

VICTOR LUCIAN

INSTALAȚII EOLIENE

*Îndrumător de inginerie, execuție, montare
și exploatare a instalațiilor energetice
eoliene*



EDITURA UNIVERSITARĂ
București, 2014

CUPRINS

Introducere	9
1. Caracteristicile energiei eoliene	11
1.1. Capacitatea energetică eoliană	11
1.2. Marimile caracteristice definitorii ale instalațiilor eoliene	12
1.3. Determinarea potențialului energetic eolian local	13
1.4. Dezvoltarea industriei energetice eoliene	18
1.5. Formarea vânturilor	22
1.6. Comparații cu alte resurse energetice. Costuri de producere a energiei	23
2. Instalarea de captare și conversie a energiei eoliene	27
2.1. Scurt istoric al morilor de vânt	27
2.2. Pompe de vânt	29
2.3. Aerogeneratoare de vânt	30
2.4. Parcuri eoliene din largul coastelor și uscat	32
2.5. Impactul asupra mediului înconjurător a dezvoltării industriei energiei produse de forța vântului	38
2.6. Clasificarea după mărime a turbinelor eoliene	43
2.7. Siguranța energiei eoliene și durata de viață a instalațiilor	43
2.8. Alte utilizări ale energiei eoliene	44
2.8.1. Transporturi	44
2.8.2. Sport, plăcere și distracție	46
2.9. Producerea energiei electrice cu sau fără acumulare de energie	47
3. Execuția documentației pentru realizarea instalației	49
3.1. Obținerea avizelor necesare pentru construcție	49
3.2. Precizări tehnice necesare execuției proiectului	50
3.3. Componentele instalației. Specificații tehnice de echipamente	53
3.3.1. Partea de construcții	54
3.3.2. Partea tehnologică	55
4. Montajul instalației eoliene pe teren	80
4.1. Operații de montaj a instalației	80
4.2. Probe, măsurători și verificări la terminarea lucrărilor	86
4.3. Necesarul de forță de muncă. Necesarul de utilaje de mică și mare mecanizare. Planul master de execuție a investiției	88
4.4. Returnarea surplusului de energie electrică produsă din resurse regenerabile (nepoluante) în rețeaua publică de distribuție a energiei electrice. Recuperarea din costul investiției. Scurtarea perioadei de amortizare a costurilor investiției	90

4.5. Reglajul automat al tensiunii produs de o turbină eoliană	91
4.6. Furnizarea unei energii conform cerințelor sistemului primitor	94
4.6.1. Calculul elementelor necesare	94
4.6.2. Modalități de realizare	96
4.7. Recuperarea costului investiției	99
5. Instrucțiuni de exploatare, întreținere și reparare a instalațiilor eoliene de producere a energiei electrice. Dezafectarea	102
5.1. Instrucțiuni de exploatare a instalațiilor eoliene	102
5.2. Întreținerea și repararea instalațiilor eoliene	103
6. Noutăți în domeniul utilizării energiei eoliene	105
6.1. Partea neconvențională a energiei eoliene	105
6.2. Turbine Maglev	112
6.3. Noutăți privind mărirea capacității de stocare a energiei	113
6.4. Captarea energiei eoliene la altitudini mari	116
6.5. Turbină eoliană urbană	117
6.6. Turbină eoliană “Suprapower”	118
6.7. Măsurarea puterii vântului cu ajutorul sunetului	119
6.8. Monitorizarea și comanda centralizată a componentelor unui parc eolian	119
7. Instalații hibride de produs energie	122
7.1. Ce sunt sistemele hibride?	122
7.2. Din ce este compus un sistem hibrid de energie alternativă?	123
7.3. Alternativa producerii de energie pe plan local	125
7.4. Sistem hibrid care utilizează energia vântului și surse de energie subterane	131
7.5. Instalație generatoare de electricitate cu ajutorul energiilor eoliene și solare	133
7.6. Instalație generatoare de electricitate cu ajutorul energiilor eoliene și biomasă	135
7.7. Încălzirea apei din piscină cu ajutorul unei pompe de căldură aer-apă și a unor colectori solari	138
7.8. Aeroportul “verde”	141
8. Strategia Energetică a României pentru perioada 2011 – 2035	144
9. Adaptarea legislației la pachetul “energie – schimbări climatice”	150
9.1. Directive legislative comunitare	150
9.2. Directive legislative naționale	152
9.3. Domeniul rezervelor de apă mondiale, regionale, naționale	153
9.4. Orizont 2030: demersuri decisive pentru dezvoltarea durabilă a Uniunii Europene	154

9.6. Captarea și stocarea dioxidului de carbon	156
9.7. Procesul de globalizare impune “ <i>regulile jocului</i> ”	158
9.8. Încălzirea globală, realitate sau păcăleală?	159
9.9. Schimbări climatice	163
9.10. Modificarea comportamentului ființelor vii la schimbările climatice și fenomene naturale	169
10. Vântul și circulația generală a atmosferei	171
10.1. Vânturile	171
10.2. Atmosfera și structura sa	176
10.3. Temperatura aerului. Modalități de încălzire	179
10.4. Presiunea atmosferică.....	181
Anexa	187
1. Principalele tipuri de turbine eoliene montate în parcurile eoliene din România	187
2. Măsuri de creștere a eficienței și siguranței turbinelor eoliene de putere mică	190
Bibliografie	193

Introducere

Din cele mai vechi timpuri omul a încercat să folosească resurse de energie care erau la dispoziție în locurile unde se afla. Dar de multe ori, omul se deplasa în locuri unde resursele de energie erau la dispoziție, le oferea natura fără să depună nici un efort. Mai erau cazuri în care natura punea la dispoziție resurse de energie, dar acestea nu erau potrivite necesităților sale de consum. Din aceste motive omul a încercat să transforme forma de energie pe care o găsea în natură în forme de energie potrivite consumului.

Vântului este rezultatul activității energetice a soarelui și se formează datorită încălzirii neuniforme a zonelor de pe suprafețele Pământului. Mișcarea maselor de aer se formează datorită temperaturilor diferite a două puncte de pe glob, având direcția de la punctul cald spre cel rece. Vânturile se formează cu predilecție în zone în care sunt îndeplinite anumite condiții favorabile de formare a lor. Zonele de litoral care separă suprafața apei de uscat, unde evaporările de apă sunt mari, în special în zonele calde, ecuatoriale, tropicale, se creează diferențe de presiune atmosferică, față de zonele de uscat.

În fiecare oră pământul primește 1014 kWh de energie solară. Circa 1 - 2% din energia solară recepționată de atmosfera Pământului, se transformă în energie eoliană. Acest procent întrece de 5-10 ori cantitatea energiei transformată în biomasă de către toate plantele Pământului.

