A XVII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești"
SEBEȘ, 2017

INSERȚIA METALICĂ ÎN PALETA ROTORULUI DE TURBINĂ EOLIANĂ DE PUTERE MICĂ

Rodica BĂDĂRĂU, Teodor MILOŞ

THE INSERT OF METAL IN THE ROTOR BLADE OF THE LOW POWER WIND TURBINE

Attachment of the wind turbine rotor blade is made by a metal structure, that provides a rigid mounting and precise positioning as accurate as possible to the calculated direction angle of incidence of the air flow relative to the blade profile sections. The mechanical strength at static load for the blade is within acceptable limits even without metal insert. In real operating conditions, the wind gusts have the effect of a dynamic load upon the blade and the base material, fiberglass reinforced polyester (FRP) is subjected to fatigue stressed. This leads to micro cracks in the resin and gradually reaches the blade breakage. Therefore the recessed fitting area of the blade, which is an aerodynamically inactive area, must have a metal structure with maximum adhesion to FRP of the blade structure. The shape of this structure, the way of insertion into the interior of the blade, the depth of penetration, are issues which will be discussed in this paper.

Keywords: insert of metal, blade, rotor, wind turbine, FRP
Cuvinte cheie: inserție metalică, paletă, rotor, turbină eoliană, PAFS

1. Introducere

Amănuntele legate de tehnologia de fabricație sunt în general considerate secrete de fabricație, mai ales când apar contribuții cu elemente de noutate care uneori sunt chiar brevete de invenție. Materialele utilizate la fabricarea paletelor au avut o evoluție relativ

rapidă până când s-a ajuns la cele utilizate azi, poliester armat cu fibră de sticlă (PAFS). Prin anii ’80 se utilizau structuri și învelișuri total metalice, apoi s-au utilizat combinații de structură metalică cu înveliș textil sau lemn sau masă plastică. Tehnologia PAFS necesită o matriță specială în care se formează paleta prin depuneri succesive de rășină și țesătură de fibră de sticlă. Formarea matriței necesită execuția negativului paletei care, având o formă cu geometrie variabilă, se prelucrează pe o mașină de frezat cu 5 axe pe baza unui fișier generat pe calculator într-un mediu de proiectare 3D (solidul 3D al paletei).

Din repartiția de presiuni pe suprafața activă a paletei rezultă distribuția forțelor pe aceeași suprafață a paletei. Cu aceste date se trece la calculul de rezistență al paletei. Cunoscând caracteristicile de rezistență ale compozitului PAFS, se dimensionează secțiunile periculoase ale fusului paletei luând în considerare coeficienți de siguranță recomandați de normele CEI. Respectând toate aceste constrângeri, s-au realizat paletele pentru primul rotor eolian, care a fost pus ulterior în funcțiune. S-a constatat că după un timp de funcționare și dacă viteza vântului atinge valori extreme, paletele cedează și se rup. Cauzele ruperii par a fi apariția microfisurilor în rășină și în fibrele de sticlă, microfisuri care scad rezistența la oboseală a materialului.

Acesta este motivul pentru care este necesară introducerea unei inserții metalice bine ancorată în structura PAFS pentru a crește rigiditatea paletei în zona de prindere pe rotor.

2. Ruperea accidentală a paletei de rotor eolian datorită inserției metalice vag inserate în structura PAFS

Universitatea Politehnica Timișoara a beneficiat de o finanțare europeană [4] pentru proiectarea, realizarea și punerea în funcțiune a unui agregat eolian de 5 kW cu palete nereglabile. Având în vedere necesitatea unui potențial aeroenergetic acceptabil pentru cercetare, exploatare ulterioară în scopuri utilitare și cu acces auto s-a ales locația din comuna Ciugud, județul Alba. Paletele s-au realizat la o firmă specializată în tehnologia PAFS din județul Timiș. Proiectul paletei a fost făcut de Universitatea Politehnica Timișoara după o metodă originală. Făcând simulare numerică cu element finit (FEM) a solicitării statice a paletei fără inserție metalică, s-a constatat că rezistă cu succes la încărcarea distribuită dată de presiunea dinamică a vântului și de forța centrifugă în caz de supraturare. Cu toate acestea, în iulie 2011, ca urmare a unei furtuni cu vânt puternic, de peste 100 km/h,

plus o defecțiune în sistemul de frânare și de automatizare, rotorul s-a supraturat și trei din cele cinci palete s-au rupt. Imaginea rotorului cu paletele rupte se poate vedea în figura 1. În secțiunea ruptă (figura 2) se poate observa inexistența inserției metalice, care s-a smuls din structura PAFS și miezul de umplutură cu spumă poliuretanică.

