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

MODELAREA UNEI PALE DE TURBINĂ EOLIANĂ BAZATĂ PE CONCEPTUL FORȚEI PORTANTE MAXIME PENTRU VITEZE VARIABILE ALE VÂNTULUI

Victorița RĂDULESCU

MODELING OF A WIND TURBINE BLADE BASED ON MAXIMUM LIFT FORCE AT VARIABLE WIND VELOCITIES

This paper presents a new solution in the wind turbine blade modelling, based on a new concept of the maximum lift force, capable to be produced at different values of wind velocities. First are mentioned some atmospheric registered parameters into the selected area of future implementation of such wind turbine. Further some theoretical aspects are briefly mentioned, followed by the obtained results. Finally some conclusions and remarks are mentioned.

Keywords: Re Number, flow line, LE- Leading Edge, LT – trailing Edge
Cuvinte cheie: Număr Re, linie de curent, BA- Bord de atac, BF- Bord de fugă

1. Introducere

Profilul de pală este proiectat și realizat în concordanță cu un nou concept apărut în ultima decadă privind funcționarea turbinelor eoliene având o forță portantă maximă, capabil să asigure un zgomot redus în funcționare. Se cunoaște că unul din efectele negative pe termen mediu și lung al funcționării turbinelor eoliene (parcurilor eoliene) îl reprezintă zgomotul ce afectează zborul pasărilor, viața animalelor terestre și în mod deosebit, comunitățile umane.

De asemenea trebuie ținut cont de influența pe care o are variația vântului aparent asupra incidentei palei [1]. Prin vânt aparent se înțelege rezultanta circulației aerului datorată combinației dintre mișcarea proprie a palelor și direcția vântului la sol. Dacă viteza vântului crește, iar viteza palelor turbinei rămâne constantă, noua incidență a palelor induce o forță de rezistență la înaintare ce diminuează eficiența turbinei eoliene. În timp ce se schimbă direcția vântului aparent se schimbă și unghiul de atac. Invers, dacă viteza palelor crește față de viteza vântului, direcția vântului aparent își schimbă sensul spre direcția de deplasare a palelor, având ca efect diminuarea unghiului de atac. Proiectarea turbinei eoliene trebuie să stabilească o corelație optimă pentru a asigura portanță maximă raportată la o rezistență indusă minimă.

Petru a menține un unghi optim de atac raportat la variația vitezei vântului, o pală cu înclinație fixă trebuie să-și crească viteza proporțional cu acesta. Astfel pentru a maximiza performanța aerodinamică, rotorul trebuie să se învârtă mai rapid odată cu creșterea intensității vântului. Altfel spus, este necesar ca raportul vitezei din BA, legătura dintre viteza palei și viteza vântului [2], trebuie să se mențină constant pentru a păstra performanța aerodinamică optimă.

2. Parametrii atmosferici monitorizați

Au fost monitorizați principalii parametri de mediu: presiunea, aerului, temperatura, umiditatea viteza și direcția vântului pe o perioadă de 24 luni, la diferite distanțe față de sol: 40 m, 60 m, 80 m, în zona de amplasament a viitorului parc eolian [3], zona bazinului Siret, figura 1.

