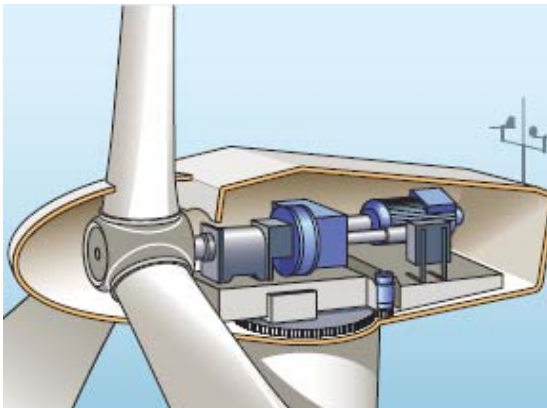


## Calitatea și Utilizarea Energiei Electrice - Ghid de Aplicare

### *Producerea Distribuită și Regenerabile* *8.3.2 Energie eoliană*



# Producerea Distribuită și Regenerabile Energie eoliană

Fred Wien  
KEMA Nederland BV  
Noiembrie 2006

**Leonardo  
ENERGY**



Leonardo ENERGY este o inițiativă administrată de către European Copper Institute, respectiv de către propria sa rețea europeană, compusă din unsprezece centre, care au drept scop crearea de centre de informare utile proiectanților, inginerilor, contractorilor, arhitecților, directorilor/managerilor generali, profesorilor și studenților, care sunt implicați, profesional sau în orice alt mod, în domeniul energiei electrice. Prin intermediul a numeroase proiecte, inclusiv proiectul premiat Leonard Power Quality Initiative, peste 130 de parteneri din mediul academic și industrial de elită sunt implicați alături de Leonardo ENERGY. Website-ul [www.leonardoenergy.org](http://www.leonardoenergy.org) furnizează o serie de biblioteci virtuale care se referă la un domeniu larg de tematici cu privire la energia electrică, furnizând utilizatorilor, în mod regulat, articole de ultimă oră, note/documente aplicative, articole tip "briefing", rapoarte, precum și școlarizare interactivă.



## European Copper Institute (ECI)

European Copper Institute este un joint venture între companiile miniere internaționale (reprezentate de către International Copper Association, Ltd. (ICA) și industria europeană de cupru. Prin membrii săi, ECI acționează în numele celor mai mari producători de cupru din lume și a principalilor prelucrători din Europa, pentru promovarea cuprului în Europa. Apărută în ianuarie 1996, ECI are suportul unei rețele de unsprezece Copper Development Association („CDAs”) în Benelux, Franța, Germania, Grecia, Ungaria, Italia, Polonia, Rusia, Scandinavia, Spania și Regatul Unit. Este continuatorul eforturilor întreprinse inițial de către Copper Products Development Association, fondată în 1959, respectiv de către INCRA (International Copper Research Association) fondată în 1961.

## Societatea Inginerilor Energeticieni din România

Societatea Inginerilor Energeticieni din România - SIER, constituită în 1990, este o asociație profesională, autonomă, cu personalitate juridică, neguvernamentală, apolitică, fără scop patrimonial. Scopul Societății este de a contribui activ atât la creșterea rolului și eficienței activității inginerilor energeticieni, cât și la stabilirea orientărilor, promovarea progresului tehnic și îmbunătățirea legislației în domeniul energetic. SIER promovează un schimb larg de informații, cunoștințe și experiență între specialiștii din domeniul energetic prin cooperarea cu organizații similare naționale și internaționale. În anul 2004 SIER a semnat un acord de parteneriat cu European Copper Institute pentru extinderea și în România a programului LPQI (Leonardo Power Quality Initiative), program educațional în domeniul calității energiei electrice, realizat cu suportul Comisiei Europene. În calitate de partener al ECI, SIER este implicată în desfășurarea unei ample activități de informare și de consultanță a consumatorilor de energie electrică din România. Versiunea în limba română a prezentei broșuri a fost realizată exclusiv de către membrii SIER: traducerea a fost efectuată de **Prof. dr. ing. Petru Postolache**, iar verificarea de către **Dr. ing. Fănică Vatră** și **Dr. ing. Ana Poida**.

## Atenționare

Conținutul acestui proiect nu reflectă în mod necesar poziția Comunității Europene și nu implică nici o responsabilitate din partea Comunității Europene.

European Copper Institute, KEMA Nederland BV și Societatea Inginerilor Energeticieni din România își declină răspunderea pentru orice daune directe, indirecte, subsidiare sau incidentale care ar putea să rezulte în urma utilizării informațiilor sau a inabilității de a utiliza informațiile și datele cuprinse în această publicație.

Copyright© European Copper Institute, KEMA Nederland BV și Societatea Inginerilor Energeticieni din România.

Reproducerea prezentului document este permisă numai sub forma sa integrală și cu menționarea sursei.



Membră a  
EUROPEL

Societatea Inginerilor Energeticieni din România  
No. 1, Lacul Tei Avenue, PO/BOX 30-33  
020371 Bucharest  
Romania

Tel: 4 0722 36 19 54  
Fax: (4 021) 610 52 83  
Email: [office@sier.ro](mailto:office@sier.ro)  
Website: [www.sier.ro](http://www.sier.ro)



European Copper Institute  
168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Brussels  
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
Email: [eci@eurocopper.org](mailto:eci@eurocopper.org)  
Website: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)

## Energie eoliană

### Generalități

Instalațiile eoliene pot avea o contribuție majoră la folosirea energiei regenerabile. Criza petrolului din 1970 a stimulat puternic în Europa dezvoltarea și producția comercială a turbinelor eoliene pentru generarea energiei electrice. Dezvoltarea utilizării energiei eoliene s-a îmbunătățit continuu și, în ultima decadă, energia electrică produsă din cea eoliană a cunoscut o dezvoltare considerabilă. Turbinele au devenit mai mari, având o eficiență și disponibilitate îmbunătățite, iar parcurile eoliene au devenit mai importante.

Consumul mondial de electricitate continuă să crească. Numeroase guverne europene și-au propus obiective privind reducerea emisiei de dioxid de carbon în scopul scăderii încălzirii globale. Opinia, larg acceptată, este că aceste obiective vor fi realizate, pe de o parte, folosind stimulente pentru economia de energie și, pe de altă parte, prin exploatarea pe scară largă a energiei regenerabile.

Utilizarea instalațiilor eoliene reprezintă o serioasă opțiune pentru realizarea acestor obiective. Câteva țări europene au planuri impresionante privind instalarea unui mare număr de generatoare eoliene în viitor. Câteva guverne sprijină aceste acțiuni cu ajutorul unor taxe și stimulente. Nord-vestul Europei, cu țărâuri vântoase și o rețea electrică ramificată și puternică oferă posibilități interesante pentru investiții și dezvoltare a parcurilor eoliene.

### Principiu de bază

Turbinele eoliene extrag energia vântului transferând energia aerului care trece prin rotorul turbinei către palele rotorului. Palele rotorului au profil de aripă, așa cum este prezentat în secțiunea transversală din Figura 1.

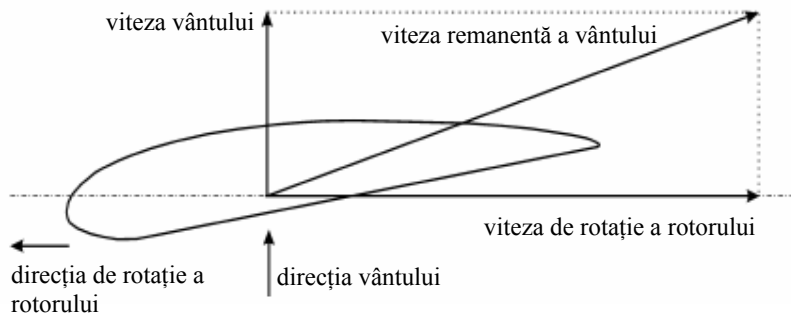


Figura 1 – Secțiune trasversală a unei pale a rotorului indicând vitezele și direcțiile

Planul de rotație al rotorului este controlat astfel ca să fie perpendicular pe direcția vântului. Fluxul de aer rezultant pe pala rotorului (adică vectorul sumă al vitezei vântului cu viteza locală a rotorului) produce o diferență de presiune între partea palei expusă vântului și cea opusă. (Aerul ce se scurge peste partea opusă vântului circulă la o viteză mai mare și, deci, la o densitate și presiune mai mici). Această diferență de presiune produce o forță de împingere perpendiculară pe rezultantă fluxului de aer. O componentă a acestei forțe produce un moment mecanic de rotație care rotește rotorul și axul. Puterea la nivelul axului poate fi utilizată în mai multe moduri. Sute de ani ea a fost folosită pentru măcinatul grâului sau pomparea apei, astăzi instalațiile mari moderne, cu generatoare integrate, o convertesc în energie electrică.