Fig. 1 Rotorul cu paletele rupte

3. Analiza cauzelor ruperii paletelor

Soluția tehnică utilizată se poate vedea în figura 3. Se observă că fusul paletei este introdus într-o teacă metalică prin intermediul căreia se prinde pe rotor. Teaca metalică are la interior două prelungiri care aderă la structura PAFS. Aderența este slab eficientă deoarece nu au fost prevăzute niște elemente de rugozitate accentuată și găuri în care să pătrundă adezivul și să mărească semnificativ rezistența la eforturile tangențiale de smulgere. Solicitările dinamice datorită rafalelor

de vânt au determinat deteriorarea aderenței inserției metalice la structura PAFS.

Fig. 2 Secțiunea ruptă a unei palete

Analizând din toate punctele de vedere cauzele ruperii paletelor [1], s-a ajuns la concluzia că în zona de prindere a paletei pe rotor trebuie să existe o inserție metalică foarte bine ancorată în structura PAFS.

Structura metalică trebuie să se sprijine pe una sau două secțiuni interioare ale structurii PAFS și pe întregul perimetru interior al secțiunii. În acest fel crește semnificativ rigiditatea ansamblului format de structura PAFS și inserția metalică.

4. Soluția tehnică adoptată și realizată pentru o inserție metalică eficientă și mult mai rigidă

Având în vedere analiza critică [1] a primei variante de inserție metalică a fost concepută o nouă variantă de inserție metalică care să evite toate neajunsurile primei variante. De asemenea, nu trebuie exagerat în a crea o inserție metalică pe toată lungimea paletei, pentru că nu se justifică. Forma profilată a paletei (profile NACA) cu secțiuni uniform descrescătoare de la butuc spre periferie asigură un modul de rezistență suficient de bun astfel încât să nu fie necesare elemente întăritoare.

