

O METODĂ SIMPLĂ DE EVALUARE A POTENȚIALULUI EOLIAN AL UNEI REGIUNI

A SIMPLE METHOD TO ESTIMATE THE WIND POTENTIAL OF A REGION

Mariana DELIU, Gheorghe DELIU

"Transilvania" University of Brasov, Romania

Rezumat. Pomind de la convingerea că problema utilizării energiei eoliene ar merita mai multă atenție în România, autorii prezintă o metodă simplă de evaluare a potențialului eolian.

Se propune o modalitate de apreciere și comparare a potențialului din diverse zone geografice, precum și o metodă de estimare a cantității utilizabil din acest potențial. Exemplificarea se face prin prelucrarea datelor furnizate de INMH, pentru 23 de stații meteorologice, pe durata unei luni (martie 2007).

Cuvinte cheie: energie eoliană, potențial, estimare

1. Introducere

În contextul actualei crize energetice, preocuparea pentru găsirea și utilizarea unor surse alternative de energie este mai mult decât necesară. Una dintre sursele cele mai ieftine este *energia eoliană*, utilizată din vechime, dar cu o dezvoltare deosebită în ultimul timp

Energia eoliană este larg răspândită, este regenerabilă, curată, reducând indirect emisiile de gaze toxice produse la obținerea energiei electrice prin arderea combustibililor fosili.

La sfârșitul lui 2006, producția pe plan mondial a generatoarelor electrice antrenate de vânt a fost de 74,223 MW; deși acestea produc în mod curent mai puțin de 1% din consumul mondial de energie electrică, aportul acestei surse de energie este de 20% în Danemarca, 9% în Spania și 7% în Germania. Pe plan global, cantitatea de energie electrică obținută din generatoare eoliene a crescut de mai mult de patru ori între 2000 și 2006 [1].

Fundamentarea investițiilor privind utilizarea energiei vântului în gospodăriile individuale, în ferme sau în baterii (rețele) de turbine necesită însă cunoașterea potențialului eolian pentru fiecare amplasament, respectiv gen de utilizator.

În prezent, deși există hărți ale vitezelor vântului în România [2], nu sunt publicate în literatură modalitățile de evaluare folosite pentru întocmirea lor. De aceea, autorii propun o metodă de evaluare a potențialului eolian pe baza datelor furnizate de INMH privind viteza vântului la diverse stații meteorologice, care poate fi utilizată ușor pentru a decide asupra oportunității amplasării unor turbine în zone geografice concrete.

Abstract. Starting from the conviction that the problem of wind power conversion should deserve a greater attention in Romania, the authors present a simple method to estimate the wind potential of a region.

An evaluation and comparison modality for the wind power potential on different geographical zones is proposed, as well as a method to estimate the useful part of this potential. The illustration is made by processing measured data, supplied by INMH, for 23 meteorological stations, during a month (march, 2007).

Key words: wind energy, potential, estimation

1. Introduction

In the present conditions of energetic crisis, the concern to find new unconventional energy sources becomes more than necessary. One of the cheaper sources is *wind energy*, which is used for centuries, but having a huge development in the last time only.

Wind energy is plentiful, renewable, widely distributed, cleans and reduces toxic atmospheric gas emissions when it is used to replace fossil-fuel-derived electricity.

At the end of 2006, world-wide capacity of wind powered generators was 74,223 MW; although it currently produces less than 1% of world-wide electricity use, it accounts for approximately 20% of electricity use in Denmark, 9% in Spain, and 7% in Germany. Globally, wind power generation was more than quadrupled between 2000 and 2006 [1].

The investment decision of individual users or firms on wind power utilities installation demands an appropriate knowledge of wind potential for every site and/or customer type.

At the present time, although there are some maps of wind velocities in Romania [2], there is no available literature concerning the estimation methods used in drawing them. For this reason, the authors propose here an estimation method of wind potential, starting from the online available data supplied by INMH for different meteorological stations. This method may easily be used in order to make a decision on the opportunity of wind power utilities placement on a given site.

