



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

DETERMINAREA VITEZEI VÂNTULUI PE BAZA VALORILOR MĂSURĂTORILOR EXPERIMENTALE OBTINUTE DE LA STÂLPI ANEMOMETRICI

Ioan ION, Constantin Viorel CÂMPIAN, Adrian CUZMOȘ,
Cosmin DUMBRAVĂ

DETERMINATION OF WIND SPEED BASED ON EXPERIMENTAL VALUES OBTAINED FROM ANEMOMETERS POLES

Initial phase of an investment for a wind farm must contain the exact wind potential in the target area. Where are used to determine weather features anemometers poles, can accurately assess the wind potential on top of the pole and above. Using the experimental values can determine wind speed at heights above the pole, but it is possible to check the accuracy of function required of wind velocity with height.

Cuvinte cheie: vânt, viteza vântului, energia și puterea vântului, funcția de variație a vitezei vântului, strat limită

Keywords: wind, wind speed, wind energy and power, variation function for wind speed, boundary layer

1. Introducere. Generalități. Obiectul lucrării

Până acum câteva decenii creșterea consumului de energie în general și a celei electrice în special, era soluționată atât în mod clasic prin creșterea extracției combustibililor fosili, cât și prin dezvoltarea centralelor nucleare. Utilizarea resurselor regenerabile se situa pe locul secund.

În urma creșterii populației (și a tendinței firești de ridicare a nivelului de trai) și implicit a creșterii numărului de locuințe, clădiri, industrii, mijloace de transport se produc tot mai multe emisii de dioxid de carbon și alte gaze nocive. Pe de altă parte creșterea continuă a necesarului de energie a devenit o necesitate evidentă și chiar urgentă.

Accidentele produse în centrale nucleare precum și poluarea tot mai accentuată a generat o justificată mișcare ecologică la nivel global.

Schimbările climei produse la scară planetară în ultimii ani și consecințele dezastruoase ale acestora constituie marea provocare a următoarelor decenii pentru omenire.

Protocolul de la Kyoto a fost negociat (în decembrie 1997) de către 160 de țări. Acordul prevede, pentru țările industrializate, o reducere a emisiilor poluante de 5,2 % în perioada 2008 – 2012 în comparație cu cele din 1990.

Directiva 201/77/CE a Parlamentului și Consiliului European privind promovarea energiei electrice produse din surse de energie regenerabile, reprezintă prima acțiune concretă a U.E., de atingere a obligațiilor de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră, la care s-a angajat prin ratificarea Protocolului de la Kyoto.

România a transpus în legislația proprie prevederile directivei europene și și-a stabilit ca țintă orientativă, pentru anul 2012, ca 33 % să reprezinte ponderea E-SRE din consumul intern brut de energie electrică. Promovarea producerii energiei electrice din resursele regenerabile de energie (E-SRE) reprezintă un imperativ al perioadei actuale motivat atât de protecția mediului cât și de creșterea independenței energetice față de importuri prin diversificarea surselor de aprovizionare cu energie.

Potențialul hidroenergetic al României este folosit la nivel de 50 %. Potențialul eolian este estimat la 14.000 MW (putere instalată). Creșterea producției de energie electrică din surse hidro și eoliene este justificată și se înscrie în tendința-obiectiv a țării de reducere a emisiilor poluante cu 39 % în 2020 față de 1990. Alături de aceste două forme există preocupări și pentru punerea în valoare a energiei solare (direct prin fenomenul fotovoltaic), a biomasei și a energiei termale.

Energia eoliană, conținută de masele de aer puse în mișcare de către razele calde ale soarelui, este practic inepuizabilă și a fost cunoscută și utilizată de mult timp.

Punerea în valoare a energiei eoliene trebuie făcută totuși eficient și prin urmare orice acțiune în acest sens trebuie să se bazeze pe răspunsuri clare la întrebări de genul: care este potențialul energetic

al vântului într-o anumită zonă, ce cantitate de energie va fi produsă, cu ce costuri etc.

Potențialul eolian într-o locație se poate determina prin măsurători. De-a lungul timpului (și în diferite domenii) măsurarea caracteristicilor meteorologice au constituit obiective clare și au fost atinse folosindu-se mijloace corespunzătoare etapelor istorice de dezvoltare ale economiei și nivelului tehnic și tehnologic al societăților respective.

