



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2010 00542

(22) Data de depozit: 23.06.2010

(41) Data publicării cererii:  
30.12.2011 BOPI nr. 12/2011

(71) Solicitant:  
• UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE  
ASACHI" DIN IAȘI,  
BD.PROF.D.MANGERON NR. 67, IAȘI, IS,  
RO

(72) Inventatori:  
• GOANȚĂ VIOREL, STR.SUCIDAVA NR.5,  
BL.259A, ET.5, AP.18, IAȘI, IS, RO;  
• LEIȚOIU BOGDAN, STRADELA CANTA  
NR.5, BL.459, SC.A, ET.3, AP.15, IAȘI, IS,  
RO

(54) **PROCEDEU PENTRU DETERMINAREA PE TREI DIRECȚII A  
CARACTERISTICILOR ELASTICE PENTRU MATERIALELE  
COMPOZITE POLIMERICE ARMATE CU ȚESĂTURĂ**

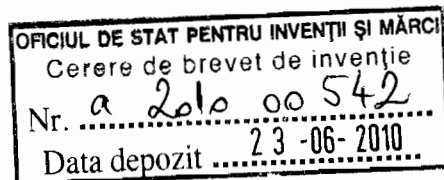
(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu experimental, pentru determinarea modului de elasticitate longitudinală și a coeficientului lui Poisson. Procedeu conform invenției constă din determinarea caracteristicilor elastice în același punct, pe trei direcții diferite, conținute într-un plan paralel cu țesătura de armare, prin încercarea la tracțiune, cu viteză de 0,05 kN/min, a aceleiași probe de formă octogonală pe care sunt montate rozete electrotensometrice bidirecționale, pe o mașină universală de încercat, de la care sunt preluate semnalele tensiune-timp sau semnalele în raport cu timpul, privind deformația longitudinală și cea transversală, sunt preluate de la puntea tensometrică, după care din fișierele achiziționate este eliminat timpul se pun în corespon-

dență variația tensiunii în raport cu deformația longitudinală, variația deformației longitudinale în raport cu deformația transversală, se trasează variația tensiune-deformație longitudinală și dreptele de aproximare pentru cele trei direcții, se identifică apoi coeficienții pentru obținerea modului de elasticitate longitudinală, se trasează variația deformației longitudinale în raport cu cea transversală și dreptele de aproximare pentru cele trei direcții și se identifică apoi coeficienții termenilor care vor reprezenta valorile coeficientului lui Poisson.

Revendicări: 1  
Figuri: 6





**PROCEDEU PENTRU DETERMINAREA PE TREI DIRECȚII A CARACTERISTICILOR ELASTICE PENTRU MATERIALELE COMPOZITE POLIMERICE ARMATE CU ȚESĂTURĂ**

Invenția se utilizează pentru determinarea modulului de elasticitate longitudinală  $E$  sau modulul lui Young precum și a coeficientului contracției transversale  $\nu$  sau coeficientul lui Poisson, la materialele compozite cu proprietăți orthotrope [1].

Sunt cunoscute metodele experimentale cât și relațiile de calcul aferente pentru determinarea caracteristicilor elastice  $E$  și  $\nu$  ale materialelor izotrope [2]. Există mai multe metode de determinare a constantelor elastice arătate mai sus. Există metoda bazată pe determinarea pantei drepte de elasticitate din cadrul curbei caracteristice determinată pe probe standardizate confecționate din materialul respectiv, probe care sunt supuse solicitării de tracțiune [3]. Sunt cunoscute de asemenea metode prin care se pun în corelație tensiunea introdusă în proba solicitată și deformațiile pe direcție longitudinală și transversală, acestea din urmă măsurate prin diferite mijloace: extensometre mecanice, optice, cu laser, prin tensometria electrică rezistivă, etc. [3]. Toate aceste metode permit determinarea constantelor elastice pentru o probă prelevată din material, de obicei după o direcție preferențială. Probele utilizate pentru determinarea constantelor elastice sunt de obicei standardizate și prezintă o axă geometrică după care are loc solicitarea de tracțiune și după care se măsoară și deformația longitudinală, pentru determinarea coeficientului lui Poisson măsurându-se deformația pe o direcție perpendiculară cu cea longitudinală. Mai sunt cunoscute metode de determinare a caracteristicilor elastice ale materialelor care utilizează metode ce țin de fotoelasticimetrie [4].

Invenția rezolvă problema determinării constantelor elastice pe trei direcții, pentru un material cu proprietăți orthotrope, cu ajutorul unei singure probe de construcție specială.

