

Studiu comparativ între materialele utilizate pentru proiectarea palelor unei centrale eoliene

Comparative study between the materials used to design the blades of a wind farm

Emilia Dobrin¹

¹Universitatea Politehnica Timișoara
Piața Victoriei 2, Timișoara 300006
E-mail: emi_dobrin@yahoo.com

Rezumat. *Aceast studiu a luat în considerare patru alternative, adică materiale plastice din fibre de sticlă ranforsate, materiale ranforsate pe bază de fibre de sticlă, materiale ranforsate pe bază de fibre de carbon, Kevlar, aliaje de Al5754, Al6082, Al7075 pentru a determina cel mai bun material pentru palele unei turbini eoliene.*

Cuvinte cheie: composite materials, glass fiber reinforced plastics, reinforced materials based on fiberglass, carbon fiber reinforced materials.

Abstract. *This study considered four alternatives, namely reinforced fiberglass plastics, fiberglass reinforced materials, carbon fiber reinforced materials, Kevlar, Al5754, Al6082, Al7075 alloys to determine the most good material for the blades of a wind turbine.*

Key words: composite materials, glass fiber reinforced plastics, reinforced materials based on fiberglass, carbon fiber reinforced materials.

1. Introducere

Scop nostru este: selectarea unui material adecvat pentru crearea palelor unei centrale eoliene orizontale, care poate funcționa într-o regiune cu viteza vântului redusă [1].

Pala ideală ar trebui să poată fi durabilă, rezistentă la coroziune, rezistență ridicată la uzură, ușoară și mai ales, rentabilă.

Principalele componente ale turbinelor eoliene cu axa orizontală includ palele rotorului, butucul rotorului, arborele principal, cutia de viteze, generatorul și convertorul de putere, toate găzduite într - o nacelă susținută de o placă pat care este montată pe turnul de rezistență și se rotește datorită unui sistem de rulmenți de ghidare [2].

Palele reprezintă elementul principal de conversie a energiei eoliene în energie electrică, geometria, materialul, numărul și lungimea lor contribuind în mod decisiv la randamentul centralei eoliene. Solicitățile la care este supusă pala unei turbine eoliene sunt generate de forța centrifugă, forța gravitațională, încărcarea aerodinamică, vibrații toate acestea ducând la solicitări complexe. Factorii agresivi de mediu (radiații UV, variații de temperatură și umiditate, impactul cu păsări, etc.) potențază riscurile la care sunt supuse palele [3], [4].



Fig. 1.1 Structura palei [5]

În general o turbină eoliană este proiectată să funcționeze aproximativ 30 de ani fără a fi nevoie de intervenții pe partea de mentenanță. Pentru aceasta trebuie să avem deformări minime ale palelor, efecte ale oboselii cât mai reduse (datorate forțelor gravitaționale la rotire și încărcare a vântului) [3]. Având în vedere aceste cerințe vom folosi doar materiale rezistență mecanică și chimică foarte bună, masa cât mai redusă, costuri de întreținere reduse, cu o diversitate a formelor și dinamica design - ului [6].

Alegerea materialul palei este o problemă serioasă cu care se confruntă industria prelucrătoare. Principalii indici de selecție ale materialelor palelor trebuie să se bazeze pe următoarele proprietăți a materialelor:

- de calitate a materialului (atât de calitatea suprafețelor, de caracteristicile elastice,

chimice și termice ale fibrelor și matricei din structura compozitului, de calitatea îmbinărilor dintre elementele de ranforsare și celelalte componente) [4];

- o rigiditate ridicată a materialelor pentru a asigura păstrarea formei aerodinamice optime de către pale în timp ce sunt supuse condițiilor de încărcare a vântului puternic;

- o densitate de masă redusă pentru a minimiza încărcarea gravitațională;

o rezistență mare la oboseală la cicluri ridicate pentru a asigura ciclul de viață necesar de 20 de ani cu fiabilitate ridicată [7].

