

Noțiuni generale

Tematica: *Energii regenerabile*

→ **Capitol:** *Filiera eoliană*

→ **Secțiunea:** *Noțiuni generale*

Tip resursă: *Expunere* *Laborator virtual / Exercițiu* *CVR*

În acest curs, vă invităm să descoperiți generatoarele eoliene. Pentru aceasta, vom prezenta mai întâi principiul de conversie a energiei, pe care se bazează funcționarea unui generator eolian. Apoi se vor evidenția particularitățile dispozitivelor, pentru ca ulterior să se dezvolte componentele unui generator eolian prin intermediul unei scheme interactive. La final, va fi prezentată importanța generatoarelor eoliene și vom încheia cu emisia sonoră a generatoarelor eoliene.

- cunoștințe anterioare necesare: nu există
- nivel: fără restricții
- durată estimată: 1h
- autori: Diane Brizon, Nathalie Schild, Aymeric Anselm, Mehdi Nasser
- realizare: Diane Brizon, Nathalie Schild
- traducere: [Sergiu Ivanov](#)

Istoricul olienelor

Moara de vânt este strămoșul generatoarelor eoliene (Fig. 1). Ea a apărut în Evul Mediu în Europa. Ea a funcționat la început cu ax vertical.



Fig.1: Imagine a două mori de vânt
(Sursa: <http://www.sizilien-sicily-sicilia.de/Energie-uk.htm>)

Mai târziu, morile se orientau după direcția vântului și au fost puse pânze pentru a capta mai bine energia vântului. (Fig. 2)



Fig. 2: imagine a unei mori de vânt cu pânze
(Sursa: <http://www.olympia.nl/home1-5/griekenland/kos/pages-kos/atmz/beziensw-antimachia-kos.html>)

Prima moară de vânt cu pale profilate a apărut în secolul doisprezece. Chiar dacă era foarte simplă, este totuși vorba de prima cercetare aerodinamică a palelor. Acestea au fost utilizate în principal pentru pomparea apei sau pentru măcinarea grâului.

În perioada Renașterii, inventatori celebri ca Leonardo da Vinci s-au interesat foarte intens de morile de vânt, ceea ce a condus la numeroase inovații, unele inutile. De atunci, morile s-au înmulțit în Europa.

Revoluția industrială a oferit un nou început pentru morile de vânt, prin apariția de noi materiale. În consecință, utilizarea metalului a permis modificarea formei turului și creșterea considerabilă a mașinilor pe care le numim pe scurt "eoliene". (Fig. 3)



Fig. 3: Moară de vânt (Germania de Nord)
(Sursa: <http://www.jbengs.de/galerie/pages/bild279.htm>)

Evoluția electricității în secolul XX a determinat apariția primelor eoliene moderne (Fig. 4). Este studiat profilul paletelor, iar inginerii se inspiră după profilul aripilor de avion.

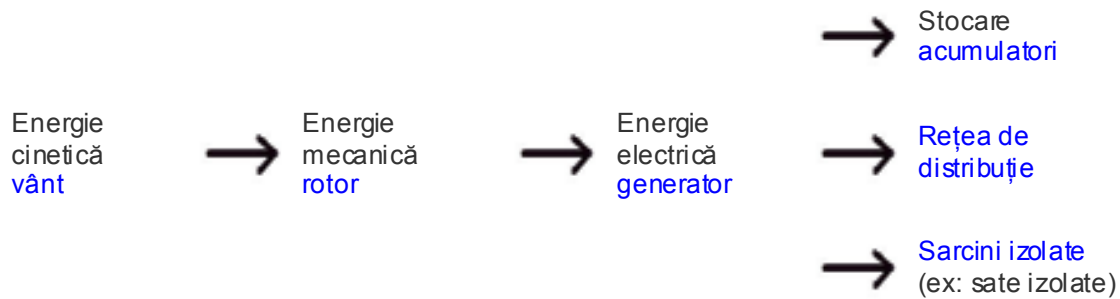


Fig. 4: Eoliană modernă
(Sursa: <http://gruppen.greenpeace.de/aachen/energie-windrad.jpg>
copyright: Langrock/Greenpeace)

În prezent, eolienele sunt, aproape în totalitate cu ax orizontal, cu excepția modelelor cu ax vertical ca cele cu rotor Savonius și Darrieus, care sunt încă utilizate, dar sunt pe cale de dispariție.

Ultimele inovații permit funcționarea eolienele cu viteză variabilă, respectiv reglarea vitezei turbinei eoliene în funcție de viteza vântului.

1. Principiu



Energia de origine eoliană face parte din energiile regenerabile. Aero-generatorul utilizează energia cinetică a **vântului** pentru a antrena arborele **rotorului** său: aceasta este transformată în energie mecanică, care la rândul ei este transformată în energie electrică de către generatorul cuplat mecanic la turbina eoliană. Acest cuplaj mecanic se poate face fie direct, dacă turbina și generatorul au viteze de același ordin de mărime, fie se poate realiza prin intermediul unui multiplicator de viteză. În sfârșit, există mai multe posibilități de a utiliza energia electrică produsă: fie este stocată în **acumulatori**, fie este distribuită prin intermediul unei **rețele electrice**, fie sunt alimentate **sarcini izolate**. Sistemele eoliene de conversie au și pierderi. Astfel, se poate menționa un randament de ordinul a 59 % pentru rotorul eolienei, 96% al multiplicatorului. Trebuie luate în considerare, de asemenea, pierderile generatorului și ale eventualelor sisteme de conversie.



Imagine a unei eoliene cu trei pale de 750 kW
(Sursa: Departament Génie Électrique, HEI)

2. Particularități

În această prezentare, vă propunem să descoperiți **tipurile de instalări** ale eolienei și diferitele **orientări ale axului** eolienei.