Invenția de față prezintă un procedeu experimental și analitic pentru determinarea constantelor elastice pe trei direcții ale materialelor compozite armate cu țesătură care au proprietăți orthotrope. Se utilizează fișierele de date preluate de la mașina de încercat la tracțiune pe baza cărora se va stabili corelația dintre tensiunea aplicată și deformația longitudinală și transversală. Pentru determinarea deformațiilor longitudinale și transversale se utilizează traductoare electrotensometrice având câte două mărci suprapuse montate în T. Semnalele sunt preluate de la traductoare prin intermediul unei punți tensometrice ce permite achiziția de date.

Invenția se aplică în cazul în care se dorește determinarea constantelor elastice pentru materialele orthotrope, pe trei direcții diferite, cu ajutorul unei unice epruvete de construcție specială, traductoarele tensometrice fiind montate în același punct din care se face preluarea semnalelor pentru deformațiile longitudinală și transversală.

Procedeul conform invenției prezintă următoarele avantaje:

- pe baza unei proceduri simple, deloc costisitoare, se pot determina pe trei direcții diferite caracteristicile elastice ale unui material cu proprietăți orthotrope, cu ajutorul unei singure epruvete;
- nu mai este necesară decuparea a trei epruvete diferite, fiecare având axa geometrică orientată diferit, prelevate fiind dintr-un material de bază;
- pe baza utilizării acestui procedeu se pot determina caracteristicile elastice în același punct, central al epruvetei, în timp ce prin decupare de epruvete diferite se vor determina aceste caracteristici în puncte diferite. În acest din urmă caz pot apărea erori datorită eventualelor imperfecțiuni ale materialului în zone diferite cauzate fie de către matrice, fie de către armătură, fie de interfața dintre matrice și armătură.

Dezavantajul metodelor prezentate în cadrul stadiului actual al tehnicii este acela că, pentru determinarea caracteristicilor elastice ale materialelor orthotrope trebuie decupate probe din materialul de bază după fiecare din direcțiile de interes ale materialului. În acest caz determinările constantelor elastice se fac, pentru fiecare direcție în parte, în puncte diferite ale materialului de bază. Pentru materialele compozite polimerice armate cu țesătură de exemplu, este posibilă influența asupra valorii respectivelor caracteristici dată nu numai de către direcția de solicitare ci și de zona în care se face măsurarea deformațiilor longitudinale și transversale. Interesul în cazul acestui tip de determinare este de a se pune în evidență doar influența direcției de solicitare în raport cu direcția de armare a unui material compozit.

Se prezintă în continuare un exemplu de realizare a invenției conform figurilor:

- în figura 1 este prezentată forma epruvetei speciale de tracțiune cu amplasarea traductoarelor tensometrice;
- în figura 2 se exemplifică modul de solicitare a probei pe mașina INSTRON 8801 și achiziția datelor privind deformațiile longitudinale și transversale cu ajutorul punții tensometrice de tip Vishay P3;
- figura 3 prezintă trei epruvete octogonale, confecționate din materiale compozite după cum urmează:
  - o probă cu matrice din rășină epoxidică armată cu un singur strat de țesătură din fibră de sticlă, având grosimea totală de 0.9 mm;
  - o probă cu matrice din rășină epoxidică armată cu un singur strat de țesătură din fibră de sticlă având suprafețele acoperite cu un strat de cupru, grosimea totală a epruvetei fiind de 1.2 mm;
  - o probă cu matrice din rășină epoxidică armată cu mai multe straturi de țesătură din fibră de sticlă, grosimea totală a epruvetei fiind de 10 mm.

- în figurile 4 a, b și c sunt trasate graficele de variație a tensiunii în funcție de deformația longitudinală, pentru cele trei tipuri probe menționate anterior;
- în figurile 5 a, b și c sunt trasate graficele de variație a deformației longitudinale în funcție de deformația transversală, pentru cele trei tipuri probe menționate anterior;
- figurile 6 a și b prezintă hărțile tensiunilor pe direcția solicitării și pe direcție perpendiculară cu aceasta.

În continuare se prezintă un exemplu de determinare a constantelor elastice  $E$  și  $\nu$  pentru cele trei materiale compozite descrise anterior.

