A XIII-a Conferinţă Naţională multidisciplinară – cu participare internaţională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2013

CONSIDERAŢII PRIVIND CREŞTEREA PUTERII ŞI REDUCEREA ZGOMOTULUI PENTRU TURBINELE EOLIENE DE MICĂ PUTERE CU PALETE PREVĂZUTE CU WINGLET

Rodica BĂDĂRĂU, Ilare BORDEAŞU, Teodor MILOŞ

CONSIDERATIONS ABOUT POWER INCREASING AND NOISE REDUCTION FOR LOW POWER WIND TURBINES WITH TURBINE BLADE WITH A WINGLET

The low power wind turbines are being designated for locations that have as a characteristic a moderate wind regime. These are placed in the proximity of human habitation, where is necesary to reduce the aerodynamic noise. Adding a winglet bended towards upstream side to the existing blade increase the force distribution on the blade and increase the produced power. The winglet bended towards downstream side reduces the aerodynamic noise.

Cuvinte cheie**:** turbine de vânt de mică putere, zgomot aerodinamic, capătul paletei, vizualizări în tunel aerodinamic
Keywords: low power wind turbines, aerodynamic noise, winglet, visualizations in aerodynamic tunnel

1. Introducere

În condiţiile de funcţionare ale turbinelor de putere mică la regimuri moderate ale vântului se impun ca obiective îmbunătăţirea eficienţei economice prin creşterea randamentului şi reducerea poluării sonore date de zgomotul aerodinamic în zona de vecinătate a

agregatelor. Aceste obiective pot fi realizate impunând o anumită geometrie capătului de paletă.

2. Fenomenele de la capătul liber al paletei

Fenomenele de la capătul liber al paletei fac parte din problematica turbinelor de vânt.

Capătul aripii fiind liber, cazul anvergurii finite, are influenţe negative asupra performanţelor profilelor aerodinamice comparativ cu performanţele profilelor din cataloage, întocmite de regulă pentru condiţiile aripii plane şi a anvergurii infinite. Fenomenele de la capătul liber al paletei, prin mişcările secundare generate, alterează coeficienţii de portanţă şi măresc coeficienţii de rezistenţă aerodinamică.

La valori mici ale anvergurii relative, cazul turbinelor eoliene de diametre mici, scad randamentele aerodinamice [1], aşa cum rezultă din tabelul 1.

Anvergura relativă este definită prin:

$$anv_r = \frac{L}{l} \tag{1}$$

unde L este anvergura paletei, iar l este coarda medie a paletei.

Randamente aerodinamice pentru $i - i_o = 10^o$ şi $\beta_\infty = 20^o$ Tabelul 1

Anvergura	Anvergura infinită	Anvergura relativă			
		5	4	3	2
Randament aerodinamic	0,98	0,74	0,65	0,43	0,04

Tabelul 2

i [º]	Anvergura infinita		Anvergura relativă							
			5		4		3		2	
	C_y	C_x	C_y	C_x	C_y	C_x	C_y	C_x	C_y	C_x
0	0	0,007	0	0,007	0	0,007	0	0,007	0	0,007
5	0,5	0,007	0,355	0,017	0,355	0,021	0,30	0,028	0,25	0,021
10	1,0	0,008	0,71	0,67	0,67	0,084	0,6	0,0119	0,50	0,0175
15	1,3	0,014	0,994	0,113	0,938	0,141	0,84	0,0202	0,7	0,231

De asemenea valorile mici ale anvergurii relative au influenţă negativă asupra portanţei. Acest lucru este exemplificat în tabelul 2, unde valorile coeficienţilor de portanţă C_y si valorile coeficienţilor de rezistenţă C_x sunt pentru profilul NACA 4415 (Re = 10^6) [1].

În cazul turbinelor cu diametre mari, care funcţionează la viteze periferice mari, pot fi asigurate anverguri relative mari şi astfel se realizează reducerea influenţelor negative ale anvergurii finite.

Pentru turbinele eoliene mici aceste influenţe negative ale anvergurii finite au pondere mai importantă şi de aceea se impun soluţii de ameliorare a lor prin tratarea specială a capătului de paletă. Capătul paletei influenţează alături de viteza periferică şi zgomotul aerodinamic.

Trebuie analizat şi realizat un compromis între reducerea poluării sonore, cerute de locul obişnuit de amplasare, în apropierea spaţiilor de locuit şi obținerea unui randament al agregatului cât mai bun.

