

MODELAREA NUMERICĂ A INTERACȚIUNII DINTRE FLUXUL DE AER ȘI PALA AERODINAMICĂ DIN MATERIALE COMPOZITE

*M. Guțu, doctorand
Universitatea Tehnică a Moldovei*

1. INTRODUCERE

Exploatarea turbinelor eoliene presupune funcționarea acestora în condiții meteorologice extreme cu vânturi puternice și ploi, ceea ce înaintază cerințe speciale către materialele, din care sunt fabricate acestea. Construcția unor pale cu profil 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. Utilizarea materialelor compozite la construcția palelor turbinei este o soluție perfectă în acest sens. Însă determinarea structurii de rezistență optime prin testări la standuri de încercări necesită cheltuieli destul de mari. Utilizarea programelor de calcul cu elemente finite permite analiza numerică a diferitor modele construite din diferite materiale. Acest lucru facilitează găsirea rapidă a soluțiilor optime privind geometria și rezistența unui corp, reieșind din cerințele constructive [1].

2. MODELAREA NUMERICĂ A INTERACȚIUNII DINTRE FLUXUL DE AER ȘI DIFERITE MODELE DE PALE ȘI COMPARAREA REZULTATELOR OBTINUTE

Utilizând programul de calcul cu elemente finite ANSYS 11.0 au fost studiate starea de deformație și de tensiune a palei cu profil aerodinamic FX 72MS 150B cu lungimea 3 m aflată sub acțiunea forțelor aerodinamice [2]. În calcul a fost luată forța portantă maximă (corespunzătoare vitezei vântului $V = 20 \text{ m/s}$). Astfel valoarea maximă a forțelor aerodinamice care acționează asupra palei a fost determinată cu ajutorul programului MathCAD 14 și este de 3 kN conform [3]. O vedere a vectorilor forțelor aerodinamice este prezentată în figura 2.

În continuare considerăm două modele: o pală din rășină armată cu fibre de sticlă și injectată cu poliuretan pe întreaga lungime până la nervura de

rigidizare și o pală injectată integral cu poliuretan. În ambele cazuri, învelișul plăcii din material compozit are grosimea 3 mm.

Calculul constantelor de material a fost efectuat conform recomandărilor firmei producătoare. Pentru calculul modulului lui Young corespunzător unui material compozit se folosește următoarea expresie:

$$E = E_m \cdot V_m + E_f \cdot V_f \quad (1)$$

în care E_m și E_f sunt modulele lui Young pentru matrice și fibra de sticlă, respectiv, iar V_m și V_f sunt cotele volumetrice pentru matrice și fibra. Evident $V_m + V_f = 1$. Coeficientul lui Poisson poate fi calculat cu expresia:

$$\nu_{12} = \nu_m \cdot V_m + \nu_f \cdot V_f \quad (2)$$

unde ν_m și ν_f sunt coeficienții lui Poisson pentru matrice și fibră. Pentru placa laminată considerată, cotele volumetrice respective sunt $V_m = 0,5$ și $V_f = 0,5$. Obținem următoarele valori pentru rășină armată cu fibre de sticlă modulul lui Young $E = 15$ GPa și coeficientul lui Poisson $\nu_{12} = 0,3$ [4].

Materialul expandat este poliuretanul cu densitatea $0,64 \text{ g cm}^3$, modulul lui Young $E = 0,95$ GPa și coeficientul lui Poisson $\nu = 0,24$. Învelișul din material compozit este modelat cu elemente finite de tip placă *Shell 99*, iar interiorul palei cu elementul finit de tip solid *Solid 45*. Discretizarea palei cu 8960 elemente *Shell 99* și 39734 elemente *Solid 45* este prezentată în figura 1.

În urma efectuării analizei numerice a ambelor modele de pale s-au obținut următoarele rezultate: pentru pala injectată cu poliuretan pe întreaga lungime s-a stabilit că deplasarea vârfului palei este de 300 mm (fig. 2), iar pentru pala injectată integral cu poliuretan deplasarea este de 0,009 mm (fig. 3). Tensiunile maxime care apar în pală sunt 143 MPa și 39,6 kPa, respectiv (fig. 4 și fig. 5).