Pentru determinarea deformațiilor specifice, pe o epruvetă de tracțiune de formă octogonală, având aria secțiunii transversale egală cu  $S_0=(a \cdot b)$ , se montează rozete electro-tensometrice bidirecționale, ca în figura 1. O grilă a rozetei TER1, respectiv ( $m_1$ ), este dirijată pe direcția 1, iar cealaltă, ( $m_3$ ) este dirijată pe direcția perpendiculară 3. Pe fața opusă a epruvetei, tot în centrul epruvetei, se montează o altă rozetă bidirecțională, (TER2), grilele mărcilor fiind dispuse pe direcțiile 2, ( $m_2$ ), și 4, ( $m_4$ ). În aceste condiții, prin solicitarea după direcția 1 se vor obține constantele elastice  $E_{11}$  și  $\nu_{13}$ , prin solicitarea după direcția 2 se vor obține  $E_{22}$  și  $\nu_{24}$  iar prin solicitarea după direcția 3 se vor obține  $E_{33}$  și  $\nu_{31}$ . Traductoarele electro-tensometrice se introduc în circuite de măsură de tip punte *Wheatstone* în configurație *sfert de punte*, astfel încât fiecare marcă tensometrică este echilibrată pe baza circuitului din puntea tensometrică. Cu ajutorul epruvetei prezentată în figura 1 se pot determina caracteristicile elastice  $E$  și  $\nu$  pe direcțiile 1, 2 și 3 arătate în figura 1. În condițiile utilizării unei epruvete de forma celei prezentate în figura 1 nu mai este necesară decuparea a trei epruvete diferite cu direcția longitudinală orientată după direcțiile 1, 2 și 3. Pe de altă parte, pe baza utilizării acestei epruvete se pot determina caracteristicile elastice în același punct, central al epruvetei, în timp ce prin decupare de epruvete diferite se vor determina aceste caracteristici în puncte diferite. În acest din urmă caz pot apărea erori datorită eventualelor imperfecțiuni ale materialului în zone diferite cauzate fie de către matrice, fie de către armătură, fie de interfața dintre matrice și armătură.

Pentru determinarea modulelor lui Young și ai coeficienților lui Poisson pe direcțiile 1 și 3, mărcile tensometrice  $m_1$  și  $m_3$  vor juca pe rând rolul de marcă longitudinală și marcă transversală. În aceste condiții, pentru o mai bună sistematizare a datelor, se fac următoarele mențiuni:

- mărcile  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  și  $m_4$  se află dispuse longitudinal pe direcțiile corespunzătoare;
- atunci când solicitarea are loc pe direcția 1, la preluarea semnalului marca  $m_1$  devine marca  $m_{1L}$  iar marca  $m_3$  devine marca  $m_{3T}$ ;
- atunci când solicitarea are loc pe direcția 3, marca  $m_1$  devine marca  $m_{1T}$  iar marca  $m_3$  devine marca  $m_{3L}$ ;

- atunci când solicitarea are loc pe direcția 2, marca  $m_2$  devine marca  $m_{2L}$  iar marca  $m_4$  devine marca  $m_{4T}$ ;

Solicitarea la tracțiune a probelor cu configurația din figura 1 s-a realizat pe o mașină universală de încercat de tip Instron 8801, figura 2. Controlul asupra mașinii de încercat s-a realizat prin intermediul forței impunându-se ca încercarea să se efectueze cu viteza de 0.05 kN/min. În același timp, având în vedere că rata minimă de eșantionare a achiziției de date pentru puntea Vishay este de 1 secundă, s-a impus ca și rata de achiziție a datelor de la mașina de încercat Instron să fie tot de o secundă.

Pentru acest experiment am avut la dispoziție 3 tipuri de probe prezentate în figura 3. Acestea sunt:

- probă cu matrice din rășină epoxidică armată cu un singur strat de țesătură din fibră de sticlă, având grosimea totală de 0.9 mm;
- probă cu matrice din rășină epoxidică armată cu un singur strat de țesătură din fibră de sticlă având suprafețele acoperite cu un strat de cupru, grosimea totală a epruvetei fiind de 1.2 mm;
- probă cu matrice din rășină epoxidică armată cu mai multe straturi de țesătură din fibră de sticlă, grosimea totală a epruvetei fiind de 10 mm.

Configurația probelor din figura 3 a rezultat ca urmare a necesității de realizarea a solicitării după trei direcții:  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  și  $90^{\circ}$  precum și pentru posibilitatea realizării prinderii în bacuri, figura 2. Softul mașinii de încercat va furniza un fișier de date ce va cuprinde variația forței și/sau a tensiunii în timp. Utilizând achiziția automată a datelor pentru puntea tensometrică Vishay P3, pe cardul de memorie a acestuia se va înregistra fișierul de date ce conține variația în timp a deformației specifice longitudinale și transversale, atunci când solicitarea probei are loc după o anumită direcție. Având în vedere că rata minimă de eșantionare a achiziției de date pentru puntea Vishay este de 1 secundă, s-a impus ca și rata de achiziție a datelor de la mașina de încercat Instron să fie tot de o secundă.

Eliminând timpul din cele două fișiere de date se va obține un singur fișier ce va conține variația forței (tensiunii) de solicitare în raport cu deformațiile specifice, longitudinală și transversală. Numărul de puncte înregistrate este relativ mare ca urmare a setărilor făcute pentru viteza de încercare a mașinii și forța maximă din domeniul elastic la care este solicitată proba. Pentru primele două probe, ce prezintă un singur strat de armătură din fibră de sticlă, direcția 1 corespunde cu direcția urzelii, direcția 3 corespunde cu cea a bătăturii iar direcția 2 se poziționează la  $45^{\circ}$  în raport cu oricare din cele două direcții descrise mai sus. A treia probă este un compozit multistrat, cu direcțiile urzelii reciproc perpendiculare pentru două straturi succesive.