Omenirea utilizează energia eoliană pe parcursul a câtorva milenii, din vechi timpuri și în zilele noastre din ce în ce mai mult. Vântul determina să funcționeze morile de vânt, mișca corăbiile cu pânze. Transportul pe ape pe distanțe lungi nu se putea imagina și realiza fără să bată vântul.

Energia cinetică a vântului a fost și este accesibilă practic în toate părțile pământului. Este atractivă și din punct de vedere ecologic, nu produce emisii poluante în atmosferă, nu formează deșeuri radioactive sau de altă natură.

Ca sursă energetică primară vântul nu costă nimic. Apare din senin, fără ca omul să depună vreun efort sau să facă vreo cheltuială. De asemenea această energie poate fi utilizată decentralizat, este o posibilitate de a produce energie individual, este o alternativă bună pentru localitățile mici aflate departe de sursele tradiționale sau de rețele centralizate de transport și distribuție a energiei electrice.

Prezentarea cărții

Doresc ca această carte să ofere cititorului o imagine cât mai exactă asupra a ceea ce este energia eoliană, ce posibilități există ca ea să fie cât mai utilă omului și mijloacele cele mai eficiente ca ea să poată fi captată și transformată în forme de energie potrivite consumului omului. Cuprinsul cărții este împărțit în opt capitole de sine stătătoare, dar legate între ele prin ideea centrală tratată, având continuitate.

Capitolul 1 prezintă caracteristicile energiei eoliene, mărimile caracteristice definitorii ale instalațiilor eoliene, determinarea potențialului energetic eolian local, dezvoltarea industriei energetice eoliene, modul de formare a vânturilor, comparații

cu alte resurse energetice, costuri de producere a energiei electrice folosind energia eoliană.

Capitolul doi descrie instalațiile de captare și conversie a energiei eoliene în energie mecanică și apoi electrică. Este prezentat un istoric al dezvoltării de-a lungul timpului a instalațiilor de captare și conversie a energiei eoliene. Este prezentat impactul asupra mediului înconjurător a dezvoltării industriei energetice eoliene. Clasificarea după mărime a turbinelor eoliene, siguranța energiei eoliene în alimentarea cu electricitate a consumatorilor, durata de viață a instalațiilor eoliene și componentele instalației eoliene.

Capitolul trei prezintă modul de execuție a documentației de construcție-montaj pentru realizarea instalației pe amplasamentul dorit, obținerea avizelor necesare pentru execuția și a autorizației de construcție a instalației eoliene.

Capitolul patru descrie ordinea cronologică a operațiilor pentru execuția pe teren a unei instalații de producere de energie electrică folosind energia primară eoliană, probe, măsurători și verificări la terminarea lucrărilor de instalare, necesarul de forță de muncă, necesarul de utilaje de mică și mare mecanizare, planul „master” de execuție a investiției, punerea în funcțiune, returnarea surplusului de energie electrică produsă, neconsumată de consumator în rețeaua publică de distribuție a energiei electrice, reglajul automat al tensiunii produsă de o turbină eoliană. Modul și perioada de timp în care costul de procurare a echipamentelor necesare realizării instalației, costul lucrărilor de instalare și al punerii în funcțiune, se amortizează, este calculat la finele capitolului.

Capitolul cinci prezintă instrucțiuni de exploatare, întreținere și reparare a instalațiilor eoliene de producere a energiei electrice.

Capitolul șase descrie noutăți în domeniu utilizării energiei eoliene.

Capitolul șapte prezintă ce sunt și din ce se alimentează ca resurse primare energetice, instalații hibride de produs energie.

Capitolul opt face o prezentare a Strategiei Energetice a României pentru perioada 2011 – 2035, strategie nerealistă din cauză că a fost elaborată înainte de descoperirile de zăcăminte de țiței din Marea Neagră, din teritoriile naționale maritime și a gazelor de șist din diverse zone ale teritoriului României.

Capitolul nouă prezintă adaptarea legislației europene și naționale la pachetul *“energie – schimbări climatice”*.

Capitolul zece face o prezentare a fenomenelor meteorologice care se produc în atmosfera terestră, cu accent pe vânt și circulația generală a aerului atmosferic. Sunt prezentate principalele tipuri de vânt care bat în diferite zone geografice ale globului, atât pe mare cât și pe uscat și în zonele de coastă.

Autorul

1. Caracteristicile energiei eoliene

1.1. Capacitatea energetică eoliană

Sursa energetică eoliană disponibilă utilizării la scară mondială este evaluată la circa 60 000 TWh/an, jumătate din acest potențial energetic aflându-se în zone din largul mărilor sau oceanelor (« off shore ») și jumătate pe uscat. Teoretic, energia de origine eoliană poate acoperi necesarul de consum mondial de electricitate ce se ridică la 40 000 TWh (inclusiv pierderile). Pe de altă parte, principalul inconvenient al acestei surse de energie o reprezintă instabilitatea bății vântului și deci nesiguranța posibilității producerii de energie necesară cerută la consum. În perioadele cu temperaturi extreme, de frig, când necesarul de energie pentru încălzire este mare, iar când este cald necesarul de energie pentru ventilație-climatizare, este tot mare, efectul produs de vânt este practic inexistent, fapt care a condus la soluția realizării instalațiilor hibride de producere a energiei electrice, ce conțin, pe lângă resursa eoliană, și alte resurse bazate pe energii regenerabile, cu o stabilitate superioară în funcționare, ca cea a energiei eoliene, precum și sisteme de stocare a energiei electrice produse. În cazul sistemelor de stocare a energiei electrice de mare capacitate, trebuie luat în calcul prețul de cost ridicat al acestor sisteme, ce se află în faza de dezvoltare. Din aceste motive costul de investiții în instalații hibride de captare a energiilor primare, de conversie în forma de energie necesară potrivită consumului și de acumulare a energiei produse sunt mari.

