

CONSIDERAȚII ASUPRA MODELULUI WEIBULL FOLOSIT ÎN EVALUAREA POTENȚIALULUI AEROENERGETIC

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.

ABSTRACT. The investment in wind power farms or individual turbines must take into account the aerodynamic potential of the site. In the case of the absence of extended data, there can be used evaluations of the mean wind velocity and the use of Weibull constants, which offer a better evaluation of the potential than simply using only the mean wind velocity. The paper presets in detail, this method.

Keywords: wind energy, Weibull method, frequency distribution function, cumulative distribution function, average wind speed, shape parameter, scale parameter, location parameter.

REZUMAT. Investițiile în ferme de vânt și turbine singulare se bazează pe informații privind potențialul de vânt al amplasamentului. În cazul în care nu există o bază de date extinsă, fiind evaluată doar viteza medie, se folosesc constantele Weibull, care oferă o metodologie de evaluare a potențialului vitezei vântului mai utilă decât numai aceea a vitezei medii. Pornind de la această metodă, în lucrare, s-a dorit o generalizare cu scopul de a identifica cei trei parametrii Weibull știind, sau evaluând, viteza medie a vântului pe o anumită amenajare.

Cuvinte cheie: energie eoliană, modelul Weibull, funcție de frecvență, funcția de asigurare, viteza medie a vântului, parametru de formă, parametru de scară, parametru de localizare.

1. INTRODUCERE

Investițiile în ferme de vânt și aplicații ale turbinelor singulare se bazează pe informații privind potențialul de vânt al amplasamentului care a fost ales pentru această aplicație. Eficiența investiției depinde în principal de cât de potrivită este tehnica aleasă (dată de tipul turbinei, diametrul rotorului, înălțimea stâlpului, etc.) și potențialul de vânt al locației.

Centrul de Cercetare pentru Aeroenergetică (CCAIE) din Universitatea „Politehnica” din Timișoara a propus modelul Weibull cu trei parametrii folosit pentru caracterizarea amenajărilor pentru viitoarele ferme de vânt [1, 5, 7].

Pornind de la această metodă, în lucrare, s-a dorit o generalizare cu scopul de a identifica cei trei parametrii Weibull știind, sau evaluând, viteza medie a vântului pe o anumită amenajare, care are, de asemenea, asociată o rugozitate caracteristică.

Constantele Weibull, în această formă generală, oferă o metodologie de evaluare a potențialului vitezei vântului mai utilă decât numai aceea a vitezei medii.

De obicei, modelul Weibull aproximat în mod uzual în literatură, concentrează informațiile pe un număr redus de constante care permit construirea curbei de distribuție a frecvenței vitezei (curba de frecvență) și curba de distribuție cumulativă (curba de asigurare) în mod direct în cadrul unei aplicații software.

2. MODELUL WEIBULL PROPUȘI FOLOSIT DE CCAE

Modelul utilizează pentru frecvențe metoda „cutiilor” („bini”). Cutia reprezintă un interval al vitezei vântului având o valoare centrală și o lățime asociată, de exemplu $0 \pm 0,5$; $1 \pm 0,5$; $2 \pm 0,5$; $3 \pm 0,5$ etc. m/s.

Vitezele vântului sunt considerate valori medii pentru perioade scurte de timp de câteva minute corespunzând metodologiei de definire a stațiilor meteorologice. În acest fel sunt identificate în mod statistic frecvențele sau perioadele corelate cu cutiile de viteze de vânt, care mai apoi sunt corelate cu valoarea centrală a cutiei permițând trasarea a două tipuri de curbe:

- *curba de frecvență* – frecvenței i se asociază durate (ore/an sau % din numărul total de ore într-un an sau alt interval de timp, de exemplu mai mulți ani);

- *curba de asigurare* – aceasta este o altă ordonare a vitezelor mediate pe timp scurt. Curba are în abscisă frecvența, respectiv durata (ore/an), iar în ordonată pragul de viteză asigurat ($v \geq$).

Curbele sunt legate între ele prin operațiile de derivare-integrare. Curba de frecvență se poate obține prin derivarea curbei de asigurare.