Tipuri de instalări

O eoliană ocupă o suprafață mică pe sol. Acesta este un foarte mare avantaj, deoarece perturbă puțin locația unde este instalată, permițând menținerea activităților industriale sau agricole din apropiere. Se pot întâlni eoliene numite **individuale**, instalate în locații izolate. Eoliana nu este racordată la rețea, nu este conectată cu alte eoliene.

În caz contrar, eolienele sunt grupate sub forma unor **ferme eoliene**. Instalările se pot face pe sol,

sau, din ce în ce mai mult, în largul mărilor, sub forma unor ferme eoliene **offshore**, în cazul cărora prezența vântului este mai regulată. Acest tip de instalare reduce dezavantajul sonor și ameliorează estetica.



Imagine a unei ferme eoliene
(Sursa: <http://valromeysolidaire.free.fr/index/main.php3>)



Ferma eoliană offshore de la Middelgrunden (Danemarca)
(Sursa: http://www.apab.org/fr/page.php?id_rubrique=3&id_sous_rubrique=23)

Orientarea axului

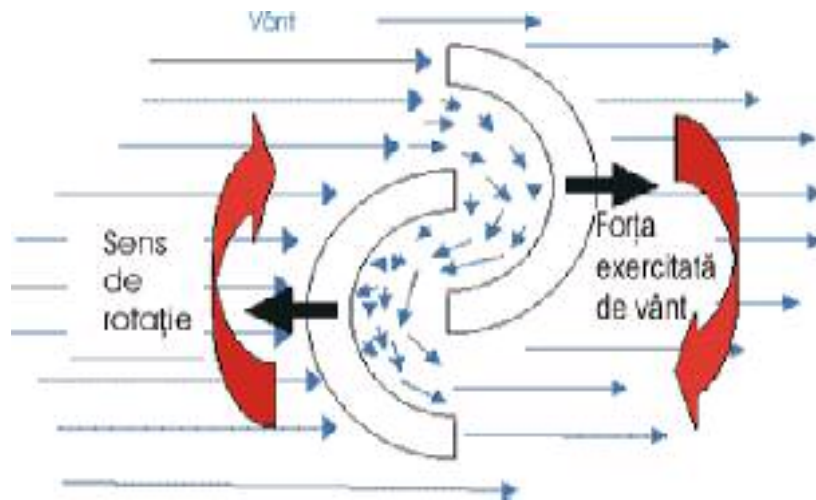
Există mai multe tipuri de eoliene. Se disting însă două mari familii: **eoliene cu ax vertical** și **eoliene cu ax orizontal**. Indiferent de orientarea axului, rolul lor este de a genera un cuplu motor pentru a antena generatorul.

Eoliene cu ax vertical

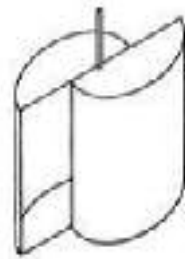
Pilonii eolienelelor cu ax vertical sunt de talie mică, având înălțimea de 0,1 - 0,5 din înălțimea rotorului. Aceasta permite amplasarea întregului echipament de conversie a energiei (multiplicator, generator) la piciorul eolienei, facilitând astfel operațiunile de întreținere. În plus, nu este necesară utilizarea unui dispozitiv de orientare a rotorului, ca în cazul eolienelelor cu ax orizontal. Totuși, vântul are intensitate redusă la nivelul solului, ceea ce determină un randament redus al eolienei, aceasta fiind supusă și turbulențelor de vânt. În plus, aceste eoliene trebuie antrenate pentru a porni, pilonul este supus unor solicitări mecanice importante. Din acest motive, în prezent, constructorii de eoliene s-au orientat cu precădere către eolienele cu ax orizontal.

Cele mai răspândite două structuri de eoliene cu ax vertical se bazează pe principiul tracțiunii diferențiale sau a variației periodice a incidenței:

- **Rotorul lui Savonius** în cazul căruia, funcționarea se bazează pe principiul tracțiunii diferențiale. Eforturile exercitate de vânt asupra fiecăreia din fețele unui corp curbat au intensități diferite. Rezultă un cuplu care determină rotirea ansamblului.



Schema de principiu a rotorului lui Savonius



Schema rotorului lui Savonius

(Sursa: <http://muextension.missouri.edu/explore/agguides/agengin/g01981.htm>)

- **Rotorul lui Darrieus** se bazează pe principiul variației periodice a incidenței. Un profil plasat într-un curent de aer, în funcție de diferitele unghiuri, este supus unor forțe ale căror intensitate și direcție sunt diferite. Rezultanta acestor forțe determină apariția unui cuplu motor care rotește dispozitivul.



Imaginea unei eoliene Darrieus

(Sursa: <http://www.jura.ch/lcp/forum/energies/vent.html>)



Schema rotorului lui Darrieus

(Sursa: <http://muextension.missouri.edu/explore/agguides/agengin/g01981.htm>)

Eoliene cu ax orizontal

Funcționarea eolieneleor cu ax orizontal se bazează pe principiul morilor de vânt. Cel mai adesea, rotorul acestor eoliene are trei pale cu un anumit profil aerodinamic, deoarece astfel se obține un bun compromis între coeficientul de putere, cost și viteza de rotație a captorului eolian, ca și o ameliorare a aspectului estetic, față de rotorul cu două pale.

Eolienele cu ax orizontal sunt cele mai utilizate, deoarece randamentul lor aerodinamic este superior celui al eolieneleor cu ax vertical, sunt mai puțin supuse unor solicitări mecanice importante și au un cost mai scăzut.

