

MODELAREA CAD ȘI ANALIZA STRUCTURII PALEI PENTRU TURBINA EOLIANĂ CU PUTEREA DE 10 KW

Autor: drd. Marin GUȚU, drd. Radu CRUDU

Cond. șt.: dr. hab., prof. univ. Valeriu DULGHERU, dr. conf. univ. Viorel BOSTAN

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: În lucrare este prezentată metoda de modelare a palei cu profil aerodinamic. Totodată se prezintă o analiză cu elemente finite a structurii de rezistență pentru un model de pală cu scopul de a verifica rigiditatea lui. În programul de analiză cu elemente finite ANSYS a fost importat modelul palei 3D create în SolidWorks. Pala a fost modelată din material compozit (poliester armat cu fibre de sticlă) și a fost solicitată static la încovoiere și dinamic (analiza modală). Rezultatele obținute descriu starea de tensiuni și deformațiile care apar în pală.

Cuvinte cheie: pala, structură de rezistență, element finit, material compozit, solicitare statică, analiza modală.

1. Introducere

La construirea unui produs sau sistem ingineresc, inginerii și designerii trec printr-un proces sofisticat de modelare, simulare, vizualizare, analiză, proiectare, prototipare, testare, și, în sfârșit, fabricație. Această muncă premergătoare fabricării este necesară pentru a asigura funcționalitatea produsului finit sau a sistemului la costuri reduse Fig. 1 [1].

Metoda elementului finit (FEM) sa dezvoltat într-o tehnologie indispensabilă de modelare și simulare a sistemelor avansate ingineresti în domenii diverse cum ar fi energetica, construcții civile, construcții de mașini, comunicații, etc.

În ultimii 30 de ani există și se dezvoltă un sistem universal de programe de analiză cu elemente finite ANSYS care este destul de popular în rândul profesioniștilor din domeniul ingineriei asistate de calculator (CAE).

ANSYS este un program de analiza cu elemente finite utilizat pe scara largă în industrie și cercetare cu scopul de a simula răspunsul unui sistem fizic solicitat mecanic, termic sau electromagnetic.

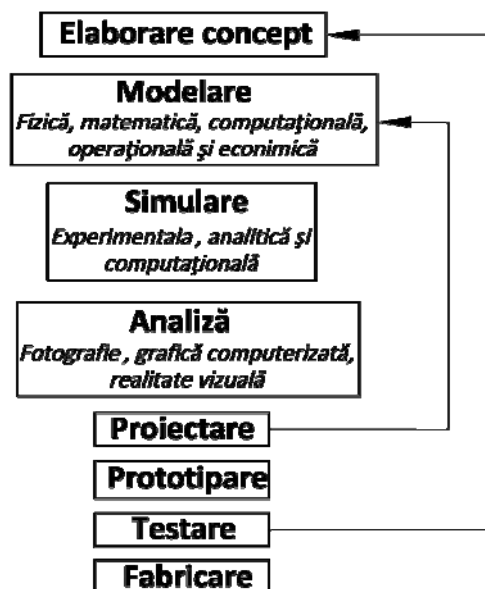


Fig. 1. Procese premergătoare fabricării produselor și sistemelor ingineresti [1]

2. Modelarea numerică a interacțiunii forțelor generate de fluid asupra structurii de rezistență a palei

2.1. Constrângeri impuse la proiectarea și optimizarea palei

În timpul funcționării rotorul turbinei eoliene este solicitat la viteze variabile ale vântului care provoacă forțe centrifugale și forțe de rezistență în pale care duc la încovoierea vârfului palei [2].

Prin urmare, la proiectarea și optimizarea palei cu o anumită geometrie aerodinamică se impun niște constrângeri (figura 2):

- deplasare axială a vârfului maxim 300 mm;
- greutate maximă ≈ 30 kg (forța centrifugală pentru o pală cu masa de 30 kg care se rotește cu ≈ 16 rot/s este de ≈ 950 kg);

- tensiunile de întindere admisibile $\sigma = 400$ MPa.

2.2. Modelarea 3D a palei rotorului eolian

Pentru modelarea tridimensională a palei rotorului eolian, inițial, pentru câteva secțiuni transversale ale palei trebuie să prestabilim ori să determinăm matematic următoarele date:

- raza de rotație (amplasament) a fiecărei secțiuni transversale;
- tipul profilului aerodinamic;
- lungimea corzii profilului aerodinamic și unghiul lui de poziționare față de planul de rotație;
- amplasarea punctului de intersecție al profilului cu axa longitudinală a palei.

