



ANALIZA CU ELEMENTE FINITE A MATERIALELOR COMPOZITE PENTRU CONSTRUCȚIA PALELOR TURBINELOR EOLIENE

BOSTAN Viorel, GUȚU Marin
Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat. *Dat fiind faptul că palele pentru turbine eoliene se construiesc din materiale compozite care sunt anizotrope, este necesară determinarea în prealabil a caracteristicilor mecanice a materialului obținut pentru a putea asigura rezistența cerută. În această lucrare s-a prezentat o analiză cu elemente finite a caracteristicilor mecanice ale materialului compozit (rășină polimerică armată cu fibre de sticlă). În programul de analiză numerică cu elemente finite ANSYS au fost modelate și solicitate la întindere două epruvete din material compozit cu proprietăți diferite conform standard. Rezultatele obținute care descriu starea de tensiune și deformațiile care apar în material au fost comparate.*

Cuvinte cheie: *material compozit, caracteristici mecanice, analiza numerică, element finit.*

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THE COMPOSITE MATERIALS FOR WIND TURBINE BLADES CONSTRUCTION

BOSTAN Viorel, GUȚU Marin
Technical University of Moldova

Abstract. *Given that the blades for wind turbines are built from composite materials that are anisotropic, it is necessary to determine previously the mechanical characteristics of obtained material in order to provide the required strength. This paper presents a finite element analysis of the mechanical characteristics of the composite material (polymer resin reinforced with glass fibers). In ANSYS finite element analysis software were modeled and stretched two composite samples with different properties according to standard. Results which describing the state of stresses and strains that occur in the material were compared.*

Keywords: *composite material, mechanical characteristics, finite element analysis.*

АНАЛИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛОПАСТЕЙ ВЕТРЯНЫХ ТУРБИН

BOSTAN Viorel, GUȚU Marin
Технический Университет Молдовы

Аннотация. *Учитывая, что лопасти для ветряных турбин построены из композитных материалов, которые являются анизотропными, необходимо определить предварительно механические характеристики полученного материала, чтобы обеспечить необходимую прочность. Эта статья представляет анализ методом конечных элементов механических характеристик композитного материала (полимерная смола армированная стекловолокном). В программе для анализа методом конечных элементов ANSYS были смоделированы и испытаны на растяжение два композитных образца с различными свойствами в соответствии со стандартом. Результаты, описывающие состояние напряжения и деформации которые происходят в материале, были сопоставлены.*

Ключевые слова: *композитный материал, механические характеристики, анализ методом конечных элементов.*

1. INTRODUCERE

În condiții normale de funcționare palele turbinelor eoliene cu puterea de peste 100 kW sunt supuse acțiunii forțelor axiale, tangențiale și a unui moment de torsiune aerodinamic (Figura 1). Aceste solicitări provoacă vibrații în pală. Oscilațiile la rândul lor cauzează deformarea geometriei palei și pot duce chiar la distrugerea acesteia. Principalele sarcini ce acționează asupra palelor turbinelor eoliene mici sunt provocate de forțele centrifugale și axiale. Atunci când turbina rulează la turații maxime (150

rot/min) forța centrifugală a palelor va fi de aproximativ 30 de ori mai mare decât greutatea proprie a lor. În cazul în care o pală cântărește 30 kg, apoi forța centrifugă va fi de aproximativ 8800 N la această viteză.

La proiectarea palei trebuie să se asigure o marjă de siguranță pentru a evita accidente și oboseala.

În acest scop se efectuează modelarea și analiza asistată de calculator a rotoarelor turbinelor eoliene. Acest lucru scurtează foarte mult timpul necesar pentru găsirea soluției constructive optime și reduce costurile de implementare în producere.