2. Metodologia de evaluare a potențialului eolian

2.1. Definiții

Cantitatea de energie care traversează unitatea de suprafață normală pe direcția vântului, în unitatea de timp, se numește *densitate a fluxului de energie* [3]:

$$P = \frac{\rho v^3}{2}, \quad (1)$$

unde ρ este densitatea aerului, iar v este viteza vântului.

Evident, această densitate a fluxului prezintă variații mari, în timp și în spațiu. Pentru un anumit amplasament, media temporală a densității fluxului de energie, pe un interval de timp T suficient de mare, definește *potențialul eolian al amplasamentului*:

$$\varepsilon = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt, \quad (2)$$

Uneori se folosește termenul de potențial eolian și pentru energia medie anuală care traversează unitatea de suprafață normală pe direcția vântului:

$$E = \int_0^T P(t) dt, \quad (3)$$

cu $T = 1$ an = 8760 ore.

Din expresiile de mai sus, rezultă că energia posibil de captat este dependentă de cubul vitezei vântului; de aici apare importanța stabilirii cât mai precise a vitezei și duratei vântului pentru un anumit amplasament.

2.2. Date de intrare și prelucrarea acestora

Se pleacă de la date furnizate online de INMH privind viteza vântului. Astfel, s-au descărcat date privind viteza vântului de-a lungul unei luni (martie 2007), cu valori maxime, minime și medii ponderate, la 23 de stații meteo de pe cuprinsul României [4]. Spre ilustrare, dăm datele înregistrate la stația Sulina (figura 1).

Având în vedere caracterul aleatoriu al fenomenului meteorologic numit vânt, se impune o prelucrare statistică a datelor prezentate.

2. Wind potential evaluating methodology

2.1. Definitions

The energy quantity that passes by the unit area normal to the wind direction, in a second, is denominated as *energy flux density* [3]:

where ρ is the air density and v is the wind speed.

This flux density evidently presents great variations, in time and space. For a given location, the temporal mean value of the energy flux density, for a sufficient great time interval T , defines the *wind potential of the site*:

Sometimes, one uses the term wind potential for the mean value of the wind energy passing in an year through an unit area, normal to the wind direction, too:

with $T = 1$ year = 8760 ours.

From the above expressions we get that the available energy is depending of the third power of the air speed; from this fact results the importance of a precise determination of the wind speed and duration, for a given site.

2.2. Enter data and their processing

We were starting from the online data provided by INMH on wind speed. So, we have downloaded data regarding the wind speed, meaning maximum, minimum and weighted mean daily values, during a month (March 2007), at 23 meteorological stations in Romania [4]. As an illustration, we give the stored data at Sulina (figure 1).

Taking into account the random character of the wind, a statistical processing of these discreet data is recommended.

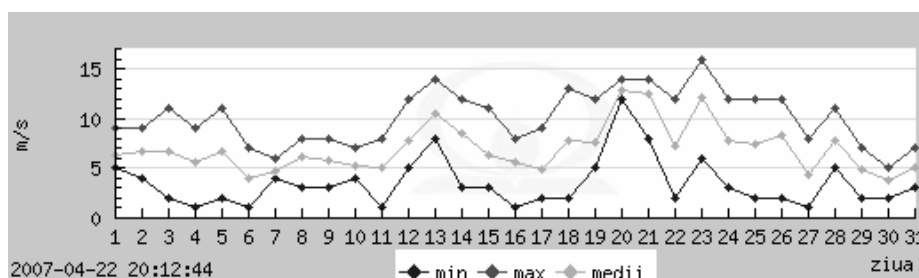


Figura 1. Viteza vântului la Sulina, martie 2007

Figure 1. Wind speed at Sulina, March 2007

În primul rând, vom reține nu atât valorile maxime ale vitezei cât, mult mai important, valorile medii ponderate ale vitezei (care sunt furnizate de INMH). Aceasta deoarece, pentru a surprinde aspectul energetic al fenomenului, contează foarte mult durata vântului de o anumită intensitate.

