, 2009, p. 196-203;
- Barbero, E. J. (1998). Introduction to composite materials design, CRC Publisher, USA, ISBN 978-1560327011;
- Barbu, C., M. (1999). Materiale compozite din lemn, Editura Luxlibris, ISBN 973-9240-80-1;
- Berthelot, Jean Marie (2007). Mechanical Behaviour of Composite Materials and Structures, Chapters 23, ISMANS - Institute for Advanced Materials and Mechanics, Le Mans, France;
- Boualem, N.; Sereir, Z. (2010). Reduction of hygrothermal transverse stresses in unidirectional hybrid composites under cyclic environmental conditions, *Mechanics of Time-Dependent Materials*, vol. 15 (1), p. 51-71, DOI: 10.1007/s11043-010-9120-y;
- Carus, M. (2011). Bio-composites: technologies, applications and markets, In: 4th International conference on sustainable materials, polymers and composites, Birmingham, UK, 6–7 July 2011;
- **Cerbu Camelia** (2015). Practical solution for improving the mechanical behaviour of the composite materials reinforced with flax woven fabric, *Advances in Mechanical Engineering*, ISSN 1687-8132, vol. 7 (4), 30 April 2015, DOI: 10.1177/1687814015582084,
- **Cerbu, Camelia** (2015). Mechanical characterization of the flax / epoxy composite material, 8th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2014, 9-10 October 2014, Tirgu-Mures, Romania, Procedia Technology, Elsevier, ISSN 2212-0173, vol. 19, 2015, p. 268 – 275, DOI: 10.1016/j.protcy.2015.02.039;
- **Cerbu, Camelia**; Curtu I.; Constantinescu D. M.; Miron M. C. (2011). Aspects concerning to the transverse contraction in the case of some composite materials reinforced with glass fabric, *Materiale plastice*, vol. 48 (4), p.341-345;
- **Cerbu, Camelia**; Curtu, I.; Ciofoaia, V.; Rosca, I. C.; Hanganu, L. C. (2010). Effects of the wood species on the mechanical characteristics in case of some E-glass fibres/wood flour/polyester composite materials, *Mat. Plast*, ISSN 0025-5289, vol. 47 (1), 2010, p.109-114;

- **Cerbu, Camelia;** Popa, Alexandru Constantin V. (2013). Modelarea Structurilor Mecanice, Editura Universității Transilvania din Brașov, ISBN 978-606-19-0331-3, 2013, 396 pagini;
- **Cerbu, Camelia;** Teodorescu, H.; Scutaru, L. (2011). Adding Fillers to Change the Mechanical Behaviour of the Glass Composite Materials, Proceedings of The World Congress on Engineering WCE 2011, Vol III, ISBN 978-988-19251-5-2, ISSN 2078-0958 (Print), ISSN 2078-0966 (Online), 6-8 July 2011, London, U.K, Publisher: Newswood Limited; Organization: International Association of Engineers; p. 2294-2297;
- Chiriacescu, S.T.; Balcu, I. (2008). Introducere în teoria elasticității și rezistența materialelor, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2008, ISBN 978-973-598-244-7;
- Ciofoaia, V.; Botiș, M.; Dogaru, F.; Curtu, I. (2001). Metoda elementelor finite, Editura InfoMarket, Brașov, ISBN 973-8204-11-9;
- Constantinescu, D.M.; Sandu, M.; Marșavina, L.; Negru, R.; Miron, M.; Apostol, D. (2009). Evaluation of Interlaminar Damage and Crack Propagation Through Digital Image Correlation Method, Advances in strength of materials Book Series: Key Engineering Materials, Editor(s): Marsavina, L., Vol.: 399, p. 105-112;
- Cristaldi, G.; Latteri, A.; Recca, G.; Cicala, G. (2010). Chapter 17: Composites Based on Natural Fibre Fabrics, In book: “Woven Fabric Engineering”, ISBN 978-953-307-194-7, SCIYO Publisher, Published in print edition August 2010, Editor: Polona Dobnik Dubrovski, www.sciyo.com., p. 317-342, <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/12253.pdf>;
- Cui, Y.; Lee, S.; Noruziaan, B.; Cheung, M.; Tao, J. (2008). Fabrication and interfacial modification of wood/recycled plastic composite materials, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, ISSN 1359-835X, vol. 39 (4), p. 655–661, DOI: 10.1016/j.compositesa.2007.10.017;
- Curtu, I.; Crișan, L.R.; Biț S.C. (1998). Rezistența materialelor și teoria elasticității: curs și aplicații, partea II - a, Brașov;
- Curtu, I.; Ghelmeziu, N. (1984). Chapter “Rezistentele lemnului”, In: Mecanica lemnului și materialelor pe baza de lemn, Editura Tehnica, Bucuresti, 1984, p. 165 și p.204;
- Dhakal, H. N.; Zhang, Z. Y.; Richardson, M. O. W. (2007). Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites, Composites Science and Technology, 67(7-8), p. 1674–1683,;
- Hadăr, A. (2002). Structuri din compozite stratificate. Metode, algoritmi și programe de calcul, Editura Academiei Române, București;
- Hadăr, A.; Constantinescu, I.N.; Jiga, G., Ionescu, D.S. (2007). Some local problems in laminated composite structures, Mat. Plast, ISSN 0025 / 5289, vol. 44 (4), p.354-360;
- Hoffman, K. (1989). An introduction to measurements using strain gauges, Publisher: Hottinger Baldwin in Messtechnik GmbH, Darmstadt;
- Kamdem, D. P.; Jiang, H.; Cui, W.; Freed, J.; Matuana, L. M. (2004). Properties of wood plastic composites made of recycled HDPE and wood flour from CCA-treated wood removed from service, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, vol. 35 (3), p. 347-355, DOI: 10.1016/j.compositesa.2003.09.013;
- Klyosov, A. A. (2007). Composition of wood-plastic composites: cellulose and lignocellulose fillers, În: Wood-plastic composites, John Wiley & Sons Publishing, Hoboken, New Jersey, p. 75-122;
- Müssig, J. (editor) (2010). Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications . Chichester, UK , John Wiley & Sons , p. 538;