Pentru a rigidiza mai bine pala observăm că este nevoie de mai mult material, însă crește greutatea palei și costul de producție. O soluție bună ar fi rigidizarea palei cu o placă din rășină armată cu

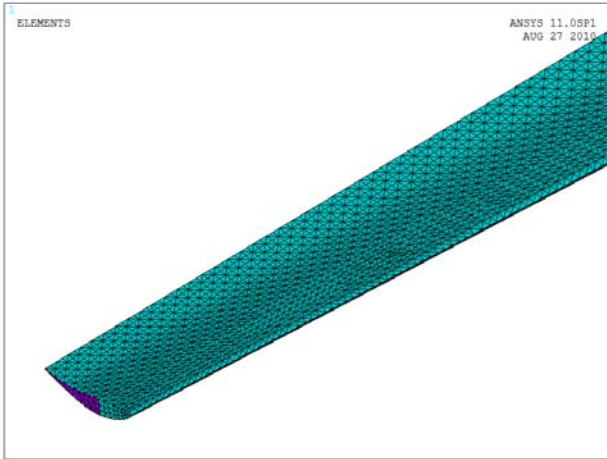


Figura 1. Discretizarea cu elemente finite a palei injectate integral cu poliuretan.

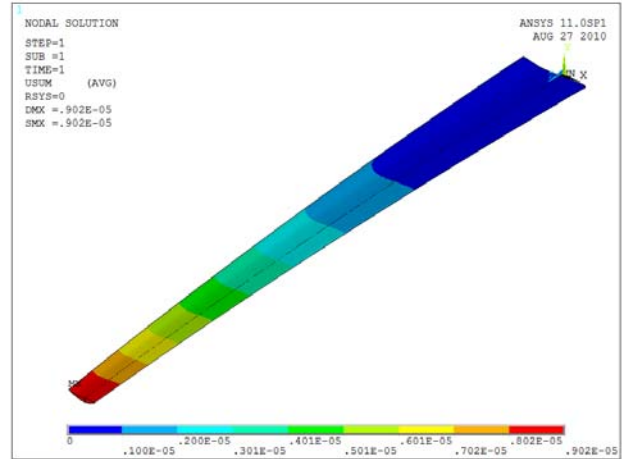


Figura 4. Deplasările palei injectate integral cu poliuretan.

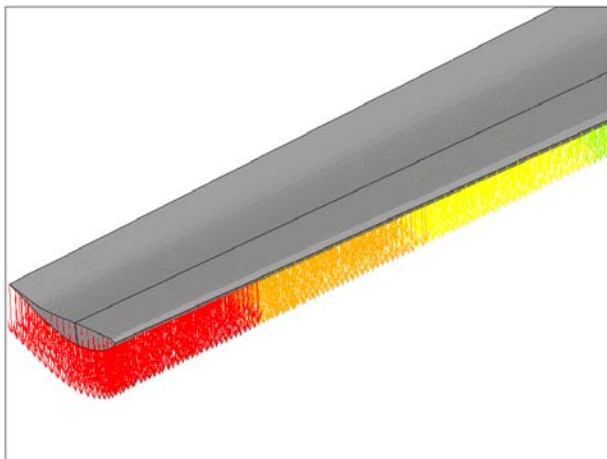


Figura 2. Aplicarea forței aerodinamice pe suprafața superioară a palei.