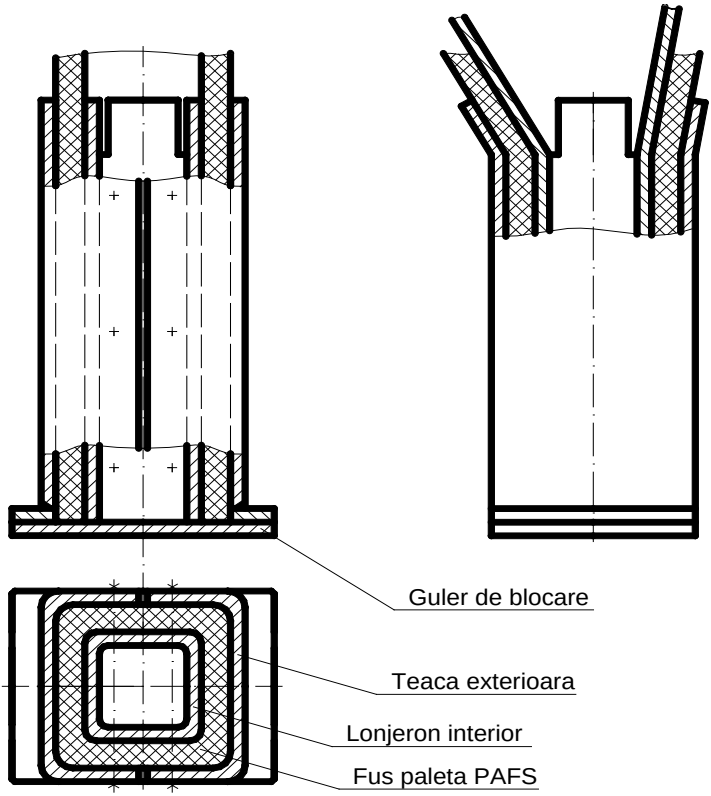

Fig. 3 Inserția metalică cu zona de prindere a paletei pe rotor

Ca urmare, decizia luată a fost ca inserția metalică să se extindă de la teaca de prindere pe rotor până la secțiunea maximă (profilul cu lungimea și grosimea maximă) a paletei, care este de fapt secțiunea de la care paleta devine activă, până la periferie. Astfel teaca interioară din varianta inițială se prelungește până la secțiunea profilului de grosime maximă. Aici se sudează o placă profilată la secțiunea maximă. Această placă profilată se debitează dintr-o foaie de tablă de grosime 5 mm, având forma profilului interior al paletei de la grosimea maximă. Acest profil se va sprijini pe forma coajă a paletei în interior. Pentru ca aderența la structura PAFS să fie cât mai bună, a fost mărită suprafața de contact prin sudarea unei plat benzi fragmentate, care să înfășoare profilul aerodinamic, figura 4.

Zona respectivă a profilului se frezează continuu pe periferie cu grosimea benzii fragmentate. În acest mod suprafața de contact și aderență la structura PAFS crește considerabil, iar adezivul utilizat se întinde pe o suprafață de contact mult mai mare.

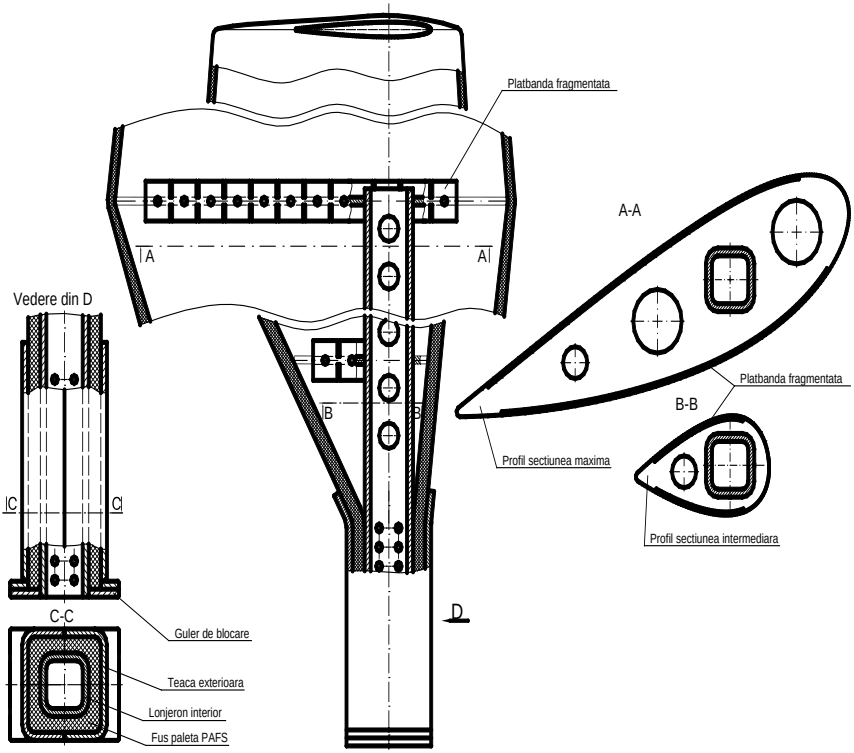

Fig. 4 Soluția îmbunătățită a inserției metalice în paletă

Este necesară această coeziune foarte bună între inserția metalică și structura PAFS și din cauza fenomenului de dilatare diferită între PAFS și oțel. Temperaturile la care este expusă paleta pot fi între -25 °C și +60...70 °C. Evident că în acest ecart de temperatură, dacă paleta a fost formată la aproximativ 20 °C, în situațiile extreme apar tensiuni în paletă între structura PAFS și inserția metalică, iar acestea determină o deformare de compensare care nu va depăși domeniul elastic al oricăreia dintre structuri. Suprafața interioară rugoasă a PAFS

și formele cu geometrie variabilă ale inserției metalice determină o foarte bună aderență a adezivului la suprafața de contact, ceea ce face ca adezivul să aibă eficiență maximă de cuplare a pieselor în contact.