În cazul prezentat în lucrare, dispunem de 6 secțiuni transversale, amplasate consecutiv în progresie geometrică, începând cu zona de prindere, conform relației: $b_{r+1} = b_r \cdot q$, unde $b_r = 0.1$, iar $q = 1.585$.

Reieșind din practica mondială cu privire la construcția și exploatarea turbinelor eoliene de putere mică, pentru pala elaborată au fost selectate profilele aerodinamice din familia NACA 44xx, începând cu NACA 4412 – la vârful ei, și terminând cu NACA 4430, pentru zona de prindere. Celelalte date au fost determinate matematic utilizând soft-urile specializate MathCAD și JavaFoil, ultimul distribuit pe gratis pe internet, conform metodologiilor descrise pe larg în literatura de specialitate.

Din nou din aplicația JavaFoil, profilele aerodinamice necesare au fost generate și salvate în format .dxf, urmând dimensionarea și prelucrarea lor corespunzătoare în AutoCAD (Fig. 3 a). Modelarea tridimensională propriuzisă s-a efectuat în soft-ul CAD (Computer-Aided Design) SolidWorks 2010. Profilele secțiunilor transversale au fost importate, amplasate longitudinal și poziționate sub unghiuri corespunzătoare față de planul de rotație funcție de raza lor de rotație, după care, solidul segmentului aerodinamic activ al palei a fost generat printr-o singură operațiune *Lofted Boss/Base* (Fig. 3 b).

Un alt moment cheie în elaborarea palelor eoliene reprezintă proiectarea și modelarea tridimensională a segmentului de prindere. În cazul nostru, ultimul reprezintă un paralelipiped masiv cu șase găuri simetrice pentru buloane. Generarea lui s-a efectuat printr-o operațiune *Extruded Boss/Base*, urmată de mai multe proceduri de racordare, cu operațiunea *Fillet*. Trecerea tangentă de la secțiunea paralelipipedului la secțiunea profilată aerodinamic s-a efectuat prin operațiunea *Lofted Boss/Base* cu opțiunea *Start constraint: Tangency To Face* (Fig. 3 c).

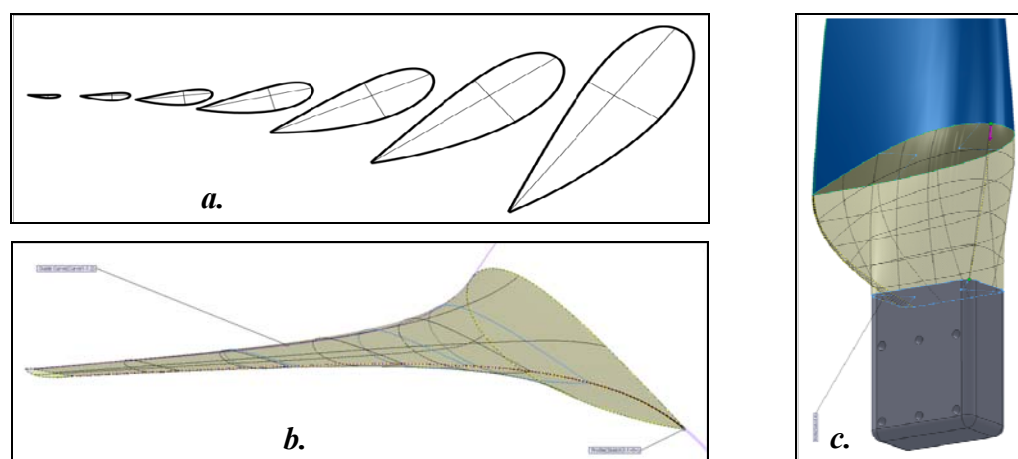


Fig. 3. Modelarea tridimensională a palei pentru turbina eoliană cu puterea de 10 kW

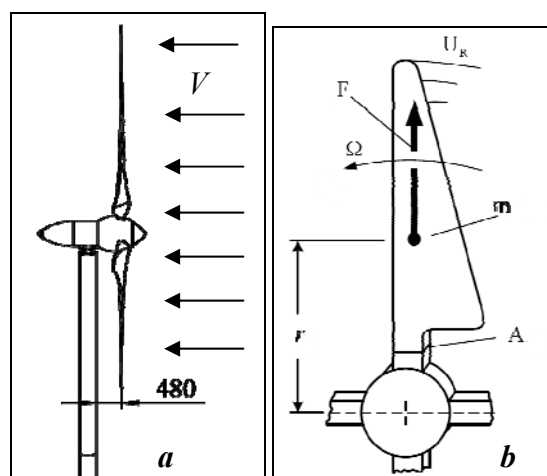


Fig. 2. Constrângeri impuse la proiectarea și optimizarea palei: a. forțe aerodinamice (F_L , F_D); b. forța centrifugală $F = m \cdot r \cdot \Omega^2$ [2].