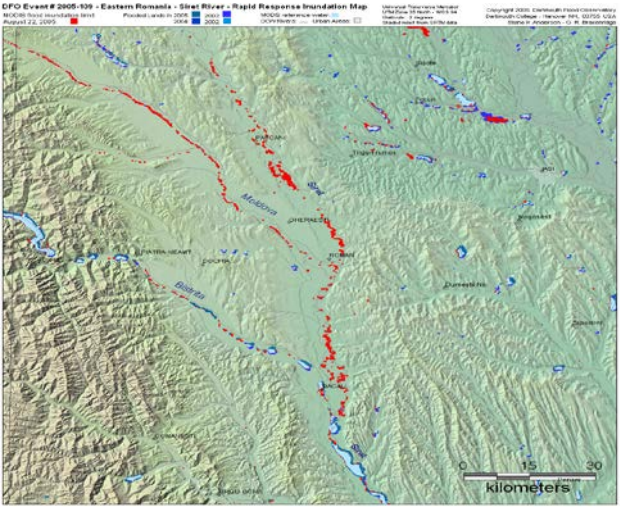


Fig.1 Zona de monitorizare

Pentru a putea realiza corelarea

pe termen lung a datelor monitorizate și înregistrate, s-au utilizat și datele înregistrate în ultimii 80 de ani în alte 6 stații meteorologice și hidrologice din zonă. Dintre parametrii monitorizați se prezintă în continuare intensitatea vântului, pe 12 direcții E, ESE etc. luate în calcul în modelarea palei de turbina, [4]. În continuare sunt prezentate parțial exemple de măsurători, figura 2-a, b, iar în figura 3 este prezentată intensitatea vântului.

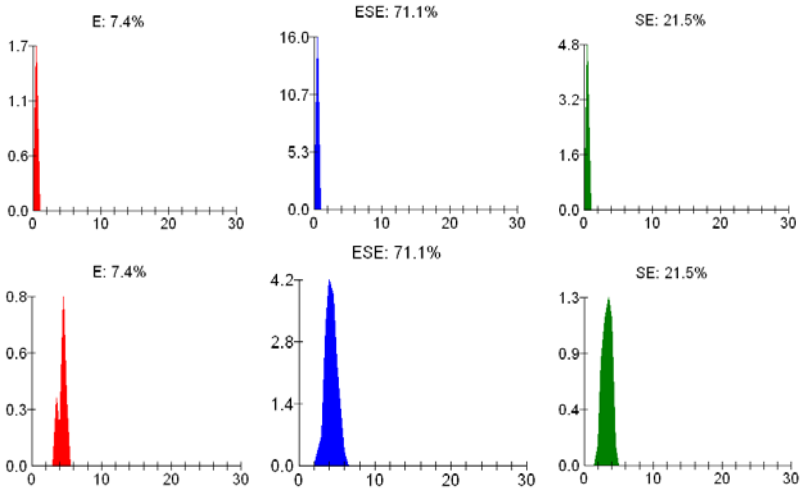


Fig. 2 Direcția vântului înălțime a – 60 m, b – 70 m

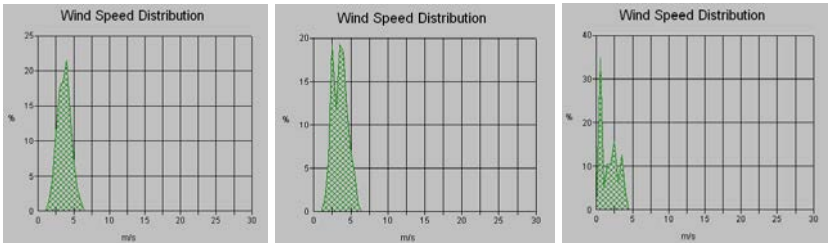


Fig. 3 Intensitatea vântului la cele 3 înălțimi monitorizate

În continuare, în figura 4 sunt prezentate fluctuațiile vitezei, cu înregistrări efectuate la fiecare 20 min. Separat s-au înregistrat valorile minime și maxime într-o bază de date, important a fi monitorizate și corelate în proiectarea palei de turbină eoliană.

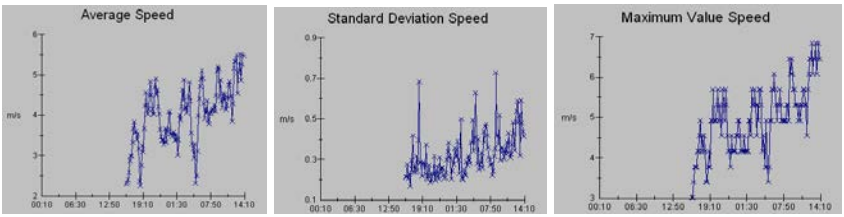


Fig. 4 Exemple de fluctuații ale vitezei vântului

3. Factori ce influențează forma palei

Exista surse diferite ce generează independent emisii acustice pe pala [5]: ● curgerea turbulentă; ● interacțiunea stratului limită turbulent cu zona BF; ● separarea curgerii și desprinderea stratului limită; ● desprinderea vârtejurilor formate în zona BF; ● forma ascuțită a palei din zona BF.

