



A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2012

CONSIDERAȚII PRIVIND ADAPTAREA MODELULUI PRANDTL PENTRU O TURBINĂ DE VÂNT DE MICĂ PUTERE

Rodica BĂDĂRĂU, Teodor MILOȘ, Ilare BORDEAȘU

CONSIDERATIONS ABOUT ADAPTATION PRANDTL MODEL FOR A SMALL POWER WIND TURBINE

At low power wind turbines blade end is free. The paper shows the negative influences of finite span on performance profiles. It is made a critical analysis of application Prandtl model for finite span wing at low power wind turbines. The paper introduces a new method for calculating certain adjustments based on Prandtl model.

Cuvinte cheie: turbine de vânt de mică putere, modelul Prandtl, anvergura finită, coeficient de portanță, coeficient de rezistență, coeficientul de portanță indus și coeficientul de rezistență indus.

Keywords: low power wind turbines, Prandtl model, scale finite lift coefficient, drag coefficient, lift coefficient and induced drag coefficient induced

1. Introducere

În cazul turbinelor de vânt de putere mică geometria capătului paletelor este liber și prezintă un interes deosebit. Anvergura finită are influențe negative asupra performanțelor profilelor aerodinamice. Performanțele profilelor din cataloage sunt întocmite de regulă pentru anvergură infinită. Fenomenele la capătul liber al paletelor prin mișcările secundare generate alterează coeficienții de portanță și măresc coeficienții de rezistență aerodinamică. De aceea în cazul turbinelor de

putere mică se impune analizarea atentă a influenței negative a anvergurii finite.

2. Folosirea modelului Prandtl

În figura 1 și figura 2 se prezintă influența anvergurii asupra coeficienților de portanță C_y , respectiv asupra coeficientului de rezistență C_x pentru profilul NACA 4415.

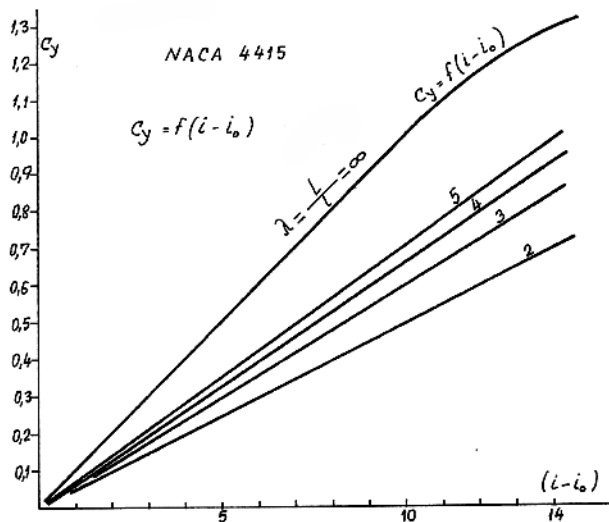


Fig. 1 Influența anvergurii asupra coeficienților de portanță C_y

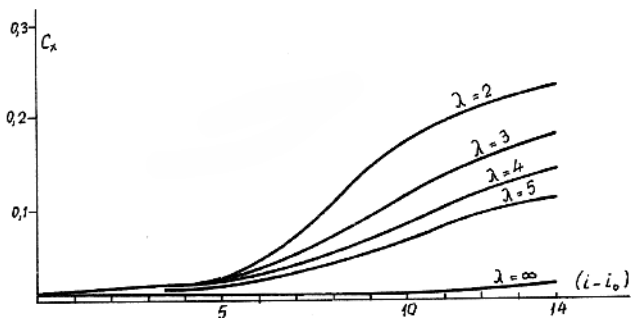


Fig. 2 Influența anvergurii asupra coeficienților de portanță C_x

Influența anvergurii finite pentru profilul NACA 4415 este arătată în tabelul 1. Se observă influența negativă a valorilor mici ale anvergurii relative asupra portanței.