Pornind de la propriile simțuri, oamenii și-au închipuit și folosit mijloace din ce în ce mai evoluate pentru cuantificarea caracteristicilor atmosferice. În perioada actuală pentru măsurarea, înregistrarea și transmiterea valorilor măsurătorilor se folosesc echipamente specializate. Pentru măsurarea vitezei vântului se folosesc anemometre (mecanice și ultrasonice), instalații cu ultrasunete (de tip SODAR), instalații bazate pe lasere (LIDAR) etc.

Având în vedere că viteza vântului crește cu înălțimea, este logic ca dispunerea turbinelor eoliene să se facă la înălțimi cât mai mari posibile. Acest fapt implică însă și cunoașterea vitezei vântului la înălțimi cât mai mari (80, 100 m sau chiar superioare). Utilizarea anemometrelor presupune dispunerea lor pe stâlpi specializați la înălțimi bine stabilite și de dorit cât mai mari. Acest fapt atrage după el costuri direct proporționale cu înălțimea stâlpilor. Deci dorința de a avea valori, ale măsurătorilor vitezei vântului, la înălțimi cât mai mari trebuie susținută financiar cu costuri corespunzătoare.

Obiectul lucrării de față este acela de a verifica (pe baza datelor experimentale) în ce măsură este acceptabilă o estimare teoretică a vitezei vântului, pentru înălțimi superioare, față de înălțimile pentru care există valori măsurate.

Cunoscute fiind viteza vântului (pentru o înălțime urmărită egală cu înălțimea axului turbinei) și valorile pentru presiunea și temperatura aerului, se poate calcula care este puterea (teoretică) a maselor de aer care pun în mișcare palele și rotorul generatorului.

2. Măsurarea caracteristicilor meteo

2.1 Instalații și parametrii meteo monitorizați

În materialul de față s-au folosit valori ale măsurătorilor experimentale obținute de la două tipuri de stâlpi anemometrici:

- stâlp marca Lattice Wind Most cu 5 nivele de măsurare a vitezei vântului (35, 48, 58, 60, 61,5 m), folosindu-se

anemometre marca Thies Wind Transmitter (cu și fără rezistențe de încălzire) și senzori de măsurare a presiunii și temperaturii/umidității aerului marca Vaisala. La acest tip de stâlp s-a folosit un Data Logger marca Nomad 2.

- stâlp marca NexGen pe care s-au dispus 3 anemometre (la înălțimi de 15, 25 și 50 m) și senzori pentru măsurarea temperaturii, umidității și presiunii aerului. Toată aparatura folosită este fabricată de firma Ammonit din Germania.

Cu dotarea de mai sus s-a monitorizat mișcarea maselor de aer, în zona de dispunere a stâlpilor de-a lungul a doi ani de zile, valorile măsurătorilor fiind constituite într-o bază de date.

2.2 Principiul de lucru. Relații matematice

Toate softurile folosite pentru evaluarea potențialului eolian trebuie în fapt să cuantifice energia (implicit puterea) maselor de aer care se deplasează și pun în mișcare palele rotorului generatorului electric.

Sunt admise, pentru calcul, o serie de ipoteze de lucru care sunt foarte apropiate de situația reală. În baza ipotezelor acceptate se pot scrie următoarele relații matematice:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (1)$$

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \quad (2)$$

$$\frac{v}{v_r} = \left(\frac{h}{h_r} \right)^\alpha \quad (3)$$

unde: E_c este energia cinetică a masei de aer;
 m – masa aerului care lovește rotorul turbinei;
 v – viteza aerului la înălțimea h a axului turbinei;
 p – presiunea atmosferică măsurată;
 V – volumul de aer al masei de aer care lovește rotorul turbinei;
 M – masa molară a aerului;
 R – constanta gazului ideal;
 T – temperatura măsurată a aerului;
 v_r – viteza de referință a aerului;
 h_r – înălțimea de referință;
 h – înălțimea axului turbinei;
 α - exponentul stratului limită;

Coeficientul care caracterizează profilul exponențial al stratului limită pentru o înălțime $h > h_r = 50$ m poate fi calculat prin utilizarea coeficienților determinați pentru intervalele înălțimilor la care s-au măsurat vitezele vântului ($h_1 = 15$ m, $h_2 = 25$ m și $h_r = 50$ m).