# Energie eoliană

---

## Ratele de putere și de eficiență

Masa în mișcare are o anumită energie. Această energie variază în funcție de produsul masei și pătratul vitezei. Raportată la timp, acesta reprezintă putere. Energia cinetică pe secundă este:

$$P = \frac{1}{2}(mv^2)$$

unde:

$P$  este puterea (Nm/s sau W);

$m$  este masa pe secundă - debitul masic (kg/s);

$v$  este viteza vântului (m/s).

Această lege fizică este de asemenea aplicabilă aerului în mișcare. Masa aerului care trece prin rotor este considerată a fi un cilindru. Volumul cilindrului este dependent de aria suprafeței rotorului și de viteza vântului, adică lungimea cilindrului care trece prin rotor în unitatea de timp.

Aria masei de aer ce trece prin rotorul turbinei într-o secundă este:

$$m = \rho Av$$

unde:

$\rho$  este densitatea aerului (kg/m<sup>3</sup>);

$A$  este aria suprafeței rotorului (m<sup>2</sup>);

$v$  este viteza vântului (m/s).

Aceasta conduce la o importantă caracteristică: energia rezultată depinde de viteza vântului la puterea a treia.

$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3$$

Ca exemplu, la viteza vântului de 6 m/s energia este de 132 W/m<sup>2</sup>. Atunci când vântul bate cu viteza de 12 m/s energia crește la 1053 W/m<sup>2</sup>. Dublarea vitezei vântului conduce la multiplicare cu opt a puterii.

Nu poate fi convertită în energie utilă toată energia vântului de la axul rotorului. Folosind principii fizice, se poate arăta că eficiența teoretică maximă a puterii vântului este limitată la cca 59 %. Această limită este, de asemenea, numită coeficient de putere sau valoarea  $C_p$ . În consecință, ecuația de mai sus devine:

$$P = \frac{1}{2}C_p \rho Av^3$$

unde

$C_p$  este coeficientul mecanic de putere (la axul lent).

( $C_p$  la 'ax lent' este definit ca eficiența conversiei energiei de la puterea vântului (neperturbat) la cea mecanică de rotație în raport cu axul principal al turbinei, care este amplasat în aval față de rotor și înaintea cutiei de viteze. Viteza de rotație a axului este egală cu cea a rotorului turbinei și, din această cauză se referă la 'ax lent'.  $C_p$  poate fi, de asemenea, definit după cutia de viteze, la axul de viteză mare al generatorului, numit 'ax rapid' sau la ieșirea transformatorului,  $C_p$  din 'rețea').

Puterea electrică netă la ieșirea unei turbine,  $P_{elec}$ , care ține seama de eficiențele mecanică și electrică este dată de:

$$P_{elec} = \frac{1}{2}C_e \rho Av^3$$

unde:

$C_e$  este rata eficienței electrice (a energiei electrice) (%).

# Energie eoliană

Astăzi, turbinele mari moderne sunt capabile să realizeze o eficiență netă totală,  $C_e$ , de 42 % la 46 % în raport cu energia vântului neperturbat într-un tub cu secțiune circulară a cărui arie transversală este egală cu aria brută a rotorului.

## Comparație de bază cu producția convențională de energie electrică și beneficiile energiei eoliene

Există câteva rațiuni care explică succesul recent al energiei eoliene. Atunci când sunt comparate cu producerea convențională de energie electrică se constată că turbinele eoliene produc o energie ‘curată’ fără emisii de dioxid de carbon sau alți poluanți ai aerului, ai apei sau ai solului în timpul funcționării.

Alte avantaje sunt prezentate de faptul că vântul este un ‘combustibil’ gratuit, inepuizabil, abundent și independent față de sensibilitățile politice. Turbinele se instalează ușor și repede și sunt fiabile având o disponibilitate de 98 %. (Aceasta este disponibilitatea turbinei. Totuși, vântul nu este întotdeauna disponibil astfel încât disponibilitatea funcțională este mult mai mică).

Un dezavantaj al energiei eoliene este impredictibilitatea vântului. Fronturile furtunilor, în particular, pot produce o creștere bruscă a puterii vântului. În plus, perioadele de vânt redus dau mai puțină energie eoliană.

Introducerea în rețea a energiei produse de turbinele eoliene nu este atât de simplă cum pare. În scopul menținerii stabilității, un anumit procent din energia produsă trebuie să fie, în continuare, furnizată de centrale convenționale, centralizate, controlate ‘stabile’. Acest procent depinde de structura și stabilitatea rețelei. Dacă este probabilă instabilitatea rețelei, ea poate fi prevenită prin folosirea unui sistem de control inteligent care realizează interfața între diferite tipuri de unități de producție, consumatori și rețeaua intermediară. În multe țări din UE, companii de rețele, asociații (independente) și instituții academice desfășoară cercetări în acest domeniu.

## Aplicațiile energiei eoliene

### Descrierea unor situații tipice unde folosirea energiei eoliene poate fi/este recomandată

Cantitatea de energie electrică produsă de o instalație eoliană depinde de tipul și de dimensiunile turbinei și de amplasamentul instalației. Figura 2 prezintă curba caracteristică ce reprezintă puterea tipică la ieșire în raport cu viteza vântului. La viteze joase nu se produce energie electrică. De la Beaufort 2 (aproximativ 3 m/s) în sus turbina funcționează și la Beaufort 6 (aproximativ 12-13 m/s) turbine furnizează puterea maximă.

La o viteză a vântului de peste 25 m/s turbinele au fost proiectate ca să se blocheze într-un mod controlat pentru a se evita supraîncărcarea și avarierea instalației turbinei sau a construcției. Ultimele realizări sunt echipate cu dispozitiv de control al unghiului de înclinare care modifică unghiul palei

rotorului la condițiile de vreme nefavorabile. Rezultatul constă în faptul că puterea poate fi generată chiar în condiții de vreme rea. În timpul furtunilor puternice este totuși necesar să se blocheze turbina.

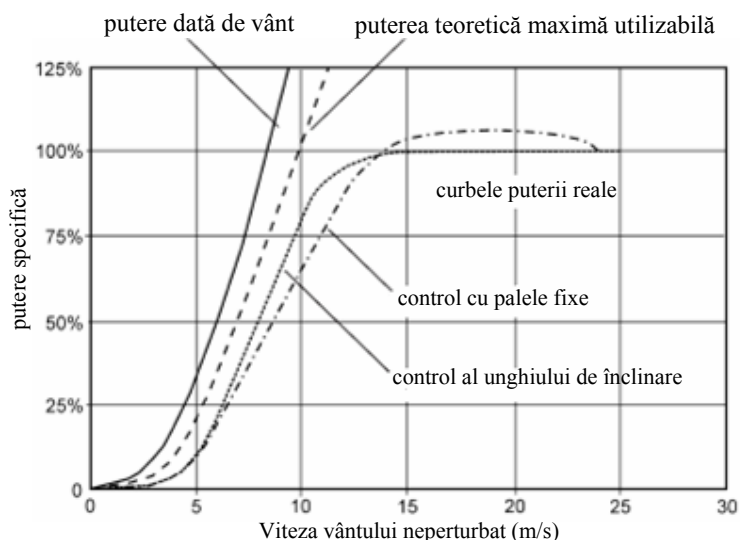


Figura 2 - Caracteristicile tipice ale turbinei; puterea la ieșire în funcție de viteza vântului.