Tabelul 1

i [°]	Anvergura infinită		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
14	1,3	0,014	0,994	0,113	0,938	0,141	0,84	0,0202	0,7	0,231

Pentru paleta unei turbine de vânt se folosește în literatura de specialitate teoria lui Prandtl pentru aripa de anvergură finită. Modelul lui Prandtl în condițiile fluidului ideal asociază aripii plane un sistem de vârtejuri care generează o viteză indusă care modifică viteza la infinit a aripii și astfel și incidența. Modelul răspunde la întrebarea cu cât trebuie corectată incidența pentru ca în condițiile anvergurii finite să fie realizată aceeași portanță cu cea a aripii de anvergură infinită. Modelul admite o distribuție a circulației vârtejurilor în lungul anvergurii și prin integrare se ajunge la corecția incidenței. Corecția de incidență are valoare eficientă pentru ansamblul aripii plane, nu pentru valori locale.

Teoria Prandtl permite calculul unei viteze induse și a unui unghi de incidență indus, valori constante în lungul anvergurii pentru o valoare dată a anvergurii relative (i_{ind} și w).

Anvergura relativă este definită:

$$anv_r = \frac{L}{l} \quad (1)$$

unde: L - anvergura aripii;

l - coarda medie a profilelor;

i : incidența;

i_0 : incidența de portanță nulă;

∞ , f : indici pentru anvergurile infinite și finite;

C_y , C_x : coeficienți de portanță și rezistență;

C_{xi} : coeficientul de rezistență indus de anvergura finită;

δ , τ : parametri.

Incidența efectivă a aripii finite este:

$$i_{ef} = i_g - i_{ind} \quad (2)$$

$$i_{ind} \cong \frac{w}{v_\infty} \quad (3)$$

$$i_{ind} = \frac{C_y}{\pi \cdot anv_r} \quad (4)$$

$$i_g = i - i_o \quad i_g - \text{incidența față de direcția de portanță nulă} \quad (5)$$

$$\frac{C_{y\infty}}{C_y} = \frac{a_\infty}{a_t} = 1 + \frac{a_\infty}{\pi \cdot anv_r} \quad (6)$$

$$\frac{C_{y\infty}}{C_y} = \frac{a_\infty}{a_t} = 1 + \frac{i_{ind}}{i_o + i} \quad (7)$$

și rezistența indusă: $C_{x\ ind} = C_y \cdot i_{ind} \quad (8)$

Pentru aripi plane rezultă valori medii pentru aripă sub următoarea formă:

$$i_{ind} = \frac{C_y}{\pi \cdot anv_r} \cdot (1 + \tau) \quad (9)$$

$$C_{x\ ind} = \frac{C_y^2}{\pi \cdot anv_r} \cdot (1 + \delta) \quad (10)$$

τ și δ variază cu $\frac{anv_r}{a_\infty}$ conform datelor din tabelul 2.

Tabelul 2

$\frac{anv_r}{a_\infty}$	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75
τ	0,05	0,1	0,14	0,17	0,20	0,22	0,24
Δ	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09

Au fost calculați coeficienții de portanță și rezistență pentru anvergura infinită și finită ($anv = 5,4$) folosind modelul Prandtl.

Rezultatele obținute din aplicarea modelului Prandtl, în cazul turbinei de vânt acceptând extrapolarea pentru o paletă neplană, torsionată, în mișcare relativă și cu viteze relative și de transport diferite în funcție de rază sunt date în tabelul 3.

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_{y_f}	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
$C_{x_{\infty}}$	0,02	0,07	0,11	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14

3. Adaptarea modelului Prandtl pentru paleta turbinei de vânt

Transpunerea modelului Prandtl, construit pentru aripa plană, la paleta turbinei de vânt ridică unele dificultăți. Câteva din acestea sunt:

- Poziționarea modelului aripii plane compusă din două jumătăți simetrice față de paleta turbinei. Se poate analiza dacă paleta turbinei este corect să fie modelată cu o paletă plană întreagă sau cu o semipaletă plană considerând axa de simetrie în zona butucului.