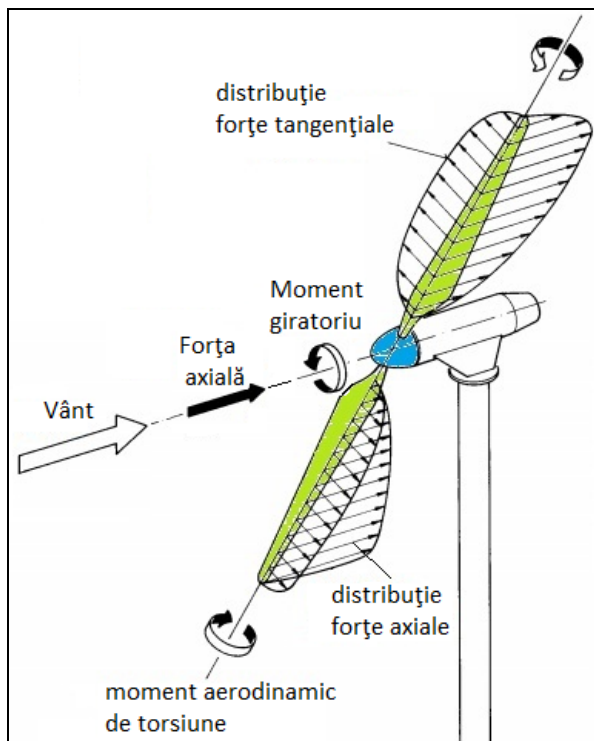


Fig. 1. Forțele care acționează asupra unei turbine eoliene [1]

2. FORMULAREA PROBLEMEI

Construcția palelor profilate aerodinamic cu un randament înalt care să fie rezistente, să aibă deformații în limitele admisibile și o greutate cât mai mică nu este o problemă simplă.

Actualmente utilizarea materialelor compozite la construcția palelor este o soluție perfectă în acest sens. Însă determinarea structurii de rezistență optime necesită găsirea unui compromis dintre costurile materialelor și greutatea lor.

Materialele compozite sunt materiale formate din cel puțin două faze la scară microscopică, cu interfața de separare clară între cele două componente, în scopul obținerii unor performanțe superioare în raport cu cele ale materialelor constituate [2].

Din punct de vedere compozițional, materialul compozit este alcătuit din faze discontinue, înserate într-o fază continuă. Faza continuă se definește ca *matrice* sau masă de bază, iar faza discontinuă se definește ca *armătură*.

Pentru construcția palelor matricea este realizată din polimeri termorigizi (rășini epoxidice sau poliesterice) iar armătura este din fibre de sticlă, carbon și kevlar.

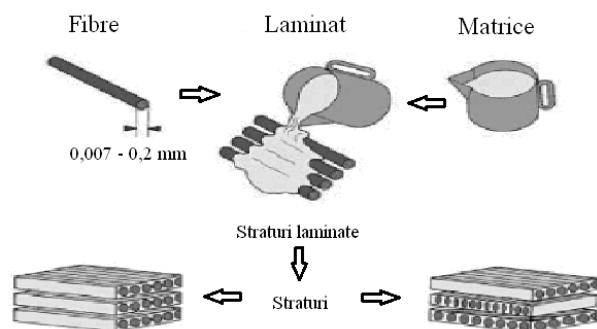


Fig. 2. Elementele componente ale materialelor compozite [3]

Datorită naturii unidimensionale a fibrelor, armătura contribuie la creșterea rigidității și rezistenței compozitului în principal după direcția de armare, deși are influențe și pe alte direcții.

Dat fiind faptul că cerințele de rezistență și rigiditate pentru palele turbinelor eoliene sunt foarte înalte la construcția acestora se folosesc materiale compozite stratificate (laminare) anizotrope sau *ortotrope* (compozite la care proprietățile sunt variabile funcție de direcție).

La un material izotrop, caracteristicile fizice sunt aceleași în orice direcție. Altfel spus, într-un punct există o infinitate de plane de simetrie pentru caracteristicile fizice. Într-un material anizotrop însă, caracteristicile sunt diferite pentru orice direcție și nu există nici un plan de simetrie. Materialele ortotrope admit trei plane de simetrie ortogonale pentru caracteristicile fizice. Intersecția acestor plane reprezintă cele trei direcții principale ale materialului OX_1 , OX_2 și respectiv OX_3 .

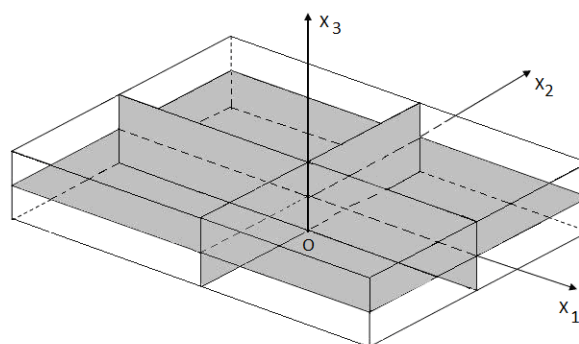


Fig. 3. Material ortotrop: planele de simetrie și direcțiile principale [2].