3. Adaptarea geometriei capătului paletei turbinei de vânt

În literatura de specialitate [5] se întâlnesc în ultimii ani ca teme de cercetare câteva posibilităţi de modificare a capătului paletei. La început orientarea a fost spre găsirea celei mai potrivite forme şi dimensiuni relative faţă de lungimea totală a paletei, apoi aspecte legate de orientarea acestei structuri denumite cu termenul din aviaţie "winglet". Apoi cercetările au fost îndreptate spre realizarea, analizarea şi studiul influenţei acestor modificări asupra performanţelor aerodinamice ale paletelor turbinelor eoliene. Analizarea s-a făcut utilizând simularea cu metode numerice avansate, validate prin încercări în tunele aerodinamice. Rezultatele au arătat că ataşarea unui "winglet" la extremitatea paletei au dus la o creștere a puterii produse de turbina eoliană cu 0,6 % până la 1,4 % pentru viteze ale vântului mai mari de 6 m/s. Acest lucru se datorează creșterii forței portante de aproximativ 1 % până la 1,6 %, chiar și mai mult [5]. Acest lucru influenţează pozitiv producţia de energie.

Structura de capăt aleasă este o prelungire a paletei pliată la 90° faţă de planul mediu al acesteia, spre intradosul sau extradosul paletei.

Prin forma constructivă a paletei, cu dispunerea "winglet"-ului spre intrados (faţa cu suprapresiune) se ameliorează vârtejurile generate la capătul de paletă şi se reduce influenţa negativă a anvergurii finite de scădere a coeficientului de portanță, deci reducerea puterii produse.

La dispunerea "winglet"- ului spre extrados (faţa cu depresiune), se ameliorează trenurilor de vârtej datorate mişcărilor secundare. Astfel se produce un alt efect benefic şi anume atenuarea zgomotului aerodinamic.

Zgomotul aerodinamic tinde să crească odată cu creşterea turaţiei. Din această cauză unele turbine eoliene se proiectează astfel încât să funcţioneze la turaţii reduse, atunci când oferta amplasamentului este cu viteze mici ale vântului. Poluarea produsă de zgomot este o problemă care apare la vitezele mici ale vântului. La vânturi intense zgomotul de fond al vântului tinde să acopere zgomotul produs de turbină. Nivelul zgomotului rămâne aproape constant în timpul funcţionării în jurul vitezei nominale a vântului şi crește în regimul de desprindere dinamică, la vânturi puternice.

Cele două variante de soluţii pentru paletele turbinelor eoliene le-am utilizat în construcţia a două agregate de mică putere în cadrul unor proiecte de cercetare. Astfel s-a introdus pentru paletajul turbinei îndoirea la 90° a capătului paletei spre intrados, cu efect dominant de ameliorare a efectului de anvergură finită, şi îndoirea spre extradosul paletei, cu scopul ameliorării zgomotului aerodinamic. Soluţia cu îndoire spre intrados s-a utilizat pentru prima dată în ţara noastră la o turbină amplasată în localitatea Marga din judeţul Caraş-Severin şi la „rotorul 1” a agregatului eolian de la Şeuşa din judeţul Alba, respectiv soluţia cu îndoire spre extrados la agregatul Şeuşa pentru „rotorul 2” (la amplasamentul Şeuşa au fost prevăzute spre testare două rotoare diferite pentru acelaşi agregat).

În tabelul 3 sunt centralizaţi coeficienţii de portanţă C_y şi coeficienţii de rezistenţă C_x calculaţi pentru anvergura infinită şi finită folosind modelul Prandtl [1], [4] pentru turbina cu diametrul de 4,5 m amplasată la Marga:

Tabelul 3

r [m]	0,54	0,72	0,90	1,08	1,26	1,44	1,62	1,80	1,98	2,16
$C_{y\infty}$	0,41	1,02	1,27	1,38	1,43	1,44	1,44	1,43	1,41	1,40
C_{yf}	0,29	0,73	0,91	0,99	1,03	1,03	1,03	1,02	1,01	1,00
$C_{x\infty}$	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
C_{xf}	0,02	0,07	0,11	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14

4. Experimentări în tunelul aerodinamic pentru capătul liber al paletei turbinei eoliene

Pentru detaliile de construcţie a capătului paletei s-au făcut cercetări prin intermediul vizualizării în tunelul aerodinamic din cadrul Laboratorului de Maşini hidraulice al Universităţii „Politehnica” din Timişoara cu ajutorul unor fire din material textil lipite pe capătul paletei şi cu ajutorul fumului [1].

