



A XI-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2011

TURBULENȚA VÂNTULUI CAPTAREA DE ENERGIE SUPLIMENTARĂ

Ionel Doru BACIU, Ilare BORDEAȘU

TURBULENT WIND ADDITIONAL ENERGY CAPTURE

The energy provided by a wind turbine over a year, can be estimated by integrating the power curve, the velocity distribution is known while. In these circumstances, it ignores the extra energy could be captured by the wind turbine, the wind speed turbulence.

This article aims to highlight this.

Finally, presents graphically experimental measurements of wind turbine OPMS-7, which shows that the same average speed measured wind turbine power debited different.

Keywords: extra energy, wind turbine, captured, turbulence, wind speed, wind speed turbulence intensity

Cuvinte cheie: energia suplimentară, turbina de vânt, captată, turbulența vitezei vântului, intensitatea turbulenței vitezei vântului

1. Introducere

Atunci când se proiectează turbinele de vânt, pentru un amplasament la care se cunoaște potențialul aeroenergetic, viteza amonte de calcul, se consideră cu turbulență zero.

Și dacă se testează modelele de turbine de vânt în tunel, viteza amonte are turbulență neglijabilă (zero).

Dar, turbinele industriale funcționează în condiții climatice naturale, în care viteza vântului are o turbulență, deloc de neglijat.

2. Turbulența vitezei vântului

Energia furnizată de o turbină de vânt de-a lungul unui an se poate estima, prin integrarea curbei de putere, atunci când se cunoaște distribuția vitezei în timp - distribuția Weibull (figura 1).



Fig.1 Calculul producției de energie eoliană

În aceste condiții, nu există energie suplimentară ce ar putea fi captată de turbina de vânt, din turbulența vitezei.

Această lucrare, dorește să pună în evidență energia suplimentară care poate fi captivată în condiții naturale. Menționăm că oscilațiile foarte rapide ale vitezei vântului, sunt preluate de către rotorul turbinei, dar din cauza inerției turbinei, nu se poate observa accelerarea sau decelerarea rotorului turbinei de vânt. Deci, punctul de funcționare, la oscilații rapide ale vitezei vântului, rămâne teoretic, același.

3. Calculul energiei suplimentare captate în vânt turbulent

Pentru a pune în evidență energia suplimentară captată în vânt turbulent, calculăm raportul cuburilor vitezei medii, cu turbulență $\overline{V + v}$ (unde: v – este pulsația vitezei vântului) și fără turbulență (\overline{V}):

$$\frac{(\overline{V + v})^3}{\overline{V}^3} = 1 + 3 \cdot \frac{\overline{v}}{\overline{V}} + 3 \cdot \frac{\overline{v}^2}{\overline{V}^2} + \frac{\overline{v}^3}{\overline{V}^3} \quad (1)$$

în care, dacă se neglijează termenii de grad mai mare de doi, se obține relația:

$$\frac{(\overline{V + v})^3}{\overline{V}^3} = 1 + 3 \cdot I \quad (2)$$

unde: $I = \bar{v} / \bar{V}$ - se numește, intensitatea turbulenței vitezei vântului.

În tabelul 1, se asociază la diferite valori ale intensității turbulenței vitezei vântului I , valori posibile ale creșterii de energie eoliană ΔE . Se observă că, pentru valori ale intensității turbulenței vântului de peste 13 %, energia eoliană crește cu peste 5 %.

Având în vedere tendința actuală, de creștere a puterilor instalate pe turbinele eoliene (1 - 3 MW) [2], sporul de energie ar fi considerabil.

Tabelul 1

I	%	2.5	5	7.5	10	12.5	15
ΔE	%	0.18	0.75	1.68	3	4.69	6.75

4. Analiza funcționării turbinei de vânt

Accelerația rotorului turbinei este determinată de diferența dintre momentul aerodinamic M_a și cel rezistent M_r , dezvoltat pe arborele turbinei, adică:

$$M_a - M_r = J \cdot \dot{\Omega} \quad (3)$$

Momentul aerodynamic, este dat de relația:

$$M_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_M \cdot S \cdot R \cdot V^2 \quad (4)$$

Momentul rezistent l-am considerat pe cel electric (pierderile mecanice sunt practice constante), moment ce poate fi considerat direct proporțional cu pătratul vitezei unghiulare Ω :

$$M_r = M_e = k \cdot \Omega_0^2 \quad (5)$$

În condiții staționare optime de funcționare (viteza constantă și egală cu cea de calcul, adică: $\Omega = \Omega_0$, $\lambda = \lambda_0$, $c_M = c_{M_0}$), s-a determinat constanta k :

$$k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^5 \cdot \frac{1}{\lambda_0^2} \quad (6)$$