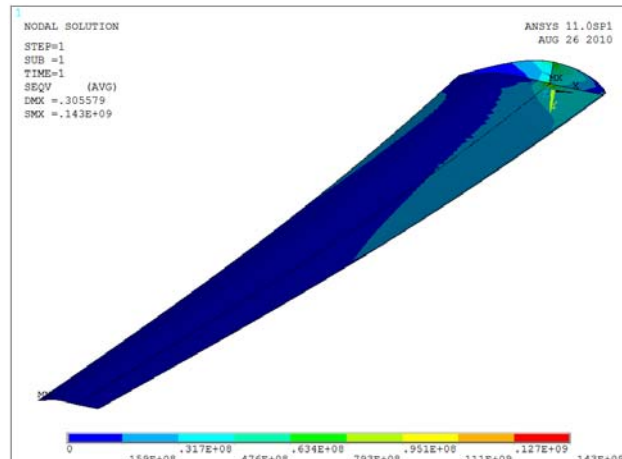


Figura 5. Tensiunile care apar în pala injectată parțial cu poliuretan.

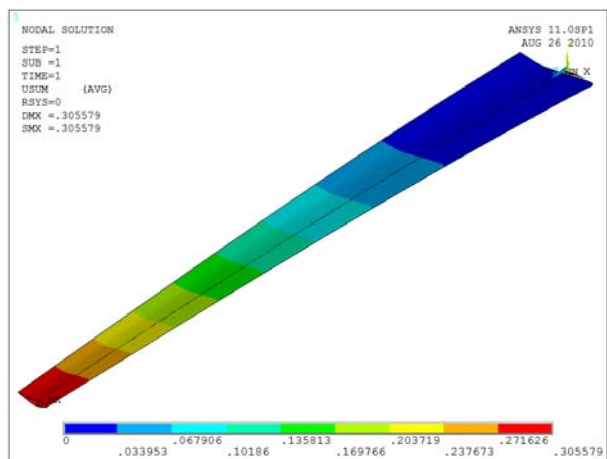


Figura 3. Deplasările palei injectate parțial cu poliuretan.

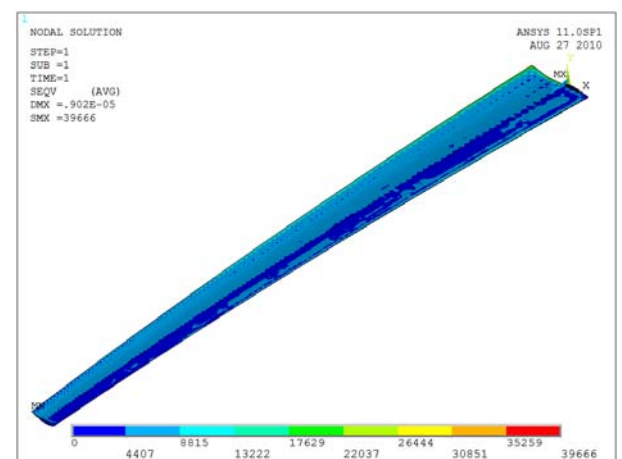


Figura 6. Tensiunile care apar în pala injectată integral cu poliuretan.

fibre de carbon care are modulul lui Young $E = 44$ GPa [4].

Așadar considerăm o pală injectată cu poliuretan pe 2/3 din lungime până la nervura de rigidizare. Învelișul plăcii din material compozit are grosimea 3 mm. Nervura de rigidizare din pală este fabricată din rășină armată cu fibre de carbon cu grosimea de 5 mm. Discretizarea palei cu 8960 elemente *Shell 99* și 39734 elemente *Solid 45* este prezentată în (fig. 6). Rezultatele obținute sunt următoarele : deplasarea vârfului palei este de 220 mm (fig. 7), iar tensiunile maxime care apar în pală sunt de 56 MPa (fig. 4).

Este de remarcat că odată cu reducerea greutății paletelor vor scădea forțele centrifugale și giroscopice care influențează semnificativ funcționarea normală a turbinei eoliene. De asemenea randamentul turbinei va fi mai mare, iar costul energiei electrice produse va fi mai mic.