S-au urmărit aspecte ale curgerii secundare în cele două situaţii, îndoire spre intrados şi îndoire spre extrados.

Studiile s-au făcut pentru a tempera apariţia trenurilor de vârtej la vârful paletei şi a stimula degradarea acestora în turbulenţă folosind structura de capăt "winglet".

Aceste testări în tunelul aerodinamic au fost necesare pentru analizarea geometriei şi orientării structurii de capăt.

Pentru testarea cu fire s-a folosit un model de paletă al turbinei de la Marga, la scara 1:2, care are capătul paletei detaşabil.

Paleta a fost montată cu şi fără capătul curbat în tunelul aerodinamic la diferite viteze ale curentului de aer şi diferite unghiuri de incidenţă ale paletei.

Pentru a vizualiza direcţia curentului de aer pe intrados şi extrados s-au lipit, cu bandă adezivă, fire din material textil care au o rigiditate scăzută şi care urmăresc cu uşurinţă direcţia curentului.

S-au făcut vizualizări la următoarele unghiuri de incidenţă: 0°, 10°, 15°, 20°, -20°, -15°, -10°, -5°, şi viteze ale curentului de aer: 2, 6, 8, 10, 12 m/s.

În urma testării paletei la incidentele pozitive mici (0°, 10°, 15°) cu, respectiv fără capătul curbat, în tunelul aerodinamic, s-a constatat o curgere mai liniară a aerului la periferia paletei cu "winglet", precum şi reducerea turbulenţelor care apar în cazul anvergurilor finite.

Pentru incidenţele pozitive mari şi pentru toate incidenţele negative s-a constatat o curgere turbulentă la periferia paletei cu şi fără "winglet".

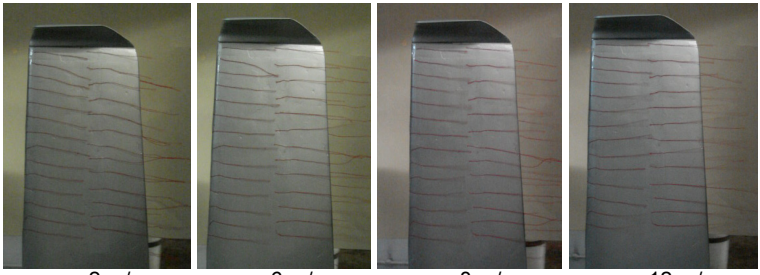
Se prezintă, în continuare, fotografii selectate din aceste vizualizări pentru unghiurile de incidentă de 0° (figura 1), 10° (figura 2), -10° (figura 3), şi pentru diferite viteze (2, 6, 8, 12 m/s).

În figura 4 sunt prezentate, pentru comparaţie, fotografii la viteză constantă de 8 m/s ce ilustrează fenomenele care au loc la modificarea unghiului de incidenţă 0°, 10°, 15°, -20°, -15°, -5°.

Precizăm că aceste fenomene se regăsesc şi sunt asemănătoare pentru toate vitezele studiate.