Modul de efectuare a încercărilor se prezintă în cele ce urmează.

Se supune placa din material compozit la solicitarea de tracțiune pe direcțiile  $j$ : 1, 2, și 3. Placa se va încălca static, cu viteză mică de încălcare și control pentru forță a mașinii de încercat. Pentru solicitarea pe fiecare direcție se vor înregistra pe puntea tensometrică Vishay semnalele date de mărcile tensometrice  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  și  $m_4$ . Astfel, la solicitarea



pe direcția 1, cu forțele  $F_{1i}$ , de la mărcile  $m_1$  și  $m_3$  se vor culege semnalele  $m_{1L}$ , ce reprezintă alungirea specifică  $\epsilon_{1L}$ , și  $m_{3T}$  ce reprezintă deformația specifică transversală  $\epsilon_{3T}$ , cu ajutorul cărora se vor putea determina modulul de elasticitate longitudinală  $E_{11}$  și coeficientul lui Poisson  $\nu_{13}$ . La solicitarea pe direcția 2, cu forțele  $F_{2i}$ , de la mărcile  $m_2$  și  $m_4$  se vor culege semnalele  $m_{2L}$  ce reprezintă alungirea specifică  $\epsilon_{2L}$ , și  $m_{4T}$  ce reprezintă deformația specifică transversală  $\epsilon_{4T}$ , cu ajutorul cărora se vor putea determina modulul de elasticitate longitudinală  $E_{22}$  și coeficientul lui Poisson  $\nu_{24}$ . În cazul solicitării pe direcția 3, cu forțele  $F_{3i}$ , de la mărcile  $m_3$  și  $m_1$  se vor culege semnalele  $m_{3L}$  ce reprezintă alungirea specifică  $\epsilon_{3L}$  și  $m_{1T}$  deformația specifică transversală  $\epsilon_{1T}$  cu ajutorul cărora se vor putea determina modulul de elasticitate longitudinală  $E_{33}$  și coeficientul lui Poisson  $\nu_{31}$ . Prelucrarea datelor se efectuează pentru obținerea valorilor constantelor elastice ale materialelor compozite pe direcțiile 1, 2 și 3, arătate în figura 1:

- modulul de elasticitate longitudinală,  $E$ , (*modulul lui Young*) este determinat ca panta drepte de aproximare a graficului reprezentat în coordonatele tensiune normală ( $\sigma$ )/deformație specifică longitudinală ( $\epsilon$ ), prin punctele determinate din semnalele rezultate de la traductoarele longitudinale;
- coeficientul contracției transversale,  $\nu$ , (*coeficientul lui Poisson*) este determinat din curba trasată în coordonatele deformație specifică transversală ( $\epsilon_{tr.}$ )/deformație specifică longitudinală ( $\epsilon_{long.}$ ), folosind semnalele obținute atât de la traductoarele longitudinale, cât și de la cele transversale;
- modulul de elasticitate transversală,  $G$ , (*Coulomb*) se calculează cu ajutorul constantelor  $E$  și  $\nu$ , pe baza relației:

$$G_{jj} = \frac{E_{jj}}{2(1 + \nu_{jk})}. \quad (1)$$

Secțiunea transversală a epruvetei este dată de relația  $S_0 = a \cdot b$  [ $\text{mm}^2$ ], cu dimensiunile  $a$  și  $b$  măsurate ca în figura 1. Dacă se au în vedere valorile forței achiziționate pe parcursul încercărilor, tensiunea se calculează din fișierul de date pe baza relației:  $\sigma_i = F_i / S_0$  [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]. Pentru încărcarea pe fiecare direcție  $j$  de solicitare se trasează dreptele de variație a tensiunii în raport cu alungirea specifică  $\epsilon_L$ , așa cum s-a arătat anterior, figura 4. Pentru aceste curbe se trasează o dreaptă de aproximare care este tangentă cu ultima porțiune a respectivelor curbe. În aceste condiții, pantele dreptelor din figura 4 vor reprezenta modulele de elasticitate  $E_{jj}$  ale materialului compozit pe cele trei direcții de solicitare. Valoarea pentru  $E_{jj}$  pentru o anumită direcție va rezulta în mod automat ca fiind coeficientul termenului  $\epsilon_{jj}$  din relațiile prezentată în graficele din figura 4. Pentru obținerea modulului de elasticitate longitudinală în  $\text{N}/\text{mm}^2$  valoarea respectivă trebuie înmulțită cu  $10^6$ .