## Energie eoliană

O turbină medie amplasată ideal poate produce o energie electrică de cca 850 kWh pe metru pătrat de arie a rotorului. O altă regulă simplă pentru estimarea energiei eoliene produsă de o turbină eoliană este aceea că, pe un amplasament mediu eolian, energia la ieșire este echivalentă cu cea produsă în cca 2000 de ore de sarcină plină, iar în zonele cu vânt intens cca. 3000 de ore. De exemplu, o turbină eoliană produce  $3 \cdot 10^6$  kWh, ceea ce corespunde unei puteri de 1500 kW pentru 2000 ore de funcționare.

### Costurile energiei eoliene

Fără a lua în considerație beneficiile din taxe sau alte stimulente privind producția de energie eoliană, costurile acestora sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1 - Rezumat al repartizării costurilor energiei eoliene

Repartizarea costului energiei eoliene	2000 ore în plină sarcină [EUR/MWh]	2500 ore în plină sarcină [EUR/MWh]
Investiții (12 ani cu anuitate de 4%)	40 ÷ 50	30 ÷ 40
Funcționare și mentenanță, incluzând reviziile majore	12	12
Alte cheltuieli de funcționare	8	8
Total	60 ÷ 70	50 ÷ 60

În ‘Alte cheltuieli de funcționare’ sunt incluse costurile managementului zilnic, asigurarea, concesiunea terenului, compensarea neplăcerilor vizuale și a celor produse de zgomot, taxe.

În mod curent, costurile energiei eoliene sunt ceva mai mari decât ‘feed-in tariff’ pentru energia electrică obținută din combustibilii convenționali fosili sau din centrale nucleare. Totuși, cele mai multe țări prevăd stimulente pentru a sprijini producția eoliană și alte energii regenerabile.

Deși fiecare țară își aplică legile proprii, aspectele comune sunt:

- ◆ beneficiile din taxe;
- ◆ granturi pentru instalarea de noi mijloace fixe;
- ◆ rate mici ale dobânzilor pentru finanțarea mijloacelor fixe din fonduri verzi.
- ◆ stimulente pentru producție (cu referire la kWh).

Ca urmare a unuia sau mai multe stimulente, investițiile în instalații eoliene pot fi profitabile. În trecut, beneficiile din taxe de până la 50 % din costurile de investiții nu erau ceva neobișnuit. În cazul ‘feed-in tariff’, incluzând și stimulentele, de 80 la 100 EUR/MWh, perioada de recuperare a costului este între 6 (> 2700 ore în plină sarcină) și 10 ani (>1900 în plină sarcină).

### Selectarea amplasamentului instalației eoliene

Există multe probleme care trebui să fie luate în considerare atunci când se alege un amplasament pentru o instalație eoliană ca, de exemplu disponibilitatea spațiului, acces pentru utilajele grele de construcții, considerații de mediu și vecinătate cu o linie electrică de medie tensiune, dar cel mai important factor este disponibilitatea unui vânt sufficient.

Ca un prim ghid, investitorii și dezvoltatorii trebuie să consulte European Wind Atlas [2] pentru a estima viteza vântului pe termen lung. O sursă secundară o reprezintă datele despre vânt din stațiile meteorologice locale situate la cel mult 30 – 40 km față de amplasament.

Estimații mai detaliate despre viteza vântului în amplasament și prognoza producției parcului eolian pot fi obținute cu programul WAsP (‘WAsP software tool’) [3]. WAsP cere ca date de intrare distribuția vitezei vântului pe termen lung de la cel puțin trei stații meteorologice din vecinătate. Acuratețea rezultatelor crește

# *Energie eoliană*

---

atunci când stațiile meteorologice sunt foarte apropiate de viitorul amplasament. În continuare amplasamentul propus și vecinătățile, mai precis, terenul, sunt modelate cât mai corect posibil. Se obțin astfel date despre 'climatul vântului' pe termen lung la amplasamentul propus.

Atunci când sunt dubii, în mod sigur pentru un teren deluros sau în zona de munte, sunt necesare și măsurători suplimentare. Perioada de măsurare trebuie să fie de cel puțin un an și, dacă este posibil, extinsă la doi ani.

## **Riscurile proiectului**

Principalul risc este acela că, pe termen lung, climatul eolian în amplasament este diferit de cel anticipat în faza studiului de fezabilitate. Din cauza legii cubice a dependenței puterii de viteza vântului, o scădere relativ mică a vitezei vântului pe termen lung are un efect important asupra energiei la ieșire. O semnificativă reducere a energiei livrate, de exemplu mai mult decât 10-15 %, poate face ca timpul de recuperare al costului să fie de 10-15 ani în loc de 10 ani, valoarea uzuală. Rezultatul reprezintă o pierdere din proiectare.

De aceea este recomandabil ca, în calculele financiare și economice, să se folosească o viteză medie a vântului ceva mai mică. În loc să se folosească viteza vântului având probabilitatea 50% de a fi depășită, este mai bine să se considere o viteză mai mică, cu probabilitatea 80% sau 90% de a fi depășită. Procedând așa, în 8 sau 9 ani - mai puțin de 10 ani, se va obține o viteză și deci o energie de ieșire mai mare decât cea estimată.

Următoarele aspecte trebuie considerat atunci când se construiește o instalație eoliană:

- ◆ trebuie să existe suficient spațiu și vânt din belșug. Deflecțiile datorate, de exemplu dealurilor sau obstacolelor din vecinătate pot afecta puterea de ieșire;
- ◆ Zona trebuie să aibă permis pentru funcționarea arcurilor eoliene. În practică aceasta înseamnă că trebuie analizate mai multe zone cu destinație industrială. În caz contrar, trebuie analizate posibilitățile de a schimba destinația terenului.
- ◆ amplasamentul trebuie să fie accesibil. În timpul construcției instalației eoliene este necesar să fie folosite macarale uriașe;
- ◆ conectarea instalației la rețeaua electrică trebuie să fie simplă și economică. Nivelul de tensiune poate fi de la 10 la 30 kV atunci când se conectează la rețeaua locală de distribuție. În cazul parcurilor eoliene, puterea generată fiind mult mai mare, este necesar să se conecteze la rețeaua de transport.

## **Controlul puterii turbinei eoliene**

Puterea la ieșire crește cu viteza vântului după o lege cubică. Cele mai multe turbine realizează puterea maximă, denumită - de asemenea - putere normată sau nominală, la viteze ale vântului de 12 -14 m/s. La viteze mai mari, puterea trebuie menținută constantă pentru a evita supraîncărcarea structurii turbinei sau a instalației electrice.

Există trei metode care pot fi utilizate pentru controlul puterii la ieșire în situații când vântul depășește viteza menționată și acestea sunt prezentate mai jos (vezi, de asemenea, Figura 2).

## **Rotoare controlate având palele fixe (neorientabile)**

La începutul timpurilor moderne tehnologia eoliană cu palele fixe a fost larg folosit în sistemul de control al puterii. Rotorul este menținut la viteză constantă, majoritatea generatoarelor sincrone fiind conectată la rețeaua publică de 50 sau 60 Hz fără a folosi convertitoare de frecvență sau altă electronică de putere. Controlul puterii se bazează pe principiul aerodinamic conform căruia, dacă unghiul de atac al curentului de aer atinge o anumită limită (stall point), forța ascensională și, în consecință, momentul rotorului, se stabilizează sau chiar descrește în amplitudine. Avantajul principal al acestui concept este simplitatea sa; nu este nevoie de nici un sistem mecanic sau electronic pentru a limita puterea deoarece acesta este un sistem complet pasiv.

# *Energie eoliană*

---

Această metodă este utilizată tot mai rar deoarece, atunci când este aplicat turbinelor cu o putere mai mare decât 1 - 1,5 MW el poate conduce la probleme de rezonanță în pale și în trenul de dirijare. Alt dezavantaj îl constituie calitatea scăzută a energiei electrice obținută de la acest tip de turbine.

## **Rotoare cu viteză variabilă**

Deși acest concept era deja cunoscut și aplicat, pe scară limitată în anii 1980 și 1990, a fost dezvoltat după aceea și este larg răspândit. Viteza rotorului este variabilă și crește cu viteza vântului. La viteza rotorului la care se produce puterea nominală, puterea este menținută constantă prin schimbarea unghiului palelor către vânt scăzând unghiul de atac, forța ascensională și momentul rotorului. Generatorul sincron este conectat la rețea folosind un convertor sau alt dispozitiv de electronică de putere, care poate funcționa cu frecvențe diferite..