S-au făcut măsurători, figura 5, care au demonstrat de asemenea influența stâlpului unei turbine asupra rotorului turbinei din vecinătate.

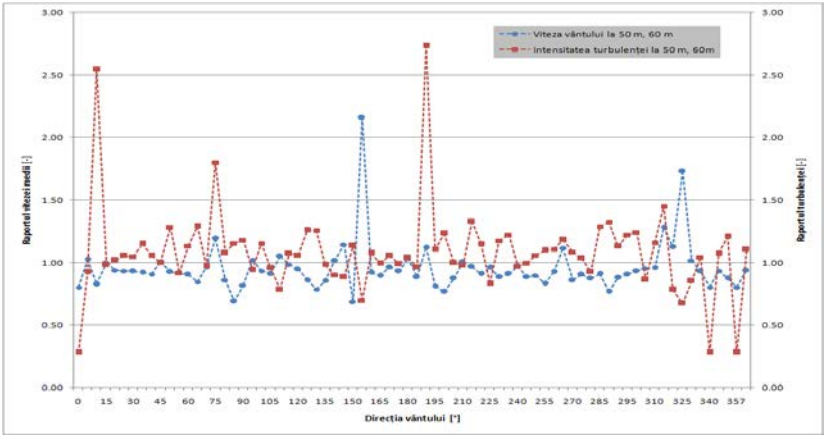


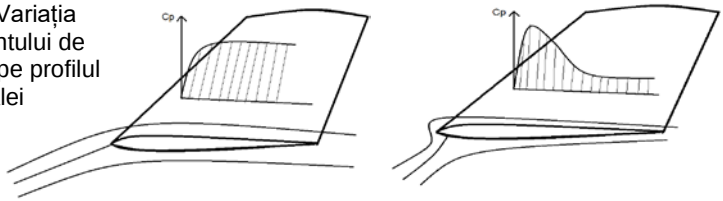
Fig. 5 Perturbația introdusă de prezența stâlpului turbinei

Măsurarea analogică a semnalului acustic utilizează aparatură electronică și operează pe semnale electrice obținute din conversia variațiilor de presiune în variații de tensiune sau de curent electric.

Zgomotul datorat curgerii turbulente este generat în primul rând de forma ascuțită a BA și nu pot fi diminuate semnificativ. Altă sursă de turbulență este reprezentată de interacțiunea profilului cu propriul său

strat limită [6], dar și cu vârtejurile desprinse din stratul limită al profilelor adiacente, figura 6.

Fig. 6 Variația coeficientului de presiune pe profilul palei



Prin studii repetate s-a observat că prezența unor fante în zona Ba și a flanșei de prindere îmbunătățesc semnificativ traiectoria circulară de rază minimă. Prin compararea unei aripi clasice de forma dreptunghiulară cu o aripă de formă eliptică, pentru incidente de 10^0, Bejan, A., Lorente, S., [7] au măsurat o creștere a fineții aripii cu 17,6 %.

4. Proiectarea palei

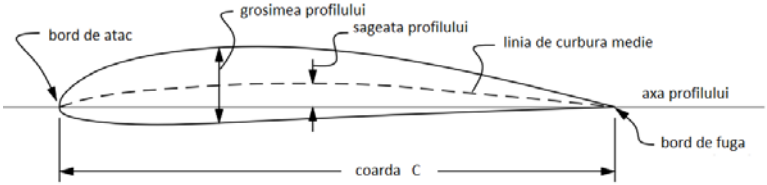


Fig. 7 Principalele caracteristici ale unui profil aerodinamic

Creșterea coeficientului de portanță datorat bosajelor (fantelor) provine din dispariția liniei de stagnare a fluidului din zona de îngustare a profilului pe de o parte și pe de altă parte din amplificarea efectului de sucțiune indus de ultima fantă.