Aproximarea analitică a celor două curbe este practică prin utilizarea funcțiilor de tip Weibull [1], [7]. Astfel se obține o concentrare a informației, ea fiind redusă la trei sau două constante. În acest caz funcțiile de tip Weibull sunt de forma:

- funcția de frecvență:

$$FF(v) = \frac{8760}{c} \cdot k \left(\frac{v-a}{c} \right)^{k-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{v-a}{c} \right)^k \right] \quad (1)$$

- funcția de asigurare:

$$FA(v \geq) = 8760 \cdot \exp \left[- \left(\frac{v-a}{c} \right)^k \right] \quad (2)$$

unde: k este parametrul de formă;

c – parametrul de scară;

a – parametrul de localizare.

Curbele pot fi approximate și cu ajutorul a doi parametri k și c ($a = 0$). Această simplificare este practică în mod curent. Fizic simplificarea se referă la neglijarea timpului asociat calmului. În acest caz binul aferent lui $v = 0 \pm 0,5$ m/s se asociază cu $\Delta T = 0$ ore/an, deci curba de frecvență trece prin originea sistemului de referință. Mai ales la viteze de vânt mici această simplificare deformează fenomenul real și valoarea vitezei medii.

Frecvențele vitezei vântului rezultate folosind relația:

$$v_{extr.} = k_e \cdot v_{mr} \quad (3)$$

unde $k_e = 8,7$; $9,2$; 10 pentru o perioadă de 30, 50 și 100 de ani sunt exprimate în ore/an sau dacă sunt raportate la valoarea 8760 în valori relative.

Dacă se dispune de o bază de date întocmită în condiții suficient de riguroase, constantele se determină cu diferite metode matematice prin plasarea curbelor în zona centrală a dispersiei punctelor măsurate.

În cazul în care nu există o bază de date extinsă, fiind evaluată doar viteza medie v_m pe o perioadă suficient de lungă, constantele Weibull alese întâmplător pot duce la erori mari în evaluările energetice.

Folosind datele din [2], [3], [4], [5] și alte referințe s-au stabilit următoarele relații probabile pentru dependența constantelor Weibull de viteza medie:

- pentru parametrul de formă:

$$k = \text{const.}k \cdot \sqrt{v_m} \quad (4)$$

unde $\text{const.}k = 1,05 - 0,73$ (valoarea medie 0,94) conform [5].

Valori utilizate de NASA pentru amplasamente din SUA sunt $\text{const.}k = 0,9144 - 0,9002$ pentru domeniul $v_m = 5,58 - 9,81$ m/s, conform [6].

- pentru parametrul de scară:

$$c = \frac{v_m}{-0,09562 - 0,1236 \cdot k + 0,68605 \cdot \sqrt{k} + \frac{0,51928}{k}} \quad (5)$$

valabil pentru $k = 1-7$

Pentru domeniul $k = 1,5 \dots 4$ se poate folosi și o relație mai simplă pentru c :

$$c_{aprox} = \frac{v_m}{0,9 \pm 0,01} \quad (6)$$

- pentru parametrul de localizare (s-au avut în vedere informațiile din referințele bibliografice din [7]):

$$a \cong -c \cdot \left(\ln \frac{8760}{T_0} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (7)$$

unde: $T_0 = 8760 - \Delta T_c$ (8)

și $\Delta T_c = 3050 \cdot v_m^{-1,65}$ (din baza de date) (9)

T_0 este timpul asigurat pentru $v = 0$, iar ΔT_c reprezintă durata calmului în [ore/an].

Durata calmului a fost evaluată pentru baza de date din [7].

Folosind curbele de frecvență a rezultat o comparație între datele experimentale (în domeniul restrâns de viteze 1-10 m/s) și curbele Weibull (în domeniul extins 0-25 m/s) calculate pentru constantele $k = 1,05; 0,94; 0,73$ (fig. 1).

Pe baza studiilor și rezultatelor obținute [6], [7], inclusiv cele de mai sus, CCAE a tras concluzia că metodologia de evaluare a constantelor Weibull este satisfăcătoare pentru calcule orientative care au la bază o viteză medie evaluată.