- Năstăsescu V. (1995). Metoda elementelor finite, Ed. Academiei Tehnice Militare, București;
- Ocha, O.O.; Reddy, J.N. (1992). Finite element analysis of composite laminates, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht / Boston / London, ISBN 0-7923-1125-6;
- Petrucci, R.; Santulli, C.; Puglia, D.; Sarasini, F.; Torre, L.; Kenny, J.M. (2013). Mechanical characterisation of hybrid composite laminates based on basalt fibres in combination with flax, hemp and glass fibres manufactured by vacuum infusion, *Materials and Design*, vol. 49, p. 728–735;
- Popa, Alexandru Constantin V. (2002). Metoda elementelor finite analiză și modelare în programul NISA, Editura Universității Transilvania din Brașov, ISBN 973-635-009-6;
- Radu, Gh.; Munteanu, M. Gh. (1995). Teoria elasticității și rezistența materialelor, vol. I Brașov, 1994, vol. II, Editura Macarie, Târgoviște;
- Roșca, I.C. (2009). Mechanical Vibrations, ISBN 978-973-598-648-3, Editura Universității Transilvania din Brașov;
- Springer, G. S. (1988). Environmental Effects, *Environmental Effects on Composite Materials*, vol. 3, Edited by SPRINGER, G., S., Lancaster, PA: Technomic Publishing Company;
- Szava, I.; Ciofoaia, V.; Luca-Motoc, Dana; Curtu, I. (2001). Metode experimentale in dinamica structurilor mecanice, Editura Universitatii Transilvania din Brasov, ISBN 973-9474-40-3;
- Timoshenko, S. P.; Woinowsky-Krieger, S. (1968). Teoria plăcilor plane și curbe, Editura Tehnică, București, 1968;
- Vlase, S.; Teodorescu, H.; Purcărea, R.; Modrea, A. (2008). Mecanica materialelor compozite armate cu fibre, Editura Infomarket, ISBN 978-973-8204-98-0;
- Voinea, R.; Voiculescu, D.; Ceașu, V. (1976). Elasticitate și plasticitate, vol. 1 și 2, Institutul Politehnica București, 1976;
- *** EN ISO 14125 (2000). Fibre-reinforced plastic composites – Determination of flexural properties, British Standard, London;
- *** EN ISO 179-1. (2001). Plastics materials, Determination of the properties in Charpy test. The 1st Part: Uninstrumentally dynamic test. Determination of the characteristics of the materials under Charpy test, European Committee for Standardization, Brussels;
- *** EN ISO 527-4 (2000). Plastics - Determination of tensile properties - Part 4: Test conditions for isotropic and orthotropic fibre-reinforced plastic composites;
- *** EN ISO 62. (2008). Plastics. Determination of water absorption, European Committee for Standardization, Brussels;

Vă mulțumesc pentru atenție!