Puterea specifică (măsurată în W/m^2) se va calcula cu ajutorul relației:

$$P_{sp} = \frac{P}{A} = \frac{E_c}{t \cdot A} \quad (4)$$

După înlocuiri și ținând seama de valorile constantelor M și R se obține relația de calcul a puterii specifice în care se înlocuiesc valorile măsurate pentru presiunea (în hPa) și temperatura aerului (în K):

$$P_{sp}^h = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot \frac{3,483925 \cdot 10^{-3} \cdot p}{T} \cdot v_h^3 \quad (5)$$

În principiu, calculul puterii specifice teoretice a maselor de aer la înălțimi superioare celei la care s-au făcut determinările experimentale, se reduce la determinarea vitezei vântului la înălțimea respectivă.

În literatura de specialitate se admite că variația vitezei vântului, raportată la înălțime, se comportă după o funcție exponențială.

$$v_h = v_r \cdot \left(\frac{h}{h_r} \right)^\alpha \quad (6)$$

Exponentul funcției (α) în cauză, caracterizează stratul limită terestru în zona în care se fac măsurătorile.

2.3 Punerea problemei

Pentru ca investițiile să conțină cât mai puțini factori de risc ele trebuie să se bazeze pe informații bine fundamentate. În cazul generatoarelor electrice eoliene informația cea mai importantă (în afară de datele despre teren, drumuri, rețele electrice, condiții naturale etc.) este asupra potențialului eolian, în speță despre viteza vântului și variației ei de-a lungul anului. Pentru a se risca cât mai puțin, în perioada de evaluare, s-au proiectat, fabricat, montat și urmărit stâlpi de susținere (a aparaturii de monitorizare a atmosferei) cât mai înalți. Pentru exemplificare se precizează că în perioada actuală se folosesc stâlpi cu înălțimi de 50, 60, 70, 84 și 105 m. Evident că și costurile (atât cele de bază cât și cele auxiliare) sunt pe aceeași măsură ca și performanțele obținute. Cu astfel de instalații se monitorizează zonele

de interes pe o perioadă pe 1 la 3 ani și se obțin valori medii cu o anumită precizie probabilistică multianuală. În literatura de specialitate din domeniul meteorologiei se afirmă că, pentru o perioadă lungă de timp (10 – 15 ani), valorile vitezei anuale ale vântului, față de valorile statistice pot diferi cu 5 – 15 %. În această situație este justificată întrebarea: care este eroarea de determinare a vitezei vântului la înălțimi superioare față de cele la care s-au făcut determinările experimentale ?

Având în vedere că există o bază de date certe se poate proceda la o verificare a metodei de lucru expusă la punctul 2.2. Astfel, folosindu-se valorile experimentale (de la nivelurile inferioare) se procedează la executarea calculelor pentru determinarea vitezei vântului chiar pentru înălțimile la care există valori măsurate și apoi cele două valori se compară între ele.

3. Procedeeul de calcul

Pentru stâlpii care au 5/6 nivele de măsurare a vitezei vântului, se folosesc valorile experimentale de la primele înălțimi pentru determinarea coeficientului stratului limită și cu acesta se calculează viteza (în condițiile ipotezelor de lucru) pentru nivelele superioare.

Și pentru stâlpii care au doar 3 nivele de măsurare se procedează similar: se determină coeficientul stratului limită terestru folosindu-se valorile experimentale de la nivelele de 15 m și 25 m și se calculează viteza vântului pentru înălțimea de 50 m.

Se face apoi comparația (procentuală) între valorile vitezelor determinate (pe baza coeficientului stratului limită) și valorile măsurătorilor experimentale (pentru aceiași înălțime).

4. Rezultate obținute

4.1 Cazul stâlpilor cu 5 nivele de măsurare

Nr. crt.	Locația	Perioada	h= 58 m		h= 60 m	
			Vit. m.măs	Eroare	Vit. m.măs	Eroarea
			[m/s]	[%]	[m/s]	[%]
1	Carașova	12/2011	4,76	1,42	4,91	3,23
2	Carașova	01/2012	3,63	1,75	3,77	3,82
			h= 76 m		h= 80 m	
			Vit. m.măs	Eroare	Vit. m.măs	Eroarea
			[m/s]	[%]	[m/s]	[%]
1	Ponor	10/2011	5,15	1,89	5,23	0,95
2	Ponor	12/2011	7,12	1,34	7,17	0,06

Software-ul întocmit permite executarea calculelor pentru determinarea vitezei vântului la o înălțime $h > h_r$.

