

# Influența proprietăților componentelor asupra modulelor de elasticitate ale compozitelor polimerice armate cu țesături

LILIANA BEJAN<sup>1\*</sup>, ADRIANA SÎRBU<sup>2</sup>, NICOLAE ȚĂRANU<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universitatea Tehnică Gh. Asachi Iași, Facultatea Construcții de Mașini, Departamentul de Mecanică Teoretică, Bdul. Prof.dr. Dimitrie Mangeron, Nr. 67, 700050, Iași, România

<sup>2</sup> Universitatea Tehnică Gh. Asachi Iași, Facultatea de Electronică și Telecomunicații, Departamentul Telecomunicații, Bdul. Prof.dr. Dimitrie Mangeron, Nr. 67, 700050, Iași, România

<sup>3</sup> Universitatea Tehnică Gh. Asachi Iași, Departamentul de Construcții Civile și Industriale, Facultatea de Construcții și Instalații, Bdul. Prof.dr. Dimitrie Mangeron, Nr. 67, 700050, Iași, România

*The paper presents the optimisation using genetic algorithms of some characteristics of the composite reinforced with plain weave fabric regarding the type of the polymers used as matrix and the type of the fibres, approaching a new geometric model of the woven structure which takes in consideration the fabric counts, different crimps in the warp and fill directions, the size of the gap between yarns of the two systems, the compactness of the yarns in the chosen structure.*

*Keywords: composites, genetic algorithms, woven composites*

Dezvoltarea modelelor constitutive ale mediului caracterizat printr-o ridicată anizotropie este un subiect de actualitate. Un exemplu tipic îl reprezintă compozitele armate cu țesături (în mod special materialele plastice armate cu țesături).

Compozitul armat cu țesătură este alcătuit dintr-o fază continuă (matricea) care protejează faza discontinuă (țesătura) atât în timpul fabricării produsului, cât și în exploatare, asigură forma și dimensiunile finale ale elementului compozit, precum și transferul tensiunilor între componentele sistemului, influențează o serie de proprietăți ale compozitului, cum ar fi: rezistența la forfecare, la compresiune și încovoiere, modulul de elasticitate transversal, rezistența la factorii de mediu etc. Polimerii reprezintă o clasă importantă de materiale care sunt utilizate ca matrici pentru compozitele armate cu fibre. În cazul matricelor plastice, polimerul are denumirea de rășină în timpul procesării materialului compozit și de matrice după întărire în cadrul ansamblului compozit. Polimerii conferă corpurilor solide o serie de proprietăți, cum ar fi: neomogenitate microscopică, neliniaritatea și puternica dependență de timp a răspunsului lor la solicitările mecanice, [1, 10].

Faza discontinuă reprezentată în acest caz de țesătură este un produs textil, realizat prin îmbinarea în unghi drept a cel puțin două sisteme de fire: un sistem dispus longitudinal denumit *urzeală* și un sistem dispus transversal denumit *bătătură*. Porțiunea de legătură cu un număr minim de fire, după care ordinea legării se repetă atât în direcția urzelii, cât și în direcția bătăturii, se numește celula unitate sau raport (R), [1, 3].

Complexitatea materialelor plastice armate cu țesături se poate ușor observa din faptul că există foarte mulți factori care sunt implicați în determinarea caracteristicilor compozitului, cum ar fi: natura matricei și însușirile fibrelor, firelor și țesăturilor. Astfel, proprietățile țesăturilor se determină prin tipul materialului fibrelor utilizate și o serie de factori geometrici, cum ar fi: modelul geometric al structurii, gradul de acoperire al acesteia, gradul de compactitate, gradul și frecvența de undulare, desimea

firelor, finețea sistemelor de fire, fazele de structură etc [1, 2, 7].

Datorită complexității structurii acestui tip de compozit și multitudinii de factori care influențează comportarea mecanică și caracteristicile elastice ale acesteia, se caută noi modele care să se apropie cât mai mult de structura, configurația și comportarea reală. De asemenea, se caută și algoritmi potriviți pentru optimizarea acestor tipuri de materiale complexe.

## *Optimizarea folosind algoritmi genetici (AG)*

În urma studiului documentar s-a constatat că o direcție de cercetare nouă și de mare importanță o reprezintă *calculul evolutiv CE*. Putem considera acest *CE* ca fiind un domeniu de sine stătător al Inteligenței Artificiale, dar și o tehnică pentru rezolvarea unor probleme de tehnică. Acest calcul evolutiv abordează sub o formă nouă probleme de optimizare, control și căutare.