- Modelul Prandtl în condițiile aripii eliptice duce la corecția unghiului de incidență cu o valoare indusă unică pentru întreaga aripă.

- În cursul proiectării paletei turbinei se ajunge la distribuția radială a parametrilor locali cinematici și geometrici și apoi se aplică corecția impusă de anvergura finită prin coeficienții de portanță și rezistență. Este necesară o metodă care să identifice corecții locale.

Pentru înlăturarea acestor dificultăți au fost propuse în [1] următoarele corecții:

- Anvergura de calcul se consideră asimilând paleta cu o semiaripă plană:

$$L = 2 \cdot (R_{\text{ext}} - R_{\text{butuc}}) \cong D \quad (11)$$

D: diametrul turbinei

- Pentru identificarea valorilor locale ale corecțiilor propunem păstrarea conceptului de incidență indusă, dar introducem o corecție pentru localizare în funcție de raza relativă (r/R) a poziționării profilului în construcția paletei.

Se introduce o anvergură relativă locală:

$$\text{anv}_{\text{LOC}} = \frac{L}{l(r)} \cong \frac{D}{l(r)} = f\left(\frac{r}{R}\right) \quad (12)$$

În cazul turbinei amplasată în localitatea Marga, județul Caraș-Severin, în cursul proiectării s-a optat pentru varianta cu patru palete:

$$l(r) = 0,450 - 0,111 \cdot r \quad (13)$$

$$\text{anv}_{\text{LOC}} = \frac{1}{\frac{l(r)}{2 \cdot R}} = \frac{1}{\frac{0,45}{2 \cdot R} - \frac{0,111}{2} \cdot \frac{r}{R}} \quad (14)$$

Comparând cu rezultatele obținute cu modelul Prandtl avem:

Tabelul 4

Ta- be- lul r[m]	0,54	0,72	0,90	1,08	1,26	1,44	1,62	1,8	1,98	2,16
anv _r	const 5,4									
anv _{LOC}	11,5	12,2	12,8	13,6	14,5	15,5	16,7	18,0	19,8	21,4

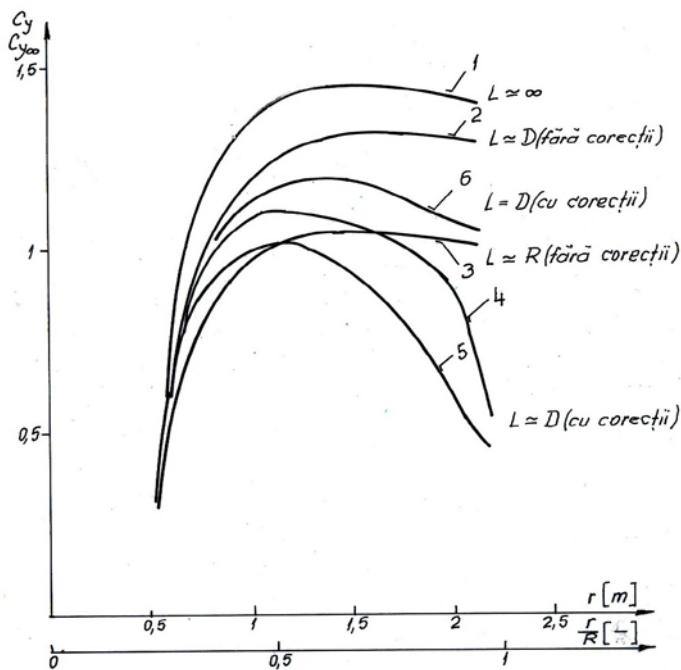


Fig. 3 Curba de portanță rezultată în cazul considerării anvergurii infinite

Pentru incidența indusă se introduce în locul parametrului de corecție specific pentru aripa plană (τ) o corecție dependentă de raza relativă:

$$(i_{ind})_{LOC} = \frac{C_y}{\pi \cdot anv_r} \cdot f_c \left(\frac{r}{R} \right) \quad (15)$$

Această funcție de corecție poate să conțină și o evaluare a influenței geometriei capătului de paletă.