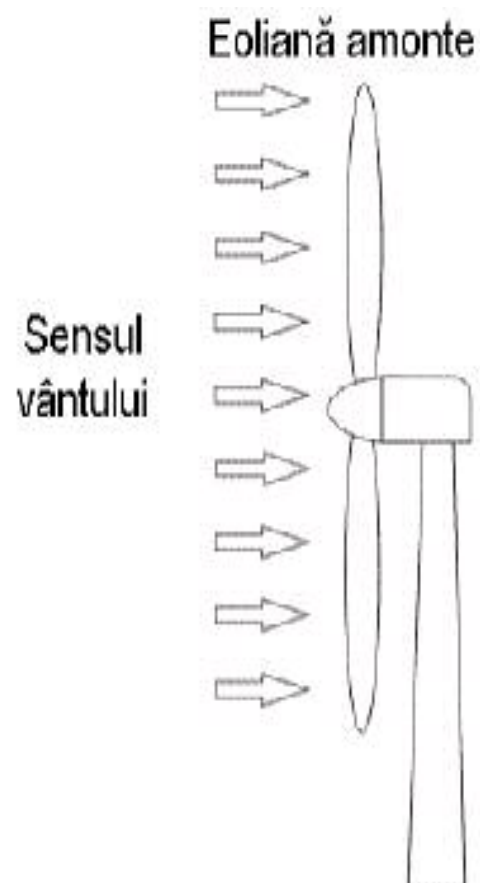


Imaginea unei eoliene cu ax orizontal și a unei mori de vânt

(Sursa: <http://www.diebrennstoffzelle.de/alternativen/wind/index.shtml>)

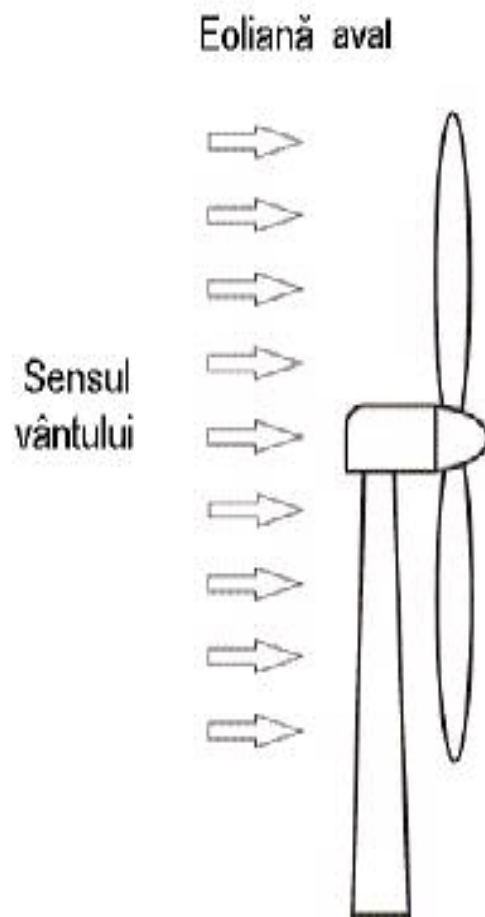
Există două categorii de eoliene cu ax orizontal:

- **Amonte:** vântul suflă pe fața palelor, față de direcția nacolei. Palele sunt rigide, iar rotorul este orientat, cu ajutorul unui dispozitiv, după direcția vântului.



Schema unei eoliene cu ax orizontal amonte

- **Aval:** vântul suflă pe spatele paletelor, față de nacelă. Rotorul este flexibil și se auto-orientează.



Schema unei eoliene cu ax orizontal aval

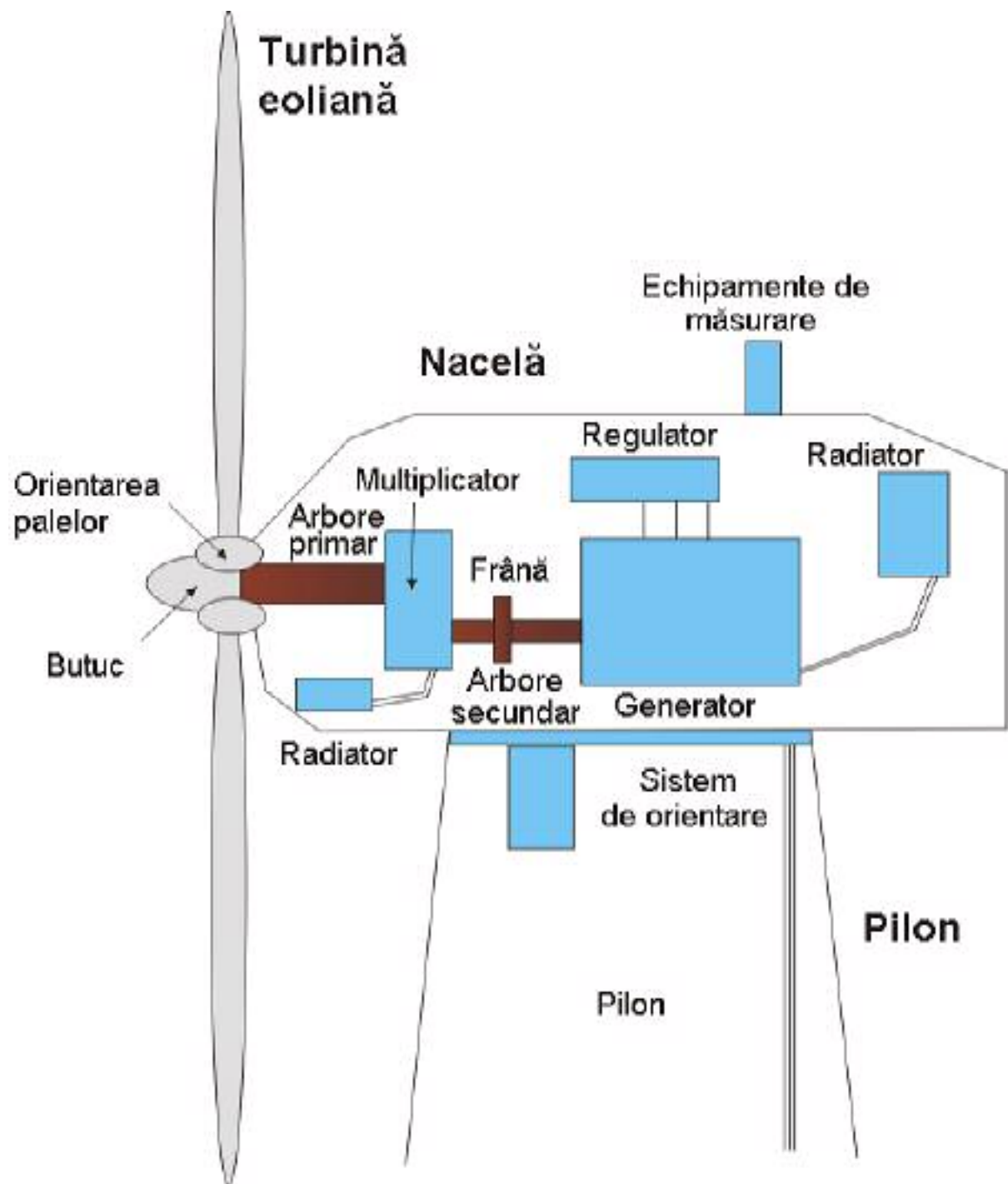
Disponerea amonte a turbinei este cea mai utilizată, deoarece este mai simplă și dă cele mai bune rezultate la puteri mari: nu are suprafețe de direcționare, eforturile de manevrare sunt mai reduse și are o stabilitate mai bună.