În privința corelărilor dintre cele două curbe Weibull (curba de asigurare $FA(v)$ și curba de frecvență $FF(v)$) se pot face câteva precizări practice. Curba FF este o curbă derivată a lui FA .

$$FF(v) = \frac{d(FA)}{dv} \quad (10)$$

S-a completat această metodologie cu o metodă originală de găsite a coeficienților Weibull. Pornind de la

valoarea vitezei medii și verificând prin integrarea curbei de frecvență valoarea vitezei medii nu se regăsește valoarea de intrare cu suficientă precizie. Pentru înlăturarea acestei dificultăți s-a introdus o procedură constând în corectarea mărimii v_m în relații de forma $(m \cdot v_m)$. Constanta de corecție (m) se ajustează prin iterație în așa fel ca viteza medie obținută prin integrarea curbei de frecvență să rezulte la valoarea (v_m).

În tabelul 1 sunt afișate constantele Weibull pentru domeniul vitezelor medii (2...6 m/s).

În figura 2 am pus în evidență comparația dintre rezultatele obținute cu coeficienți Weibull diferiți, cei din literatură, peste care am suprapus funcția de frecvență găsită cu valorile coeficienților dați de vechea metodă (metoda CCAE) și noua metodă.

Tabelul 1. const.k = 0.9

v_m [m/s]	c	k	a
2	2.170	1.329	-0.434
3	3.343	1.628	-0.585
4	4.500	1.880	-0.768
5	5.642	2.102	-0.971
6	6.769	2.303	-1.190