Algoritmii genetici reprezintă o familie de modele computaționale globale, adaptive și stochastice inspirate de principiile biologice ale evoluției speciilor, [6, 11]. Specific pentru acest tip de algoritmi este faptul că, în procesul de explorare a spațiului de căutare a optimului, se manipulează nu doar o soluție potențială a problemei (numită cromozom sau individ), ci o colecție de astfel de soluții potențiale, care formează o așa-numită populație. Fiecare individ este o reprezentare codificată a tuturor parametrilor ce caracterizează soluția, având asociată o valoare, numită fitness care este o "măsură" a performanțelor sale, definite în contextul problemei de soluționat.

Pentru a permite evoluția indivizilor cu performanțe superioare, algoritmi genetici folosesc mecanisme speciale de selecție care să asigure faptul că soluțiile potențiale mai bune au șanse mai mari de a produce urmași într-o generație următoare, urmași care să moștenească caracteristicile benefice ale părinților. În formarea fiecărei generații de indivizi, se pleacă de la populația precedentă (prima generație se obține prin generarea unei distribuții aleatoare de indivizi) selectând cei mai adecvați *părinți* pentru *reproducere* și aplicând apoi așa numiții *operatori*

\* email: lilbejan@yahoo.com

genetici (încrucișare, mutație și elitism). Se pot formula diverse criterii de convergență a algoritmului, ca de exemplu: în termenii numărului de generații pe care s-a produs evoluția populației, în termenii raportului dintre minimul și maximum funcției *fitness* a indivizilor populației, comparat cu un prag dat. Structura de bază a unui algoritm genetic este prezentată în figura 1.

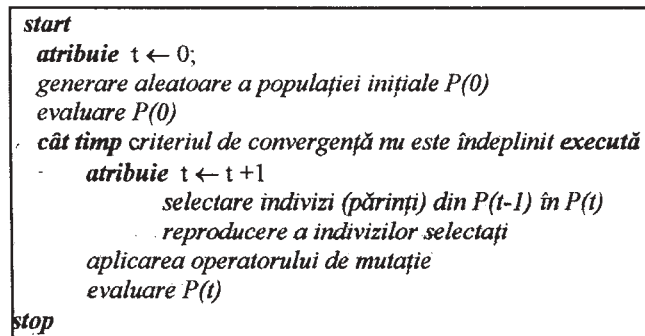


Fig. 1. Reprezentarea schematică a algoritmului genetic

Pentru implementarea algoritmului genetic s-a adoptat o filozofie inspirată de GALib, o bibliotecă de clase scrisă în limbajul C++ în acest scop, [12]. Codul a fost dezvoltat folosind mediul Microsoft Visual Studio 6.0. Utilizatorul poate alege în mod adecvat clasa care definește reprezentarea cromozomială (șir de biți, zecimal codificat binar etc.), clasa care particularizează tipul de algoritm genetic folosit și își poate defini funcția de calcul al *fitness*-ului. Populația este implementată ca un container de cromozomi având definiți operatori de mutație, încrucișare (crossover) și elitism. Selecția indivizilor pentru împerechere se realizează în conformitate cu diverse scheme definite în literatură, [6,11]. Astfel, s-au implementat următoarele tipuri de selecție: *Rank Selection*, *Roulette Wheel Selection*, *Tournament Selection*, *Stochastic Uniform Sampling Selection* and *Stochastic Remainder Sampling Selection*. Se pot selecta de asemenea diverși operatori de încrucișare: într-un singur punct, în două și respectiv în trei puncte. Pentru implementarea generatorului de numere pseudo-aleatoare și a generatorului pseudo-aleator de biți s-au folosit rutinele descrise în [8].

Pentru aplicația curentă s-a adoptat o reprezentare zecimală codificată binar a cromozomilor, în concordanță cu specificațiile din [11] și s-a utilizat pentru început algoritmul genetic standard simplu, descris de Goldberg, [6]. Metoda de selecție aleasă a fost *Stochastic Remainder Sampling Selection*, s-a utilizat încrucișare în două puncte și elitismul. Parametrii folosiți au fost: dimensiunea populației 15, numărul de generații 20, probabilitatea asociată operatorului de mutație 0,01, probabilitatea asociată operatorului de crossover 0,6.