În al doilea rând, datorită faptului că o turbină eoliană nu dă randament bun decât la viteze de vânt mai mari de 3 m/s (turbinile Savonius), iar cele mai multe turbine Darrieus abia de la valori mai mari de 5 m/s, valorile vitezei vântului se vor grupa în intervale convenabile (tabelul 1).

First, we shall retain not the maximum values of the speed, but the most important mean weighted values, also given by INMH. This because, in order to consider the energetic aspect of this phenomenon, the *wind duration at a given mean speed* is more important than the peak speed.

Secondly, because a wind turbine gives a good efficiency at speeds greater than 3m/s only (Savonius type), and the most middle power turbines even at speeds greater than 5 m/s (Darrieus and other types), the wind durations will be grouped into speed intervals (table 1).

Tabelul 1. Durata vântului (ore)

Table 1. Wind duration (hours)

Site	v > 3 m/s	v > 6 m/s	v > 9 m/s	v > 12 m/s
Arad	120			
Bacău	384	48		
Botoșani	336	48		
București	216			
Buzău	624	72		
Călărași	432	24		
Caransebeș	336	72		
Ceahlău Toaca	528	360	192	96
Cluj Napoca	216			
Constanța	264			
Craiova	456			

Site	v > 3 m/s	v > 6 m/s	v > 9 m/s	v > 12 m/s
Deva	96			
Drobeta Tr. Severin	48			
Galați	432	24		
Iași	504	72		
Miercurea Ciuc	192			
Ocna Șugatag	168			
Râmnicu Vâlcea	96			
Roșiorii de Vede	408	96		
Sibiu	336	24		
Sulina	744	456	96	
Tulcea	432	72	48	
Vârful Omu	672	576	384	240

Din simpla citire a datelor din tabelul alăturat se poate vedea că există unele zone cu potențial nesemnificativ, altele cu potențial mic, moderat sau foarte mare. Desigur, nu trebuie uitat că studiul de față este demonstrativ; aceasta nu înseamnă însă că rezultatele sale nu pot avea caracter de semnal și de inițiere în problemă. Urmează ca un astfel de studiu să fie amplificat și extins pe mai mulți ani. Pentru moment, autorii își propun doar să contureze o metodologie de evaluare, având certitudinea că după un studiu cantitativ amănunțit se va putea spune cu precizie unde este util a se plasa turbine eoliene, de care tip să fie acestea și de ce putere.

Gruparea vitezelor pe intervale este necesară pentru determinarea unei funcții de corelație între timpul T cât vântul bate cu o viteză egală sau mai mare decât o viteză oarecare v și viteză, adică, o funcție $T = T(v)$.

Plecând de la aspectul datelor din tabelul 1, se poate presupune că cea mai potrivită formă a funcției $T = T(v)$ este cea exponențială. Prin urmare, se propune forma:

$$T = a \cdot e^{bv} \quad (4)$$

From the first reading of tabulated data, one can see that there are zones of too low potential, other zones having a middle or even great wind potential. Of course, one must remember that the present study is a demonstrative one; but, even so, its results should be taken as a signal and in an initiatory sense. The study must be amplified and extended on a longer duration (a year or many). For the time being, the authors intended to sketch only an evaluation methodology, keeping the conviction that after a quantitative and detailed study one can say with accuracy where will be useful to place a wind turbine of an optimum gain.

This grouping of wind values into speed intervals is necessary in order to find a correlation function between the time T when the wind speed is equal or greater than a given value v , meaning a $T = T(v)$ function.