S-a calculat că potențialul tehnic la nivel mondial al energiei eoliene poate să asigure de cinci ori mai multă energie decât este consumată acum de întreaga populație a globului. Acest nivel de exploatare ar necesita ca 12,7% din suprafața totală a uscatului Pământului (excluzând oceanele), să fie acoperite de parcuri de turbine eoliene, presupunând că densitatea de turbine pe terenul utilizat pentru parcuri ar fi acoperit cu 6 turbine mari de vânt pe suprafața unui km². Aceste cifre nu iau în considerare îmbunătățirea randamentului turbinelor și a soluțiilor tehnice utilizate. Toate turbinele de pe glob pot genera 430 TWh/an, echivalentul a 2,5% din consumul mondial de energie. Industria vântului implică o circulație a mărfurilor de 40 miliarde euro și lucrează în ea 670 000 persoane în întreaga lume. Energia electrică produsă prin conversia energiei eoliene a cunoscut în ultimele trei decenii cele mai mari ritmuri de dezvoltare de la un an la altul. Deceniul unu al mileniului trei, a înregistrat creșteri de 30% a puterii instalate de la un an la altul. Sunt țări a căror structura de producție totală de energie electrică folosind energia eoliană să depășească producția realizată utilizând combustibili tradiționali, fosili. Acest lucru s-a petrecut în Spania în anul 2011. În alte state aportul energiei eoliene la producția de energie electrică este considerabil. S-a ajuns ca puterea electrică pe unitate de producție să fie de 7 MW.

Pe baza evaluării și interpretării datelor înregistrate, în România se pot monta instalații eoliene cu o capacitate de până la 14 000 MW, ceea ce înseamnă

un aport de energie electrică de aproape 23 000 GWh/an. Potrivit unui studiu al Erste Group, potențialul eolian al țării, estimat la 14 000 de MW, este cel mai mare din sud-estul Europei și al doilea din Europa. Transelectrica a avertizat că în sistemul național poate fi preluată cantitatea de energie electrică produsă de turbine eoliene de maximum 4 000 de MW. Până în prezent Transelectrica a primit cereri de racordare la rețeaua Sistemului Energetic Național pentru proiecte eoliene de peste 30 000 de MW, din care 8 000 de MW au deja contracte de execuție semnate cu constructorul. Iată cum lipsa unei strategii energetice pe termen mediu și lung limitează dezvoltarea durabilă, prin folosirea resurselor nepoluante. .

După scara lui Beaufort se cunosc 13 categorii diferite de intensități de bătaie a vântului.

Tabelul 1.1.

Clasificarea vânturilor după intensitate

Clasa	Denumire	Viteza [km/h]	Efectul produs
0	liniștit	<1	Fumul urcă vertical, frunzele nu se mișcă
1	sufală ușor, calm	1-5	Fumul indică direcția vântului
2	briză ușoară,	6-11	Frunzele foșnesc și giruetele se mișcă, flutură steagul
3	briză slabă,	12-19	Frunzele, ramurile se mișcă
4	briză moderată	20-28	Frunzele, ramurile se mișcă continuu
5	briză moderată	29-38	Tufele se clatină
6	vânt destul de tare	39-49	Crengile mari se mișcă
7	vânt tare	50-61	Copacii întregi se mișcă
8	vânt puternic	62-74	Ramurile s erup din copaci
9	furtună	75-88	Pagube minore provocate caselor
10	furtună puternică	89-102	Copacii sunt scoși din sol
11	furtună ca un uragan	103-117	Pagube întinse
12-17	uragan	>117	Pagube masive

Viteza optimă a vântului pentru funcționarea normală a unei elice care antrenează un aerogenerator este cuprinsă între 8 și 14 m/s; în acest interval puterea utilă dezvoltată este funcțional optimă și uzura mecanică, fizică a echipamentelor, este minimă.

1.2. Mărimile caracteristice definatorii ale instalațiilor eoliene. Formula de dimensionare

Puterea unui aerogenerator se poate determina cu relația:

$$W = \frac{1}{2} C_p \times A \times V^3 \times \rho \quad (1.1)$$

unde:

- W [W] - puterea aerogeneratorului,
- C_p - coeficient al aerogeneratorului, determinat experimental prima oară de Berz, și egal cu $16/27 = 0,59$, valoare maximă posibilă,
- A [m²] - suprafața descrisă a elicei turbinei eoliene, la o rotire completă,
- V [m/s] - viteza vântului,
- ρ [kg/m³] - densitatea vântului.

Din punct de vedere tehnologic, al eficienței producerii energiei și funcțional se definesc câteva noțiuni ale turbinei eoliene și a locului de amplasare a acesteia:

- *viteza de pornire* - viteza vântului la care o turbină eoliană, bine definită dimensional, ca tip și ca putere, începe să livreze putere utilă la arborele elicei, este cuprinsă între 3,4 - 5,2 m/s;
- *viteza de desprindere* - viteza la care o turbină eoliană bine definită nu mai livrează putere utilă la arbore (nu se mai rotește), este de obicei sub valoarea de pornire;
- *viteza critică* - viteza vântului la care dispozitivul de protecție montat pe axul elicei (dacă este montat), decuplează turbina pentru a nu se produce accidente tehnice (din cauza intensității prea mari de bătaie a vântului), este de obicei peste 27-29 m/s. Dispozitivul blochează axul turbinei prin sisteme de frânare cu saboți. Astfel, nu se mai pot produce (se evită) supraturări ale rotorului turbinei.
 - *factorul de utilizare a puterii* este raportul dintre energia electrică produsă într-un an (8760 de ore) de o eventuală unitate energetică eoliană și puterea instalată a unității energetice;
 - *puterea eoliană care poate fi instalată*, pentru o anumită înălțime de amplasare a turbinei eoliene, la o anumită viteză a vântului;
 - *clasa de rugozitate a terenului* pe care se amplasează turbina eoliană se exprimă prin coeficientul de rugozitate a terenului și depinde de existența obstacolelor în zona apropiată de amplasare a turbinei.

1.3. Determinarea potențialului energetic eolian local

Pentru a alege resursa naturală provenită din bătaia vântului trebuie în prealabil făcute niște observații și măsurători referitor la:

- lungimea perioadelor din an în care bate vântul pentru a stabili în ce perioade trebuie folosite alte resurse energetice primare care să asigure producerea de energie individual sau alimentarea de la altă sursă sau rețea de alimentare;
- viteza predominantă a vântului care bate și este potrivită pentru antrenarea elicei;
- frecvența și intensitatea rafalelor de vânt;
- frecvența și intensitatea furtunilor (vijeliilor);

- frecvența schimbărilor direcției de bătaie a vântului;
- dependența intensității de bătaie a vântului cu înălțimea;
- densitatea aerului în zona gospodăriei;
- gradul de accidentare a zonei studiate pentru amplasarea instalației eoliene.