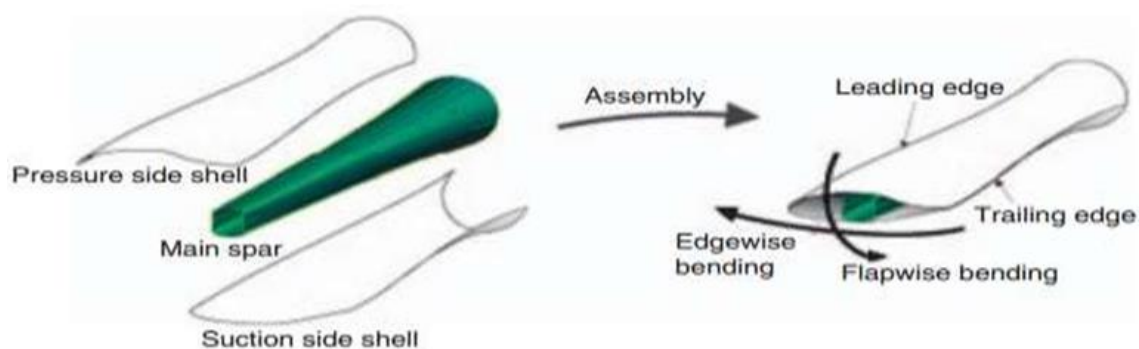


Fig.1.2 Componenta palei unei centrale eoliene [8]

2. Materialele compozite

Sunt materiale care cuprind fibre puternice înconjurate de o matrice. Matricea și fibrele unite eficient în procesul de fabricație compozit în scopul creșterii proprietăților lor, remarcându-se prin rezistență la tracțiune, rezistență la șoc și la abraziune ridicată, având o greutate mult mai mică față de materialele tradiționale pe care le înlocuiesc [9, 10]. Prezentarea materialelor compozite uzuale folosite pentru pale:

- Materiale plastice din fibre de sticlă ranforsate (glass fiber reinforced plastics);
- Materiale ranforsate pe bază de fibre de sticlă (reinforced materials based on fiberglass);
- Materiale ranforsate pe bază de fibre de carbon (carbon fiber reinforced materials);
- Kevlar;
- Aliaje de Al5754, Al6082, Al7075.

Ca material compozit, **plasticul armat cu fibră de sticlă** este folosit la proiectarea palei rotorului. Fibra de sticlă se prezintă sub formă de fibre fine, care se realizează din sticlă în stare topită. Raporturile rezistență / greutate ale compozitelor din fibră de sticlă sunt mai mari decât cele ale majorității celorlalte materiale, iar rezistența lor la impact este fenomenală. Mai mult, acestea posedă proprietăți electrice bune, rezistență la umiditate și la intemperii în aer liber și rezistență la căldură și

substanțe chimice. Aceste proprietăți sunt combinate cu ușurința de fabricare [11]. În urma testelor acest tip de pală rezistă la sarcini de zece ori mai mari decât forța normală de lucru și testul de performanță pe teren a arătat că lama rotorului are un coeficient mediu de putere măsurat de 41,2% [2].

Fibre de sticlă

Majoritatea produselor armate cu sticlă sunt fabricate cu sticlă E, care are un bun electric și proprietăți mecanice și rezistență ridicată la căldură. Fibrele de sticlă de tip E sunt de obicei amestecate cu rășini termorezistente (epoxidice) sunt folosite pentru construcția palei turbine, care sunt mai multe costisitoare, dar prezintă caracteristici de rezistență mai ridicate și rezistență mai mare la oboseală. Rigiditatea compozitului depinde de rigiditatea fibrelor și procentajul volumului acestora. Procentul de volum de fibră dacă 65 % și poate duce la reducerea rigidității la oboseală de compozit. Acest lucru se datorează existenței unor regiuni uscate între fibră și rășină [12, 13].

Fibrele de carbon sunt compuse din carbon aproape pur, care formează o rețea cristalografică cu un hexagonal formă numită grafit. În ultimii ani, fibrele de carbon au devenit din ce în ce mai interesate din cauza cerințelor prezentate de lamele rotorului din ce în ce mai mari și prețul în scădere al fibrelor de carbon. Fibrele de carbon prezintă o combinație excelentă de rigiditate foarte mare, rezistență ridicată, greutate redusă și densitate scăzută. Fibrele de carbon au mai multă rigiditate decât fibrele de sticlă. Au o densitate mai mică decât fibrele de sticlă, dar sunt mai rigide. Acest lucru a dus la dezvoltarea unei turbine mai ușoare și mai rigide. Rezistența la compresiune a fibrelor de carbon este mai mică de fibre de sticlă [12, 14, 15].