Starting from the data aspect in table 1, we can presume that the most suitable form of the $T = T(v)$ function is the exponential one. Therefore, it can take the form:

Coeficienții a și b pot fi determinați prin metoda celor mai mici pătrate, după liniarizarea expresiei (4) prin logaritmare.

Spre exemplificare, dăm mai jos expresiile (4) calculate pentru amplasamentele cu cele mai semnificative potențiale din tabelul 1:

$$T = 1033 \cdot e^{-0,1155 v}, \quad \text{Vârful Omu} \quad (5a)$$

$$T = 102249 \cdot e^{-0,1918 v}, \quad \text{Ceahlău Toaca} \quad (5b)$$

$$T = 2537,66 \cdot e^{-0,3455 v}, \quad \text{Sulina} \quad (5c)$$

$$T = 102249 \cdot e^{-0,366 v}, \quad \text{Tulcea} \quad (5d)$$

$$T = 35122 \cdot e^{-0,648 v}, \quad \text{Iași} \quad (5e)$$

Graficele funcțiilor de mai sus sunt redată în figura 2. Alura curbelor permite cu ușurință să se facă o comparație între diversele zone privitor la viteza și durata vântului pentru perioada studiată.

After linearization of the expression (4) taking its logarithm, and using the smallest squares method, we can get the values of a and b coefficients.

For example, we give below the calculated expressions (4) for five most significant sites from table 1:

The graphs of above mentioned functions are given in figure 2. Here, the curves aspect allows an easy comparison between different zones regarding the wind speed and duration, for the studied period.

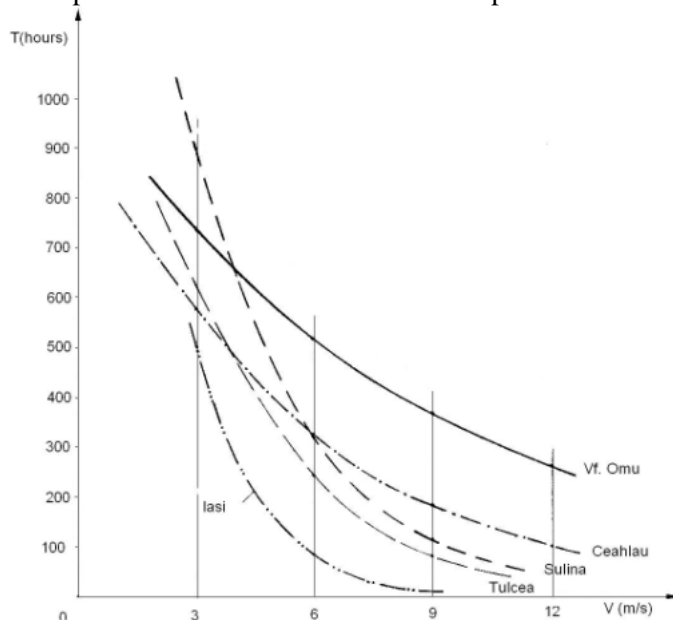


Figura 2. Funcția $T = T(v)$ pentru diferite locații

Figure 2. Function $T = T(v)$ for different locations

2.3. Evaluarea potențialului eolian și a energiei utilizabile

Calculul potențialului eolian se va face pentru cele cinci stații mai sus menționate, cu referire la perioada de timp martie 2007. Fără îndoială, modalitatea de calcul se va putea utiliza apoi pentru orice altă perioadă de timp sau zonă geografică.

În baza relațiilor (1) – (3), se poate scrie:

$$E = \frac{\rho}{2} \cdot \int_0^T v^3 dt \quad (6)$$

în care se va introduce viteza medie ponderată, ca funcție de timp.

Cum valorile vitezei de care se dispune au un caracter aleatoriu discret, un calcul adecvat ar presupune prelucrarea statistică a datelor de

2.3. Evaluation of wind potential and useful energy

Wind potential evaluation will be made for the five sites above mentioned, regarding the time period March 2007. Undoubtedly, the same manner of calculus will be usable for any other time period and/or geographic zone.