### Aplicație

În vederea calculului constantelor elastice s-a folosit un nou model care a înlocuit celula unitate reprezentativă, cu un stratificat alcătuit din două lamele compozite unidirecționale denumite *lamele de substituție* dispuse după două direcții perpendiculare, direcții care coincid cu direcțiile firelor din țesătură, respectiv a firului de bătătură și a firului de urzeală, figura 2, realizându-se astfel o *stratificare comutativă*. Calculul propriu-zis s-a realizat folosind metoda medierii, [1, 2, 10] metodă care a permis studiul efectelor geometriei lamelei sau a țesăturii, efectele tipului de matrice asupra constantelor elastice. S-a ținut cont în calcul de existența și influența undulației firelor din ambele sisteme (bătătură și urzeală).

Studiul micromecanic al lamelei compozite s-a realizat pentru o matrice epoxidică armată cu țesătură neechilibrată tip pânză din fire de sticlă, cu grosimea lamelei egală cu grosimea țesăturii 0,50 mm și cu o fracțiune volumetrică de fibre de 0,39. Geometria țesăturii și a lamelei compozite, pentru cazul studiat, este dată de desimea pe ambele direcții:  $[n_u = 6,40/n_b = 5,80]$ , mărimea golului:  $[g_u = 0,12/g_b = 0,60]$  și lățimea:  $[a_u = 1,44/a_r = 1,12]$ , [1, 2, 7].

Cu ajutorul algoritmilor genetici, s-au optimizat câte doi parametri geometrici ( $u_w, g_w/n_1, h_w$ ) ai țesăturii în ideea maximizării modului de elasticitate pe direcția urzelii,  $E_y$ , pentru diverse valori ale modului de elasticitate al matricei. De asemenea, s-a urmărit în acest studiu și observarea influenței naturii fibrelor și a matricei asupra valorilor optime ale acestor parametri geometrici și asupra valorilor maxime ale modurilor de elasticitate  $E_y$ . Figura 3 prezintă tabloul valorilor optimizate ale cuplului ( $u_w, g_w$ ),

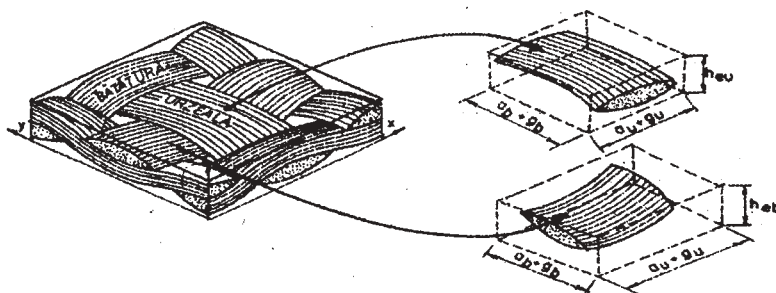


Fig. 2. Trecerea de la celula unitate a lamelei compozite la stratificatul de calcul propus [2]

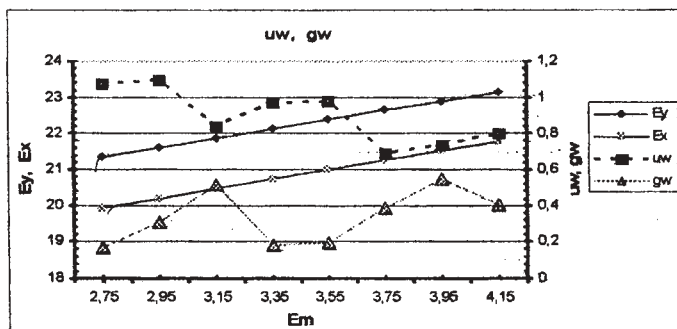


Fig. 3. Valorile optimizate ale perechii ( $u_w, g_w$ ) pentru fire din sticlă-S

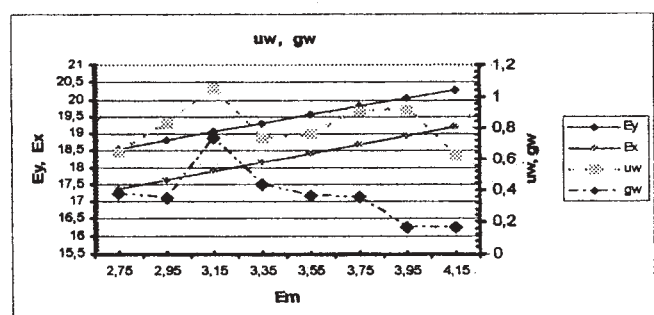


Fig. 4. Valorile optimizate ale perechii ( $u_w, g_w$ ) pentru fire din sticlă-E

unde  $u_w$  reprezintă ondulația pe direcția urzelii și  $g_w$  reprezintă mărimea golului pe direcția urzelii, considerând că țesătura este realizată din sticlă-S ( $E_f=85,5\text{GPa}$ ), iar figura 4 prezintă cazul țesăturii realizate din fibre de sticlă-E ( $E_f=72\text{GPa}$ )

