

ASUPRA MODELULUI DIN DĂRA AERODINAMICĂ CREATĂ DE TURBINA DE VÂNT

Asist. drd. ing. R. BĂDĂRĂU,
Universitatea „Politehnica” din Timișoara



Absolventă din 1991 a Universității „Politehnica” din Timișoara, Facultatea de Mecanică, Secția Mașini Hidraulice și Pneumatice. A activat în domeniile: mecanica fluidelor, agregate eoliene, utilizarea și programarea calculatoarelor. A publicat 3 manuale de specialitate și 30 de articole științifice, dintre care 6 în străinătate, în reviste clasificate BDI și ISI.



Prof. dr. ing. Francisc GYULAI,
Universitatea „Politehnica” din Timișoara

Specialist recunoscut în domeniul aeroenergeticii și al turbinelor eoliene. Este absolvent al Institutului Politehnic din Timișoara, promoția 1951; doctor inginer din anul 1972, conducător de doctorat, din 1991. În prezent activează ca profesor consultant la Catedra de mașini Hidraulice din cadrul facultății de Mecanică. Acoordonat o serie largă de programe de cercetare privind valorificarea energiei eoliene.

Prof. dr. ing. Ilare BORDEAȘU,
Universitatea „Politehnica” din Timișoara



Absolvent din 1985 al Institutului Politehnic „Traian Vuia” din Timișoara, Facultatea de Mecanică, Secția Mașini Hidraulice și pneumatice. Obține titlul de doctor inginer, la aceeași facultate, în anul 1997. A activat în domeniile: mecanica fluidelor, turbine hidraulice, fenomenul de cavitație și eroziune cavitațională, acționări hidraulice și pneumatice, tehnologia fabricației mașinilor hidraulice, agregate eoliene. A publicat 10 manuale de specialitate și peste 200 de articole științifice, dintre care 40 în reviste cotate BDI și ISI.

REZUMAT. Lucrarea face referire la dăra aerodinamică produsă de turbina de vânt, din punct de vedere al modului de apariție, dezvoltare și definire a parametrilor săi caracteristici.

Cuvinte cheie: turbină eoliană, dără aerodinamică, viteza vântului, intensitatea turbulentă, turbulența ambientală.

ABSTRACT. The paper studies the aerodynamic wake produced by a wind turbines, from the point of view of their occurrence, development as well as the definition of the characteristic parameters.

Keywords: wind turbine, wake, wind speed, turbulence intensity, ambient turbulence.

1. INTRODUCERE

Dacă se pune problema utilizării turbinelor de vânt pentru a realiza o contribuție semnificativă în producția de energie pe scară largă, este necesară organizarea lor în grupuri de dimensiuni capabile pentru a face utilizarea maximă a ariei cu un bun regim al vântului. Curentul în interiorul unei astfel de matrice poate fi destul de complex. În particular, în interiorul unei matrice, viteza vântului va fi redusă din cauza exploatării în amonte și curentul nu va mai fi distribuit spațial uniform.

În plus, intensitatea turbulentă va crește peste nivelul mediului ambiant (turbulenței ambientale) prin creșterea

vitezei tangențiale și a turbulenței mecanică produsă în dără de rotoarele turbinelor (turbulența generată de turbină și de stratul limită dintre dără și curentul liber). Acești factori vor afecta atât eficiența energiei extrase de matrice, cât și solicitarea la oboseală a turbinelor din matrice.

Este clar că o înțelegere bună a fenomenelor legate de curent în interiorul unui grup de turbine de vânt (a unei centrale, ferme) este esențială pentru o proiectare eficientă, de lungă durată a funcționării și cu estimarea unui cost efectiv al centralei.

Lucrările anterioare în acest domeniu al dărelor și matricelor de turbine au fost în principal bazate pe structura dărelor individuale sau izolate și pe perfor-

anțele totale și eficiența grupurilor de turbine. Cele mai frecvente modele teoretice de performanță ale matricei, procedează prin însumarea efectelor dărelor individuale și astfel se sprijină pe modelele de dâră individuale.

2. DESPRE MODELELE TEORETICE

Câmpul de viteze în vecinătatea aval a unui rotor în lucru este mai degrabă complex și are unele asemănări cu acela al unui rotor de elicopter în zbor.

A măsura sau a descrie complet curentul în regiune este o sarcină mult prea complexă și sunt puține date disponibile.