După stabilirea acestor date se ia decizia dacă energia eoliană este convenabilă să fie folosită ca resursă energetică de bază pentru producerea energiei electrice pentru gospodăria propusă. Decizia favorabilă care să încline în alegerea energiei eoliene ca resursă energetică de bază trebuie să îndeplinească simultan următoarele condiții:

- perioada din an de bătaie a vântului să fie de minimum 250 de zile cu viteza potrivită a vântului pentru antrenarea elicei; sunt soluții alternative de montare a instalațiilor hibride care folosesc mai multe surse primare care pot fi convertite;
- rafale de vânt să fie maximum de 15/an; condiția nu mai este necesar de îndeplinit la instalațiile care au un dispozitiv de decuplare la depășirea vitezei periculoase de bătaie a vântului;
- schimbările direcției de bătaie a vântului să fie rare (una la 20 de zile); condiția nu mai este necesar de îndeplinit la instalațiile care au orientare după direcția de bătaie a vântului;
- posibilitatea amplasării elicei aerogeneratorului să fie pe construcții existente deja, potrivite pentru a suporta o sarcină dinamică suplimentară produsă de bătaia inconstantă a vântului;
- în jurul locului de amplasare a turbinei să nu existe alte construcții pentru a nu crea turbulențe.

Domeniul de mărime al turbinelor eoliene abordat în continuare în lucrarea de față este cuprins între 1 și 50 kW, care sunt turbine din categoria mică. Pentru turbinele mai mari dimensiunea componentelor ridică probleme speciale de rezistența materialelor și criteriile de dimensionare țin cont de alte legi ale rezistenței materialelor, a aerodinamicii fluidelor și a curgerii fluidelor.

Dependența eficienței turbinelor eoliene de înălțimea de montare a elicei este direct proporțională, așa și cum intensitatea de bătaie a vântului este dependentă de înălțime; cu cât înălțimea este mai mare și viteza vântului este mai mare. Deci o primă indicație este ca elicea turbinei să fie amplasată la înălțime cât mai mare. Și numărul și mărimea obstacolelor naturale sau artificiale din jurul locului de amplasare a turbinei eoliene influențează funcționarea turbinei. Existența obstacolelor produce crearea de turbulențe ale aerului care afectează eficiența funcționării turbinei eoliene.

Modul de determinare a potențialului eolian local.

Pentru a determina dacă merită să se amplaseze o turbină eoliană, sau un câmp eolian, format din mai multe turbine, într-un anumit loc se fac anterior, unele observații și măsurători. Pentru acest lucru se montează în amplasamentul ales, un stâlp pe care se montează mai multe aparate de măsură, observare și înregistrare. Durata măsurătorilor este de obicei de un an, dar se iau informații și de la Institutul Meteorologic care monitorizează zona respectivă și de la populația locală, mai înaintată în vârstă.

Informațiile care interesează sunt următoarele:

- durata de bătaie a vântului; numărul de zile din an în care bate vântul;
- direcția preponderentă de bătaie a vântului;
- dacă sunt schimbări dese de direcție de bătaie a vântului;
- intensitatea de bătaie a vântului, exprimată pe scara Beaufort;
- cum variază intensitatea de bătaie a vântului, în timp;
- cum variază intensitatea de bătaie a vântului cu înălțimea față de nivelul solului, local;
- dacă sunt intensificări ale vitezei de bătaie a vântului, cat de dese sunt și la ce nivel se localizează pe scara Beaufort.

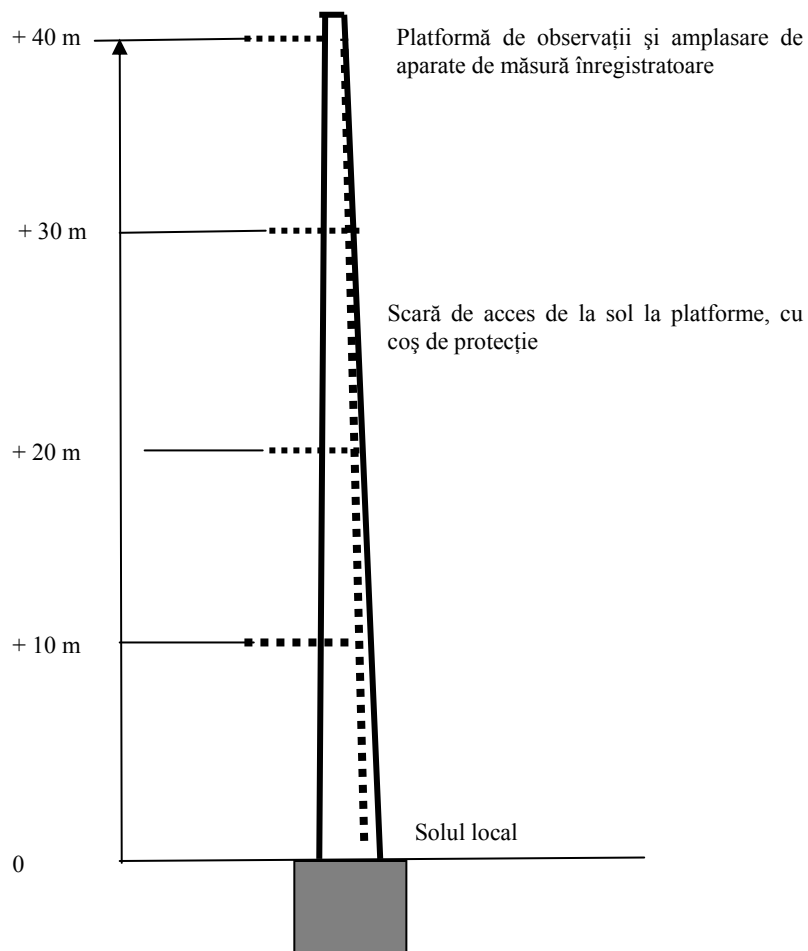


Fig. 1.1. Stâlpul de observații și amplasare de aparate de măsură înregistratoare

Aceste măsurători se fac pentru a determina:

- câte zile din an putem avea energie electrică produsă de turbina eoliană, sau ce perioadă din an avem energie electrică produsă de turbina eoliană;

- dacă vântul are o direcția preponderentă de bătaie o mare parte din durata unui an, atunci instalația eoliană este mai simplă; dacă vântul are o direcția schimbătoare de bătaie, atunci instalația eoliană este mai complicată, trebuie prevăzută o instalație care se rotește după direcția de bătaie a vântului, astfel, ca planul elicei să fie direcționat perpendicular pe direcția de bătaie a vântului; acest lucru se poate realiza la grupurilor de categorie mică;
- în funcție de intensitatea maximă de bătaie a vântului se dimensionează partea de construcții și se alege echipamentul aeromecanic;
- în funcție de altitudinea la care s-a măsurat intensitatea maximă de bătaie a vântului se construiește stâlpul de amplasare a echipamentului aeroenergetic și se alege locul de amplasare a turbinei eoliene;

Dintre aparatele înregistratoare care se utilizează la astfel de măsurători, cercetări și studii enumerăm:

- anemometru, pentru măsurători ale vitezei vântului; din înregistrările efectuate se poate determina:
 - intensitatea maximă a rafalelor,
 - intervalele la care se produc,
 - durata de timp în care viteza vântului depășește „*pragul de pornire*” (este în jur de 3,4 - 5,2 m/s).
- aparate care înregistrează direcția de bătaie a vântului; din înregistrările efectuate se poate determina:
 - cât timp direcția de bătaie a vântului rămâne neschimbată;
 - cât de des se schimbă direcția de bătaie a vântului;

Periodic personalul de cercetare face observații locale a fenomenelor care se petrec, preia înregistrările de la aparate. Măsurătorile se pot efectua cu aparatura din dotare sau procurată de la firme specializate ca de exemplu, firma olandeză ECOPOWER, sistem ECO21B, care produce aparatură de măsură cu următoarele caracteristici prezentate în tabelul 1.2:

Tabelul 1.2.