Ansamblul format de structura PAFS și inserția metalică având o rigiditate mult mai mare se deformează elastic mult mai puțin, iar rezistența la oboseală, prin solicitări dinamice din cauza rafalelor de vânt, va fi mult îmbunătățită.

Deoarece între teaca de prindere și până la profilul cu secțiunea maximă, distanța este relativ mare și lonjeronul respectiv este găurit (rezistență diminuată), s-a mai introdus un profil de contact intermediar în interiorul structurii PAFS. Acest profil este prevăzut (figura 4) cu aceleași elemente de rigidizare și contact. Astfel inserția metalică face corp comun cu forma PAFS a paletei, prin care rigiditatea crește și rezistența mecanică a paletei devine foarte bună, implicit rezistența la oboseală crește considerabil, [2].

Extensia îmbunătățită a inserției metalice nu modifică geometria paletei la exterior.

5. Concluzii

■ Aspectele relatate și tratate în această lucrare sunt bazate pe evenimentele și realizările reale ale autorilor începând cu anul 2010 până în prezent. Soluția finală este funcțională fără nici un incident sau accident din 2014 până în prezent [3].

■ Având în vedere că tehnologia de fabricație presupune formarea manuală a paletelor în matriță plus inserția metalică cu majoritatea pieselor asamblate prin sudură, greutatea paletelor și centrul lor de greutate vor fi diferite de la o paletă la alta.

■ De aceea, operația finală a rotorului asamblat va fi echilibrarea lui statică. O relativ mică dezechilibrare a rotorului are ca efect întârzieri în pornirea rotorului la viteze ale vântului de minimum 3 m/s. Un dezechilibru accentuat poate bloca complet rotorul în faza de pornire din repaus.

■ În caz de supraturare un rotor dezechilibrat determină vibrații puternice ale întregului agregat având ca efect final deteriorarea rotorului.

BIBLIOGRAFIE

[1] Miloș, T., Bordeașu, I., Bădărău, R., Bej, A., Bordeașu, D., *Failure Cause Analysis of a 5 KW Wind Turbine Blade in Extreme Wind Conditions*, Revista

de Materiale Plastice, Bucharest, Romania, 2013, Vol. MPLAAM 50 (4) 2013, ISSN 0025/5289, pag. 279-284.
[2] Bădărău, R., Miloș, T., Bordeașu, I., *Testarea la sarcină statică distribuită a paletelor de turbină eoliană de mică putere, A XIV-a Conferinţă internaţională – multidisciplinară, "Profesorul Dorin Pavel - fondatorul hidroenergeticii româneşti"* – Sebeş, 2014, Vol. 25, pag. 311-320, ISSN 2067-7138.
[3] * * * *Microgrid Integrated Small Power Renewable Energy Hybrid Systems*, Grant UEFISCDI-PCCA 36/2012, Parteneriat UEFISCDI 2012-2016, Raport științific 2013, 2014.
[4] * * * *Improvement of the Structures and Efficiency of Small Horizontal Axis Wind Generators with Non-Regulated Blades*, EEA-Grant RO-0018/2009.
[5] Bej, A., *Turbine de vânt (Wind turbines)*, Editura Politehnica, Timişoara, 2003.
[6] Gipe, P., *Wind turbine basics*, Chelsea Green Publishing Company, Vermont, USA, 2009.
[7] Bădărău, R., *Contribuţii la studiul turbomaşinilor axiale neîntubate*, Teză de doctorat, Editura Politehnica, Timişoara, 2011.

Șef lucr.Dr.Ing. Rodica BĂDĂRĂU
Universitatea Politehnica din Timişoara,
membru AGIR
e-mail: badarau_r@yahoo.com, rodica.badarau@upt.ro

Conf.Dr.Ing. Teodor MILOŞ
Universitatea Politehnica din Timişoara,
membru AGIR
e-mail: teodor.milos@gmail.com, teodor.milos@upt.ro