Palele eolienelelor cu ax orizontal trebuie totdeauna, orientate în funcție de direcția și forța vântului. Pentru aceasta, există dispozitive de orientare a nacellei pe direcția vântului și de orientare a palelor, în funcție de intensitatea acestuia.

În prezent, eolienele cu ax orizontal cu rotorul de tip elice, prezintă cel mai ridicat interes pentru producerea de energie electrică la scară industrială.

3. Componentele clasice ale unei eoliene

Parcurgând cu cursorul mouse-ului schița de mai jos, elementele componente se vor colora în roz. Cu un click pe element, veți obține informații suplimentare.



Palele sau captorul de energie sunt realizate dintr-un amestec de fibră de sticlă și materiale compozite. Ele au rolul de a capta energia vântului și de a transfera rotorului turbinei. Profilul lor este rodul unor studii aerodinamice complexe, de el depinzând randamentul turbinei. Astfel:

Diametrul palelor (sau suprafața acoperită de acestea) este în funcție de puterea dorită:



Lățimea palelor determină cuplul de pornire, care va fi cu atât mai mare cu cât palele sunt mai late;

Profilul depinde de cuplul dorit în funcționare;



Exemplu de profil al extremității unei pale a unei eoliene
(Sursa: Societatea Laborelec- Belgia)

Numărul de pale depinde de eoliană. În prezent, sistemul cu trei pale este cel mai utilizat, deoarece asigură limitarea vibrațiilor, a zgomotului și a oboselii rotorului, față de sistemele mono-pală sau bi-pală. Coeficientul de putere este cu 10 % mai mare pentru sistemul bi-pală față de cel mono-pală, iar creșterea este de 3% între sistemul cu trei pale față de două pale. În plus, este un compromis bun între cost și viteza de rotație a captorului eolian și avantajele din punct de vedere estetic pentru sistemul cu trei pale, față de cel cu două pale.



Schema eolienele mono-pală, bi-pală și cu trei pale
(Sursa: Societatea Laborelec- Belgia)

Butucul este prevăzut cu un sistem pasiv (aerodinamic), activ (hidraulic) sau mixt (active stall) care permite orientarea palelor pentru controlul vitezei de rotație a turbinei eoliene (priza de vânt).

- Controlul activ, prin motoare hidraulice, numit și "pitch control". Acest sistem asigură modificarea unghiului de incidență a palelor pentru a valorifica la maximum vântul instantaneu și pentru a limita puterea în cazul în care vântul depășește viteza nominală. În general, sistemul rotește palele în jurul propriilor axe (mișcare de pivotare), cu câteva grade, în funcție de viteza vântului, astfel încât palele să fie poziționate în permanență sub un unghi optim în raport cu viteza vântului, astfel încât să se obțină în orice moment puterea maximă. Sistemul permite limitarea puterii în cazul unui vânt puternic (la limită, în caz de furtună, trecerea palelor în "drapel").
- Controlul aerodinamic pasiv, numit și "stall control". Palele eoliene sunt fixe în raport cu butucul turbinei. Ele sunt concepute special pentru a permite deblocarea în cazul unui vânt puternic. Deblocarea este progresivă, până când vântul atinge viteza critică. Acest tip de control este utilizat de cea mai mare parte a eolienele, deoarece are avantajul că nu necesită piese mobile și sisteme de comandă în rotorul turbinei.
- Ultimul tip de control, vizează utilizarea avantajelor controlului pasiv și al celui activ, pentru a controla mai precis conversia în energie electrică. Acest sistem este numit control activ cu deblocare aerodinamică, sau "active stall". El este utilizat pentru eolienele de foarte mare putere.



Imagine a butucului unei eoliene, dotat cu sistem de orientare a palelor
(Sursa: Societatea Laborelec- Belgia)

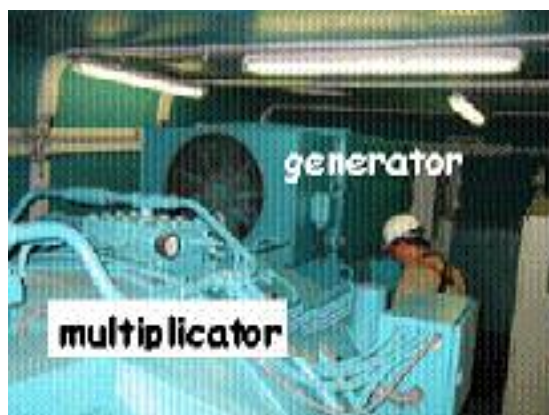
Arborele primar: este arborele rotorului turbinei eoliene. Se mai numește arborele lent, deoarece el se rotește cu viteze de ordinul a 20 - 40 rot/min. Prin intermediul multiplicatorului, el transmite mișcarea, arborelui secundar.