Caracteristicile tehnice ale aparatului de măsură

Mărimea măsurată	Unitate de măsură	Valoarea (precizia) de măsură	Observații
Precizia aparatului	m/s	0,1 – 0,2	Calibrarea individuală asigură o precizie de 0,1 m/s
Rezoluția	m/s	0,05	
Memorie		Două Compact Flash Memory Card 16 Mb	
Intervalul minim de măsurare	s	1	Se reglează în funcție de precizia care se dorește să se obțină.
Intervalul minim de înregistrare a datelor măsurate	min	5	„
Gama de măsurare a vitezei vântului	m/s	1 - 50	

Cu aceste date personalul de cercetare care face studiul se retrage în laboratorul de cercetare, le analizează, se procesează cu programul dedicat WasP și se trag concluzii parțiale. Concluzia finală se ia la terminarea perioadei de studii, observații și măsurători. Datele înregistrate de aparatele de măsură pot fi transmise la centrul de analiză prin stație radio, emițătoare, amplasată la locul unde se fac măsurătorile.

Decizia de amplasare a unei turbine eoliene aparține finanțatorului după efectuarea unui studiu de fezabilitate din concluziile căruia rezultă printre altele:

- prețul de cost al investiției;
- timpul de recuperare a costului investiției;
- durata de execuție a investiției;
- eficiența energetică a investiției.

Mai trebuie determinate câteva mărimi și anume:

- factorul de utilizare a puterii K_u , care se determină cu expresia:

$$K_u = \frac{WEE}{8760 \times P_{inst}} \quad (1.2.)$$

Unde:

WEE este energia electrică produsă într-un an (8760 de ore) de o eventuală unitate energetică eoliană;

P_{inst} este puterea instalată a unității energetice.

Factorul de utilizare a puterii instalate se ia în calculele de determinare a energiei produse cu surse eoliene într-o anumită zonă, ca fiind egal cu 0,3 (30%). În anul 2003, Banca Europeană de Reconstrucție și Dezvoltare (BERD), a evaluat potențialul energetic eolian al țărilor din Comunitatea Europeană. Informația a fost publicată în „*Wind Energy the Facts: an analysis of wind energy in the EU – 25*”.

- Puterea eoliană care poate fi instalată, pentru o anumită înălțime de amplasare a turbinei eoliene, la o anumită viteză a vântului:

$$P_{inst} = \frac{WEE}{8760 \times 0,3} \quad (1.3.)$$

- Iasa de rugozitate a terenului pe care se amplasează turbina eoliană se exprimă prin coeficientul de rugozitate a terenului și se stabilește cu relația:

$$Z_o = \frac{H \times s}{A_r} \quad (1.4.)$$

Unde:

H – este înălțimea elementului de rugozitate, care poate fi o clădire, un arbore, o denivelare a solului;

S – aria echivalentă a tuturor elementelor de rugozitate din direcția vântului;

AT – aria suprafeței terenului pe care se dorește amplasarea de turbine eoliene.

Cu cât clasa de rugozitate este mai mare cu atât influența asupra eficienței energetice a vântului este mai mare și potențialul de producere a energiei este mai mic. O arie fără obstacole naturale sau artificiale este mai benefică din punct de vedere al capacității de producere a energiei electrice, asigurând o curgere lamelara, liniară a vântului.

1.4. Dezvoltarea industriei energetice eoliene

În prezent forța vântului este utilizată pentru producerea energiei electrice cu ajutorul centralelor eoliene. Industria energetică eoliană s-a dezvoltat mai intens începând cu deceniul 8 al secolului XX-lea, după prima criză energetică mondială, din 1972 – 1973, când prețul țițeiului pe piață a crescut de câteva ori față de perioada anterioară. Ritmul de dezvoltare și construire a capacităților de producție care folosesc resurse eoliene este mare și crește în continuare.

Tabelul 1.3.

Capacitatea de producție [MW], montată anual în centrale eoliene în perioada 2000-2015 realizări-estimări*.

Țara/Anul	2000	2003	2006	2009	2012	2015*
Filipine	0	150	100	200	200	100
Taiwan	0	50	50	100	70	200
Pakistan	50	80	200	80	100	250
Coreea de Sud	20	50	200	300	300	400
Noua Zeelandă	10	30	50	80	100	100
Australia	0	100	100	100	200	200
Japonia	50	50	100	200	300	300
China	50	80	800	900	2000	2400
India	300	400	1800	2050	2100	2300

Tabelul 1.4.

Putere instalată în centrale eoliene la nivelul anului 2011

Țara	Puterea instalată în centrale eoliene [MW]	Din care în ultimul an [MW]
China	44 733	18 900
Statele Unite ale Americii	40 180**	5 116
Germania	27 215	
Spania	20 776	
India	13 065	
Italia	5 797	
Franța	5 560	
Marea Britanie	5 203	
Canada	4 008	
Danemarca	3 734	

*Sursa: Wind Energy Association citat de agenția Reuters,

** Capacitate care acoperă consumul a 10 milioane de locuințe

Europa nu are decât 9% din potențialul eolian disponibil din lume, dar în anul 2002 deținea 72% din puterea instalată de producere eoliană, la nivel mondial. Potențialul eolian tehnic disponibil în Europa este de 5 000 TWh/an. Ea a produs 50 TWh electricitate de origine eoliană în anul 2002, producția mondială a fost de 70 TWh.

