A XIV-a Conferinţă internaţională – multidisciplinară,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2014

OBSERVAŢII PRIVIND INFLUENŢA CÂMPULUI DE VITEZE ASUPRA GEOMETRIEI PALETELOR TURBINELOR EOLIENE CU AX ORIZONTAL

Eugen DOBÂNDĂ

NOTES ON THE INFLUENCE OF SPEED FIELD ON THE GEOMETRY OF HORIZONTAL AXIS WIND TURBINES

Unlike hydraulic turbines, wind turbines operate "in open apparatus". Thus, the field of velocities and pressures has direct influence on the operation of the turbine. The paper presents an analysis of the influence of the speed field on the geometry of the blades of horizontal axis wind turbines.

Keywords: wind turbines, geometry, optimization
Cuvinte cheie: turbine eoliene, geometrie, optimizare

1. Câmpul de viteze şi presiuni

Spre deosebire de turbinele hidraulice, turbinele eoliene funcţionează "în vână liberă". Astfel, câmpul de viteze şi presiuni are influenţă directă asupra funcţionării turbinei.

Conform figurii 1, iniţial, în amonte de turbină, câmpul de viteze este presupus uniform, presiunea fiind cea atmosferică. Turbina funcţionează ca motor, adică foloseşte energia eoliană pentru a genera energie stereomecanică. Ca urmare, odată cu apropierea de turbină are loc o cădere de presiune, ca urmare a "extragerii" de energie din vâna fluidă. În aval de turbină, ca urmare a faptului că aceasta funcţio nează "în vână liberă", se manifestă efectul mediului înconjurător, care

tinde să completeze deficitul de presiune, ca urmare, câmpul de viteze (componenta axială a vitezei şi de presiuni are tendinţa să se refacă.