Avantajul acestui mecanism de control este că el poate fi folosit la turbine de ordinul MW fără să introducă rezonanțe mecanice indesezirabile. Aplicarea controlului unghiului palelor împreună cu alte tehnici moderne de control permite să se ia în considerare sarcini mai mici la proiectare și servește ca un bun punct de plecare pentru dezvoltări ulterioare. Ultima, dar nu cea din urmă, tehnologia modernă folosind convertoare bazate pe IGBT sau IGCT îmbunătățește calitatea energiei electrice generate.

## **Soluții intermediare de control al puterii**

În ultimele două decade, câteva metode de control al puterii au fost introduse, ele fiind bazate pe unul sau altul dintre mecanismele de control mai sus menționate. Anumiți producători au folosit metoda de control numită 'active stall' care combină 'stall control', incluzând viteza constantă a rotorului, cu controlul unghiului palelor pentru optimizarea caracteristicilor.

Altă variantă este combinația 'stall control'/viteză constantă cu electronică de putere pentru optimizarea calității energiei electrice. Mai multe detalii sunt date în [1].

## **Aplicații ale energiei eoliene și oportunități în diferite sectoare**

Proprietarul sau operatorul turbinei eoliene, de regulă, vinde unei companii de servicii publice energia electrică pe care a produs-o. Proprietari sau operatori pot fi:

- ◆ entitățile private individuale sau companiile care finanțează proiecte privind energia eoliană cu resurse proprii sau cu împrumuturi de capital. Pentru companii se aplică mai multe reglementări de taxare;..
- ◆ cooperative, în care entități individuale crează o structură legală pentru a instala împreună o turbină eoliană sau un parc eolian;
- ◆ companii de servicii publice care sunt în mod particular interesate de parcuri eoliene mari și vor participa la dezvoltarea unor noi parcuri eoliene 'off-shore'.

## **Starea actuală a energiei eoliene**

Producerea de turbine eoliene comerciale a început în anii 1980, cu Danemarca, leader în această tehnologie. De la unități de 40-60 kW cu diametrul rotorului de cca 10 m, turbinele eoliene au crescut în putere până la peste 5 MW și diametru al rotorului de mai mult de 120 m.

Îmbunătățirea continuă a crescut abilitatea turbinei de a capta tot mai multă energia de la vânt. Rezultatul a fost că utilizarea energiei eoliene a crescut rapid în Europa. În Danemarca, de exemplu, numărul persoanelor implicate direct sau indirect în industria turbinelor eoliene a crescut de la cca 2900 în 1991 la 21000 în 2002.

Estimări bazate pe scenariul 'Wind Force 12' arată că numărul persoanelor angajate în domeniu, în Europa va ajunge la 200000 în 2020.

## Energie eoliană

Alte date despre energia eoliană în lume și în Europa:

- ◆ până la sfârșitul anului 2005 puterea instalată a atins 60 000 MW;
- ◆ în ultimii ani, creșterea globală anuală a fost de aproximativ 25 %. în cursul anului 2004 a fost de 7500 MW și în 2005 a fost de 11600 MW
- ◆ cea mai mare parte, 60 - 70 %, din puterea totală a fost instalată în Europa, 5800 MW în anul 2004 și 6200 MW în 2005.
- ◆ se estimează că în anul 2006 se vor instala, în lume, 15000 MW.
- ◆ în afara Europei, cele mai multe instalații eoliene sunt în SUA, cu China și India aflate în plină expansiune.
- ◆ instalațiile eoliene s-au dezvoltat consistent în Europa, cu o capacitate multiplicată de 27 de ori în decada 1992-2002.
- ◆ țările dezvoltate în acest domeniu sunt Germania, Spania, Danemarca și Olanda, care au 84 % din totalul puterii instalate. Noile piețe includ Austria, Italia, Portugalia, Suedia și Marea Britanie. Cele zece noi state membre care au aderat la UE în mai 2004 au adoptat, de asemenea, obiective privind energiile regenerabile.
- ◆ în anul trecut, în Germania, rulajul de capital în industria eoliană a fost de 4,2 bilioane EUR

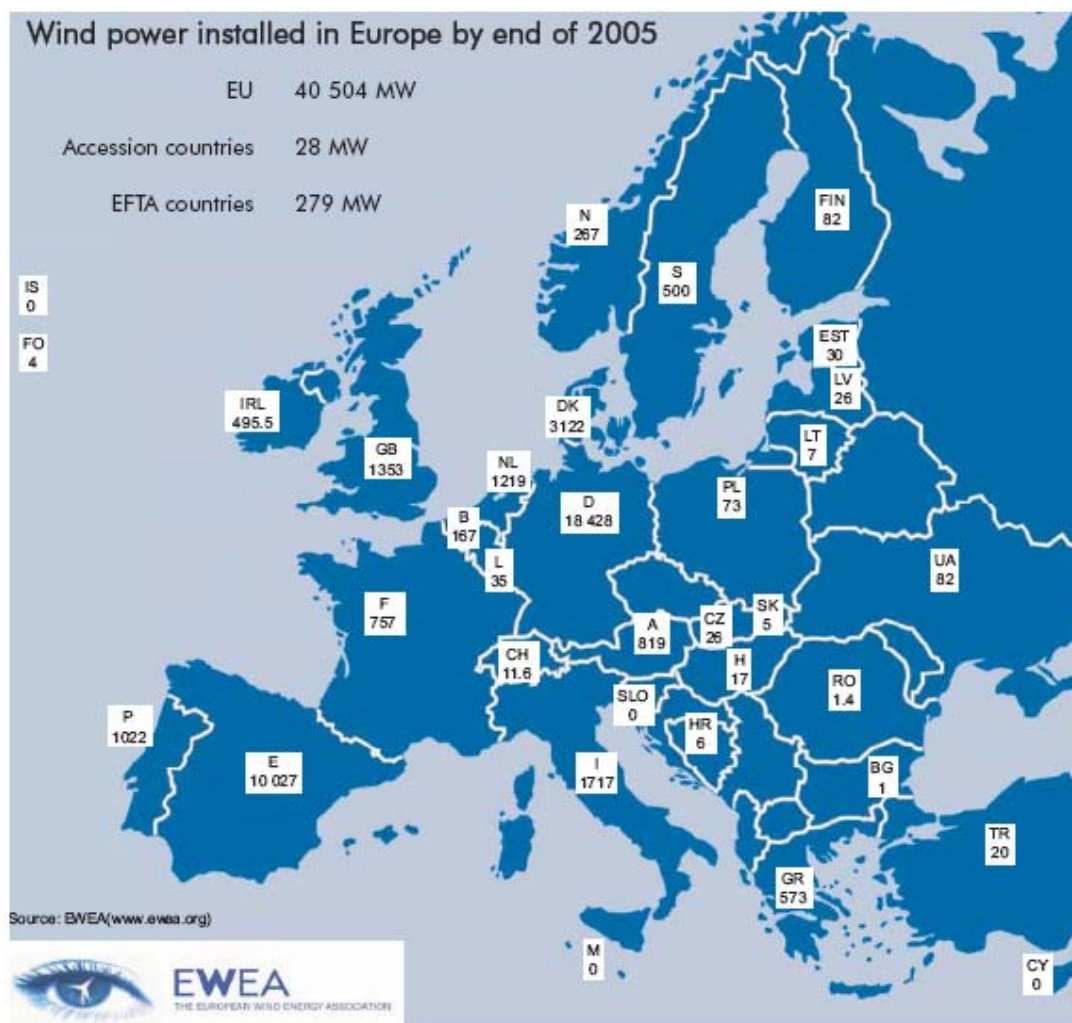


Figura 3 – Harta Europei cu puterea [MW] din instalațiile eoliene ale membrilor UE.

## Tendențe

În ultimii ani trei tendințe majore au fost puse în evidență cu referire la aspectele economice și tehnologice ale conectării la rețea a instalațiilor eoliene:

### Turbinele au devenit mai mari și mai înalte

Puterea medie a turbinelor instalate în Germania și Danemarca a crescut de la aproximativ 200 kW în 1990 la aproape 1,5 MW în cursul anului 2002. A crescut numărul turbinelor mari, din gama 1,5 ÷ 2,5 MW, care, practic, și-au dublat proporția pe piața globală de la 16,9 % în 2001 la 35,2 % în 2003.