În Europa, cel mai mare producător de energie electrică cu ajutorul curenților de aer care antrenează aerogeneratoare este Germania. Sunt montate instalații eoliene de la Munții Alpi, în sud, până în largul coastelor Mării Baltice, în nord. În anul 2009, Germania a produs 8% din total energie produsă cu ajutorul turbinelor eoliene. Urmează Spania. Tehnologiile folosite sunt dintre cele mai moderne, investind multe resurse financiare pentru cercetare și construcția de echipamente performante din punct de vedere al eficienței conversiei și al siguranței funcționării. Dacă la începutul utilizării energiei eoliene pentru producerea energiei electrice din perioada modernă (după anii 1970, ai secolului XX), se foloseau generatoare de putere de zeci de kW, sau mai târziu, câteva sute de kW/unitate, astăzi (anul 2014), s-a ajuns la puteri de 6 – 7 MW/unitate.

Tabelul 1.5.

Capacități de producție în centrale eoliene, pe țări, în anul 2005	
Țara	Capacitate de producere a energiei [MW]
Germania	18 600
Spania	9100
Danemarca	3670
Italia	1450
Olanda	1132
Marea Britanie	911
Austria	660
Portugalia	567
Grecia	497
Suedia	459
Franța	402
Irlanda	199
Norvegia	187
Belgia	103
Finlanda	95
Polonia	63

Un câmp de turbine poate să fie format din zeci sau sute de agregate, astfel că puterea instalată a întregului câmp eolian poate fi de sute de MW, similară cu o centrală clasică, care arde combustibil fosil. Odată cu creșterea puterii unitare a turbinelor eoliene au apărut probleme de diferite aspecte care au trebuit soluționate de tehnicieni, proiectanți, tehnologi, cercetători constructori și biologi. Probleme de materiale utilizate, dimensiuni deosebit de mari a componentelor, fenomene fizice deosebite, influențe asupra mediului înconjurător, asupra activității altor instalații vecine, migrația păsărilor și altele, au fost tot atâtea probleme care au trebuit

rezolvate. Dacă ne gândim că stâlpul de susținere al turbinei eoliene atinge înălțimi de 100 – 120 m, că acesta trebuie să reziste la forțe laterale mari, produse de forța vântului, că palele elicei au lungime de 67 m, că materialele utilizate sunt de ultimă generație, ca fibra de carbon pentru confecționarea palelor elicei, ne dăm seama de complexitatea problemelor care au trebuit rezolvate de-a cursul timpului, într-o perioadă relativ scurtă, de 30-40 de ani.

Capacitatea de producție a Uniunii Europene a crescut în anul 2005 față de anul 2004 cu 18%, de la 34 372 MW la 40 504 MW, atingând valoarea propusă pentru anul 2006. Deceniul 1995 – 2005, rata anuală de creștere a capacității de producție a fost de 32% (tabelul 1.6.).

Se estimează ca în anul 2020 energia eoliană să contribuie cu 14% din total energiei electrice produse, în valoare absolută de 495 TWh. Capacitatea totală de producție a instalațiilor va crește de la 85 GW, în 2010, la peste 213 GW, în anul 2020, cu o rată anuală de creștere de 9,7%, una dintre cele mai mari din rândul resurselor energetice regenerabile. Amplasarea parcurilor eoliene în largul coastelor este principala preocupare pentru viitor, pentru că aici energia eoliană este prezentă tot timpul.

Tabelul 1.6.

Creșterea capacității de producție totale în UE, între anii 1998 – 2005	
Anul	Capacitatea de producție [MW]
1998	6 000
1999	10 000
2000	16 000
2001	20 000
2002	26 000
2003	30 000
2004	34 000
2005	40 000

Adaptarea și simplificarea legislației trebuie realizată.

Energia eoliană în România

Dacă România nu figurează pe lista producătorilor în anul 2005, situația în anul 2014 este total schimbată: sunt mai multe parcuri amplasate în mai multe zone ale țării, în special în Dobrogea, zonă cu cel mai mare potențial energetic eolian. Puterea instalată la nivelul anului 2014 în centrale eoliene este de 3 476 MW.

În sectorul eolian din România au investit CEZ (Cehia), ENEL (Italia), Energias de Portugal (Portugalia) și Iberdrola Renovables (Spania)

CEZ a instalat 115 turbine la Fântânele, legate la rețeaua națională de energie electrică. Stâlpii de susținere au cca 100 m înălțime. Turbinele pentru parcul eolian construit de CEZ sunt livrate de către gigantul industrial american General Electric.

Energias de Portugal (Portugalia), al treilea cel mai mare investitor în energie eoliană la nivel mondial, a terminat construcția unui parc eolian de 69 MW la Cernavodă, în mai 2011. Energia produsă poate alimenta 70 000 de gospodării și

a costat 200 milioane de dolari. La această dată în Dobrogea sunt construite deja parcuri eoliene care însumează 600 MW.

În 2009 erau instalați doar 14 MW. În 2010, în centralele eoliene erau instalați în total 462 MW. România a ajuns, în 2011, la 850 MW instalați în total în eolian (adică o putere mai mare decât cea a unui reactor nuclear de la Cernavodă de 700 MW). Un MW instalat costă 1,6 milioane de euro.

La începutul anului 2012, în Dobrogea există peste 500 de turbine eoliene. Cehii de la CEZ, portughezii de la EDP sau italienii de la Enel au investit în energie eoliană în Dobrogea. În România, la începutul anului 2012, există peste 1 000 de turbine eoliene care produc 3% din totalul la nivel național de energie produsă. Investițiile în industria energetică eoliană au creat până acum 1 000 de locuri de muncă.

Eolienele din România produc, în medie 150 – 200 MWh. Costul energie eoliene este de 170 de euro pe MWh, de aproape trei ori mai mult față de energia produsă de hidrocentrale. La momentul actual, România se numără printre favoritele investitorilor în energie eoliană, nu neapărat pentru caracteristicile climaterice ci în principal pentru capacitatea rețelei electrice naționale de a prelua și transporta energia produsă din surse regenerabile. Sistemul energetic național a fost proiectat pentru a prelua producția centralei atomo-electrice de la Cernavodă (cu 5 reactoare în funcțiune) respectiv de 3 750 MWh. Cum din 5 reactoare au fost construite numai 2 reactoare, la nivelul anului 2014, rezultă o capacitate disponibilă pentru energia eoliană de 2 250 MWh.

Potrivit hărții energiei "verzi", potențialul energetic al României cuprinde posibilități de producere energie electrică prin consumarea a 65% biomasă, 17% energie eoliană, 12% energie solară, 4% microhidrocentrale, 1% geotermal. În România, cu excepția zonelor montane, unde condițiile meteorologice dificile fac greoaie instalarea și întreținerea agregatelor eoliene, viteze egale sau superioare nivelului de 4 m/s, care permit pornirea elicei se găsesc în Podișul Central Moldovenesc și în Dobrogea. Litoralul prezintă și el potențial energetic eolian deoarece în această parte a țării viteza medie anuală a vântului întrece pragul de 4 m/s. În zona litoralului, pe termen scurt și mediu, potențialul energetic eolian amenajabil este de circa 2 000 MW, cu o cantitate medie de energie electrică posibil de produs de 4 500 GWh/an.