Forma prezentată în continuare induce ribleturi transversale de dimensiuni mari ce „distrug” linia de stagnare perpendiculară pe curentul ce apare în fața bordului de atac și unele ribleturi longitudinale de mici dimensiuni, perpendiculare pe primele, ce creează microvârtejuri favorabile, pe conturul profilului și implicit pe suprafața palei astfel încât stratul limită este absorbit.

Numarul Reynolds [7], atașat curgerii pe pală se definește

$$\mathrm{Re} = \frac{V_{\inf} \cdot c}{\nu} \qquad (1)$$

unde: $\nu = 1.46 \times 10^{-5}$ m²/s, c - lățimea palei, V_{inf} - viteza curentului de

aer

Teoria constractală emisă prima dată în 1996 afirmă că prin diseminarea pierderilor mari în mai multe pierderi mici, suma pierderilor mici va fi în final inferioară pierderii mari inițiale, de la care s-a început procesul de optimizare.

S-a realizat o discretizare a domeniului din vecinătatea palei, cu îndesirea rețelei în zona desprinderilor de strat limită, figura 8, a, b.

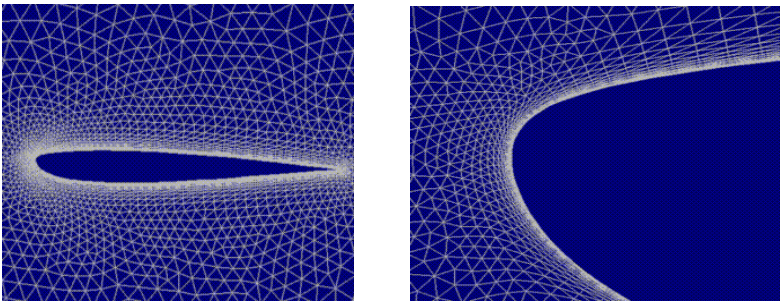


Fig. 8 Discretizarea domeniului de calcul

Pentru calculul componentelor forței portante și a forței de rezistență la înaintare s-au folosit relațiile (2)

$$F_p = \rho V_{\inf} \int_{-c/2}^{c/2} \Gamma(z) dz \qquad F_{ri} = \rho \int_{-c/2}^{c/2} V_i \cdot \Gamma(z) dz \qquad (2)$$

unde V_i este viteza indusă de vârtejuri pe pală.

S-au realizat modelari numerice și experimentale [8], în care pala tradițională a turbinei a fost înlocuită cu o pală având în zona flanșei bosaje semicirculare de forma solzilor de pește. Palele au fost testate pentru unghiuri de incidență între 2^0 -10^0.

În continuare, în figura 9 este prezentată variația vitezei în jurul profilului, obținută pentru un astfel de profil: a - cazul în care viteza palei este în concordanță cu viteza vântului și b – viteza palei mai mare decât viteza vântului.

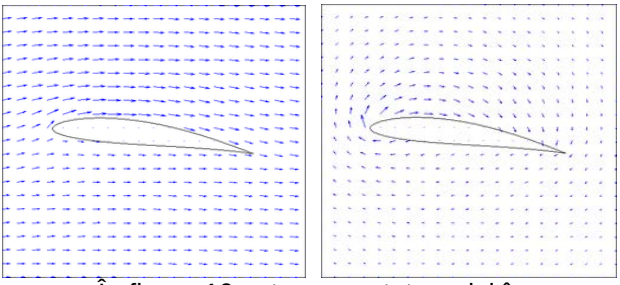


Fig. 9

Variația vitezei în jurul palei

În figura 10 este prezentat modul în care variază forța portantă pe pala pentru valori diferite ale incidenței și a grosimii palei: a – incidenta de 2^0, pală clasică, b - incidența de 1^0, pală modificată [9], [10], [11], [12].

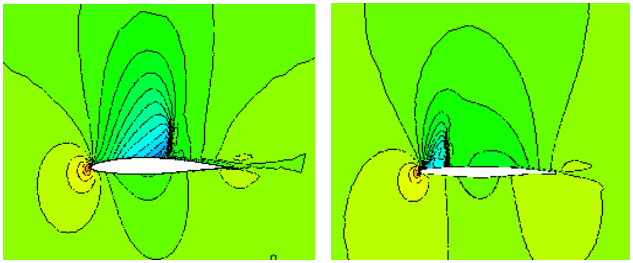


Fig.10 – Variația portanței pe pală

Pala rotorului se comportă elastic și lucrează în regim dinamic, permițând o mai bună adaptare la fluctuațiile vitezei vântului.