Ross J.N. a folosit tehnica anemometriei optice pentru a detecta distribuția bimodală a vitezei în vecinătatea aval a unui model de rotor și largă variație ciclică a vitezei la periferia dârăi din cauza vârtejurilor periferice și de asemenea a determinat circulația asociată cu aceste vârtejuri periferice [1].

Totuși, se pare că structură complexă nu persistă departe în aval de rotor, mai ales în cazurile în care este prezentă o turbulență semnificativă de turbulența ambientală, înainte de a fi distrusă de puternicul proces de amestecare care are loc în dâră. Alfredson ș.a. au observat rapida disipare a vârtejurilor periferice în interiorul distanței a două sau trei diametre de rotor și lucrarea lui Milborrow ș.a. indică faptul că întreaga variație a vitezei în dâră datorată încărcării rotorului este în mod rapid redusă cu propagarea dârăi în aval [1].

Tratările teoretice ale structurii dârăi pot fi împărțite în două mari categorii: modele cinematice care sunt în mod esențial empirice și cele care încearcă să rezolve unele aproximări la ecuațiile fizice principale, care guvernează procesul.

Primele dintre aproximările cinematice care includ modelul TNO FARMS sunt din punct de vedere conceptual toate similare, diferind doar în ipotezele diferite făcute pentru a obține asemănarea cu rezultatele modelului la scară redusă și se bazează pe lucrarea lui Lissaman și Bate, iar la bază pe studiile lui Abramovich.

Partea inițială a dârăi este marcată de reducerea gradientului de presiune, a vitezei axială și radială, introdus de procesul de extragere a energiei de către discul rotorului. Aceasta produce expansiunea dârăi și totodată, în mod general, o reducere corespunzătoare a vitezei pe axa centrală la o mică distanță în aval. Această expansiune nevâscoasă (ideală) este în mod normal completă la 1 sau 2 diametre distanță în aval de rotor și este în mod obișnuit considerată, pentru scopul modelării, ca fiind discontinuă în planul rotorului și produce o viteză constantă în dâră în acest punct. Pro-

esul dominant în dâră apropiată este apoi dezvoltarea unui strat de forfecare inelar în miezul central al dârăi și în exterior, în curentul de aer.

În dâră îndepărtată (peste 5D aval, de la începutul zonei intermediare) turbulențele ambientale devin sursă de proces de amestecare cu o oarecare însemnătate și slăbirea efectului de dâră devine similară cu o simplă problemă de difuzie.

Deficitul de viteză pe axa centrală scade exponențial, cu un exponent aproximativ de 1,25 și este tipic pentru această regiune de curent turbulent.

Modelele numerice mai sofisticate ale dezvoltării dârăi se învârt în jurul soluțiilor de aproximare a ecuației Navier-Stokes.

Modelul CERL NWAKE [1] folosește o aproximare turbulent vâscoasă. Acesta consideră un curent axial simetric de dâră care este presupus a fi staționar și care caută o soluție pentru ecuația Navier-Stokes cuprinzând o aproximație a stratului subțire de turbulență tangențială.

Crespo [5] adoptă o aproximare mai riguroasă, care permite includerea efectelor de suprafață plană a terenului, rugozitatea suprafeței și stabilitatea atmosferică. Încă o dată, modelul nu depinde de parametrul timp și folosește aproximația dată de ecuația Navier-Stokes pentru straturile marginale. În acest caz, totuși, este utilizată o soluție de calcul în $k-\epsilon$. Această aproximație produce un sistem de 7 ecuații diferențiale care pot fi rezolvate numeric pentru a determina cele trei componente ale vitezei, presiunea, diferența de temperatură, energia cinetică turbulentă (k) și rata disipării turbulente (ϵ).

Literatura oferă un studiu despre structura dărelor singulare într-o varietate mare de condiții de funcționare și, de asemenea, câteva date cu caracter limitat despre dârăle duble.

Procedură de analiză. Dâră a fost caracterizată prin următorii parametri:

- raportul vitezei vântului:

$$v(z, \theta) = \frac{u(z, \theta)}{u_o(45)} \quad (1)$$

- viteza turbulentă normalizată:

$$\zeta(z, \theta) = \frac{\sigma_u(z, \theta)}{u_o(45)} \quad (2)$$

- intensitatea turbulenței:

$$I(z, \theta) = \frac{\sigma_u(z, \theta)}{u(z, \theta)} \quad (3)$$

unde $u(z, \theta)$, $\sigma_u(z, \theta)$ sunt media și deviația standard ale vitezei vântului măsurată la înălțimea z și direcția

vântului θ și $u_o(45)$ este viteza vântului în curent liber la 45 m înălțime.