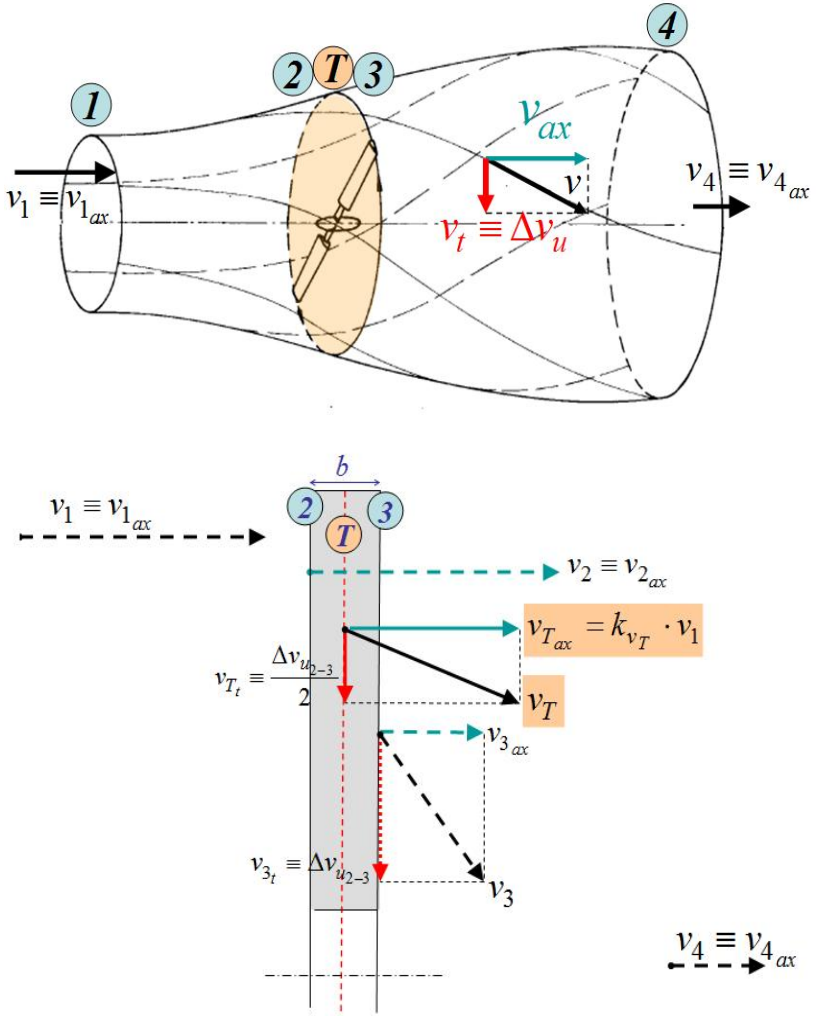

Fig. 1 Câmpul de viteze în prezenţa unei turbine eoliene cu ax orizontal

Între vitezele din câmp se vor scrie relaţiile:

$$v_2 = k_{v2} \cdot v_1, \quad v_3 = k_{v3} \cdot v_1 \tag{1}$$

2. Efectul câmpului de viteze asupra încărcării paletei

Prin "încărcarea paletei" se va înţelege:

a) repartiţia căderii de presiune pe anvergura paletei;

b) repartiţia momentului aerodinamic pe anvergura paletei.

a) Repartiţia căderii de presiune pe anvergura paletei se consideră ca având o repartiţie cvasieliptică. Se pun, suplimentar, următoarele condiţii:

- puterea dată de repartiţia căderii de presiune să fie egală cu puterea instalată:

$$P = c_P \cdot \Delta p_{gl} \cdot \pi \cdot r_p^2 \cdot v_1 = \int_{r_b}^{r_p} c_P \cdot \Delta p_{loc} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot v_1 \cdot dr \tag{2}$$

- la periferia paletei, căderea de presiune să aibă o valoare finită şi nenulă.

b) Momentul aerodinamic rezultă din căderea de presiune, sub forma:

$$r \cdot \Delta v_u = \frac{\Delta p_{loc}}{\rho \cdot \omega} \tag{3}$$

În figura 2 este prezentat triunghiul de viteze asociat rotorului turbinei eoliene

3. Efectul câmpului de viteze asupra geometriei paletei

În contextul analizat, secţiunea curentă a paletei este formată din profile aerodinamice, caracterizate de următoarele mărimi (figura 3):

a) unghiul de instalare a profilului în reţea,

b) tipul de profil ales,

c) lungimea corzii profilului.

a) Unghiul de instalare al profilului în reţeaua de profile care compun paleta rezultă că:

$$\beta_{inst} = \beta_{\infty} - i \tag{4}$$

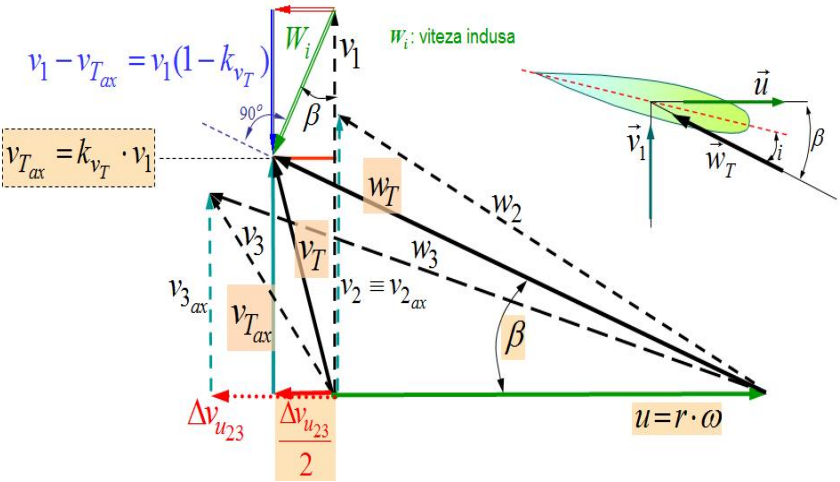

Fig. 2 Triunghiul de viteze

unde β_{∞} este unghiul de instalare, iar unghiul de incidenţă, i, rezultă ca urmare a alegerii profilului.

b) Pentru profilele care compun paleta, se aleg profile din familia NACA cu patru cifre, reprezentând:

- prima cifră = săgeata maximă în procente f/l · 100 [%];
- a doua cifră = în zecimi de procente din coardă, distanţa săgeţii scheletului faţa de bordul de atac Xf/l·100;
- ultimele două cifre = grosimea relativă în procente d/l·100 [%].