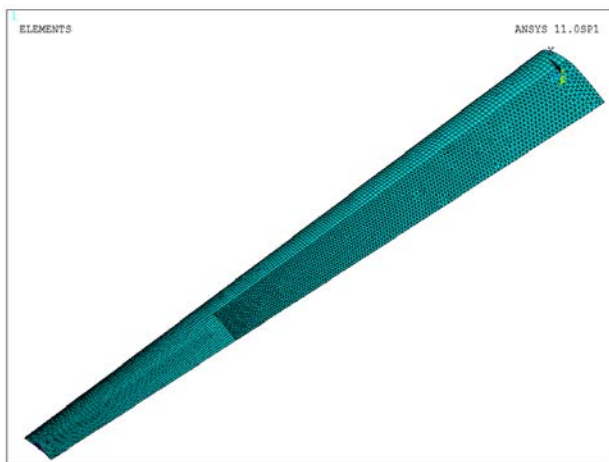


Figura 7. Discretizarea cu elemente finite a palei injectate parțial cu poliuretan.

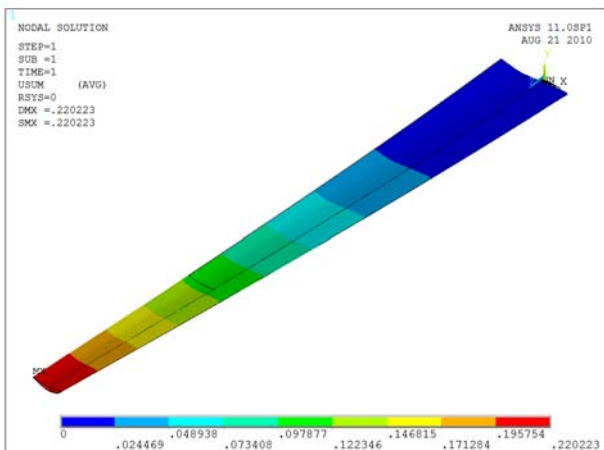


Figura 8. Deplasările palei rigidizate cu fibre de carbon și injectate parțial cu poliuretan.

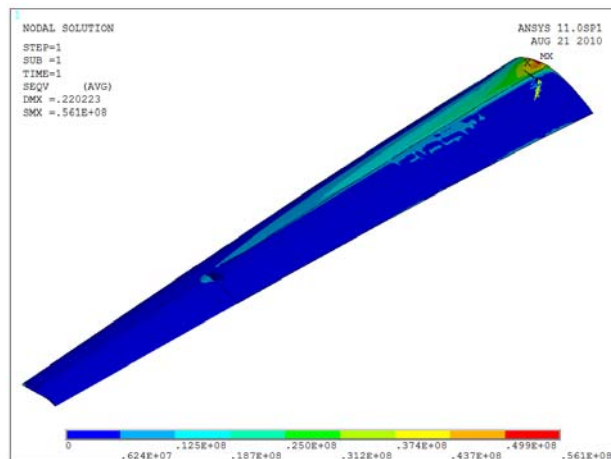


Figura 9. Tensiunile care apar în pala rigidizată cu fibre de carbon și injectată parțial cu poliuretan.

CONCLUZII

Pentru a reduce timpul de calcul și utilizarea resurselor hardware, care sunt limitate, este necesar să se găsească un compromis între un model relativ simplu și ușor de rezolvat și necesitatea de a obține prin analiza numerică a unor rezultate apropiate de cele efectuate în testările reale.

Bibliografie

1. **Bostan I., Dulgheru V., Sobor I., Bostan V., Sochirean A.** *Sisteme de Conversie a Energiilor Regenerabile*, editura „TEHNICA-INFO”, Chișinău 2007, 592 pag.
2. **Martin O., Hansen L.** *Aerodynamics of Wind Turbines*, Second Edition, London 2008, 181 pag.
3. **Fateev E.M.** *Vetrodvigateli i Vetroustanovki*, Moskva, 1948, pag. 261-268.
4. **Hau E.** *Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Applications, Economics*, 2nd edition, ed. Springer, Berlin 2006, 782 pag.

Recomandat spre publicare: 17.06.2010.