Pentru valorile optimizate s-a obținut o foarte bună compactare a fibrelor în fir, gradul de compactare fiind situat între valorile 0,70-0,85. Comparând valorile optimizate ale perechii ( $u_w, g_w$ ) obținute pentru cele două tipuri de țesături, figura 5, se poate observa că acestea sunt influențate atât de natura fibrelor, dar și, a matricelor. Spre exemplu, pentru modulul de elasticitate al matricei  $E_m=2,75/2,95/3,35/3,55\text{ GPa}$ , valorile optimizate sunt mai ridicate la fibrele din sticlă-S în timp ce, pentru valorile  $E_m=3,15/3,75/3,95\text{ GPa}$ , valorile optimizate ale perechii ( $u_w, g_w$ ) sunt mai ridicate la sticla tip E. În figura 6 sunt comparate valorile maxime ale modulelor de elasticitate  $E_y$  corespunzătorilor valorilor optimizate ( $u_w, g_w$ ) în cele două cazuri.

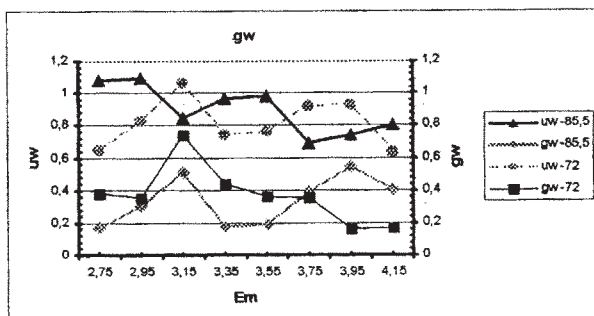


Fig.5. Comparatie între valorile ( $u_w, g_w$ ) obținute pentru cele două tipuri de fibre de sticlă

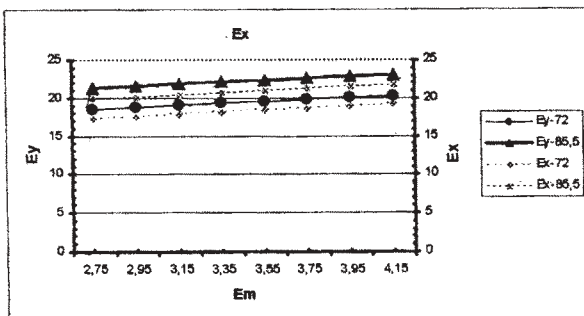


Fig.6. Comparatie între valorile (modulilor de elasticitate) corespunzătorilor valorilor optime ale perechii ( $u_w, g_w$ ) obținute pentru cele două tipuri de fibre de sticlă

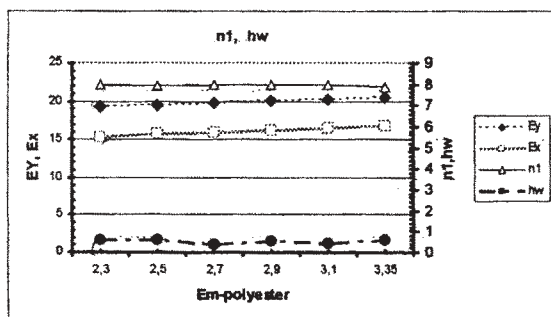


Fig.7. Valorile optimizate ale perechii ( $n_1, h_w$ ) pentru matrice poliesterică

În continuare, s-a studiat influența naturii matricei asupra valorilor optimizate a unei perechi de parametri geometrici ai țesăturii și asupra valorilor modulelor de elasticitate corespunzătorilor. S-au ales ca parametri  $n_1$ , care reprezintă desimea pe direcția urzelii ( $y$ ) și  $h_w$  care