Din relația (6), se poate determina momentul electric (adică cel rezistent), înlocuind relația (6) în relația (5):

$$M_e = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_{M_0} \cdot \pi \cdot R^5 \cdot \frac{\Omega_0^2}{\lambda_0^2} \quad (7)$$

Și astfel relația (3) devine :

$$c_M \cdot V^2 = R^2 \cdot \frac{c_{M0}}{\lambda_0^2} \cdot \frac{\Omega_0^2}{\lambda_0^2} + J \frac{\dot{\Omega}}{2 \cdot \sigma \cdot \pi \cdot R^3} \quad (8)$$

În continuare se consideră funcționarea turbinei în jurul punctului optim de funcționare, adică:

$$c_P = c_{P0} - \alpha \cdot \frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{\lambda} \quad (9)$$

Din coeficientul de putere c_P , se determină coeficientul de moment: $c_M = c_P/\lambda$ și se obține:

$$c_M = \frac{c_P}{\lambda} = \frac{c_{P0}}{\lambda} - \alpha \cdot \frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{\lambda} = \frac{c_{P0}}{R \cdot \Omega} \cdot V - \alpha \cdot \left(\frac{R \cdot \Omega}{V} - 2 \cdot \lambda_0 + \frac{\lambda_0^2 \cdot V}{R \cdot \Omega} \right) \quad (10)$$

În aceste condiții, relația (8), devine:

$$\begin{aligned} & \lambda_0^3 \cdot c_{P0} \cdot V^3 - \alpha \cdot \lambda_0^3 \cdot R^2 \cdot \Omega^2 \cdot V + 2 \cdot \alpha \cdot \lambda_0^4 \cdot R \cdot \Omega \cdot V^2 - \alpha \cdot \lambda_0^5 \cdot V^3 = \\ & = R^3 \cdot c_{P0} \cdot \Omega^3 + J \cdot \frac{2 \cdot \lambda_0^3 \cdot \Omega \cdot \dot{\Omega}}{\rho \cdot \pi \cdot R^2} \end{aligned} \quad (11)$$

În continuare înlocuim valorile vitezei vântului, $V = \bar{V} + v$ și a vitezei unghiulare, $\Omega = \bar{\Omega} + \omega$. Și se obține relația:

$$A \cdot \omega + B \cdot \dot{\omega} + C = 0 \quad (12)$$

unde: $A = 2 \cdot \alpha \cdot \lambda_0^4 \cdot R \cdot \bar{V}^2 \cdot 2 \cdot \alpha \cdot \lambda_0^3 \cdot R^2 \cdot \bar{\Omega} \cdot \bar{V} \cdot 3 \cdot R^3 \cdot c_{P0} \cdot \bar{\Omega}^2$;

$$B = -J \cdot \frac{2 \cdot \lambda_0^3 \cdot \bar{\Omega}}{\rho \cdot \pi \cdot R^2};$$

$$\begin{aligned} C = & v \cdot \lambda_0^3 \cdot \left[3 \cdot (c_{P0} - \alpha \cdot \lambda_0^2) \cdot \bar{V}^2 + 4 \cdot \alpha \cdot \lambda_0 \cdot R \cdot \bar{\Omega} \cdot \bar{V} - \alpha \cdot \lambda_0^2 \cdot R^2 \cdot \bar{\Omega}^2 \right] + \\ & + \lambda_0^3 \cdot (c_{P0} - \alpha \cdot \lambda_0^2) \cdot \bar{V}^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \lambda_0^4 \cdot R \cdot \bar{\Omega} \cdot \bar{V}^2 - \\ & - \alpha \cdot \lambda_0^3 \cdot R^2 \cdot \bar{\Omega}^2 \cdot \bar{V} - R^3 \cdot c_{P0} \cdot \bar{\Omega}^3. \end{aligned}$$

Se calculează constantele A, B și C și se înlocuiesc în relația (12). Din această relație, se poate determina pulsația vitezei unghiulare ω . Astfel, se poate calcula, puterea la arborele turbinei:

$$P = M_e \cdot \Omega = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^5 \cdot \frac{C_{Mo}}{\lambda_0^2} \cdot \Omega^3 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^5 \cdot \frac{C_{Mo}}{\lambda_0^2} \cdot (\Omega_0 + \omega)^3 =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^5 \cdot \frac{C_{Mo}}{\lambda_0^2} \cdot \Omega_0^3 \cdot \left(1 + 3 \cdot \frac{\omega}{\Omega_0}\right) = P_0 \cdot \left(1 + 3 \cdot \frac{\omega}{\Omega_0}\right) \quad (13)$$

În relația (13), se poate observa, o creștere a puterii captate de turbina eoliană, cu un coeficient: $\beta = 1 + 3\omega/\Omega_0$.