i = 0°

v_∞=2 m/s v_∞=8 m/s v_∞=12 m/s

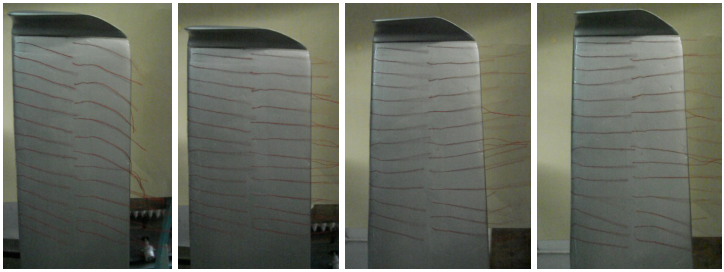


v_∞=2 m/s v_∞=6 m/s v_∞=8 m/s v_∞=12 m/s

Fig. 1 Vizualizări pentru unghiurile de incidentă de 0°

i = 10°

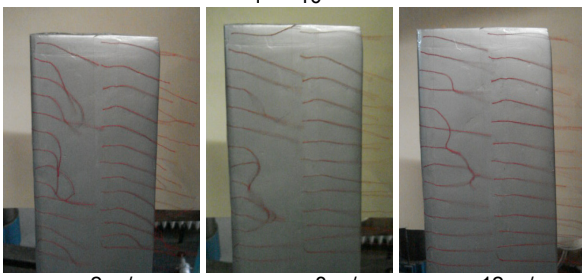
v_∞=2 m/s v_∞=8 m/s v_∞=12 m/s



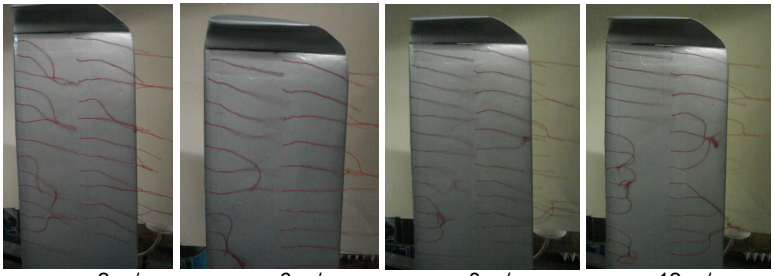
v_∞=2 m/s v_∞=6 m/s v_∞=8 m/s v_∞=12 m/s

Fig. 2 Vizualizări pentru unghiurile de incidență de 10°

i = - 10°



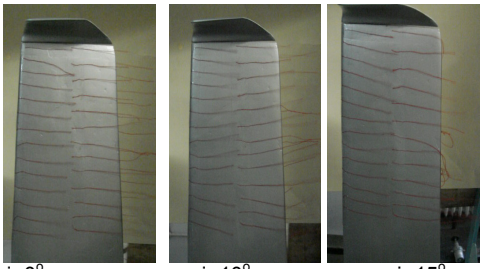
v_∞=2 m/s v_∞=8 m/s v_∞=12 m/s



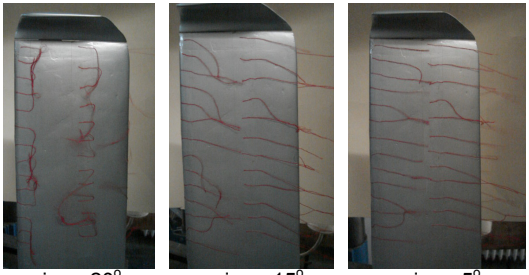
v_∞=2 m/s v_∞=6 m/s v_∞=8 m/s v_∞=12 m/s

Fig. 3 Vizualizări pentru unghiurile de incidență de -10°

v_∞=8 m/s



i=0° i=10° i=15°



i = − 20° i = − 15° i = − 5°

Fig. 4 Fotografii la viteză constantă de 8 m/s

În figurile 5 şi 6, sunt prezentate cele mai reprezentative imagini obţinute în urma vizualizărilor cu ajutorul fumului, pentru paleta turbinei de la Marga [1].

La orientarea diferită a "winglet"- ului se observă că fumul deviază diferit în jurul extremității paletei.

Odată cu orientarea "winglet"- ului spre extrados (figura 5) se stimulează degradarea trenurilor de vârtej de la capătul paletei în turbulenţă reducând zgomotul aerodinamic, iar la orientarea "winglet"- ului spre intrados (figura 6) fumul urmăreşte capătul paletei, ameliorându-se mişcările secundare de la capătul paletei, desprinderea producându-se mai târziu, conducând la un transfer de energie mai bun.