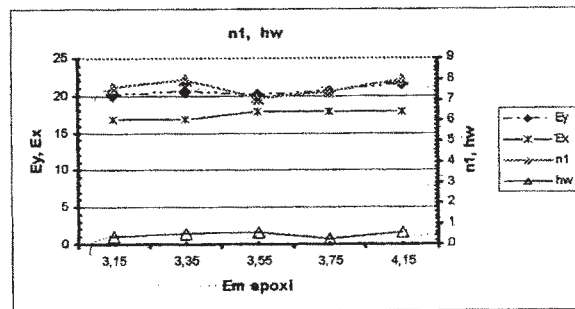


Fig.8. Valorile optimizate ale perechii ( $n_1, h_w$ ) pentru matrice epoxidică

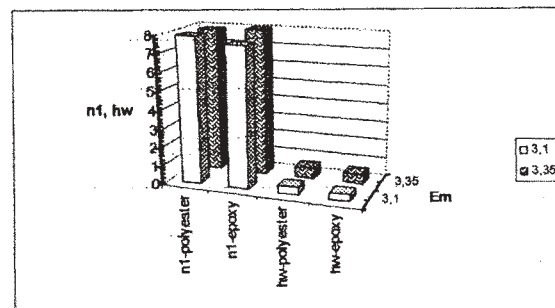


Fig.9. Comparatie între valorile optimizate ale perechii ( $n_1, h_w$ ) obținute pentru matricele epoxidice și poliesterice

reprezintă înălțimea firului de urzeală. Studiul a fost făcut pentru două tipuri de matrice, epoxidică și poliesterică. Astfel, în figura 7 sunt prezentate valorile optimizate și valorile modulelor de elasticitate corespunzătorilor acestora, pentru matrice poliesterică, iar în figura 8 sunt prezentate valorile optimizate și valorile modulelor de elasticitate corespunzătorilor acestora, pentru matrice epoxidică. Comparând valorile optimizate ale perechii ( $n_1, h_w$ ) în cazul celor două matrice (pentru  $E_m=3,1/3,35\text{GPa}$ ) se poate observa că valorile optimizate în cazul matricei poliesterice sunt mai ridicate decât cele în cazul matricei epoxidice (fig. 9).

## Concluzii

Materialele compozite sunt astăzi special create, cu cele mai potrivite alcătuirii micro-macrostructurale, pentru a corespunde unor exigențe deosebite în privința rezistenței mecanice, a rigidității, a greutății specifice, a stabilității termice și chimice, a rezistenței la oboseală, la șoc și la uzură, a esteticii și a imperativelor economice. Proiectarea structurilor compozite presupune analiza simultană a microstructurii, configurației și tehnologiei astfel încât să se realizeze o comportare optimă a produsului. Folosirea optimă este realizabilă dacă se obțin modele de calcul suficient de apropiate de realitate, care să țină seama de cât mai mulți parametri care influențează comportarea, cum ar fi: constantele elastice, geometria straturilor, geometria țesăturii, aderența interfațială și interlaminară, secvențele de dispunere a straturilor, procente volumetrice de fibre, matrice și goli. Optimizarea unor parametrii geometrici sau de material folosind algoritmi genetici în cazul materialelor plastice armate cu țesături permite obținerea unei imagini mai ample despre comportarea și folosirea acestui tip de material. Pentru un tablou complet este necesară lărgirea studiului asupra stratificatului prin extinderea optimizării numărului de strate, grosimea stratelor, orientarea fibrelor la fiecare strat etc.

## Bibliografie

1. BEJAN L., Introducere în micromecanica materialelor compozite armate cu țesături, Ed. Gh.Asachi, Iași, 2000, cap.3, p.43
2. BEJAN L., POTERAȘU V.F., Woven Composite Material Design by Orthotropic Compliance Averaging Method Using MATHEMATICA, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 179, Elsevier Science Publishers North-Holland (ISI), 1999, p.53
3. BLAȘCU V., Fibre textile cu destinații speciale și înalte performanțe, Ed. Tehnopress, Iași, 2000, p.35
4. CHOU T.W., Microstructural Design of Fiber Composites, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1992, p.285
5. CIOARĂ L., Structura țesăturilor, Ed. Performantica, Iași, 2001, p. 20
6. GOLDBERG D., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison Wesley, 1989
7. NAIK, N.K., Woven Fabric Composites, Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster-Basel, 1994, cap.1, cap.2, p.1
8. Press W. H. et al, Numerical Recipes in C++, the Art of Scientific Computing - 2nd edition, Cambridge Univ. Press, 2002
9. TSAI W. & HAHN H.T., Introduction to Composite Materials, Technomic Publishing Co, Lancaster, PA, 1980, cap.9, p.380
10. ȚĂRANU N., BEJAN, L. Mecanica materialelor compozite armate cu fibre, Ed. Cermi, Iași, cap.8, 2005, p.197
11. WHITLEY D., A Genetic Algorithm Tutorial. Statistic and Computing Journal, Chapman & Hall, 1994
12. Wall L M., GALib, MIT, <http://lancet.mit.edu/ga>

---

Intrat în redacție: 13.12.2006