Multiplicatorul mecanic de viteză permite transformarea puterii mecanice, caracterizată de cuplu mare și viteză mică specifică turbinei eoliene, în putere de viteză mai ridicată, dar cuplu mai mic. Aceasta deoarece viteza turbinei eoliene este prea mică, iar cuplul prea mare, pentru a fi aplicate direct generatorului. Multiplicatorul asigură conexiunea între arborele primar (al turbinei eoliene) și arborele secundar (al generatorului).

Există mai multe tipuri de multiplicatoare, cum ar fi:

- Multiplicatorul cu una sau mai multe trepte de roți dințate, care permite transformarea mișcării mecanice de la 19-30 rot/min la 1500 rot/min. Axele de rotație ale roților dințate sunt fixe în raport cu carcasa.
- Multiplicatorul cu sistem planetar, care permite obținerea unor rapoarte de transmisie mari, într-un volum mic. În cazul acestora, axele roților numite sateliți nu sunt fixe față de carcasă, ci se rotesc față de celelalte roți.

Există și posibilitatea antrenării directe a generatorului, fără utilizarea unui multiplicator.



Imagine din interiorul unei navele: în prim-plan multiplicatorul, în planul secund generatorul.
(Sursa: Societatea Laborelec-Belgia)

Arborele generatorului sau arborele secundar antrenează generatorul electric, sincron sau asincron, ce are una sau două perechi de poli. El este echipat cu o frână mecanică cu disc (dispozitiv de securitate), care limitează viteza de rotație în cazul unui vânt violent. Pot exista și alte dispozitive de securitate.

Generatorul electric asigură producerea energiei electrice. Puterea sa atinge 4,5 MW pentru cele mai mari eoliene. În prezent se desfășoară cercetări pentru realizarea unor eoliene de putere mai mare (5 MW).

Generatorul poate fi de curent continuu sau de curent alternativ. Datorită prețului și randamentului, se utilizează, aproape în totalitate, generatoare de curent alternativ.

Generatoarele de curent alternativ pot fi sincrone sau asincrone, funcționând la viteză fixă sau variabilă.

Generatorul sincron:

Generatorul sincron sau mașina sincronă (MS) se poate utiliza în cazul antrenării directe, respectiv legătura mecanică dintre arborele turbinei eoliene și cel al generatorului se realizează direct, fără utilizarea unui multiplicator. În consecință, generatorul este conectat la rețea prin intermediul unui convertor static. Dacă generatorul este cu magneți permanenți, el poate funcționa în mod autonom, neavând nevoie de excitație.

- Excitație electrică. Bobinele circuitului de excitație (situat pe rotor) sunt alimentate în curent continuu, prin intermediul unui sistem de perii și inele colectoare fixate pe arborele generatorului. Alimentarea se poate face prin intermediul unui redresor, ce transformă energia de curent alternativ a rețelei, în curent continuu. Există însă mai multe metode de realizare a excitației. Generatoarele sincrone cu excitație electrică sunt cele mai utilizate în prezent.
- Cu magneți permanenți (MSMP). Sursa câmpului de excitație o constituie magnetii permanenți situați pe rotor, fiind astfel independentă de rețea. Acest tip de mașină are tendința de a fi din ce în ce mai utilizată de către constructorii de eoliene, deoarece ea funcționează autonom, iar construcția în ansamblu, este mai simplă.

Generatorul asincron:

Mașina asincronă (MAS) este frecvent utilizată, deoarece ea poate suporta ușoare variații de viteză, ceea ce constituie un avantaj major pentru aplicațiile eoliene, în cazul cărora viteza vântului poate evolua rapid, mai ales pe durata rafalelor. Acestea determină solicitări mecanice importante, care sunt mai reduse în cazul utilizării unui generator asincron, decât în cazul generatorului sincron, care funcționează în mod normal, la viteză fixă. Mașina asincronă este însă puțin utilizată pentru eoliene izolate, deoarece necesită baterii de condensatoare care să asigure energia reactivă necesară magnetizării.

- Cu rotor bobinat. Înfășurările rotorice, conectate în stea, sunt legate la un sistem de inele și perii ce asigură accesul la înfășurări, pentru conectarea unui convertor static în cazul comenzii prin rotor (mașina asincronă dublu alimentată - MADA).

- În scurt-circuit. Rotorul este construit din bare ce sunt scurtcircuitate la capete prin intermediul unor inele. Înfășurările rotorice nu sunt accesibile.

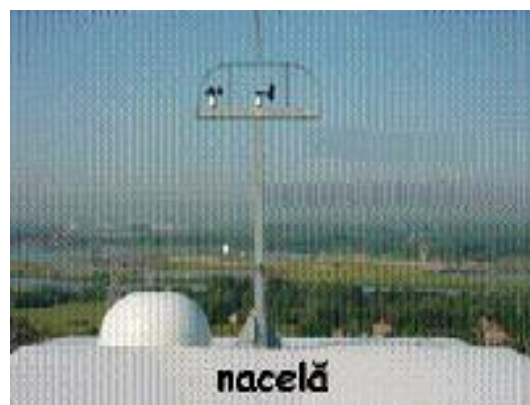


Imagine din interiorul unei nacele
(Sursa: Societatea Laborelec-Belgia)

Sistemul electronic de control a funcționării generale a eolienei și a mecanismului de orientare. El asigură pornirea eolienei, reglarea înclinării palelor, frânarea, ca și orientarea nacelei în raport cu vântul.

Sistemul de răcire. Sunt prevăzute sisteme de răcire, atât pentru multiplicatorul de viteză ce transmite eforturile mecanice între cei doi arbori, cât și pentru generator. Ele sunt constituite din radiatoare de apă sau ulei și ventilatoare. Răcirea cu ulei este utilizată pentru multiplicatoare.