5. Măsurători efectuate pe turbina de vânt AAETO – L1

Măsurători efectuate pe turbina de vânt AAETO – L1 au pus în evidență cele descrise până acum.

Pe aeroagregatul AAETO-L1, din Timișoara au fost încercate două seturi de palete de vânt.

Aceste palete eoliene, au fost concepute în cadrul Catedrei de Mașini hidraulice din Timișoara.

Observații în legătură cu influența turbulenței vântului asupra captării de energie a turbinei eoliene de mai sus, se poate face numai pe al doilea set de palete, OPMS-7. Primul tip, SK a fost încercat, în condiții în care nu s-a avut posibilitatea de înregistrare a fluctuațiilor vitezei vântului.

În figura 2 sunt prezentate două valori ale vitezei vântului, pe setul de palete OPMS-7. Se poate observa că, pentru cele două valori ale vitezei vântului (10,93 și 13,27 m/s), s-au înregistrat de aparatele de măsură, trei, respectiv două valori de puteri (toate măsurătorile prezentate, au fost înregistrate la viteze crescătoare ale vitezei vântului, cu abateri de direcție a vântului sub 10° , față de axa nacelei).

Considerând de exemplu, viteza vântului de 13,27 m/s, se poate observa o creștere a puterii de aproximativ 5 %, de la 13,11 la 13,84 kW.

6. Concluzii

- Energia captată în vânt turbulent este doar o mică parte din energia captată în condiții normale.

Captarea acesteia în condiții naturale, suplimentează energia calculată pe o perioadă de timp.

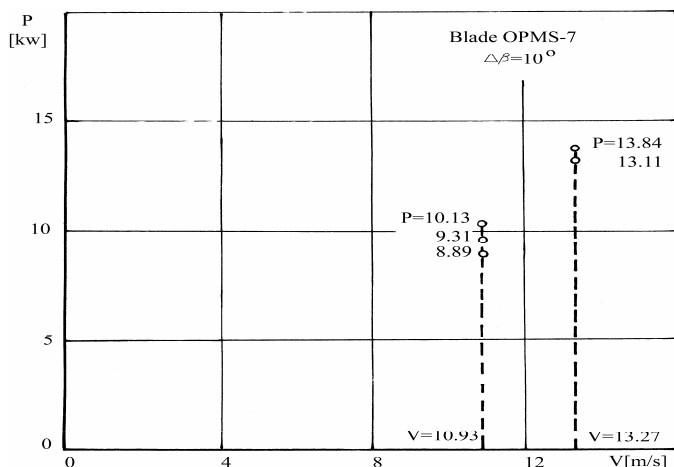


Fig. 2 Valori ale puterilor înregistrate, pentru două valori ale vitezei vântului

■ Comparată cu energia produsă la viteze medii ale vântului, aceasta este mai mare cu până la 5 %, funcție de turbulența vântului. La puteri instalate mari (1 – 3 MW), aceasta nu este de neglijat [3].

BIBLIOGRAFIE

- [1] Lindley, D., Gamble, C., Lord, E., *Performance up date on the WEG 5 MW wind farm*, AWEA WINDPOWER 1998, pag. 1-7.
- [2] Squin, J.Le, Billon, M., *Turbulent wind and wind energy, conversion system. Evaluation of the power curve*, EWEC '89, 10-13 July, Glasgow, pag. 841-845.
- [3] Verheij, F.J., *The Dutch handbook for wind energy production estimates*, TND Division of technology for Society, Pub. No.CB/213, July 1989.
- [4] Bejan, M., *În lumea unităților de măsură*. Ediția a doua revăzută și adăugită. Editura Academiei Române și Editura AGIR, București, 2005.

Asist.Dr.Ing. Ionel Doru BACIU
e-mail: dodo.i.baciu@gmail.com
Prof.Dr.Ing. Ilare BORDEAȘU, șef de catedră Mașini Hidraulice,
Universitatea Politehnică din Timișoara, membru AGIR
e-mail: bordeasu_ilare@yahoo.com