Pala se comportă în anumite regimuri de funcționare ca niște arcuri de foi, forța de rezistență la înaintare fiind mult diminuată.

Greutatea palei este mai redusă decât pala clasică, permițând o funcționare la turații mai mari, având un cuplu la ax ce circa 1,8 ori mai mare decât în cazul palei clasice.

5. Concluzii

Din rezultatele experimentale s-a putut constata:

■ un cuplu mai mare de rotație la ax, ce asigură pornirea palei la valori mai mici ale vitezei vântului (sub 4 m/s) și o menținere a vitezei de rotație constantă, chiar la valori mari ale vântului (supra sarcină);

■ rezistență mai mică, raportată la o forță portantă mai mare, deci un randament aerodinamic mai bun și un nivel de zgomot mai redus.

BIBLIOGRAFIE

[1] Rădulescu, V., Seteanu, I., Vasiliu, N., *Mecanica fluidelor, Fundamente și Aplicații,* vol.1, Editura Tehnică, București, 1998, ISBN 973-31-1316-6.
[2] Rădulescu, V., *Mișcări rotaționale și potențiale,* Seria Hidraulica, Editura Bren, București, 2004, ISBN 973-648-280-2.
[3] Rădulescu, V., *Teoria profilelor hidrodinamice izolate și în rețea,* Editura Bren, București, 2005, ISBN 973-648-279-0.
[4] Rădulescu, V., *Optimization of aerodynamic airfoils forms placed in supersonic viscous flow*s, Conferința Hidroenergeticienilor, University Politehnica of Bucharest 2011.
[5] Rădulescu, V., Dumitru, S., *Theoretical aspects and numerical modelling for long term prediction of ABL and wind distribution in power farm,* Journal of Sustainable Energy, Vol.1, Oradea, 2015, ISSN: 2067-5534.
[6] Bejan, A., Lorente, S., *Constructal theory of generation of configuration in nature and engineering,* Journ. Applied Physics, July 2010, ISSN: 0002-9505.
[7] Rădulescu, V., *Energy market – A new solution for the future European Community,* Journal of Sustainable Energy, Oradea, 2014, ISSN: 2067-5534.
[8] Voinea, A, Mandrea, L., Oprina, G., *New Method used to Determine the Flow Captured by an Innovative Intake,* Bul. Inst. Polit. Iași, sectia Matematica, Mecanica Teoretică, Fizica, tomul LXI, (LXV), fasc. 4/2015.
[9] Seteanu, I., Rădulescu, V., *A "wall" Turbulent Flow Model for Turbo Machinery Impellers,* Sc. Bulletin, University Polytechnic of Bucharest, Series D: Mechanical Engineering, Vol. 58-59, No.1-4, 2006, ISSN 1220-3041.
[10] Rădulescu, V., Seteanu, I., *The drag Force Estimation for Hydro-Impellers by Boundary Layer Methods*, Scientific Bulletin, University Polytechnic of Bucharest, Series D: Mechanical Engineering, vol. 58-59, No.1-4, pag.115-120, 2006, ISSN 1220-3041.
[11] Rădulescu, V., Seteanu, I., *A hydrodynamic Study model of Plane Cascade of Blades of Variable Thickness*, Scientific Bulletin, University Polytechnic of Bucharest, Series D: Mechanical Engineering, vol. 60, No.1-2 pag.133-136, 2008, ISSN 1220-3041.
[12] Bejan, M., *În lumea unităților de măsură*, ediția a doua revăzută și adăugită, Editura Academiei Române, București 2005 și Editura AGIR, București, 2005.

Prof. Dr. Ing. Victorița RĂDULESCU
Departamentul de Hidraulică, Mașini Hidraulice și Ingineria Mediului,
Universitatea Politehnica București
membru AGIR, e-mail: vradul4@gmail.com