Dispozitivele de măsurare a vântului sunt de două tipuri: o giruetă pentru evaluarea direcției și un anemometru pentru măsurare vitezei. Informațiile sunt transmise sistemului numeric de comandă, care realizează reglajele în mod automat.



Imagine a dispozitivelor de măsurare a vântului
(Sursa: Societatea Laborelec-Belgia)

Sistemul de orientare a nacellei este constituit dintr-o coroană dințată (cremalieră) echipată cu un motor. El asigură orientare eolienei și "blocarea" acesteia pe axa vântului, cu ajutorul unei frâne.

Pilonul

Pilonul este, în general, un tub de oțel și un turn metalic. El susține turbina eoliană și nacela. Alegerea înălțimii este importantă, deoarece trebuie realizat un bun compromis între prețul de construcție și expunerea dorită la vânt. În consecință, odată cu creșterea înălțimii, crește viteza vântului, dar și prețul. În general, înălțimea pilonului este puțin mai mare decât diametrul palelor. Înălțimea eolienei este cuprinsă între 40 și 80 de metri. Prin interiorul pilonului trec cablurile care asigură conectarea la rețeaua electrică.



Imaginea pilonului unei eoliene
(Sursa: Societatea Laborelec-Belgia)

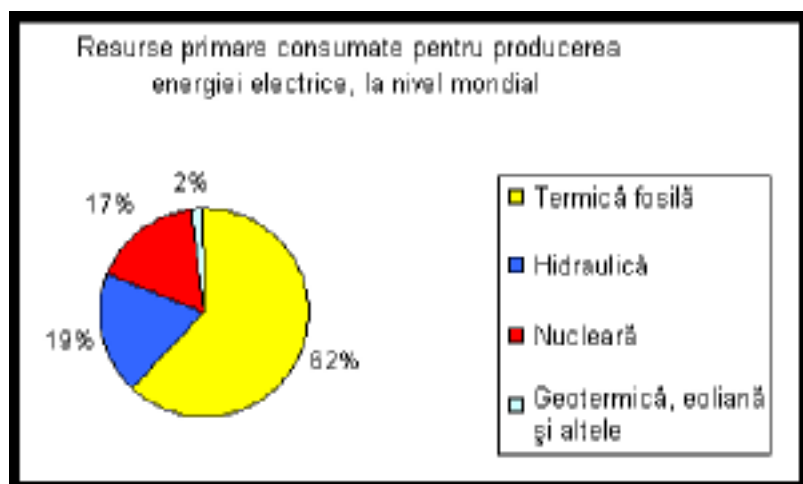
4. Importanța eolienei

Situația actuală

Noile cerințe în domeniul dezvoltării durabile au determinat statele lumii să își pună problema metodelor de producere a energiei și să crească cota de energie produsă pe baza energiilor regenerabile. Protocolul de la Kyoto angajează statele semnatare să reducă emisiile de gaze cu efect de seră. Acest acord a determinat adoptarea unor politici naționale de dezvoltare a eolienei și a altor surse ce nu degajă bioxid de carbon.

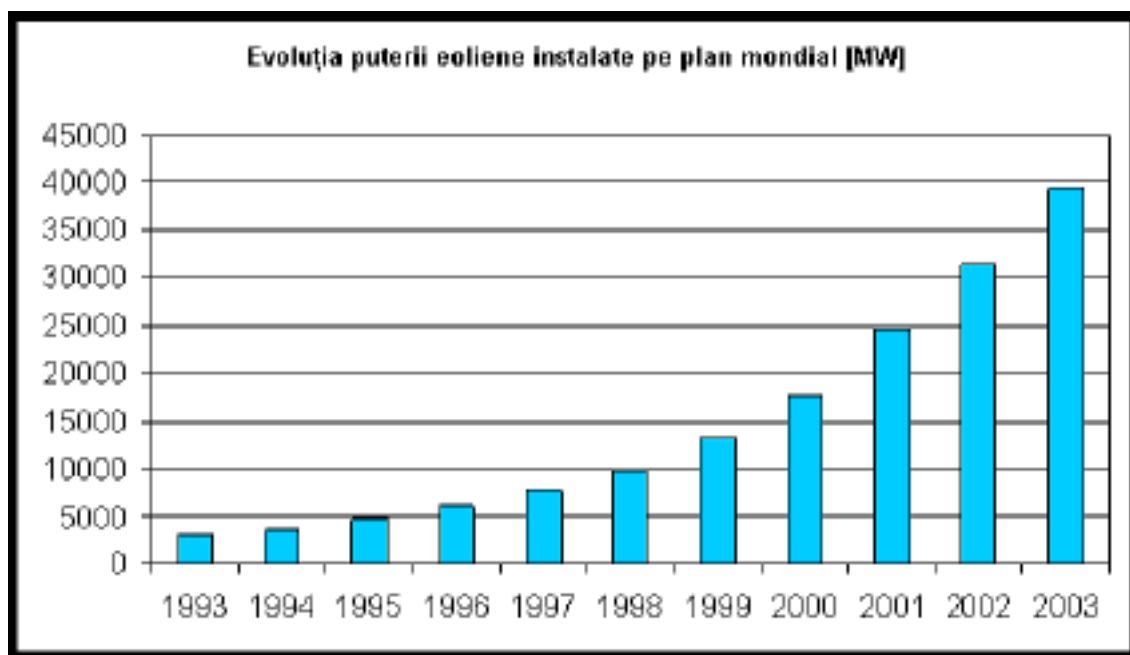
Trei factori au determinat ca soluția eolienei să devină mai competitivă:

- noile cunoștințe și dezvoltarea electronicii de putere;
- ameliorarea performanțelor aerodinamice în conceperea turbinelor eoliene;
- finanțarea națională pentru implantarea de noi eoliene.