2.3. Analiza cu elemente finite a palei

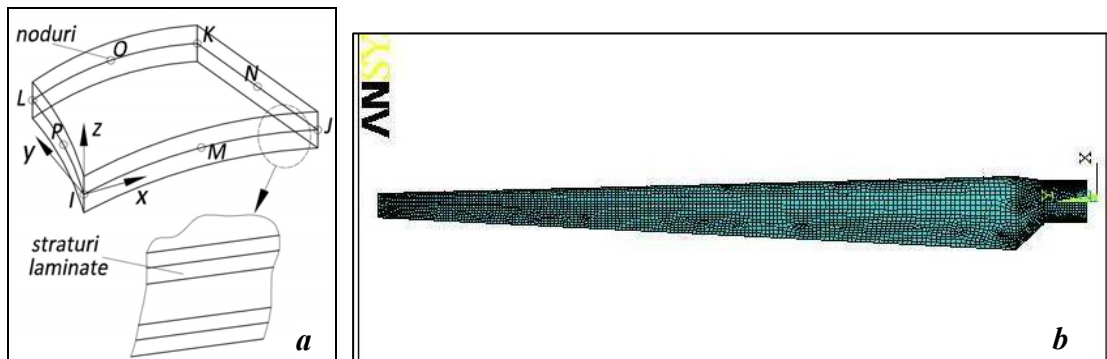
Scopul analizei este verificarea rigidității palei și determinarea tensiunilor care apar în pală.

Pentru modelarea numerică a palei rotorului turbinei eoliene de 10 kW elaborate la UTM a fost utilizat modulul ANSYS Multiphysics [3].

Tabelul 1

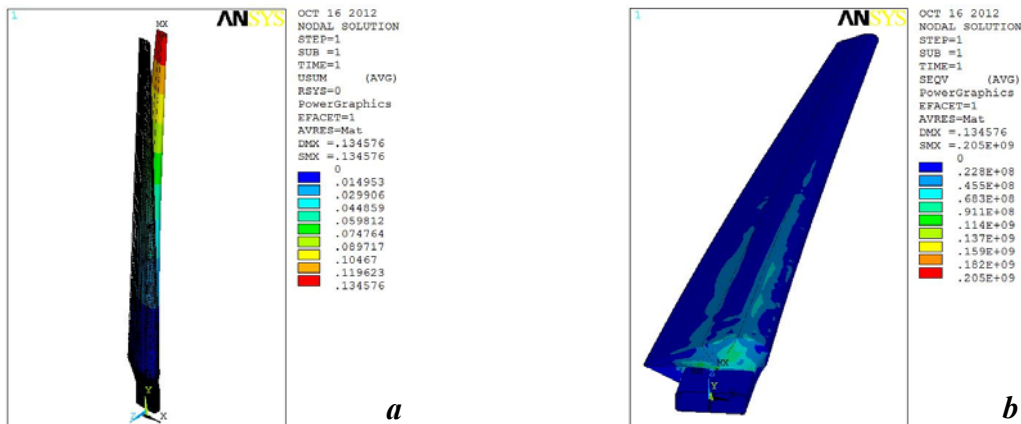
Caracteristicile MC utilizat în construcția palei						Structura palei
Nr	Orientarea fibrelor și nr. de straturi	Gradul de armare, % fibre	Grosime laminat, mm	Zona de plasare în structură	Masa totală obținută, kg	
1	$[\pm 45_2/\pm 78_6]$	67	3,5	Suprafața palei	29	
2	$[\pm 45_{13}/\text{CSM}]_S$		6,3	Nervuri lonjeron		
3	$[\pm 45_2/0_7/\text{CSM}]_S$		6,5	Tălpi lonjeron		

Pala a fost discretizată în 14989 elemente finite de tip placă stratificată SHELL99 cu 8 noduri (fig. 4). Apoi pala a fost solicitată la încovoiere cu forța rezultantă de 3000 N care este echivalentă cu viteza vântului de 30 m/s (condiții extreme de funcționare).