4.2 Cazul stâlpilor cu 3 nivele de măsurare

Nr. crt.	Locația	Perioada	h= 50 m	
			Vit. m.măs	Eroare
			[m/s]	[%]
1	Anina	11/2010	3.34	4.89
2	Anina	01/2011	3.48	0.4
3	Moldova Nouă	10/2010	7.06	5.29
4	Grădinari	11/2010	5.04	2.76
5	Pojejena	11/2010	4.802	1.6

Rezultatele prezentate în tabele au fost obținute prin prelucrarea valorilor măsurărilor experimentale, alese întâmplător, după ce s-a făcut, în prealabil, validarea acestora (prin înlăturarea valorilor nefirești produse de îngheț, de transmisia eronată a datelor etc.).

5. Concluzii

- Ipoteza de lucru în baza căruia se admite că viteza vântului variază după o funcție exponențială se poate considera total acceptabilă având în vedere nivelul erorilor medii care au fost introduse în calcul față de valorile măsurărilor experimentale.

- Deși gradul de încredere sperat este mai mare în cazul determinărilor potențialului eolian folosindu-se stâlpi foarte înalți, deoarece măsurătorile se fac pe o perioadă de 1 la 3 ani, se introduce totuși un anumit grad de probabilitate față de valorile reale multianuale de 10 – 15 ani.

- Costurile induse de utilizarea stâlpilor foarte înalți sunt mari, iar rezultatele experimentale obținute au un grad de probabilitate comparabil cu acelea obținute prin calcul, bazate pe valorile vitezei vântului obținute la măsurătorile făcute la înălțimi mai mici.

- Concluziile de mai sus au fost trase având în vedere că măsurătorile s-au făcut în zone în care rugozitatea terenului este relativ mică (nu există clădiri, culturile sunt uniforme și au înălțimi mici).

- Cel puțin în faza inițială a unei posibile investiții este suficientă evaluarea potențialului eolian folosindu-se stâlpi cu înălțimi cuprinse între 50 – 60 m a căror costuri și exploatare sunt sensibil mai mici decât stâlpii cu înălțimi foarte mari și care necesită atât condiții deosebite, dar pot induce și riscuri crescute în montaj și exploatare.

■ În situația în care ar trebui făcută o opțiune (în cadrul aceluiaș cost) între un stâlp înalt (și o perioadă scurtă de măsurători) și un stâlp mai puțin înalt (pentru o perioadă mai îndelungată), rezultatele obținute și prezentate îndreptățesc opțiunile pentru a doua variantă.

Rezultatele prezentate în acest articol au fost obținute cu sprijinul Ministerului Muncii, Familiei și Protecției Sociale prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013, Contract nr. POSDRU/89/1.5/S/62557.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Vlădea, I., *Tratat de termodinamică tehnică și transmiterea căldurii*, Editura didactică și pedagogică, București, 1974.
- [2] Nedelcu, D., *Microsoft Excel – Concepte teoretice și aplicații*, Editura Orizonturi Universitare, Timșoara, 2003.
- [3] * * * IMH – 1991 – *Studiu climatologic privind potențialul energetic eolian pe teritoriul județului Caraș – Severin*, Nr. 137/1991.
- [4] Ion, I., Câmpian, C.V., Cuzmoș, A., Dumbravă, C., *Aspecte manageriale ale fazei inițiale de implementare a unui proiect de energie eoliană*, Revista Robotică & Management, vol. 15, No. 2, pag. 60 – 64, Decembrie 2010.
- [5] Spera, D.A., *Wind turbine technology*, ASME Press, New York, USA, 1994.
- [6] Marteus, L.K., *Mașinostroenie* – Tom 12, Moskva, 1949.
- [7] Justus, C.G., *Winds ans Wind System Performance*, Franklin Institute Press, Philadelphia, USA, 1978.
- [8] Hau, E., *Windkraftanlagen*, Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg - New York – London – Paris – Tokio, 1988.

cercetător Dr.Ing. Ioan ION,
Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița - CCHAPT
e-mail: i.ion@uem.ro

Prof.Univ.Dr.Ing. Constantin Viorel CÂMPIAN,
secretar științific al senatului Universitatea Eftimie Murgu Reșița, membru AGIR
e-mail: v.campian@uem.ro

cercetător Ing. Adrian CUZMOȘ,
Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița - CCHAPT
e-mail: a.cuzmoș@uem.ro

cercetător Ing. Cosmin DUMBRAVĂ,
Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița - CCHAPT
e-mail: c.dumbrava@uem.ro