Coeficientul contracției transversale (Poisson) este factorul de proporționalitate dintre deformația pe direcție transversală  $\varepsilon_T$  și deformația pe direcție longitudinală  $\varepsilon_L$ , fiind, de asemenea, panta dreptei trasată în coordonatele  $(\varepsilon_T, \varepsilon_L)$ :

$$\varepsilon_T = -\nu \cdot \varepsilon_L \quad (2)$$

Deformația specifică transversală,  $\varepsilon_T$ , se măsoară cu ajutorul mărcilor tensometrice notate  $m_3$ ,  $m_4$  și  $m_1$  (fig. 1), atunci când solicitarea are loc pe direcțiile 1, 2 și 3. De la aceste mărci se vor prelua semnalele deformațiilor specifice transversale  $\varepsilon_{3T}$ ,  $\varepsilon_{4T}$  și  $\varepsilon_{1T}$ . Acestea, împreună cu alungirile specifice  $\varepsilon_{1L}$ ,  $\varepsilon_{2L}$  și  $\varepsilon_{4L}$  vor forma graficele din figura 5. Pentru aceste curbe se trasează o dreaptă de aproximare care să fie tangentă la ultima porțiune a curbelor. În aceste condiții, pantele dreptelor astfel trasate vor reprezenta coeficienții contracției transversale (Poisson) ai materialului compozit,  $\nu_{jk}$ , pe cele trei direcții de solicitare. Cu  $E_{jj}$  și  $\nu_{jk}$  astfel determinate este posibil calculul modulului de elasticitate transversală,  $G_{jj}$ , pentru cele trei direcții de solicitare, cu ajutorul relației (1).

Pentru a vedea influența prinderii probelor în dispozitivul de încercare s-a realizat o analiză cu elemente finite, figura 6. Se menționează faptul că analiza cu elemente finite a fost realizată pentru proba cu elementele prevăzute pentru prindere și care se pot vedea în figura 6. Analiza s-a realizat pe un model ce reprezintă un sfert din proba reală cu respectarea condițiilor la limită impuse de simetrie:

- elementelor de pe axa Y li s-a împiedicat translația după axa Z și rotațiile după axele X și Y;
- elementelor de pe axa Z li s-a împiedicat translația după axa Y și rotațiile după axele X și Z.

În figura 6 se prezintă tensiunile pentru placa centrală supusă solicitării de tracțiune mono-axială ca în figura 1. În figura 6a se prezintă harta tensiunilor pe direcția solicitării, z-z, iar în figura 6b se prezintă harta tensiunilor pe direcția y-y, perpendiculară pe direcția solicitării. Din cele două figuri se constată faptul tensiunile din partea centrală a epruvetei, acolo unde sunt plasați traductorii electrotensometrici, nu sunt afectate de concentratorii de tensiune. În consecință, având în vedere atât configurația probei cât și elementele de prindere montate pe aceasta, măsurătorile efectuate de către mărcile tensometrice montate în partea centrală a probei, nu sunt afectate.



## REVEDICĂRI

1. Procedeu experimental pentru determinarea modului de elasticitate longitudinală și a coeficientului lui Poisson caracterizat prin aceea că, în scopul determinării experimentale a caracteristicilor elastice în același punct dar pe trei direcții diferite, constă din încercarea la tracțiune a aceleași probe de construcție specială de formă octogonală pe rând pe fiecare din cele trei direcții, preluarea semnalelor tensiune-timp de la mașina de încercat și semnalele în raport cu timpul privind deformația longitudinală și cea transversală de la puntea tensometrică, eliminarea timpului din fișierele achiziționate, punerea în corespondență a variației tensiunii în raport cu deformația longitudinală, punerea în corespondență a variației deformației longitudinale în raport cu deformația transversală, trasarea variației tensiune-deformație longitudinală și a dreptelor de aproximare pentru toate cele trei direcții, identificarea coeficienților termenilor  $\epsilon_{ij}$  care înmulțiți cu  $10^6$  reprezintă modulul de elasticitate longitudinală, trasarea variației deformației longitudinale în raport cu cea transversală și a dreptelor de aproximare pentru toate cele trei direcții, identificarea coeficienților termenilor  $\epsilon_{ij}$  din partea stângă a relațiilor ce apar în grafice care vor reprezenta valorile pentru coeficientul lui Poisson, determinarea modului de elasticitate transversal pe baza relației (1).