### Costurile de investiții au scăzut

Costul mediu per kW instalat în energie eoliană variază, în mod current, de la 900 Euro/kW la 1200 Euro/kW. Turbinele însăși îi revine cca 80 % din costul total. Fundațiile, instalația electrică și conectarea la rețea reprezintă restul. Alte costuri sunt cele pentru teren, construcția de drumuri de acces, costuri de finanțare și consultanță.

### Eficiența turbinei a crescut

Folosirea unor instalații eoliene mai înalte, a unor componente îmbunătățite și o mai bună amplasare a condus la creșterea eficienței cu 2-3 % anual în ultimii 15 ani.

În plus, față de tendințele menționate, mai trebuie menționat faptul că parcurile eoliene ‘off-shore’ au crescut în dimensiuni și număr. La început, turbinele ‘off-shore’ au fost variante ajustate ale tehnologiei folosite pe uscat, completate cu o protecție la apa marină sărată. Generația actuală include modificări substanțiale ca, de exemplu, o viteză periferică a rotorului mai mare și echipament înglobat pentru lucrări de mentenanță. Turbinele trebuie să fie poziționate fix pe fundul mării, pe baza unui proiect exact. Trebuie să se instaleze mulți kilometri de cabluri care conectează turbinele între ele și întregul ansamblu la rețea. Pentru a asigura o fiabilitate ridicată a turbinelor, este necesar să fie efectuată mentenanța efectivă a turbinelor. Pentru acestea este nevoie de vase care să transporte echipa de întreținere la platformele turbinelor în condiții extreme de vreme.

La sfârșitul anului 2003, cca 600 MW au fost instalați în parcuri eoliene ‘off-shore’ construite în apele de coastă din jurul Europei din Danemarca, Suedia, Olanda și Marea Britanie.

## Tehnologia turbinelor eoliene

### Tehnologie

Tehnologia turbinelor eoliene moderne s-a dezvoltat rapid în ultimele două decade. Principiul de bază al turbinei eoliene a rămas aproape neschimbat și constă din două procese de conversie realizate de componentele principale:

- ♦ rotorul care extrage energia cinetică a vântului și o convertește în cuplu generator;
- ♦ generatorul care convertește acest cuplu în energie electrică și o livrează rețelei.

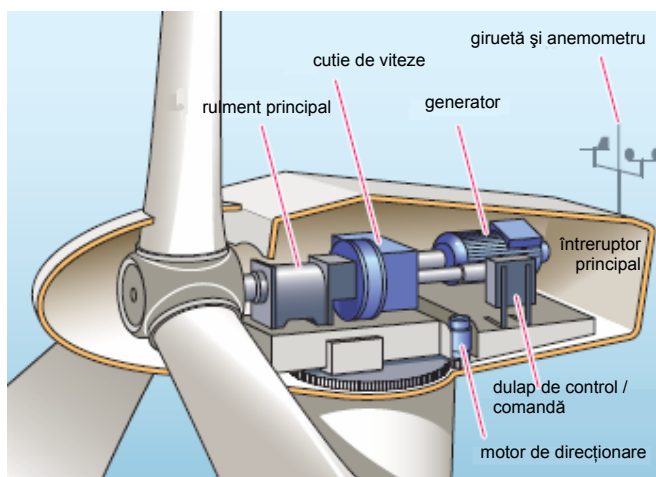


Figura 4 – Secțiune în turbina eoliană

# Energie eoliană

Deși pare simplă, o turbină eoliană este un sistem complex în care se fructifică cunoștințe din domeniul aerodinamicii, mecanicii, electrotehnicii și automatizării.

## Rotor și pale

O turbină eoliană modernă are două, de preferință trei, pale sau aripi. Palele sunt realizate din polimer întărit cu fibre de sticlă sau carbon. Din motive comerciale, palele au lungimi de la 1 m la 100 m și chiar mai mult. Palele sunt montate pe o structură din oțel numită butuc. Așa cum s-a menționat, anumite pale sunt ajustabile prin controlul unghiului de înclinare ('pitch control').

## Nacelă

Nacela poate fi considerată camera mașinilor pentru turbină. Acest spațiu este realizat astfel încât să se poată roti pe turnul (din oțel) ca să permită orientarea rotorului perpendicular pe direcția vântului. Aceasta se realizează de către un sistem de control automat legat la girueta care se află pe nacelă. Camera mașinilor este accesibilă din turn și conține toate componentele principale cum sunt arborele (axul) principal cu rulmentul său, cutia de viteze, generatorul, sistemul de frânare și sistemul de rotire (orientare). Arborele principal transferă cuplul rotorului la cutia de viteze.

## Cutia de viteze

O cutie de viteze este necesară pentru trecerea de la viteza relativ redusă a rotorului (cca 20 rotații/minut pentru un diametru de 52 m) la cea a generatorului (1500 rotații/minut).

## Generator

În mod curent, există trei tipuri de turbine eoliene. Diferența principală între aceste concepte se referă la generator și la modul în care eficiența aerodinamică a rotorului este limitată atunci când viteza vântului este mai mare decât cea nominală, cu scopul de a evita suprasarcina. Ca și în cazul generatorului, aproape toate turbinele instalate folosesc unul din sistemele următoare (vezi Figura 5):

- ◆ generator asincron cu rotor în scurtcircuit;
- ◆ generator asincron cu dublă alimentare (rotor bobinat);
- ◆ generator sincron

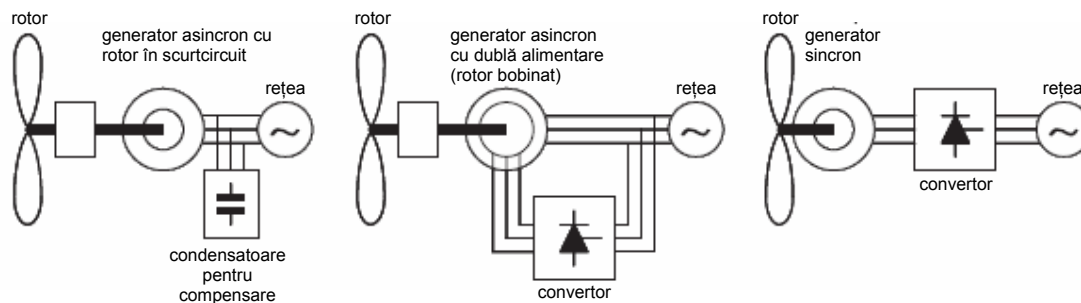


Figura 5 – Sisteme de generare aplicate la turbine eoliene.

Turbinele eoliene din prima generație au folosit generator asincron cu rotor în scurtcircuit. Din cauza diferenței mari dintre viteza de rotație a turbinei și cea a generatorului, este necesară o cutie de viteze. Înfășurarea rotorului este conectată la rețea. Acest concept se numește 'viteza constantă a turbinei eoliene' deși generatorul asincron cu rotor în scurtcircuit permite mici variații ale vitezei rotorului (aproximativ 1%).

# Energie eoliană

---

Deoarece generatorul asincron cu rotor în scurtcircuit consumă putere reactivă, care un este dorită, în particular în rețele slabe, este necesară conectarea unor condensatoare pentru compensare.

Celelalte două sisteme de generare permit un factor 2 între viteza maximă și minimă a rotorului. Aceste nivele diferite de viteză sunt adaptate cu ajutorul electronicii de putere care decuplează frecvența rotorului de cea a rețelei.

Generatorul asincron cu dublă alimentare utilizează electronica de putere pentru a alimenta înfășurările rotorului generatorului. Frecvența curentului rotorului este variată astfel încât frecvența curentului generat în înfășurările statorului este potrivită cu cea a rețelei la care este direct conectat. O cutie de viteze este necesară pentru a potrivi vitezele rotorului și generatorului.

Generatorul sincron conectat direct nu are nevoie de cutie de viteze. Generatorul și rețeaua electrică sunt complet decuplate prin electronică de putere. Viteza generatorului este mult mai mică decât a sistemelor indirecte astfel încât la generator pot fi utilizate viteze mici; acestea sunt ușor de recunoscut datorită diametrelor mari și proximității față de rotorul turbinei.