Avantajul folosirii acestui tip de profile constă în faptul că sunt generate analitic, ceea ce face ca geometria lor să rezulte direct din condiţiile cinematice, obţinute din calculul aerodinamic.

c) Lungimea corzii profilului

c.1.) Luând în considerare raportul dintre aria baleiată de paletă şi aria efectiv ocupată de aceasta, se acceptă o valoare medie pentru valoarea corzii profilului:

$$l_{med} = \frac{\pi \cdot \left(r_p + r_b\right)}{100 \cdot \pi} \cdot \frac{150^3}{150^2 + 200^{1,762} \cdot \lambda_0^{1,92}} \qquad (5)$$

şi, apoi, presupunând o repartiţie de o anumită formă a corzii între secţiunea de la butuc şi cea de la periferie, rezultă variaţia corzii pe lungimea paletei.

c.2.) Determinându-se valoarea unghiului optim de incidenţă a profilului, din diagrama polară, iar din curba caracteristică – coeficientul de portanţă, c_y , se obţine valoarea curentă a corzii:

$$l = \frac{4 \cdot \pi \cdot r}{z} \cdot \frac{\Delta v_u}{c_y \cdot w_\infty} \qquad (6)$$

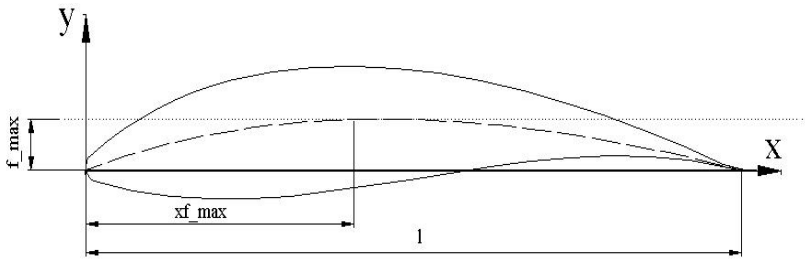

Fig. 3 Geometria profilului

4. Modelări numerice

Modelările numerice s-au făcut pentru cazul unei turbine eoliene cu ax orizontal având puterea nominală de 17 kW.

Pentru calcule, s-au ales următoarele valori pentru coeficienţii de viteză $k_{v\,i}$ (i = 0, 1, 2, 3), astfel :

Tabelul 1

Varianta		0	1	2	3
	k_{v2}	0,9	0,8	0,7	0,5
I	k_{v3}	0,8	0,7	0,6	0,4
II	k_{v3}	0,7	0,6	0,5	0,3

Rezultatele obţinute, comparativ pentru variantele prezentate în tabelul 1, sunt ilustrate în figurile 3 ... 9.