In the base of relations (1) – (3), can be written:

where we shall introduce the weighted mean speed as a time function.

As the speed values have a random discrete character, a proper calculus would presume the statistic processing of measured data. For the

măsurători. Pentru moment, autorii au preferat să calculeze integrala din relația (6) prin transformarea acesteia în sumă cu număr finit de termeni. În acest sens, s-a folosit expresia:

$$E = \frac{\rho}{2} \cdot \tau \cdot \sum_{i=1}^{30} \frac{v_i^3 + v_{i+1}^3}{2} \quad (7)$$

în care: τ - durata unei zile; v_i - viteza medie ponderată a vântului în ziua „i”.

Dacă în relația de mai sus se introduce: $\rho = 1,255 \text{ kg/m}^3$ și $\tau = 86400 \text{ s}$, rezultă o valoare a potențialului în J/m^2 . Aceasta reprezintă energia pe care o posedă o vână de curent cu secțiunea de 1 m^2 . Prin împărțirea valorii de mai sus cu $3,6 \times 10^6$, energia va fi exprimată în $\text{kW}\cdot\text{h/m}^2$. Rezultatele acestui calcul sunt redată în tabelul 2.

moment, the authors preferred to evaluate the integral from the relation (6) by taking the sum of a finite number of terms. In this sense, the expression used is:

where: τ - duration of a day; v_i - weighted mean speed of day “i”.

If in the above relation we introduce $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ and $\tau = 86400 \text{ s}$, the wind potential will result in J/m^2 . This will represent the energy possessed by an air stream having a cross section of 1 m^2 . Dividing the above value by 3.6×10^6 , the energy will result in $\text{kW}\cdot\text{h/m}^2$. The results of this calculus are presented in table 2.

Tabelul.2. Energia eoliană specifică în luna martie 2007

Table 2. Specific wind energy in March 2007

Site	Vârful Omu	Ceahlău Toaca	Sulina	Tulcea	Iași
$E \text{ (kWh/m}^2\text{)}$	1784.9	654.39	229.8	45.138	43.53

Așa cum s-a mai spus, la viteze de vânt mici turbinele eoliene nu pot porni sau, chiar dacă pornesc, au un randament foarte scăzut. De aceea, valorile din tabelul 2 ale energiei eoliene trebuie amendate. Aceasta se poate face funcție de amplasament, de frecvența vânturilor mari și de felul turbinelor instalate. De pildă, în zonele cu energii specifice mici $E \leq 100 \text{ kW}\cdot\text{h/m}^2$, unde este posibilă utilizarea unor turbine Savonius care pornesc ușor și dau randament începând de la viteze de 3 m/s , se pot elimina din start zilele în care $v < 3 \text{ m/s}$. Atunci, energia utilizabilă se va calcula cu relația:

$$E_u = E - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \tau \cdot \sum_1^k v_k^3, \quad (8)$$

în care: k - numărul zilelor în care $v < 3 \text{ m/s}$;
 v_k - viteza medie a vântului în ziua „k”.

Astfel, pentru locația Iași, unde timp de 11 zile vântul a fost mai slab de 3 m/s , energia utilizabilă a fost:

$$E_u = 43.53 - \frac{1,225}{2000} \cdot 24 \cdot 1883 = 40.76 \text{ kW}\cdot\text{h/m}^2.$$

După cum se poate observa, chiar după eliminarea din calcul a zilelor cu vânt slab sau nul potențialul nu a scăzut decât cu 6,3%.

În zonele cu potențial mediu, de pildă la Sulina, se pot utiliza atât turbine de mică putere, cât și turbine de medie putere. Având în vedere faptul că aici a existat o singură zi în care vântul a fost mai slab de 5 m/s , diferența între energia pe care vântul o posedă și cea utilizabilă este neglijabilă.