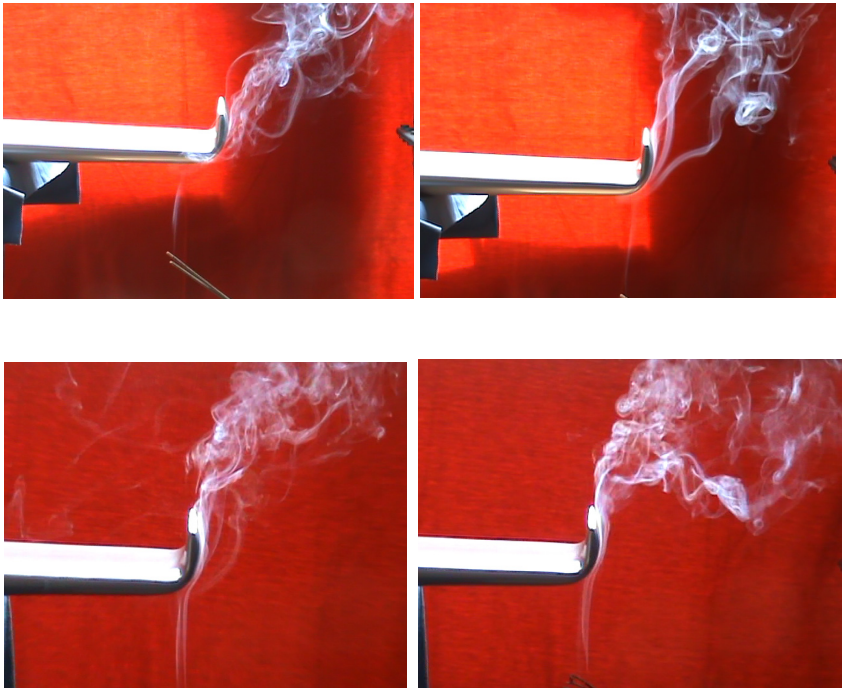


Fig. 5 Reprezentative imagini obţinute în urma vizualizărilor cu ajutorul fumului, pentru paleta turbinei de la Marga

Fig. 6 Reprezentative imagini obţinute în urma vizualizărilor cu ajutorul fumului, pentru paleta turbinei de la Marga

5. Concluzii

■ În urma cercetărilor făcute s-a ajuns la concluzia că îndoirea spre intrados a structurii de capăt în cazul paletelor turbinelor eoliene are ca rezultat ameliorarea efectului de anvergură finită şi în acelaşi timp creşterea randamentului agregatului eolian.

■ Orientarea "winglet"-ului cu îndoirea spre extradosul paletei stimulează degradarea trenurilor de vârtej de la capătul paletei în turbulenţă şi are efectul ameliorării zgomotului aerodinamic, cerinţă impusă la amplasarea turbinelor eoliene de mică putere în vecinătatea locuinţelor.

■ Pe baza studiilor făcute s-au proiectat şi realizat două rotoare de turbine eoliene având paletele prevăzute cu cele două orientări diferite ale capătului paletei. Acestea au fost testate prin vizualizare în tunelul aerodinamic din cadrul Laboratorului de Maşini hidraulice al Universităţii „Politehnica” din Timişoara. Turbinele au fost amplasate pe două amplasamente, Marga şi Şeuşa.

■ Se monitorizează funcţionarea acestor turbine pe cele două amplasamente. Pe baza datelor care vor fi obţinute se vor putea trage şi alte concluzii privind influenţele "winglet"-ului în funcţionarea agregatelor eoliene de mică putere.

BIBLIOGRAFIE

[1] Bădărău, R., *Contribuţii la studiul turbomaşinilor axiale neîntubate*, Teză de doctorat, Editura Politehnica, Timişoara, 2011.

[2] Spera, D.A., *Wind Turbine Technology*, ASME Press, New York, USA, 1994.
[3] Bădărău, R., Gyulai, F., Bordeaşu, I., *Asupra adaptării construcţiei turbinelor de vânt de putere mică la oferta amplasamentelor*, Știință și Inginerie, vol. 15, Editura AGIR, București, 2009, pag. 517-524.
[4] Bădărău, R., Miloş, T., Bordeaşu, I., *Consideraţii privind adaptarea modelului Prandtl pentru o turbină de vânt de mică putere*, Știință și Inginerie, vol. 22, Editura AGIR, București, 2012, pag. 101-108.
[5] Johansen, J., Sorensen, N.N., *Aerodynamic investigation of Winglets on Wind Turbine Blades using CFD*, Technical Report Risø-R-1543(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, 2006.

Asist.Dr.Ing. Rodica BĂDĂRĂU
Universitatea Politehnica din Timişoara, membru AGIR
e-mail: badarau_r@yahoo.com
Prof.Dr. Ing. Ilare BORDEAŞU
şef colectiv Maşini Hidraulice
Universitatea Politehnica din Timişoara, membru AGIR
e-mail: ilarica59@gmail.com
Conf.Dr.Ing. Teodor MILOŞ
Universitatea Politehnica din Timişoara, membru AGIR
e-mail: teodor.milos@gmail.com