Kevlarul

Kevlarul este un polimer organic cu fibră de aramidă cu proprietăți excepționale (rezistență la șoc și abraziune, rezistență mare la tracțiune, rezistență și stabilitate până la 500°C, capacitate de amortizare a vibrațiilor, densitate mică - 1,7 g/cm³, insensibil la acțiunea agenților chimici și a microorganismelor). Aplicațiile fibrelor de Kevlar ca atare, sau în compozite și hibridi carbon- Kevlar, se referă la componente de înveliș, carenaje și amenajări interioare și au ca efect reducerea greutății componentelor respective cu circa 30%, a costurilor cu 50% și creșterea durabilității lor de 2 până la 5 ori. Fibrele de aramidă (poliamide aromatice) se caracterizează printr-o stabilitate termică și termică excelentă, rezistență statică și dinamică la oboseală și rezistență la impact. Aceste fibre au cea mai mare întindere specific rezistența (raportul rezistență / densitate) al oricărui fir cu filament continuu disponibil în comerț. Aramid- compozitele termoplastice armate au o rezistență

excelentă la uzură. Fibrele aramide au un nivel scăzut sau foarte scăzut densități [15], [17].

Aliajele aluminului

Aluminiul este un metal alb argintiu cu o densitate de aproximativ o treime din cea a oțelului. Aluminiu era doar implementat în situații de testare deoarece s-a constatat că are un nivel de oboseală mai scăzut decât oțelul. Aluminiu este ductil și bun conductor de căldură. Aluminiul este un metal cu preț scăzut, dar are o fiabilitate bună și are un nivel scăzut rezistență la tracțiune. Aluminiu este ușor, dar mai slab și mai puțin rigid decât oțelul [15].

Aluminiu este extrem de maleabil și poate fi format în aproape orice formă. Un produs extrudat este rezultatul încălzirii unui lingou de aluminiu la 500°C și presarea acestuia printr-o matriță în formă de piesă finită sau extrudare. Cu aliajul potrivit și tratamentul termic adecvat, extruziunile oferă oportunități de aplicare nesfârșite. Aluminiu extrudat este potrivit în ecranele climatice pentru stațiile de transformare offshore. Datorită greutateii lor reduse și a proprietăților anticorozive, extruziunile asigură o durată lungă de viață, instalare ușoară, întreținere redusă și utilizare redusă a altor material [18].

3. Analiza materialelor

Comportamentul materialelor compozite este influențat de o varietate de parametri mecanici și fizici. Omogenitatea și calitatea materialelor fabricate sunt esențiale [19].

Tabel 1

Caracteristicile mecanice:

Materiale compozite	Modul de elasticitate E [GPa]	Rezistența la rupere Rm [MPa]	Rezistența la curgere Rp0.2 [N/mm ²]	Alungire a la rupere A50 [%]	Raport Poissons	Duritate a Brinell HB [daN/mm ²]
Plasticul armat cu fibră de sticlă	2.76-6.65	26200	3500	2.00-8.00	0.25	175-239
Fibre de sticlă clasa E	72.4	3445	1200	4.8	0.20	83
Fibrele de carbon	2.14-27.6	110	1300	0.29-1.79	0.10	100-125
Kevlar	130	480	500	3.6	0.36	262-321
Al5754	70.3	205	105	24	0.33	60
Al6082	70	350	310	11	0.33	105
Al7075	71.7	540	465	9	0.33	175

Tabel 2

Caracteristicile fizice:

Materiale compozite	Densitatea g/cm³	Absorția de apă %	Material de adaos %	Limita de curgere g/10 min
Plasticul armat cu fibră de sticlă	1.05-1.25	0.0100	10.0-20.0	-
Fibre de sticlă clasa E	2.54-2.60	0.0500-0.300	5.00-40.0	1.10-60.0
Fibrele de carbon	1.21-1.42		10.0-40.0	
Kevlar	1.44			
Al5754 ENAW-AlMg3 Peraluman - 300	2.67			
Al6082 AlSi1MgMn Anticorodal	2.70			
Al7075 ENAW-AlZn5.5 MgCu Planoxal 70/Perunal 215	2.8			

4. Concluzie

Materialele compozite în raport cu materialele tradiționale dispun de atuuri importante și aduc numeroase avantaje funcționale: rezistență mecanică și fizică bună, masa redusă, costuri de întreținere reduse, o diversitate a formelor și dinamica design-ului palelor.