FIGURI

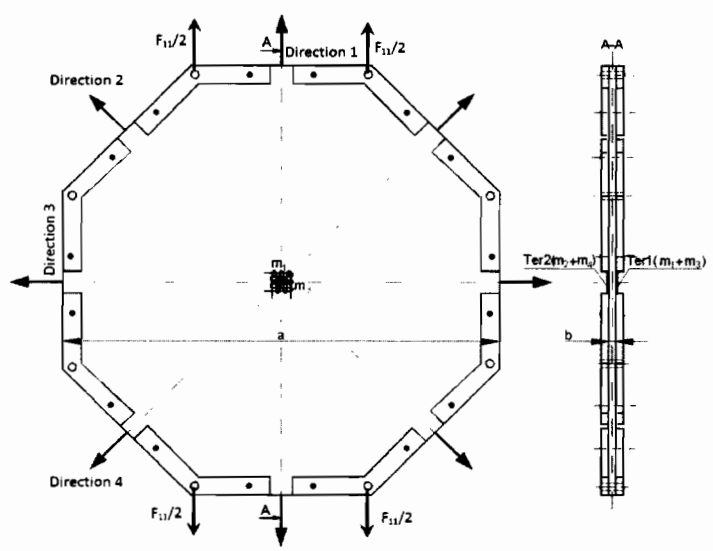


Figura 1



Figura 2

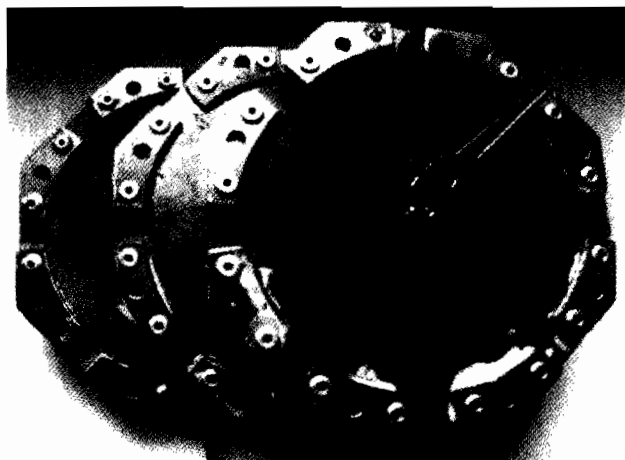


Figura 3

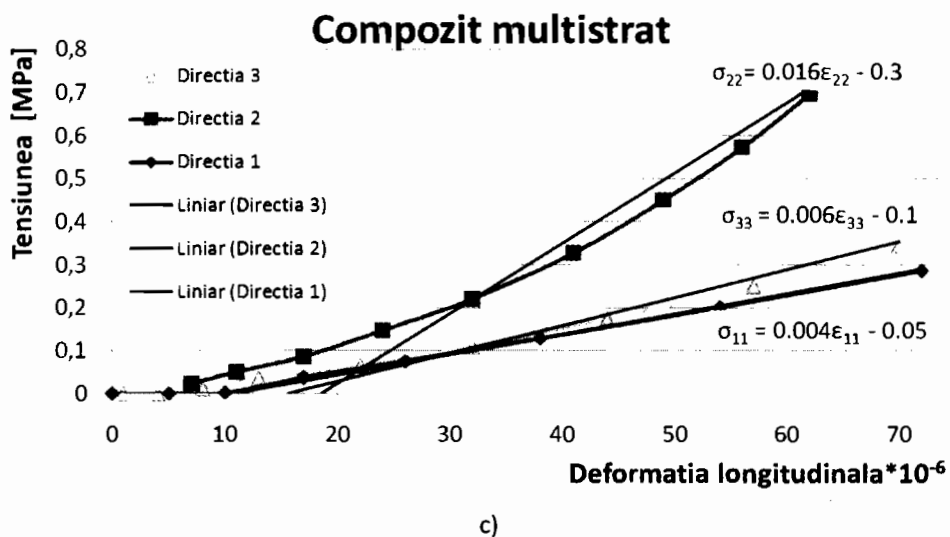