## Sistem de blocare

Turbinele eoliene sunt echipate cu un sistem de siguranță robust incluzând un sistem aerodinamic de blocare. În cazuri de pericol sau pentru oprirea necesară mentenanței se folosește un disc de blocare.

## Sistem de control / comandă

Turbinele eoliene au sisteme de control/comandă complexe care folosesc computer și care pot, de asemenea să furnizeze informații detaliate asupra stării turbinei. Adesea această informație poate fi refăcută și anumite funcții de control realizate printr-o cale de comunicare.

## Dezvoltări viitoare

În prezent (2006) turbinele eoliene cu o tehnologie verificată sunt disponibile în gama 1,5 - 3 MW. În Europa de Vest atenția este îndreptată, în principal, spre gama de turbine eoliene de 2-3 MW. Toate întreprinderile de vârf din domeniu au una sau mai multe turbine eoliene de ordinul MW + un segment de piață.

În anumite regiuni, de exemplu în Europa de Sud, Asia și America Latină cu o mai puțin dezvoltată infrastructură sau unde ariile muntoase domină, turbinele eoliene fizic mai mici sunt mai adecvate. Pentru aceste motive, turbinele eoliene din gama 0,8 - 1,3 MW sunt mai căutate în toată lumea.

Prototipuri ale unor turbine de 5 și 6 MW vor deveni comerciale începând cu 2006. Aceste turbine sunt caracterizate de faptul că au axul la înălțimea de 120 m sau mai mult și au diametrul rotorului adesea mai mare de 110 m. În afară de costurile în continuare ridicate per MW instalat al acestor turbine 5+MW, principala problemă o reprezintă greutatea și dimensiunile componentelor care sunt dificil de transportat pe structura rutieră a Europei de Vest. Anumiți producători rezolvă problema oferind aceste turbine numai pentru amplasament 'off-shore' sau pentru amplasamente accesibile pe apă. Alții rezolvă această problemă logistică, cel puțin parțial, prin construirea și instalarea turnurilor realizate prin montarea *in-situ* a unor elemente prefabricate din beton în locul segmentelor tubulare din oțel.

În tehnologia eoliană, următoarele evenimente sunt în curs sau sunt anticipate:

- ◆ proporția tehnologiei cu rotor cu viteză variabilă, incluzând electronică de putere modernă, va crește;
- ◆ în segmentul mai mare de 1 MW, cutia de viteze este una din cele mai slabe legături necesitând frecvente operații de mentenanță sau cheltuieli mari de reparații sau înlocuire. Anumiți producători oferă turbine eoliene fără transmisie care folosesc generatoare sincrone multipolare mari (cu diametre până la 5 m). Se obține un proiect hibrid care are un etaj cu cutie de viteze urmat de un generator sincron multipolar mai puțin masiv. Se consideră că, în următorii 5-10 ani, aceste diferite concepții se vor dezvolta.

# Energie eoliană

---

◆ dezvoltarea turbinelor eoliene mai mari de 1 MW se va concentra pe reducerea greutateii și pe limitarea dimensiunilor cu scopul de a simplifica transportul pe șosea și necesitatea unor macarale de construcție la locul de amplasare. Căi de realizare a acestor obiective sunt optimizarea strategiilor de control care să conducă la o încărcare mai redusă și, astfel, folosirea unor componente mai puțin masive. Altă strategie este creșterea nivelului de integrare a componentelor și sistemelor conducând la mai puține componente sau părți mai compacte.

◆ În mod current, turbinele eoliene ‘*offshore*’ sunt similare sau derivă din cele utilizate pe uscat, dar - în viitorul apropiat - fiecare tip va fi dezvoltat astfel încât ele să fie mai bine adaptate mediului în care funcționează. Pentru mașinile care funcționează ‘*offshore*’ se pun probleme de fiabilitate, control la distanță și putere instalată mare pe unitate (până la sau peste 10 MW). Pentru mașinile care funcționează pe uscat (‘*onshore*’) se pun probleme privind nivelul redus și acceptabil al neplăcerilor (de exemplu, zgomot) pentru zonele din vecinătate, eficiență ridicată, transport ușor și cu costuri mici la amplasament, instalare cu ajutorul unor macarale disponibile și putere instalată limitată (până la 6-8 MW).

## Costuri și beneficii

### Costurile energiei eoliene

Costurile energiei eoliene depinde în mare măsură de amplasarea instalației. Viteza vântului și costurile de conectare la rețea pot varia în funcție de amplasare. Pentru uz comercial (buget și depreciere peste zece ani), prețurile variază de la 5 Eurocenți/kWh în zonele cu vânt intens până la 8 Eurocenți/kWh în zone interioare. În comparație, prețul energiei produse în centrale electrice clasice care folosesc combustibili fosili este de cca 4 Eurocenți/kWh. Plata pentru energia livrată constă în costuri cu combustibilul evitat, ecotaxă parțială (granturi pentru energia verde) și o parte care este determinată de piața pentru energia regenerabilă.

Cifrele de cost de mai sus se bazează pe următoarele ipoteze:

- ◆ turbină eoliană nouă, de dimensiuni medii, cu puterea instalată de 850-2500 kW;
- ◆ costuri de funcționare și de mentenanță (O&M) medii de 1,2 Eurocenți/ kWh pentru o durată de funcționare de 20 ani. Cheltuielile agregate de funcționare (chiria terenului, asigurare, funcționare zilnică, mentenanță) sunt de aproximativ 2 Eurocenți/kWh.

În ultimii douăzeci de ani, costurile de investiții în instalații eoliene au scăzut cu cca 80 % ajungând la 900 -1200 EUR/kWh instalat. Se prognozează că tendința se va menține, reducerea fiind de câva procente pe an.

Altă componentă principală a costului este cea de funcționare și de mentenanță (O&M). Este evident că nu există cheltuieli cu combustibilul. Costurile O&M se referă la mentenanța curentă, reparații, asigurare, piese de schimb și administrare. Din cauza faptului că există unități mai vechi de 20 ani, nu se poate dispune întotdeauna de date sigure sau comparabile. Pentru o unitate nouă, costurile O&M pot fi în medie, pentru întreaga durată de viață a turbinei, de cca 20-25 % din costurile totale amortizate pentru kWh produs. Producătorii au ca țintă reducerea semnificativă a acestor costuri prin dezvoltarea unei noi turbine care să necesite mai puține vizite curente și să reducă timpul de nefuncționare. Tendința către turbine eoliene mari va reduce, de asemenea, costurile O&M per kWh produs.

La costurile de investiții și O&M trebuie să se ia în calcul și următoarele costuri:

- ◆ proiect de dezvoltare;
- ◆ pregătirea locului construcției;
- ◆ fundația instalației eoliene;
- ◆ conectarea la rețea;
- ◆ taxele reale de patrimoniu.

### Beneficiile energiei eoliene

Proprietarul unei instalații eoliene vinde energia electrică produsă unei companii de servicii. Valoarea energiei eoliene, așa cum este ‘văzută’ de compania de servicii, este determinată prin costurile echivalente ale producerii

# *Energie eoliană*

---

ei din cărbune sau gaz. Dacă proprietarul instalației eoliene va fi compensat în această măsură, energia eoliană nu va reprezenta o propunere economică.

Compania de servicii plătește pentru garanția furnizării energiei. Putere de rezervă nu este necesară dacă puterea furnizată are un grad ridicat de disponibilitate. Statisticile arată că energia eoliană poate să reprezinte, în cazul vitezelor mici ale vântului, aproximativ 25 % din puterea garantată.

## **Costuri viitoare**

Poate energia eoliană să intre în competiție cu energia produsă în centralele electrice convenționale ? În această comparație energia eoliană nu are un avantaj deoarece centralele existente sunt parțial amortizate.

Chestiune reală este cum va putea energia electrică produsă în centrale eoliene să se compare în, să spunem zece ani, cu aceea produsă de noile centrale electrice convenționale cu combustibil fosil ? Dar, în acel moment este de așteptat ca toate gazele evacuate să fie curate și, probabil emisiile de CO<sub>2</sub> vor trebui să fie captate. Din cauză că sursele fosile vor fi epuizate, este o ipoteză valabilă aceea că prețurile combustibililor fosili vor fi înalte.