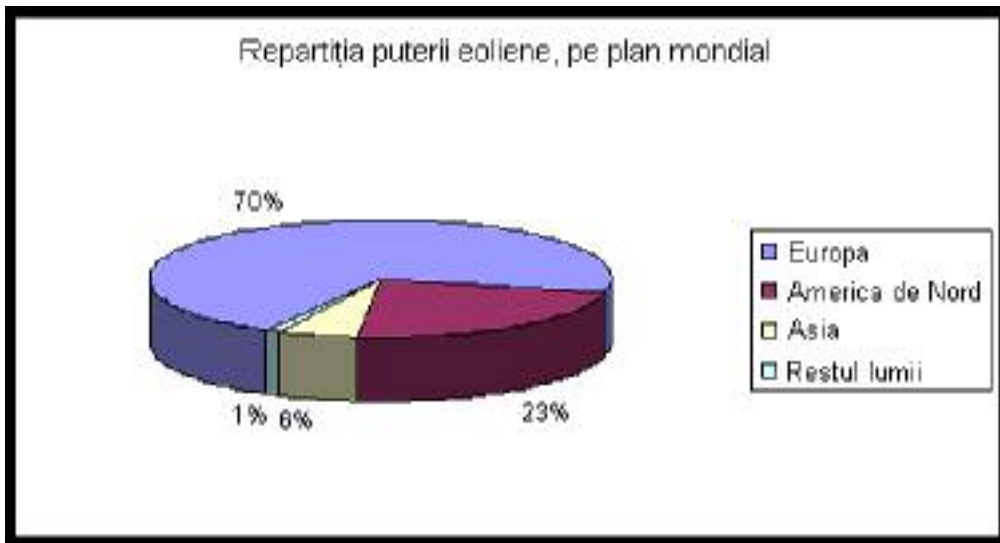
(Sursa: Wind energy barometer-EuroObserv'ER 2004)

În prezent, pe plan mondial, ponderea energiilor regenerabile în producerea energiei electrice, este scăzută. S poate spune că potențialul diferitelor filiere de energii regenerabile, este sub-exploatat. Totuși, ameliorările tehnologice au favorizat instalarea de generatoare eoliene, într-un ritm permanent crescător în ultimii ani, cu o evoluție exponențială, având o rată de creștere de 25% în 2003.

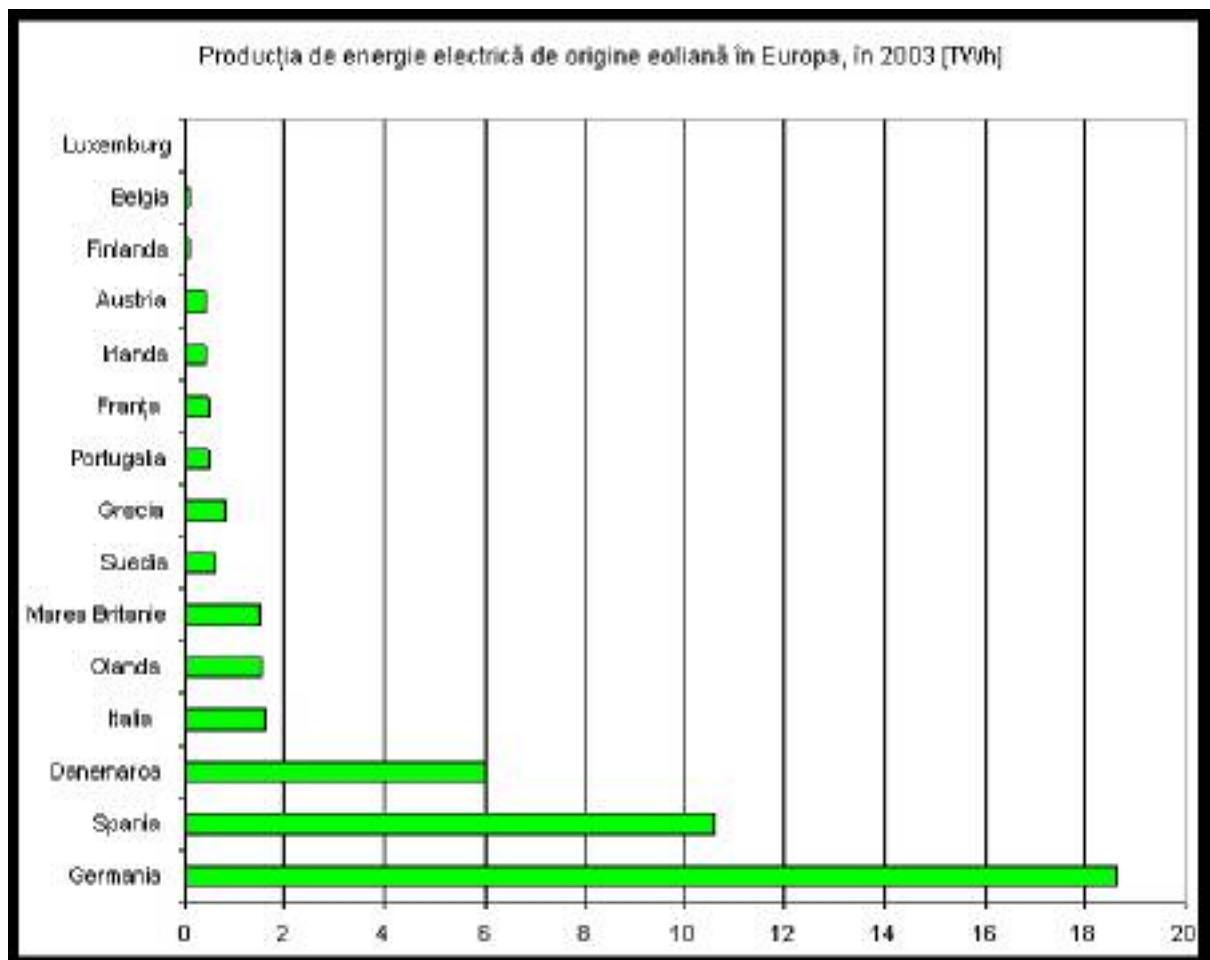


(Sursa: Wind energy barometer-EuroObserv'ER 2004)

Filiera eoliană este destul de dezvoltată în Europa, deținând poziția de lider în topul energiilor regenerabile. Acest tip de energie regenerabilă asigură necesarul de energie electrică pentru 10 milioane de locuitori. Dealtfel, 90 % din producătorii de eoliene de medie și mare putere, se află în Europa.