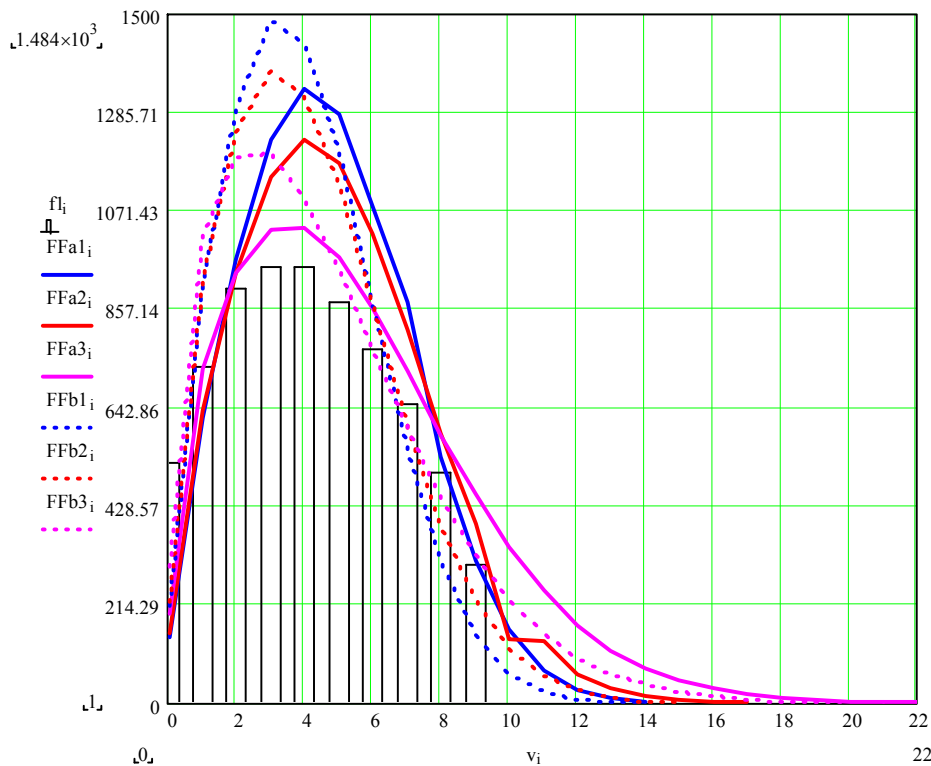


Fig. 1

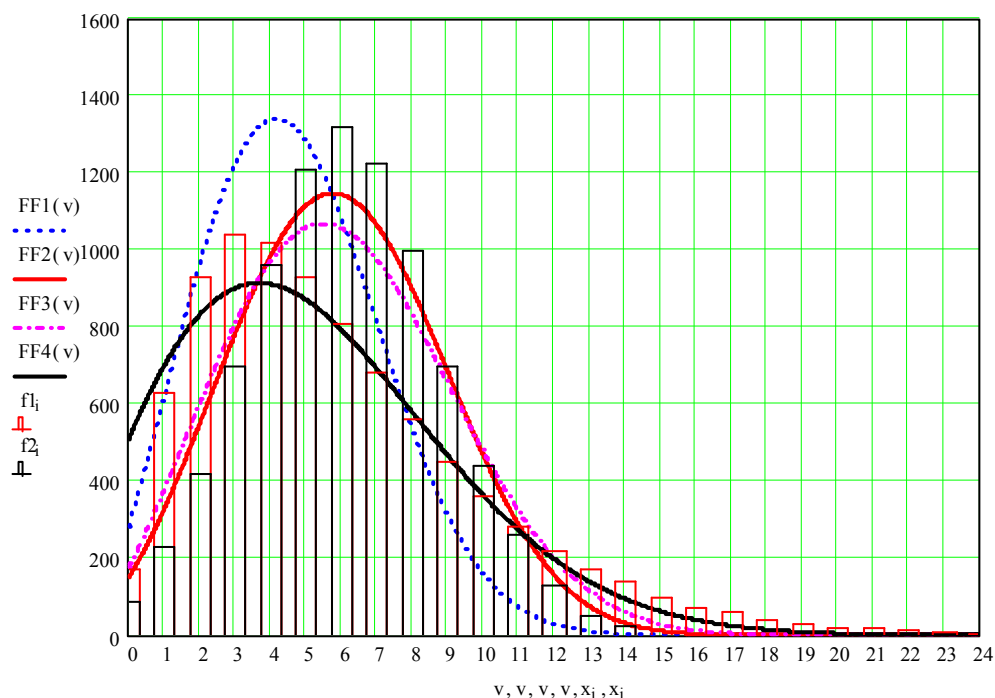


Fig. 2

Frecvența pentru un bin (cutie) depinde de valoarea centrală a vitezei și de lățimea binului: $v \pm \Delta v$, lățimea fiind $2 \cdot \Delta v$.

Frecvența asociată cutiei este $f = FF(v) \cdot (2 \cdot \Delta v)$.

Doar în cazul $2 \cdot \Delta v = 1$ frecvența este egală cu valoarea dată de curba $FF(v)$, de exemplu pentru binul de calm: $v = 0 \pm \Delta v$

În cazul $\Delta v = 0,5$, $f_0 = FF(0,25) \cdot 0,5$

3. CONCLUZII

Valorile găsite până în acest moment pentru constantele Weibull sunt valori de pornire pentru calculul iterativ al funcției de frecvență, respectiv al funcției de asigurare (se observa că relațiile lui FF și FA sunt în funcție de viteză). Astfel dacă am obținut o primă valoare a vitezei medii v_m , dorim ca să folosim această valoare la următoarea iterație. Astfel se recalculază coeficienții și apoi noile valori pentru FF, FA, respectiv v_m . Folosind programul din MathCad, folosit și în cazul reprezentării grafice de mai sus, se revine la prima valoare a lui v_m și se obțin automat toate celelalte valori care ne interesează. Însă, se observă că aceste iterații nu

duc la o valoare spre care să convergă viteza medie. Astfel s-au făcut calculele pentru diferite valori ale vitezei ($v_m = 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14$ m/s) pentru cele trei cazuri ale $const.k = 1,05; 0,94; 0,73$.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **Bej, A.**, *Turbine de vânt*, Editura Politehnica, Timișoara, 2003.
- [2] **Justus, C. G.**, *Winds and Wind System Performance*, The Franklin Institute Press Philadelphia, Pennsylvania, 1978
- [3] **Spera, D. A.**, *Wind Turbine Technology*, ASME Press, New York, USA, 1994.
- [4] **Martens, L.K.**, *Mashinostroenie – Tom 12*, Moskva, URSS, 1949, pp.207-208
- [5] **Preda, I., Santau, I.**, *Experimental Researches Concerning the Wind Speed Distribution in Semenic Massif*, The Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics, Timișoara, Romania.
- [6] **Gyulai, F., Bej, A.**, *Wind Potential Informatics*, Symposium „Hidroinformatica”, Hidrotim SA, Timișoara, Romania, 2002.
- [7] **Bej, A., Gyulai, F.**, *Approximate Evaluation of Wind Power Database for Site Semenic*, Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timișoara Transactions on Mechanics Special issue, The 6th International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics Timișoara, Romania, October 21-22, 2004.
- [8] **Bădărău R.** (2007), Referat doctorat. Metode numerice aplicabile domeniului turbinelor neîntubate (elicea și dâra ei), 2007.