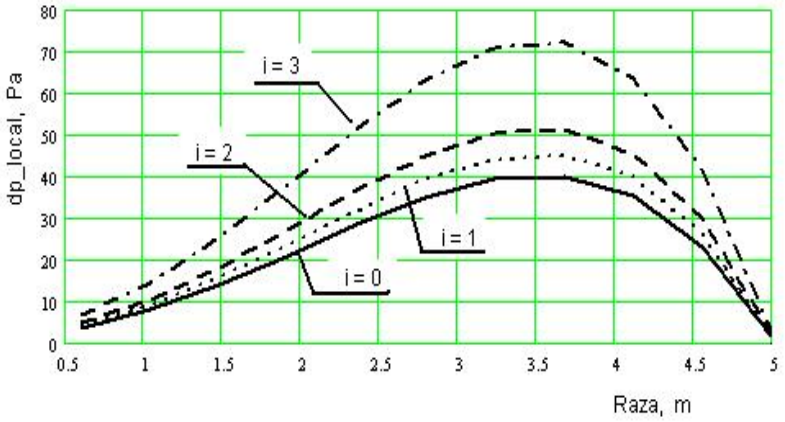

Fig. 4 Variaţia presiunii locale (Δp_{loc}) cu raza

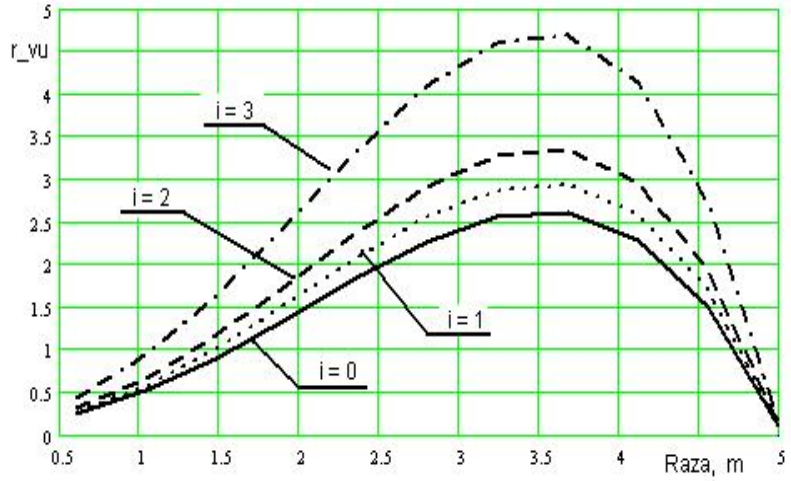

Fig. 5 Variaţia momentului aerodinamic ($r \cdot v_u$) cu raza

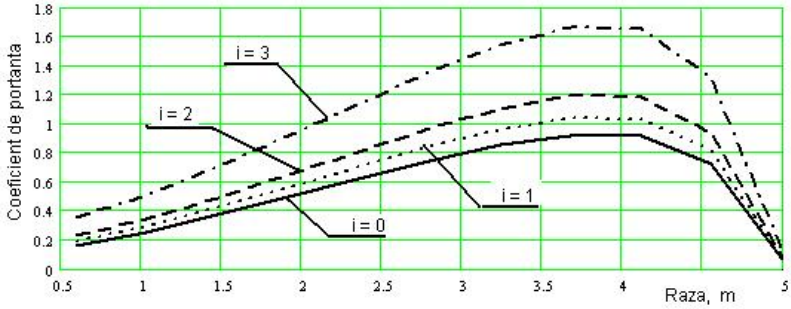

Fig. 6 Variaţia coeficientului de portanţă cu raza (varianta I)

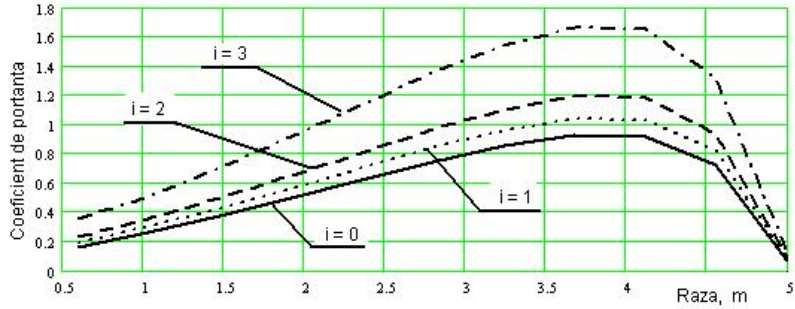

Fig. 7 Variaţia coeficientului de portanţă cu raza (varianta II)