Deoarece materialele compozite armate unidirectional fac parte din materialele ortotrope care admit trei plane de simetrie ortogonale pentru caracteristicile fizice, studiul unei structuri având o formă oarecare, realizată din materiale compozite stratificate și armate cu fibre continue, necesită următoarele caracteristici elastice ale unei lamine:

E_{11} – modulul de elasticitate longitudinal al laminei pe direcția fibrelor (Young);

E_{12} – modulul de elasticitate transversal;

G_{12} – modulul de elasticitate la forfecare al laminei (Coulomb);

ν_{12} – coeficientul Poisson;

Determinarea caracteristicilor mecanice a materialului obținut din diferite straturi de țesături cu fibre cu orientare bine stabilită se poate face doar prin încercări la mașina de testat. Însă, pentru materialele compozite laminare, armate cu fibre unidirectionale, estimarea aproximativă acestor caracteristici se poate face prin metoda amestecurilor [4].

$$E_{11} = E_f V_f + E_m (1 - V_f), [GPa] \quad (1)$$

$$E_{12} = E_m \left[\frac{1}{(1 - V_f) + \frac{E_m}{E_f}} \right], [GPa] \quad (2)$$

$$G_{12} = G_m \left[\frac{1}{(1-V_f) + \frac{G_m}{G_f} V_f} \right], [GPa] \quad (3)$$

$$\nu_{12} = \nu_f \cdot V_f + \nu_m (1-V_f), \quad (4)$$

unde E_f este modulul de elasticitate al fibrelor (74 GPa pentru E-glass);

E_m - modulul de elasticitate al matricii (aprox. 4 GPa);

G_f - modulul de elasticitate la forfecare al fibrelor (30 GPa pentru E-glass);

G_m - modulul de elasticitate la forfecare al fibrelor (1,4 GPa pentru rășină poliestică);

V_f - volumul fracției de fibre;

ν_f - coeficientul Poisson al fibrelor (0,25 pentru E-glass);

ν_m - coeficientul Poisson al fibrelor (0,4 pentru rășină poliestică) [8].

Aceste caracteristici sunt necesare ca date de intrare pentru analiza numerica cu elemente finite a epruvetelor de material compozit și apoi a palelor turbinelor eoliene.

3. ANALIZA NUMERICĂ A EPRUVETEI DIN MATERIAL COMPOZIT

A fost analizată o epruvetă standard laminată, armată unidirecțional cu două straturi de fibre de sticlă cu grosimea de 1 mm. Această epruvetă face parte dintr-un set de epruvete din material compozit din care se vor fabrica pale pentru turbine eoliene.

Epruvetele au fost fabricate prin metoda de formare prin transfer de rășină sub vid care oferă un procent înalt al volumului de fibre (60% - 70%) în comparație cu formarea manuală (30% - 40%).

Pentru epruveta analizată a fost determinat volumul fracției de fibre cu expresia [4]:

$$V_f = \frac{\frac{m_f}{\rho_f}}{\frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_m}{\rho_m}} \quad (5)$$

unde m_f și m_m reprezintă masa fibrelor și a matricii respectiv;

ρ_f și ρ_m - densitatea fibrelor și a matricii respectiv.

Estimarea constantelor elastice s-a efectuat prin metoda amestecurilor pentru două cazuri (pentru lamina cu volumul fracției de fibre de 50% și, respective 67%).

Rezultatele obținute pentru epruveta analizată sunt afișate în tabelul 1.

Datele experimentale necesare efectuării analizei numerice au fost verificate prin comparație cu datele din [6] și [7].

Tabelul 1. Date de intrare pentru analiza numerică cu elemente finite

Caracteristici	Rășină poliestică armată unidirecțional cu fibre de sticlă	
	50%	67%
Volumul fracției de fibre	50%	67%
Modulul de elasticitate longitudinal - E_{11} , GPa	39	50,23
Modulul de elasticitate transversal - E_{12} , GPa	7,23	9,63
Modulul de elasticitate la forfecare - G_{12} , GPa	2,63	3,87
Coeficientul Poisson - ν_{12}	0,32	0,3

Analiza numerică cu elemente finite a epruvetei a fost efectuată în programul ANSYS APDL. Epruveta a fost discretizată în 250 elemente finite de tipul SHELL99 [5] (fig. 4 și 5).