Creșterea ponderii energiei eoliene în lume

În martie 2011, energia eoliană a devenit, pentru prima dată, tehnologia cu cea mai mare producție de energie electrică din Spania, potrivit comunicatului reprezentantului Rețelei Electrice din Spania (REE), cu 21% din totalul cererii de electricitate. Pe locurile următoare au fost: energia nucleară (19%), energia hidroelectrică (17,3%), ciclurile combinate (17,2%), termocentralele pe cărbune (12,9%) și energia solară (2,6%). Iată cum resursele regenerabile nepoluante joacă un rol tot mai important în producția de energie electrică. Aceste resurse energetice nepoluante ajută la a avea un mediu înconjurător în care populația unei țări își desfășoară activitatea și își trăiește viața, mai sănătos. Mulțumită aportului energiei

eoliene, s-a evitat importarea de hidrocarburi în valoare de 250 de milioane de euro și emisia de 1,7 milioane t de CO₂, adică echivalentul plantării a 850.000 de copaci pentru depoluarea atmosferei, și așa destul de poluată din cauza celorlalte ramuri poluante, producerea de oxigen necesar vieții.

Energia eoliană este folosită extensiv în ziua de astăzi, și turbine noi de vânt se construiesc în toată lumea, energia eoliană fiind sursa de energie cu cea mai rapidă creștere în ultimii ani (2007 – 2014). În ultimii 10 ani, utilizarea energiei eoliene a consemnat un progres deosebit. Astfel, între 1995 – 2005, rata anuală de creștere a fost de cca 30%, conducând la o putere instalată totală nouă de 32 000 MW, adică dublu decât în domeniul energiei nucleare din aceeași perioadă. La sfârșitul anului 2010, capacitatea mondială a generatoarelor eoliene era de 194 400 MW. Țările cu cea mai mare capacitate instalată în ferme eoliene sunt China, Statele Unite, Germania și Spania. La începutul anului 2011, ponderea energiei eoliene, în totalul consumului intern era de 24% în Danemarca, 14% în Spania și Portugalia, circa 10% în Irlanda și Germania, 5,3% la nivelul UE; procentul este de 4,8% în România la începutul anului 2014. La aceeași dată (2011) în România existau peste o mie de turbine eoliene, jumătate dintre ele fiind în Dobrogea. Contribuția la producția totală de energie electrică este de 3%.

1.5. Formarea vânturilor

Energia eoliană este direct legată de acțiunea Soarelui pe Pământ, în zona atmosferei terestre, în special în straturile inferioare, apropiate de Pământ. Se știe că atmosfera are o grosime de circa 800 de km, dar în primii 100 de km din vecinătatea Pământului sunt concentrate 95% din totalul gazelor, aflate sub forma de elemente sau compuși chimici, ce compun atmosfera terestră. În această zonă se întâmplă toate fenomenele meteorologice care influențează clima pe Planeta Pământ. Vânturile se formează deoarece soarele nu încălzește Pământul uniform, fapt care creează mișcări de aer, între zone cu presiuni mai mari spre zone cu depresiuni. Energia cinetică din vânt poate fi folosită pentru a roti turbine, care sunt capabile de a genera electricitate.

Încălzirea maselor de aer de diferitele forme ale energiei solare produce mișcarea pe verticală a acestora, datorită scăderii densității acestuia, se creează goluri de aer, cu presiune mai scăzută. Concomitent, în zonele reci localizate în zonele temperate și polare ale globului, aerul este răcit, are presiune mai mare, este mai greu și coboară spre sol. Cum natura are tendința de egalizare, de creare de stări de echilibru a presiunilor între zonele cu presiuni mai mari și zonele cu presiuni mai mici, masele de aer rece se pun în mișcare deplasându-se spre zonele cu aer cald, unde presiunea atmosferică este mică. Astfel, se formează vânturile; masele de aer rece din zonele temperate și polare, se deplasează spre zonele calde. Ele pot să bată mari perioade de timp, comparativ cu energia solară, care este numai pe timp de zi. Indiferent de zi sau noapte, de anotimp, vânturile pot să bată. Este motivul pentru care energeticienii și-au îndreptat atenția sporită asupra acestui tip de energie, într-o anumită perioadă a dezvoltării industriei energetice. În mod normal, vântul apare acolo unde aerul din două zone învecinate se încălzește

diferit, ducând la diferențe de presiune atmosferică. Pentru egalarea presiunilor din cele două zone învecinate, aerul din zona cu presiune mai mare, "curge" spre zona cu presiune mai mică. Încălzirile cele mai puternice și dese se produc în zona ecuatorului și a tropicelor, pe când la polii planetei aerul se răcește din cauza contribuției reduse a energiei solare. Aerul cald fiind mai dilatat este mai ușor, se ridică, de la suprafața solului, formează curenți ascendenți; golul lăsat de aerul cald este umplut de aerul rece, și așa se formează vânturile cu direcții de deplasare orizontale, paralele cu suprafața planetei, prin mișcarea maselor de aer cald și rece dintr-o zonă în alta. Viteza vântului poate atinge valori de 500 km/h și chiar mai mult, în cazul tornadelor, din zonele ecuatoriale, subecuatoriale și tropicale.

1.6. Comparații cu alte resurse energetice

Avantaje ale energiei eoliene

În contextul actual, caracterizat de creșterea alarmantă a poluării cauzate de producerea energiei electrice majoritar din arderea combustibililor fosili, devine din ce în ce mai importantă reducerea dependenței tuturor activităților de consumul acestor combustibili. Energia eoliană s-a dovedit deja a fi o soluție foarte bună la rezolvarea problemei energetice globale din prezent și viitor. Utilizarea resurselor regenerabile se adresează nu numai producerii de energie, dar prin modul particular de generare reformulează și modelul de dezvoltare, prin descentralizarea folosirii surselor și producției. Atât producția cât și distribuția de energie centralizată are mari dezavantaje din punct de vedere al mărimii pierderilor de energie cât și al sustragerii ilegale. Eliminarea pe cât posibil în totalitate într-un interval de timp cât mai scurt a deșeurilor poluante rezultate din arderea combustibililor din industria energetică și din toate celelalte industrii trebuie să fie o sarcină obligatorie. Energia eoliană este printre formele de energie regenerabilă care se pretează aplicațiilor la scară redusă, la producerea individuală.