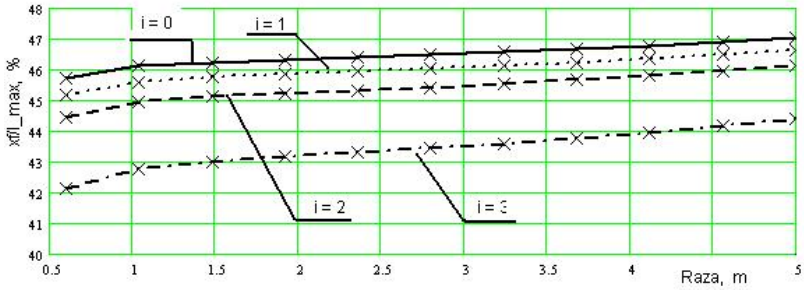

Fig. 8 Variaţia poziţiei relative a săgeţii maxime cu raza (varianta I)

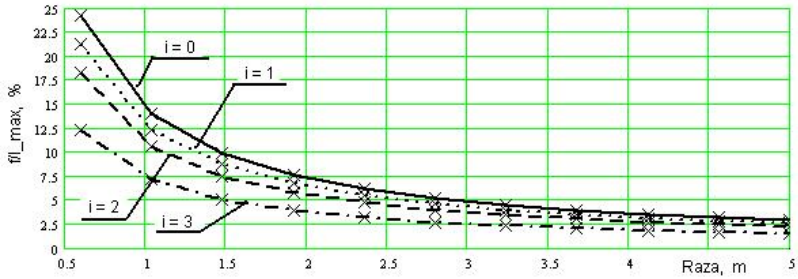

Fig. 9 Variaţia săgeţii relative maxime cu raza (varianta I)

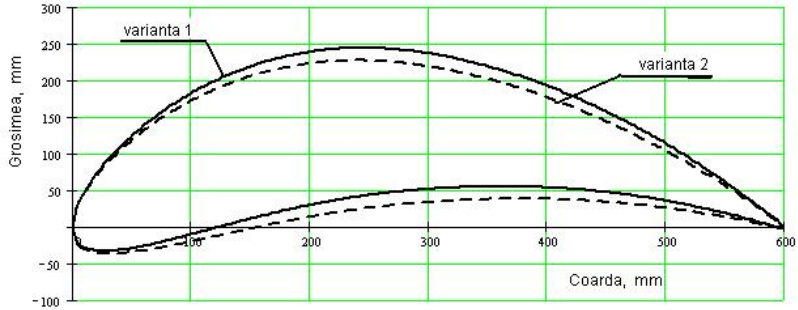

Fig. 10 Profilul de la periferie

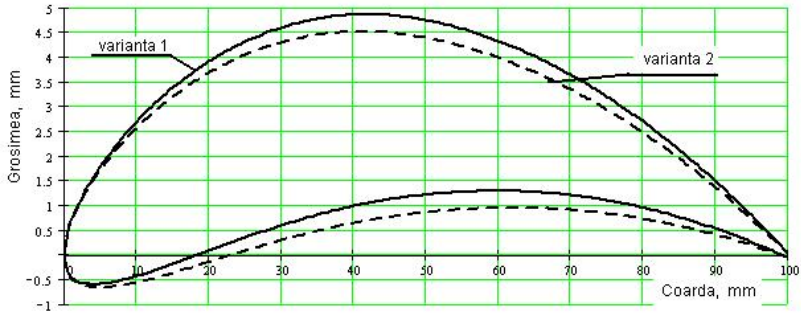

Fig. 11 Profilul de la butuc

5. Concluzii

■ Din diagramele prezentate, se trage concluzia că variantele i = 0, 1, 2 oferă soluţii plauzibile pentru paleta turbinei, în timp ce varianta 3 oferă un coeficient de portanţă prea mare, ceea ce nu este realizabil. Ca urmare, această variantă nu este fezabilă.

■ În orice caz, pentru stabilirea unor date mai exacte pentru valorile analizate în lucrare, referitor la valorile coeficienţilor de viteză, sunt necesare cercetări experimentale efectuate pe turbine instalate şi nu pe modele, încercate în tunele aerodinamice.