Materialele compozite cele mai eficiente sub aspectul raport rezistență la rupere / greutate sunt fibra de sticlă (GFRP), fibra de carbon (CFRP) și kevlar. De peste trei ori mai rezistentă și mai rigidă decât sticla, fibra de carbon este alternativă la plasticul armat cu sticlă folosit în mod obișnuit. Acest lucru ajută designerii să construiască pale mai lungi, păstrând în același timp rigiditatea necesară.

Ca și raport rezistență/greutate reprezintă în prezent cel mai bun material ce poate fi produs este Kevlar – ul.

Bibliografie

- [1] I.Okokpuije, U.Okonkwo, Implementation of multi-criteria decision method for selection of suitable material for development of horizontal wind turbine blade for sustainable energy generation, Heliyon 6 (2020) e03142, 2020;
- [2] S.M. Habali, I.A. Saleh, Energy Conversion & Management 41 (2000) 249±280, 2000;
- [3] L. Mishnaevsky Jr., Composite materials in wind energy technology, Thermal to mechanical energy conversion: Engines and Requirements, Denmark;
- [4] M. Stanciu, I. Curtu, Analiza riscurilor integrității structurale a palelor turbinelor eoliene, Buletinul Agir nr. 2, 2005;
- [5] M. Guțu, Optimizarea structurii de rezistență a palelor aerodinamice pentru turbine eoliene, teza doctorat, Chișinău, 2017;
- [6] https://www.tuiasi.ro/uploads/files/Rezumat_Emanuela_Marin.pdf;
- [7] LLC. Ancona, J. McVeigh, Wind Turbine - Materials and Manufacturing Fact Sheet Prepared for the Office of Industrial Technologies, Princeton Energy Resources International, 2001;
- [8] O. Thomsen, Sandwich Materials for Wind Turbine Blades - Present and Future, Journal of Sandwich Structures and Materials , 2009;
- [9] <https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2018/01/output-carte-2.pdf>;
- [10] S. Kumar, A. Krishnan, Vibrational Fatigue Analysis of NACA 63215 Small Horizontal Axis Wind Turbine Blade, Materials Today: Proceedings 5 (2018) 6665–6674;
- [11] <https://textilelearner.blogspot.com/2012/09/glass-fiber-composites-properties-of.html>;
- [12] S. Bhadoria, A. Maurya, Materials for Wind Turbine Blades, Loading and Manufacturing Methods, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181, 2020;
- [13] K. Senthil, A.S. Krishnan, Vibrational Fatigue Analysis of NACA 63215 Small Horizontal Axis Wind Turbine blade, Materials Today: Proceedings 5 (2018) 6665–6674, 2018;
- [14] K. Babu, N.V. Raju, The material selection for typical wind turbine blades using a MADM APPROACH& ANALYSIS of blades, MCDM 2006, Chania, Greece, June 19-23, 2006
- [15] D. Popescu, Tehnologia materialelor / metode si procedee tehnologice, <https://slideplayer.ro/amp/17577456>;
- [16] <https://sapm.upm.ro/docs/Cursuri/An2/StudiulMaterialelor.pdf>;
- [17] <https://www.hydro.com/en>;
- [18] S. Kumar, A.S Krishnan, Vibrational Fatigue Analysis of NACA 63215 Small Horizontal Axis Wind Turbine blade, Materials Today: Proceedings 5 (2018) 6665–6674;
- [19] M. Jawaid, Effect of Kevlar and carbon fibres on tensile properties of oil palm/epoxy composites, Conference Paper in AIP Conference Proceedings December 2017.