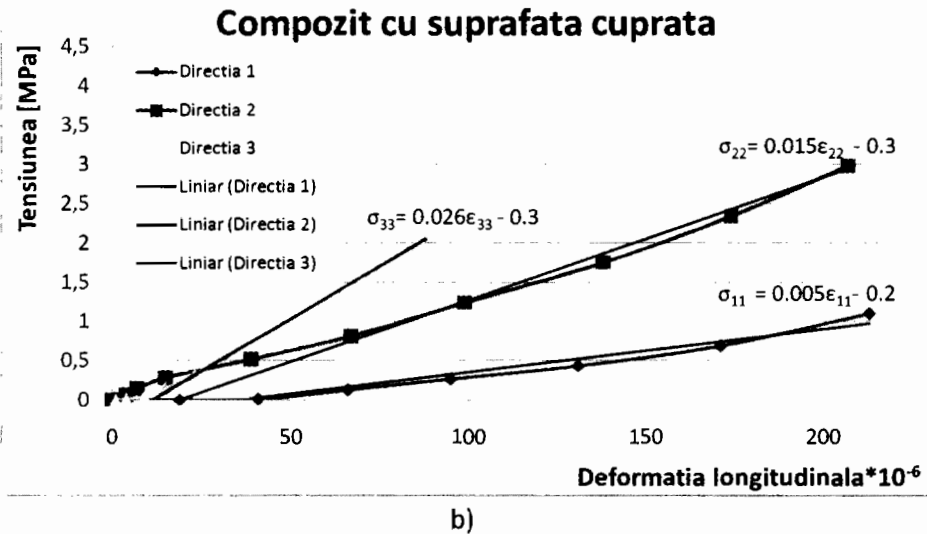
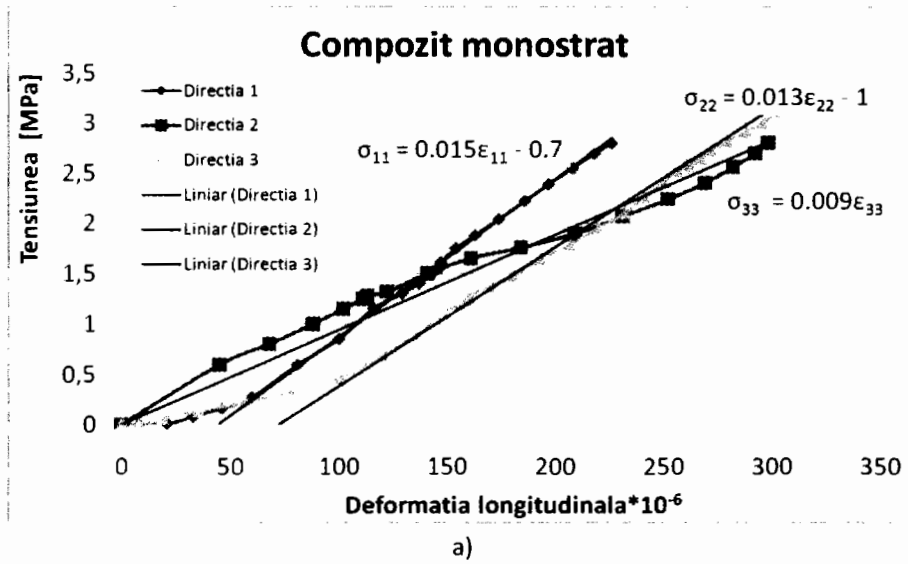
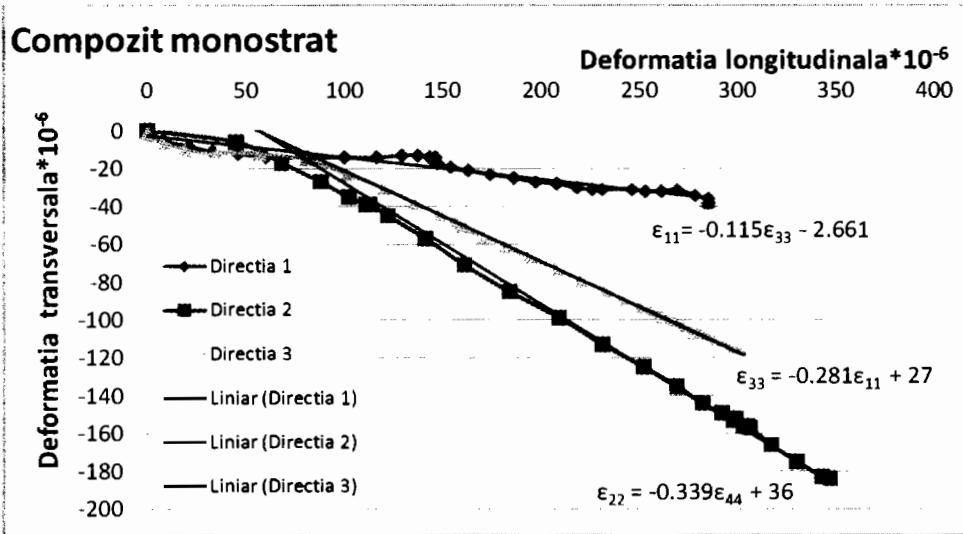
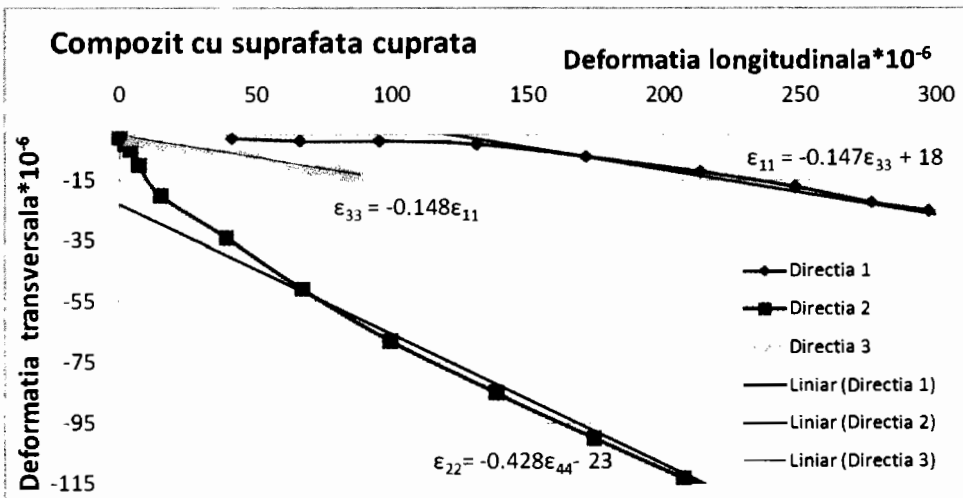