Astfel influența asupra pantei curbei de portanță va apare în formă:

$$\frac{a_\infty}{a_f} = 1 + \frac{a_\infty}{\pi \cdot (anv)_{LOC}} = 1 + \frac{(i_{ind})_{LOC}}{i_o + i} \quad (16)$$

$$f_c \left(\frac{r}{R} \right) = 1 + k_T \cdot \left(\frac{r}{R} \right)^2 \quad (17)$$

sau:

$$f_c \left(\frac{r}{R} \right) = (1 + \tau) \cdot \left(1 + k_T \cdot \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right) \quad (18)$$

Dacă τ corecta o valoare medie a aripii plane, $f_c \left(\frac{r}{R} \right)$ corectează distribuții în lungul anvergurii.

În figura 3 s-a trasat curba de portanță rezultată în cazul considerării anvergurii infinite (curba 1) și influența anvergurii finite cu ajutorul modelului Prandtl clasic cu $L \cong R$ (curba 3).

Celelalte curbe sunt cele corectate pentru valori diferite ale constantei k_T (0; 0,25; 0,5; 1), denumite în grafic curbele 2, 6, 4 și 5, toate în condițiile anvergurii $L \cong D$.

5. Concluzii

- S-a studiat corecția necesară pentru anvergura finită față de performanțele din catalog ale profilelor aerodinamice oferite pentru anvergura infinită.

- În primul rând s-a aplicat modelului Prandtl considerând paleta cu două capete libere: cel de la periferie și cel de lângă butuc, anvergura aproximativ egală cu raza turbinei (R), iar anvergura relativă a fost calculată în raport cu coarda medie. Astfel au rezultat cele două

corecții constante în lungul razei: coeficientul de portanță indus și coeficientul de rezistență indus.

■ Al doilea studiu l-a constituit corectarea modelului Prandtl. prin asimilarea paletii de turbină cu semiaripa plană din modelul Prandtl (anvergura a fost considerată aproximativ diametrul turbinei (D)).

■ S-a introdus o funcție de corecție ca funcție de rază. Astfel atât anvergura relativă cât și funcția de corecție depind de rază și astfel corecțiile pot fi transformate în corecții locale în locul celor constante oferite de Prandtl.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bădărău, R., *Contribuții la studiul turbomașinilor axiale neîntubate*, Teză de doctorat, Editura Politehnica, Timișoara, 2011.
- [2] Bej, A., *Turbine de vânt*, Editura Politehnica, Timișoara, 2003.
- [3] Spera, D.A., *Wind Turbine Technology*, ASME Press, New York, USA, 1994.
- [4] Gruber, J., Blaho, M., *Mecanica fluidelor Toukonyvkiado*, Budapest, 1956.
- [5] Bădărău, R., Gyulai, F., *The necessity to adapt the construction of low power turbines to the power offer of the locations*, The International Conference on Hydraulic Machinery and Equipments Timisoara, 2008 Romania, Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara, Tom 53 (67), pag. 161-166.
- [6] Bădărău, R., Gyulai, F., Bordeășu, I., *Asupra adaptării construcției turbinelor de vânt de putere mică la oferta amplasamentelor*, Știință și Inginerie, vol. 15, Editura AGIR, București, 2009.

Asist.Dr.Ing. Rodica BĂDĂRĂU
Universitatea Politehnica din Timișoara
membru AGIR
e-mail: badarau_r@yahoo.com

Conf.Dr.Ing. Teodor MILOȘ
Universitatea Politehnica din Timișoara
membru AGIR
e-mail: teodor.milos@gmail.com

Prof.Dr.Ing. Ilare BORDEAȘU
Universitatea Politehnica din Timișoara
membru AGIR
e-mail: ilarica59@gmail.com