Pe de altă parte, costurile energiei electrice produse în centralele eoliene vor continua să scadă. Dacă energia eoliană va continua să aibă o evoluție pozitivă în următorii zece ani, ea va deveni un competitor serios al surselor convenționale de energie.

## **Taxe și stimulente**

În cele mai multe țări europene, energia eoliană nu are, în prezent, șansa să supraviețuiască economic fără subvenții de la guvern.

Un motiv serios pentru a asigura stimulente este că energia eoliană, ca o sursă (aproape) curată de energie, aproape nu are costuri externalizate. Uniunea Europeană consideră “costuri externalizate apar atunci când activitățile sociale sau economice ale unui grup influențează un alt grup și când această influență nu este în întregime compensată sau luată în considerație”. De exemplu, o centrală convențională produce SO<sub>2</sub> care poate influența persoanele care sunt astmatice și deteriorează matreialele de construcție. Cu toate acestea, proprietarul centralei nu plătește pentru îngrijirile de sănătate suplimentare sau pentru repararea clădirilor; proprietarul le “transferă” la alții, cum ar fi plătitorii de taxe sau proprietarii de clădiri. EU ar putea introduce o ecotaxă care să acopere daunele și, astfel, prețul energiei ar putea să crească cu 2 până la 7 Eurocenți/kWh.

Alternativ, sursele de energie curată pot fi încurajate prin stimulente, astfel că sunt evitate costurile sociale și de mediu. Aceste subvenții au fost permise, dacă nu încurajate de UE. În anumite țări europene de exemplu, energia eoliană este încurajată cu aproximativ 8-9 Eurocenți/kWh, depinzând de amplasament: pe uscat sau pe mare.

## **Politică și reglementare**

### **Reglementări, politici și directive UE referitoare la energia eoliană**

Faptul că sursele de combustibil fosil se epuizează, iar prețul combustibilului fluctuează, fiind dependent de import, devine un important dezavantaj. Mediul a devenit, de asemenea, o problemă majoră în termeni, de exemplu, de emisii de CO<sub>2</sub> sau de stocare a deșeurilor nucleare.

Numeroase țări industrializate fac eforturi majore pentru a dezvolta surse de energie regenerabile, în special solară, biomasă, hidro și energie eoliană. Shell consideră că o treime din energia mondială cerută în 2050 va proveni din surse regenerabile.

Câteva state membre ale Uniunii Europene și-au propus obiective individuale ca (de exemplu) 9 % din toată energia electrică din 2010 să fie generată din surse regenerabile, din care jumătate ar fi din energia eoliană.

# Energie eoliană

---

Aceste ambiții sunt foarte modeste în comparație cu obiectivele Uniunii Europene în ansamblu. Multe state membre ale UE au deja o bună parte din energia electrică generată din surse regenerabile sub formă de energie hidroelectrică, biomasă și energie eoliană. În 2020, în EU-15, 22 % din energia electrică trebuia să fie produsă din surse de energie regenerabile. Politica Uniunii Europene încurajează, în mod constant, noii și vechii membri (EU-25) să realizeze acest obiectiv.

## Efecte locale ale energiei eoliene

Energia eoliană are un efect inevitabil asupra mediului local, dar acesta poate fi limitat printr-o proiectare atentă.

### Păsări

Păsările pot să intre în coliziune cu palele turbinei sau să cadă în capcana turbulenței din spatele rotorului. Numărul estimat de ‘victime ale coliziunii’ este relativ mic, aproximativ 21000 victime pentru o putere instalată de 1000 MW pe an (în Olanda). Deși pare mare, el este mic în raport cu numărul păsărilor care sunt ucise în fiecare an datorită traficului (2 milioane) sau care mor din cauza liniilor electrice (1 milion) [9].

Multe accidente cu turbinele eoliene sunt produse noaptea, în timpul amurgului sau pe vreme proastă. Păsările cunosc locurile lor de hrănire și de repaus pe pământ; ele evită deci instalațiile eoliene. Atunci când se instalează turbine este necesar să se cunoască locurile de hrănire și de înnoptare ale păsărilor.

### Pește

Parcurile eoliene *off-shore* au, de asemenea, efecte pozitive. Pescuitul în exces este o problemă cunoscută și stocurile de numeroase specii de pești sunt amenințate. Având în vedere că navigația, prin urmare și pescuitul, sunt interzise în vecinătatea parcurilor eoliene, biologii marini speră ca aceste arii să devină zone de înmulțire pentru numeroase specii de pești. Cercetări recente din vecinătatea parcurilor eoliene confirmă aceste efecte pozitive asupra stocurilor de pește.

### Zgomot

Turbinele eoliene produc zgomot. Rotorul produce un sunet de fond și un zgomot mecanic al generatorului și cutiei de viteze. O proiectare atentă a palelor rotorului, limitarea vitezei de rotație și izolarea acustică a cutiei de viteze și a generatorului poate limita zgomotul. Menținând o distanță suficientă față de zona rezidențială sau de arii sensibile, se poate înlătura poluarea sonoră

### Umbră

Rotirea palelor turbinei crează o umbră mișcătoare care poate provoca efecte dezagreabile atunci când, de exemplu, umbra la apusul soarelui care cade pe o fereastră. O amplasare corespunzătoare în raport cu locuințele poate fi suficientă ca să prevină această problemă. Dacă această problemă este limitată la câteva ore pe an, turbinele poate fi oprite în acest timp fără să se producă o pierdere semnificativă de energie.

### Armonizare cu peisajul

Turbinele eoliene sunt structuri vizibile în peisaj. Ele pot fi realizate astfel încât să se armonizeze cu peisajul, de exemplu, aranjându-le în linie de-a lungul unor structuri cum ar fi diguri sau canale. Cercetările au arătat că poziționarea turbinelor eoliene în grupuri este mult mai acceptată atunci când este clar pentru cetățenii din vecinătate că se poate realiza astfel o mare producție de energie electrică. Dacă aliniamentul câtorva turbine este dorit sau nu, și întotdeauna ar putea fi, este o chestiune de gust. Mult mai importantă este relația dintre înălțimea axului și diametrul rotorului. Un alt aspect important este dimensiunea rotorului deoarece un rotor cu diametrul mare este mai lent și, în consecință, mai liniștit.

# *Energie eoliană*

---

## **Rezumat**

Timp de mii de ani, energia vântului a fost folosită în cele mai diferite scopuri. După criza petrolului o substanțială dezvoltare a avut loc și s-au realizat impresionante proiecte de parcuri eoliene.

Tehnologia eoliană este încă în dezvoltare. Turbinele au devenit mai eficiente, puterea lor este în creștere și beneficiază de o electronică de putere inteligentă. În același timp, se dezvoltă parcuri eoliene impresionante situate pe mare.

Continua reducere a investițiilor și costurilor de mentenanță ale turbinelor eoliene face ca aceste tehnologii să fie interesante pentru investitori și pentru persoanele care dezvoltă parcuri eoliene.

## **Bibliografie**

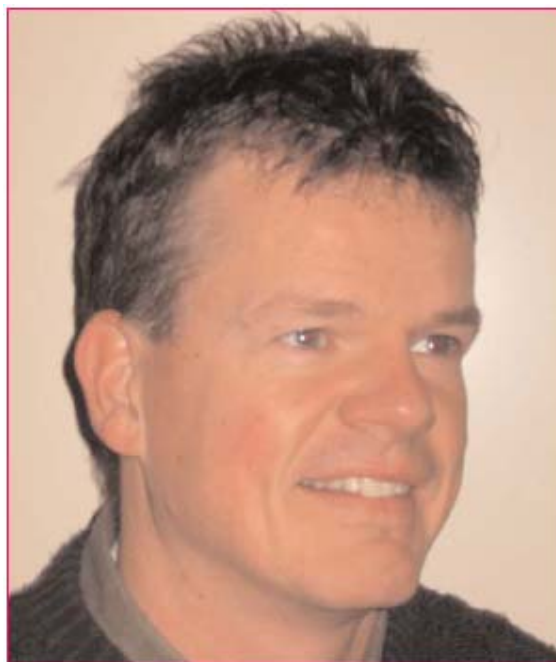
- [1] Ackermann, T, (editor), 'Wind Power in Power Systems', John Wiley & Sons, Ltd, 2005, ISBN 0-470-85508-8.
- [2] Troen, I, and Petersem, E L, European Wind Atlas, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, ISBN 87-550-1482-8.
- [3] WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program), Version 8, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.
- [4] Beurskens, J, and van Kuik, G, 'Alles in de wind', Questions and answers concerning wind power, October 2004.
- [5] 'Wind Power Technology', Operation, commercial developments, projects, grid distribution, EWEA, December 2004.
- [6] 'Wind Power Economics', Wind energy costs, investment factors, EWEA, December 2004.
- [7] 'The Current Status of the Wind Industry', Industry overview, market data, employment, policy, EWEA, December 2004.
- [8] 'Windenergie Winstgevend', Ministry of the Flemish Community, Department of Renewable Sources and Energy, 1998.
- [9] [www.mileucentraal.nl](http://www.mileucentraal.nl).