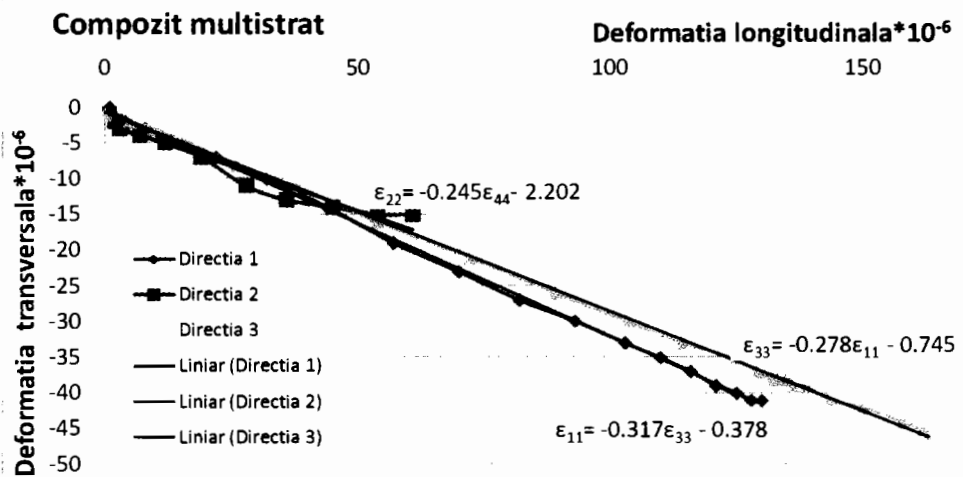
Figura 4



a)



b)



c)

Figura 5

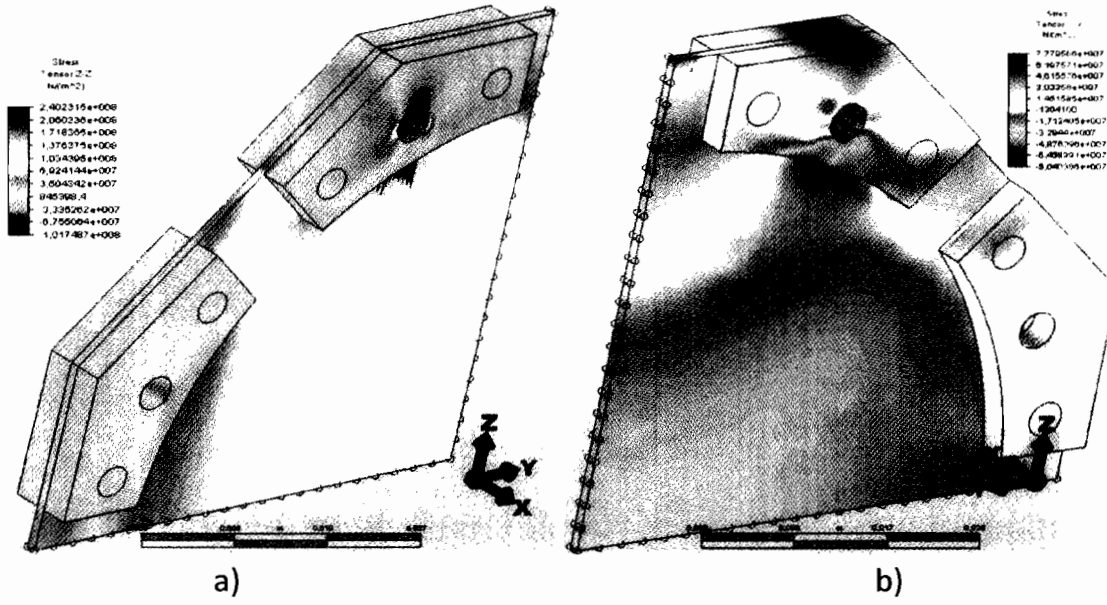


Figura 6.