Pala a fost solicitată la încovoiere cu forță distribuită pe suprafața sa de 3000 N care este echivalentă cu viteza vântului de 30 m/s (condiții extreme de funcționare).

Rezultatele analizei statice a palei sunt indicate în fig. 5.



2.4. Analiza modală a palei

Analiza modală: se utilizează pentru a calcula frecvențele naturale și modul de deformare al structurii [3].

Aplicații:

- optimizarea proprietăților dinamice ale structurii (masă, rigiditate, amortizare).
- evaluarea pericolului producerii fenomenului de rezonanță
- anticiparea comportamentului dinamic

Pala a fost supusă la vibrații cu frecvențe cuprinse între 0 și 500 Hz pentru densitatea materialului din care este fabricată egală cu 1800 kg/m^3 .

Formele modului dinamic al palei și frecvențele ei naturale sunt prezentate în fig. 6.

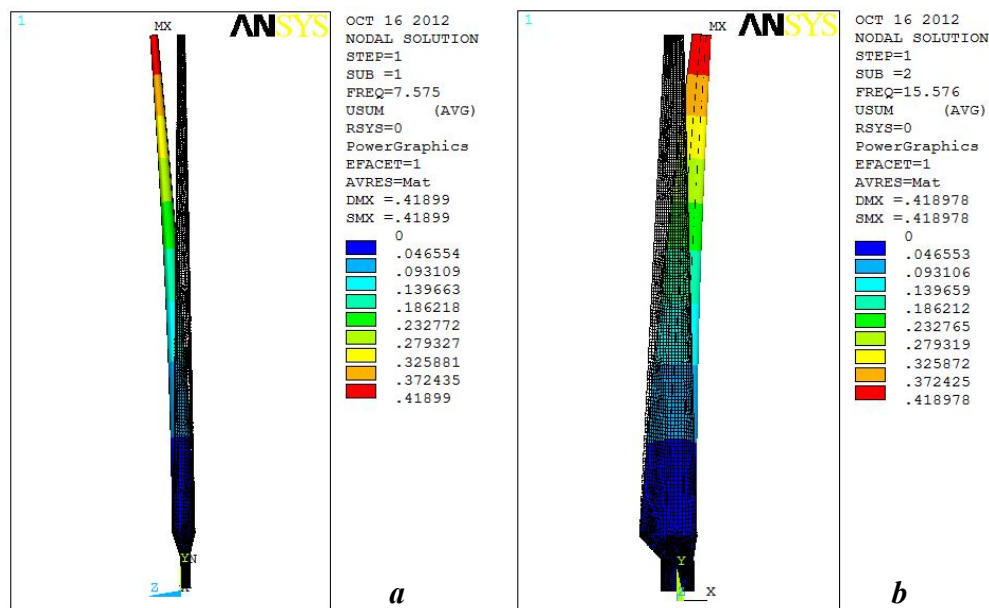


Fig. 6. *a*. Prima formă frontală, $f = 7,6 \text{ Hz}$; *b*. Prima formă laterală, $f = 15,6 \text{ Hz}$

Concluzii

- solicitarea statică a palei indică o deformare de 135 mm a vârfului palei și tensiuni echivalente de 200 MPa acest lucru permite de a mai reduce grosimea materialului de armare .
- rezultatele analizei modale (dinamice) a palei indică prima frecvență proprie de 7,6 Hz deci, regimul de funcționare al turbinei trebuie să fie stabilit în afara frecvenței periculoase (frecvența de funcționare este între 1,3 și 2,7 Hz pentru turații de 80 – 160 rot/min);
- analiza modală a permis evaluarea pericolului producerii fenomenului de rezonanță și anticiparea comportamentului dinamic al palei.

Bibliografie

1. S. S. Quek and G. R. Liu *Finite Element Method: A Practical Course*, Butterworth-Heinemann, 2003
2. Robert Gasch, Jochen Twele *Wind Power Plants Fundamentals, Design, Construction and Operation*, Second Edition, Springer - Verlag Berlin Heidelberg 2012.
3. Wetzel Kyle K., et al., 2006, The WEI6K, a 6-kW 7 m Wind Turbine, Final Technical Report, pp. 25-35