## Parteneri de Referință & Fondatori\*

European Copper Institute* (ECI) <a href="http://www.eurocopper.org">www.eurocopper.org</a>	EPRI Solutions Inc <a href="http://www.epri.com/eprisolutions">www.epri.com/eprisolutions</a>	Laborelec <a href="http://www.laborelec.com">www.laborelec.com</a>
ABB Power Quality Products <a href="http://www.abb.com">www.abb.com</a>	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid <a href="http://www.etsii.upm.es">www.etsii.upm.es</a>	MGE UPS Systems <a href="http://www.mgeups.com">www.mgeups.com</a>
Akademia Gorniczko-Hutnicza (AGH) <a href="http://www.agh.edu.pl">www.agh.edu.pl</a>	Fluke Europe <a href="http://www.fluke.com">www.fluke.com</a>	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg <a href="http://www.uni-magdeburg.de">www.uni-magdeburg.de</a>
Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA) <a href="http://www.citcea.upc.es">www.citcea.upc.es</a>	Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) <a href="http://www.htw-saarland.de">www.htw-saarland.de</a>	Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) <a href="http://www.miedz.org.pl">www.miedz.org.pl</a>
Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) <a href="http://www.ceiuni.it">www.ceiuni.it</a>	Hogeschool West-Vlaanderen Departement PIH <a href="http://www.pih.be">www.pih.be</a>	Socomec Sicon UPS <a href="http://www.socomec.com">www.socomec.com</a>
Copper Benelux* <a href="http://www.copperbenelux.org">www.copperbenelux.org</a>	International Union for Electrotechnology Applications (UIE) <a href="http://www.uie.org">www.uie.org</a>	Università di Bergamo* <a href="http://www.unibg.it">www.unibg.it</a>
Copper Development Association* (CDA UK) <a href="http://www.cda.org.uk">www.cda.org.uk</a>	ISR - Universidade de Coimbra <a href="http://www.isr.uc.pt">www.isr.uc.pt</a>	University of Bath <a href="http://www.bath.ac.uk">www.bath.ac.uk</a>
Deutsches Kupferinstitut* (DKI) <a href="http://www.kupferinstitut.de">www.kupferinstitut.de</a>	Istituto Italiano del Rame* (IIR) <a href="http://www.iir.it">www.iir.it</a>	University of Manchester <a href="http://www.manchester.ac.uk">www.manchester.ac.uk</a>
Engineering Consulting & Design* (ECD) <a href="http://www.ecd.it">www.ecd.it</a>	Katholieke Universiteit Leuven* (KU Leuven) <a href="http://www.kuleuven.ac.be">www.kuleuven.ac.be</a>	Wroclaw University of Technology* <a href="http://www.pwr.wroc.pl">www.pwr.wroc.pl</a>

## Consiliul de redacție

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	<a href="mailto:david.chapman@copperdev.co.uk">david.chapman@copperdev.co.uk</a>
Prof Angelo Baggini	Università di Bergamo	<a href="mailto:angelo.baggini@unibg.it">angelo.baggini@unibg.it</a>
Dr Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	<a href="mailto:ahernandez@etsii.upm.es">ahernandez@etsii.upm.es</a>
Prof Ronnie Belmans	UIE	<a href="mailto:ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be">ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be</a>
Dr Franco Bua	ECD	<a href="mailto:franco.bua@ecd.it">franco.bua@ecd.it</a>
Jean-Francois Christin	MGE UPS Systems	<a href="mailto:jean-francois.christin@mgeups.com">jean-francois.christin@mgeups.com</a>
Prof Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	<a href="mailto:adealmeida@isr.uc.pt">adealmeida@isr.uc.pt</a>
Hans De Keulenaer	ECI	<a href="mailto:hdk@eurocopper.org">hdk@eurocopper.org</a>
Prof Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	<a href="mailto:jan.desmet@howest.be">jan.desmet@howest.be</a>
Dr ir Marcel Didden	Laborelec	<a href="mailto:marcel.didden@laborelec.com">marcel.didden@laborelec.com</a>
Dr Johan Driesen	KU Leuven	<a href="mailto:johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be">johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be</a>
Stefan Fassbinder	DKI	<a href="mailto:sfassbinder@kupferinstitut.de">sfassbinder@kupferinstitut.de</a>
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Gorniczko-Hutnicza	<a href="mailto:hanzel@uci.agh.edu.pl">hanzel@uci.agh.edu.pl</a>
Stephanie Horton	ERA Technology	<a href="mailto:stephanie.horton@era.co.uk">stephanie.horton@era.co.uk</a>
Dr Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	<a href="mailto:antoni.klajn@pwr.wroc.pl">antoni.klajn@pwr.wroc.pl</a>
Kees Kokee	Fluke Europe BV	<a href="mailto:kees.kokee@fluke.nl">kees.kokee@fluke.nl</a>
Prof Dr rer nat Wolfgang Langguth	HTW	<a href="mailto:wlang@htw-saarland.de">wlang@htw-saarland.de</a>
Prof Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	<a href="mailto:henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl">henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl</a>
Carlo Masetti	CEI	<a href="mailto:masetti@ceiuni.it">masetti@ceiuni.it</a>
Mark McGranaghan	EPRI PEAC Corporation	<a href="mailto:mmcgranaghan@epri-peac.com">mmcgranaghan@epri-peac.com</a>
Dr Jovica Milanovic	UMIST	<a href="mailto:jovica.milanovic@umist.ac.uk">jovica.milanovic@umist.ac.uk</a>
Dr Miles Redfern	University of Bath	<a href="mailto:eesmar@bath.ac.uk">eesmar@bath.ac.uk</a>
Dr ir Tom Sels	KU Leuven	<a href="mailto:tom.sels@esat.kuleuven.ac.be">tom.sels@esat.kuleuven.ac.be</a>
Prof Dr Ing Zbigniew Styczynski	Universität Magdeburg	<a href="mailto:Stv@E-Technik.Uni-Magdeburg.de">Stv@E-Technik.Uni-Magdeburg.de</a>
Andreas Sumper	CITCEA-UPC	<a href="mailto:sumper@citcea.upc.es">sumper@citcea.upc.es</a>
Roman Targosz	PCPC	<a href="mailto:cem@miedz.org.pl">cem@miedz.org.pl</a>
Dr Ahmed Zobia	Cairo University	<a href="mailto:azmailinglist@link.net">azmailinglist@link.net</a>



Fred Wien



KEMA Nederland BV  
Utrechtseweg 310  
6812 AR Arnhem  
The Netherlands

Tel: 00 31 26 3566061  
Email: [fred.wien@kema.com](mailto:fred.wien@kema.com)  
Web: [www.kema.com](http://www.kema.com)



Membră a  
EUR-EL

Societatea Inginerilor Energeticieni din România  
No. 1, Lacul Tei Avenue, PO/BOX 30-33  
020371 Bucharest  
Romania

Tel: 4 0722 36 19 54  
Fax: (4 021) 610 52 83  
Email: [office@sier.ro](mailto:office@sier.ro)  
Websites: [www.sier.ro](http://www.sier.ro)



European Copper Institute  
168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Brussels  
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
Email: [eci@eurocopper.org](mailto:eci@eurocopper.org)  
Website: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)