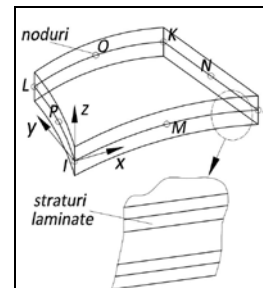


Fig. 4. Geometria elementului finit SHELL99

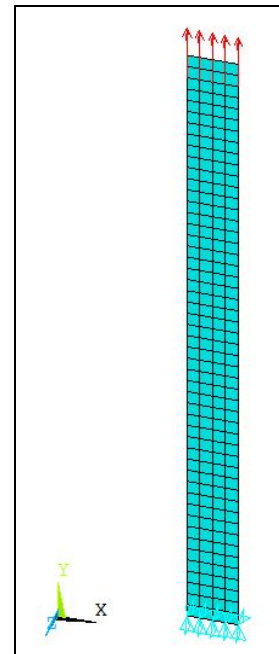


Fig. 5. Modelul discretizat al epruvetei cu sarcina aplicată

Epruveta a fost solicitată la tracțiune cu forțe cuprinse între 2 kN și 10 kN pentru ambele cazuri de armare.

Pentru solicitarea de 10 kN a epruvetei armate cu 67 % fibre este prezentată starea tensiuni și deformații în figurile 6 și 7.

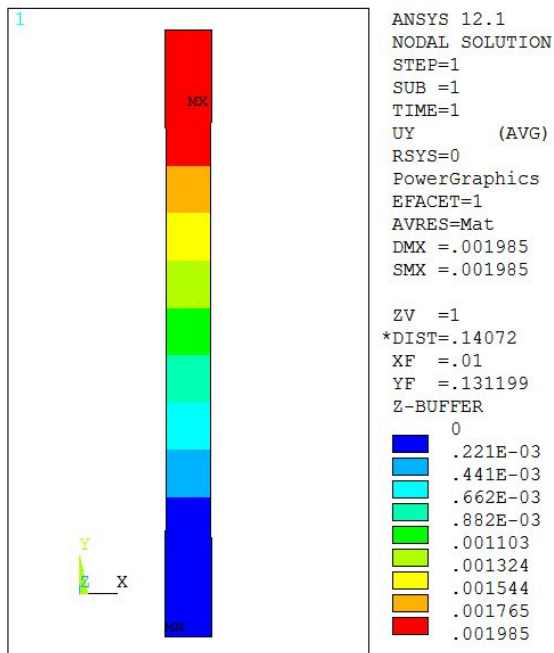


Fig. 6. Deplasările pe axa Y pentru solicitarea de 10 kN (epruveta cu 67% fibre)

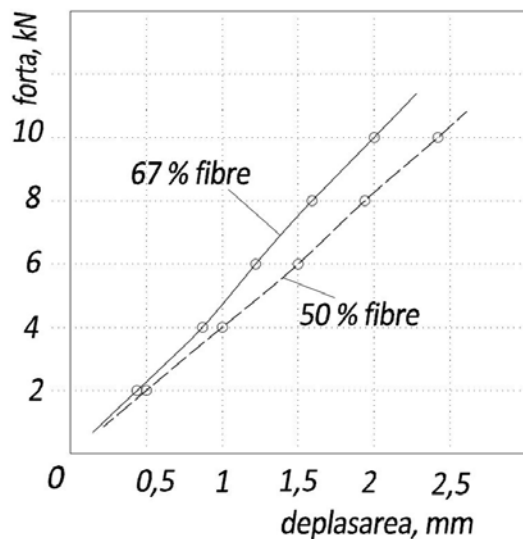


Fig. 6. Compararea deplasărilor pentru epruvetele cu volum diferit al fracției de fibre