- Principalul avantaj al energiei eoliene este *emisia zero* de substanțe poluante și gaze cu efect de seră, datorită faptului că nu se ard combustibili.
- *Nu se produc deșeuri*. Producerea de energie eoliană nu implică producerea nici unui fel de deșeuri, ca atare nici cheltuieli cu deșeurile nu există, față de alte tipuri de centrale care ard combustibili clasici poluanți, ca de exemplu termocentralele. Dacă avem în vedere imensele gropi de depozitare a cenușii rezultată din arderea cărbunelui, de problemele pe care le ridică transportul cenușii până la depozit ne dăm seama de proporțiile avantajului utilizării energiei eoliene.
- *Costuri reduse pe unitate de energie produsă*. Costul energiei electrice produse în centralele eoliene moderne a scăzut substanțial în ultimii ani, ajungând în S.U.A. să fie chiar mai mic decât în cazul energiei generate din combustibili fosili poluanți, chiar dacă nu se iau în considerare externalitățile negative inerente utilizării combustibililor clasici.

În 2004 prețul energiei eoliene ajunsese deja la o cincime față de cel din anii 1980, iar previziunile sunt de continuare a scăderii acestora deoarece se pun în

funcțiune tot mai multe unități eoliene cu putere instalată tot mai mare. Experiența dobândită în proiecte, fabricarea componentelor în număr tot mai mare, montajul lor, modularea componentelor, duc la rutină, a proiectelor tip se adâncește prin producerea de cât mai multe instalații de același tip “pe bandă rulantă” și reutilizarea proiectelor și tehnologiilor de fabricație, devine o practică curentă, măsuri și practici prin care productivitatea muncii crește în acest sector de activitate productiv.

- *Costuri reduse de scoatere din funcțiune.* Spre deosebire de centralele nucleare, de exemplu, unde costurile de scoatere din funcțiune pot fi de câteva ori mai mari decât costurile construirii centralei. În cazul instalațiilor de producere electricitate prevăzute cu generatoare eoliene, costurile de scoatere din funcțiune la terminarea duratei de viață, sau din alte motive, la capătul perioadei normale de funcționare, sunt minime, componentele putând fi integral reciclate.

Costuri de producere a energiei cu diverse resurse

Pentru a face o comparație a costurilor energiei produse folosind diferite resurse primare energetice prezint un tabel comparativ unde sunt specificate costuri totale și costuri de producție a energiei generate în funcție de resursa energetică primară utilizată pentru conversie dintr-o formă de energie, în alta, utilă și potrivită nevoilor consumatorului. Sunt specificate de asemenea tipuri de activității care presupun costuri suplimentare față de costurile de producție a energiei generate.

Tabelul 1.7.

Structura costurilor energiei obținute în funcție de energia primară utilizată

Tipul resursei de energie primară utilizată	Costuri totale Cenți/kW	Costuri de producție a energiei Euro Cenți/kW	Alte costuri Euro Cenți/kW	Tipul de activității care presupune costuri suplimentare
cărbune	19	9	10	reducerea emisiilor de CO2
gaz	21	11	10	reducerea emisiilor de CO2
nuclear	20	10	10	gestionarea deșeurilor
eolian	13	7	6	acumulare, infrastructura pentru transport la consumator
solară	41	21	20	acumulare, infrastructura pentru transport la consumator
geotermal cu apă caldă	5	5	0	nu sunt
geotermal cu pompe de căldură	20	20	0	nu sunt

Cele mai mici costuri de producere a energiei electrice se obțin utilizând energia apei geotermale; energia electrică obținută prin utilizarea energiei eoliene este ieftină; prețul energiei produse este o dată și jumătate mai mic față de costul

utilizării cărbunelui, gazului, combustibilului nuclear. Acest lucru se explică prin faptul că energia geotermală și energia eoliană au cel mai mare coeficient de cedare – utilizare, a energiei primare în energie utilă consumului (față de energia solară, care i-l are cel mai scăzut). Costurile totale ale energiei obținute prin folosirea energiei eoliene față de cazul utilizării energiei geotermale sunt de 2,6 ori mai mari, dacă se obține energie electrică. Față de utilizarea energiei solare (tot energie regenerabilă, nepoluantă), costurile prin utilizarea energiei eoliene sunt de circa 3 ori mai mici. Comparând cu costurile pentru producerea energiei electrice dintr-o centrală clasică care ard combustibili fosili, poluanți, costurile sunt mai mici cam cu 1,5 ori, dacă se folosește energia eoliană. La centrale care utilizează combustibili fosili, poluanți tipul de activității care presupun costuri suplimentare se referă în special la costurile instalațiilor de depoluare a mediului din cauza poluării prin arderea combustibililor și instalații cu combustibilii: procurare, manevrare, transport, depozitare, preparare, ardere. De obicei categoria «*Alte costuri*» este aproximativ egală cu categoria «*Costuri de producție a energiei*», cu excepția energiilor obținute prin utilizarea conversiei energiei apei geotermale și a energiei extrase din căldura pământului. Și din punct de vedere al costului energiei electrice produse în centralele eoliene moderne este un avantaj care merită exploatat din plin.

Dezavantaje

Principalele dezavantaje ale resursei primare eoliene sunt:

- resursa energetică eoliană este relativ limitată,
- inconstanța datorată variației vitezei vântului și
- numărului redus de amplasamente posibile. Puține locuri pe Pământ oferă locuri de amplasare pentru posibilitatea producerii a suficientă electricitate folosind energia vântului.
- la început, un important dezavantaj al producției de energie eoliană a fost prețul destul de mare de producere a energiei și
- fiabilitatea relativ redusă a turbinelor. În ultimii 25 de ani, eficacitatea energetică s-a dublat, costul unui kWh produs scăzând de la 0,7 euro la circa 0,32 euro/kWh, în prezent.
- un alt dezavantaj este și "poluarea vizuală" - adică faptul că turbinele "cocoșate" în vârful turnului au o apariție neplăcută,
- altul ar fi faptul că produc "poluare sonoră" (sunt prea gălăgioase când funcționează).
- de asemenea, se afirmă că turbinele afectează mediul și ecosistemele din împrejurimi, omorând păsări și necesitând terenuri mari virane pentru instalarea lor;
- energia electrică provenită din surse regenerabile (eoliană, solară, energia valurilor, etc.) are un mare dezavantaj: nu poate fi stocată. Ea trebuie consumată atunci când este produsă. Și cum vântul nu bate când vrem noi, soarele nu arde când vrem noi, valurile nu sunt înalte când vrem noi, este destul de dificil.