Pentru a determina variația acestor mărimi prin dără, în condițiile de funcționare definite, a fost adoptată următoarea procedură:

Au fost selectate date (și înregistrate) pentru următoarele condiții:

- Viteza vântului incident cuprins într-un interval specificat. Aceasta definește efectiv domeniul coeficientului de portanță al rotorului C_T peste care funcționează turbina (curent amonte minim). Coeficientul C_T corespunzător a fost calculat utilizând o rutină de predicție a performanțelor bazate pe o abordare a elementului de paletă. Sunt disponibile datele pentru $0,58 < C_T < 0,91$.

În plus, au fost omise datele pentru care:

- magnitudinea erorii răsucirii rotorului față de direcția vântului este mai mare de 20° . Eroarea de răsucire a fost dedusă din măsurarea direcției vântului și orientarea nacelei. Ambele turbine operează frecvent la erori substanțiale de răsucire (-15°).

- unghiul relevant de înclinare a paletei este în afara unui interval specificat

- citirile anemometrelor s-au judecat a fi greșite pentru:

$$(u(z, \theta) < 0,5 \frac{m}{s} \text{ sau } \sigma_u(z, \theta) < 0,02 \frac{m}{s})$$

3. CONCLUZII

1. Un set valoros de date, care descriu structura dărei în spatele turbinei, a fost cules într-o varietate mare de condiții de exploatare. Aceste date conțin informații pe termen lung, date statistice și detaliate, pe termen scurt.

2. Cele mai multe date descriu structura unei singure dăre și oferă informații despre deficitele de viteză medii și intensitățile turbulenței. Datele din apropierea liniei centrale dincolo de $5D$ (diametre de rotor) în aval sunt

influențate de efectul rotorului staționat din aval. Sunt puține date disponibile despre dăre duble din cauza disponibilității limitate ale uneia dintre turbine, în perioada culegerii de date.

3. Pierderile substanțiale de putere de până la 75% rezultă din utilizarea unei turbine în dăra alteia. Pierderile de putere sunt evidente în intervalul $\pm 20^\circ$ față de direcția considerată a vântului. Pierderea medie de putere în acest interval al direcției vântului este de circa 30% din valoarea neperturbată.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Taylor, G.J., *Wake measurements on the Nibe wind turbine in Denmark*, ETSU WN 5020, Denmark, 1990.
- [2] Gyulai, F., Bej, A., Hentea, T., *Contribution to aerodynamic optimization of HAWT for mountain sites*, ENERGEX 2000-The 8th International Energy Forum and the Conference of the International Energy Foundation, Las Vegas, USA, 2000.
- [3] Lissaman, P.E.J., Bate, E.R., *Energy effectiveness of arrays of wind energy conversion systems*, Aerovironment Report AVFR 7050, 1977.
- [4] Ainslie, J.F., *Development of an eddy viscosity model for wind turbine wakes*, Proceedings of the 7th BWEA Conference, Oxford, 1985.
- [5] Crespo, A., Hernandez, J., Licken, E., *Validation of turbulence models of wind turbine wakes*, Proceedings of European Community Wind Energy Conference, Denmark, 1988.
- [6] Spera, D. A. *Wind Turbine Technology*, ASME Press, New York, USA, 1994.
- [7] Lissaman, P.B.S., *Wind Turbine Airfoils and Wakes*, Chapter 6, pp. 283-332, în *Wind Turbines Technology* (Spera D.A.), ASME Press, New York, USA, 1994.
- [8] Gyulai, F., "Considerații privind modelele fizice ale valorificării energiei vântului", *Progrese în fizică*, Timișoara, 1981.
- [9] Gyulai, F., *Modele diferențiate de calcul pentru agregate și centrale aeroelectrice*, Conferința de mașini hidraulice și hidrodinamica, Vol 5 Agregate aeroelectrice, Timișoara 1985.
- [10] Bej, A., Manca, A., *Some issues concerning wind turbine wake*, Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timișoara, Transaction on Mechanics, Tom 52 (66), Fasc 4, 2007, pg.15-21