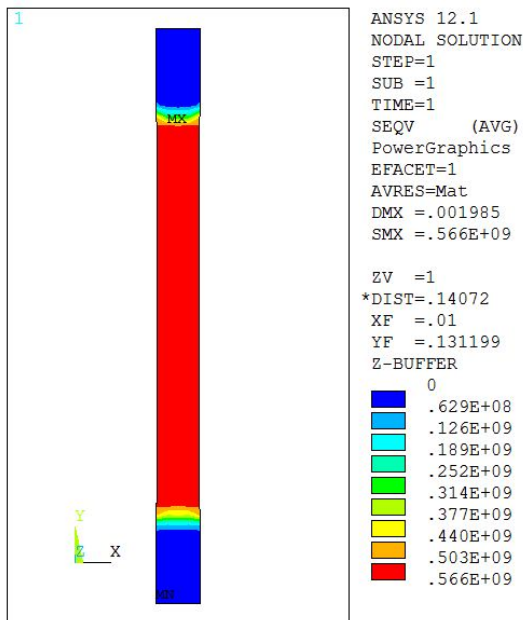


Fig. 6. Tensiunile von Mises pentru solicitarea de 10 kN (epruveta cu 67% fibre)

Conform [8] rezistența de rupere la tracțiune longitudinală pentru o lamină de poliester armat cu fibre de sticlă unidirecționale cu 50% fracție din volum este de 860 – 900 MPa.

În tabelul 2 sunt indicate tensiunile totale (von Mises) care apar într-o epruvetă solicitată cu 10 kN.

Tabelul 2. Tensiunile von Mises pentru solicitarea de 10 kN

Volumul fracției de fibre	50%	67%
Tensiunile von Mises	582 MPa	566 MPa

5. CONCLUZII

Rezultatele analizei numerice cu elemente finite a epruvetei din poliester armat cu fibre de sticlă unidirecționale indică că tensiunile totale au o diferență mică de 3% pentru cazurile de armare și solicitare date. Pentru deplasări diferența este semnificativă – aprox. 17%.

Așadar reieșind din datele obținute, s-ar putea construi pale din material compozit ce conține mai puține fibre de sticlă. Acest lucru ar duce la scăderea greutateii palelor.

Pentru validarea acestor rezultate vor fi efectuate diferite încercări ale epruvetelor la mașina de testat.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **Erich Hau** *Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Applications, Economics*, 2nd edition, ed. Springer, Berlin 2006, 782 pag.
- [2] **Barsanescu Paul-Doru ș. a.** *Tensometrie electrică rezistivă aplicată la materialele compozite*, Editura Tehnopress, Iași 2004.
- [3] **Bere Petru-Paul** *Cercetări teoretice și experimentale privind fabricația și comportarea mecanică a tuburilor din materiale compozite polimerice*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 2009
- [4] **David Richardson** *The Fundamental Principles of Composite Material Stiffness Predictions*, University of the West of England, presentation.
- [5] **Madenci E., Guven I.**, *The Finite Element Method and Applications in Engineering Using Ansys*, Springer 2006, p. 397-403.
- [6] **Filiz ÇIVGIN** *Analysis of composite bars in torsion*, Thesis for the degree of Master of Science, Dokuz Eylul University, IZMIR 2005
- [7] **Rosato Donald V. and Rosato Dominick V.**, *Reinforced Plastics Handbook*, 3rd edition. Elsevier Science 2004, pp 956-996.
- [8] **Gay D., et at.**, *Composite Materials Design and Applications*, CRC Press 2003, p. 40-50.

Informație autori



Marin GUȚU, doctorand la Universitatea Tehnică a Moldovei, catedra Bazele Proiectării Mașinilor, colaborator în cadrul Centrului de Elaborare a Sistemelor de Conversie a Energiilor Regenerabile.

Studii de masterat (2008 – 2009) Universitatea Tehnică a Moldovei, facultatea: Inginerie și Management în Construcția de Mașini specialitatea: Ingineria Sistemelor de Conversie a Energiilor Regenerabile.

Laureat al bursei de excelență a Guvernului pentru doctoranzi (an curent). Laureat al premiului municipiului Chișinău pentru tineri cercetători (2011).

e-mail: gutumarin@ymail.com



Viorel BOSTAN, conf., dr.,

Absolvent al Universității din București (1995), specialitatea “Matematica-Mecanica”. A susținut teza de doctor în matematică aplicată la University of Iowa, SUA 2004. Autor a 30 lucrări științifice, inclusiv 11 invenții. Laureat al Premiului Academiei de Științe a Moldovei pentru rezultate excelente. Deținător a 10 medalii de aur la Expoziții Internaționale de Invenții.

e-mail: viorel_bostan@mail.utm.md