As we said before, at low wind speed the wind turbines can not start or even if they do start they would have a very poor efficiency. For this reason, the values given in table 2 for the wind energy must be amended. This can be made regarding the location, the high wind frequency and the type of the turbine. For example, in the zones with low energy levels, let's say $E \leq 100 \text{ kW}\cdot\text{h/m}^2$, where there is still possible to use small turbines (Savonius) which start easily and are efficient for speeds greater than 3 m/s , we can eliminate from the beginning the days when wind speed was smaller than 3 m/s . Then, the useful energy will be calculated with the relation:

where: k - the number of days in which $v < 3 \text{ m/s}$;
 v_k - mean wind speed in the day “k”.

So, for the Iași zone, where during 11 days the wind mean speed was less than 3 m/s , the useful energy was:

As we can see, even after the elimination of the days having small or null wind, the energy potential wasn't reduced more than with 6.3%.

In the zones with middle level of potential, for example at Sulina, it is possible to utilise both small and middle turbines. So, because here was a single day in which the wind speed was smaller than 3 m/s , the difference between the potential energy and the useful one was negligible.

În zonele montane, de exemplu Ceahlău Toaca sau Vârful Omu, problema se pune invers: aici turbinele vor trebui să fie blocate în zilele cu vânt mai tare de 20 m/s ! Dacă în Ceahlău a fost numai o singură zi cu astfel de vânt (23 m/s), la Vârful Omu au fost 4 zile cu astfel de condiții (din care o zi cu 32 m/s !). Maniera de calcul a energiei utilizabile rămâne însă aceeași – aici se vor elimina din calcul zilele cu vânt mai tare decât indicațiile tehnice ale constructorului turbinei.

Trebuie precizat că în cele de mai sus s-a arătat cum se poate evalua potențialul eolian și nu puterea efectiv obținută de pe urma unei turbine. Se știe (teoria lui Betz, 1966) că puterea unei turbine eoliene variază între 36% și 59% din puterea vântului de curent care traversează discul turbinei [5].

3. Concluzii

Lucrarea de față se vrea un semnal asupra unei probleme care, deși cu 20 de ani în urmă preocupă cercurile științifice românești din domeniul surselor alternative de energie, a adus prea puține rezultate concrete. La ora actuală se presupune, fără demonstrație, că în România potențialul eolian fiind prea slab, o investiție în acest domeniu nu este rentabilă. Or, după cum se arată în prezenta lucrare, un anumit potențial eolian există; el așteaptă doar să fie evaluat cu exactitate și utilizat cu maximum de randament.

Metoda propusă permite evaluarea, cu ușurință și cu suficientă precizie, a potențialului eolian în orice zonă, pe baza datelor furnizate de INMH sau a celor obținute prin măsurări în chiar amplasamentul vizat.

Construirea curbelor $T = T(v)$ pentru toate stațiile meteorologice, pe baza unor date pe perioade lungi de timp, furnizează un instrument rapid de apreciere a zonelor semnificative din punct de vedere al energiei eoliene.

Precizia evaluării potențialului eolian poate fi îmbunătățită dacă în relația (6) se introduce expresia vitezei vântului rezultată printr-o abordare statistică, pentru găsirea formei adecvate a repartiției vitezelor. Aceasta este direcția în care autorii își propun să continue acest studiu.

References

- 1.***: http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power. Accessed: 2007-03-02
- 2.***: <http://www.ibcoenerg.ro/eolian.html>. Accessed: 2007-05-04
3. Ilie, V., et al.: *Wind energy usage*. Editura Tehnică, București, 1984 (în Romanian)
- 4.***: <http://www.inmh.ro>. Accessed: 2007-04-04
- 5.***: <http://www.windpower.org/en/tour/wres/betz.htm>. Accessed: 2007-06-07

Lucrare primită în Mai 2007
(și în formă revizuită în Iunie, 2007)

Received in May, 2007
(and revised form in June, 2007)