BIBLIOGRAFIE

[1] Dobândă, E., *The Dynamic Analyze of Horizontal* Axis Wind Turbines Behaviour, Buletinul Ştiinţific al Universităţii "Politehnica" din Timişoara, Seria Mecanică - Transactions on MECHANICS, Tom 47 (61), Fasc. 1, 2002, pag. 33 - 36 (4 pag.), ISSN 1224 – 6077.

[2] Dobândă, E., *Modelarea matematică a turbinelor de vânt*, ŞTIINŢĂ ŞI INGINERIE, Lucrările celei de-a VIII-a Conferinţe Naţionale multidisciplinare - cu participare internaţională "Profesorul Dorin Pavel - fondatorul hidroenergeticii româneşti", Editura AGIR, Bucureşti, 2008, vol. 14, ISBN 973-8130-82-4 / 978-973-720-198-0, pag. 81 – 86 (6 pag.).

[3] Dobândă, E., *On the Dynamic Behaviour of Horizontal Wind Turbines. Theoretical Approach*, Proceedings of the International Conference on Hydraulic Machinery and Equipments, HME 2008, Timişoara, România, October 16 - 17, 2008, published in SCIENTIFIC BULLETIN of the "POLITEHNICA" University of Timişoara, Transactions on Mechanics, Tom 53 (67), Special Issue, ISSN 1224 - 6077, pag. 181 - 186 (6 pag.).

[4] Dobândă, E., *Note privind optimizarea rotoarelor turbinelor de vânt cu ax orizontal,* ŞTIINŢĂ ŞI INGINERIE, Lucrările celei de-a X-a Conferinţe Naţionale Multidisciplinare - cu participare internaţională "Profesorul Dorin Pavel - fondatorul hidroenergeticii româneşti", Editura AGIR, Bucureşti, 2010, vol. 17, ISSN 2067-7138, pag. 499 – 506 (8 pag.).

[5] Dobândă, E., *Observations on the Improvement of hte Blades for Small Horizontal Wind Turbines*, Selected Topics in Energy, Environment, Sustainable Development and Landscaping, sept. 2010, Timisoara, ISSN 1782-5824/ISSN 1782-5843 ISBN 973-960-474-237-0, pag. 372 – 374 (3 pag.).

[6] Gyulai, Fr., Dobândă, E., *Câteva probleme privind garantarea performanţelor aerodinamice ale turbinelor de vânt*, Conferinţa Naţională de Energetică, Bucureşti, 27-29.oct.1988.

[7] Gyulai, Fr., Dobândă, E., *Consideraţii cu privire la modelele de calcul ale turbinelor eoliene*, Conferinţa Maşini Hidraulice şi Hidrodinamică, Timişoara, 1990, vol.5, pag.9.

[8] Gyulai, Fr., Dobândă, E., *Consideration sur les modeles de calcul utilises pour les courbes caracteristiques des turbines a vent*, Conferinţa Naţională de Energetică "Tendințe şi orientări actuale în energetica românească", Neptun, 1992.
[9] Gyulai, Fr., Dobândă, E., Merce, M., *Theoretical Studies Regarding the Calculus Models of Characteristic Curvess of Horisontal Axis Wind Turbines*, European Community Wind Energy Conference and Exhibition, Lubek-Travemünde, Germany, 1993.
[10] Manea, Adriana, Sida, Dobândă, E., *Flow Around Of Airfoils, Used As Active Part of The Distributor*, Scientific Bulletin of the "Politehnica" University of Timisoara, Romania, Transaction on Mathematics & Physics, Tom, Fascicola 2, 2012, ISSN 1224-6069, Ed. Politehnica, , pg. 68-77 (10 pag) (BDI).
[11] * * * Java_FOIL_Users_GuideJavaFOIL, www.mh-aerotools.de/jf_applet

Şef lucr.Dr.Ing. Eugen DOBÂNDĂ
Universitatea "POLITEHNICA" Timişoara, Facultatea de Mecanică
Departamentul Maşini Mecanice, Utilaje şi Transporturi
Colectivul de Maşini Hidraulice
Blv. Mihai Viteazu nr. 1
300222 – Timişoara
membru AGIR
E-mail: eugendobanda@yahoo.com