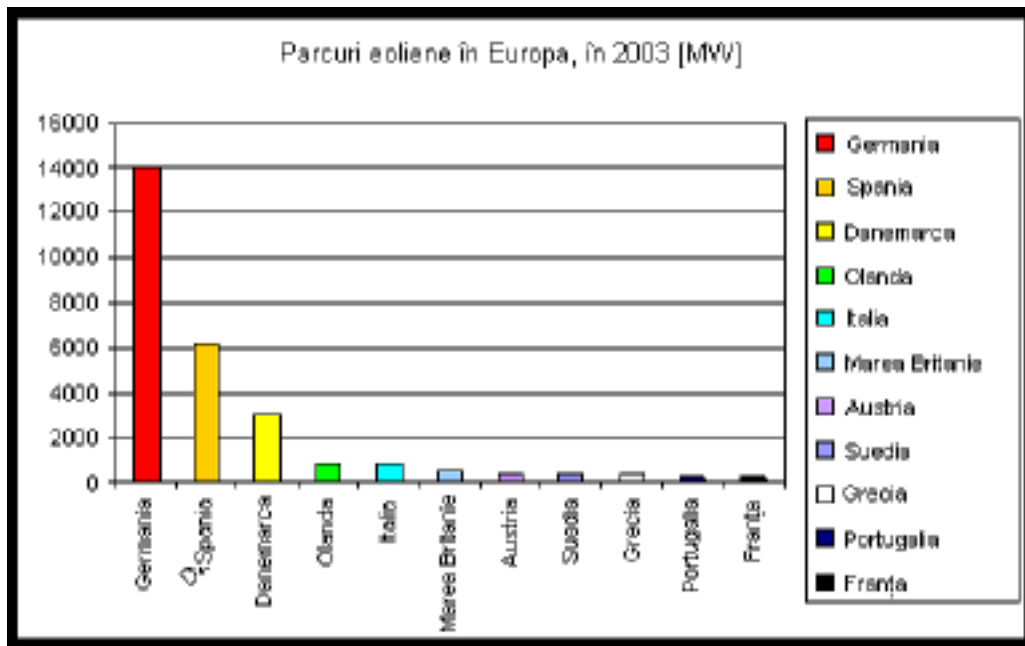
(Sursa: Wind energy barometer-EuroObserv'ER 2004)



(Sursa: Wind energy barometer-EuroObserv'ER 2004)

Repartiția în Europa a energiei electrice produse pe baza eolienei, arată diferențe între state. Germania este liderul pe piața europeană, în ciuda unei încetiniri în 2003 a instalărilor. Spania, pe

poziția a doua, continuă să instaleze intensiv parcuri eoliene. Danemarca este pe a treia poziție, având dezvoltate eoliene offshore și trecând la modernizarea eolienei mai vechi de 10 ani.



(Sursa: Wind energy barometer-EuroObserv'ER 2004)

Costurile și eficiența unui proiect eolian trebuie să țină seama atât de prețul eolienei, cât de cele ale instalării și întreținerii acesteia, precum și de cel al vânzării energiei. O eoliană este scumpă. Trebuie realizate încă progrese economice pentru a se putea asigura resursele dezvoltării eolienei. Se estimează că instalarea unui kW eolian, costă aproximativ 1000 Euro. Progresele tehnologice și producția în creștere de eoliene din ultimii ani permit reducerea constantă a prețului estimat. Prețul unui kWh depinde de prețul instalării eolienei, ca și de cantitatea de energie produsă anual. Acest preț variază în funcție de locație și scade pe măsura dezvoltării tehnologice.

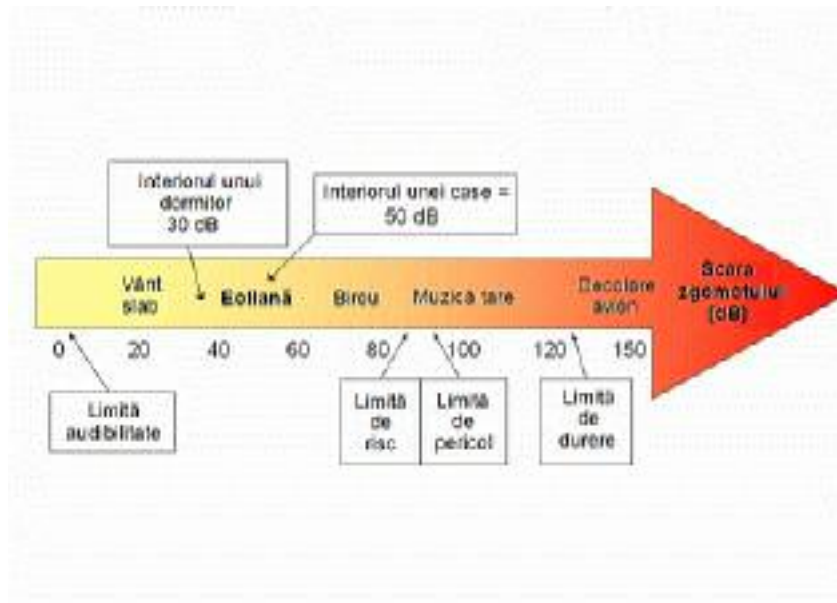
În Germania și Danemarca, investitorii sunt fie mari grupuri industriale, fie particulari sau agricultorii. Această particularitate tinde să implice populația în dezvoltarea eolienei. Energia eoliană este percepută ca o cale de diversificare a producției agricole. În Danemarca, 100 000 de familii dețin acțiuni în energia eoliană. Filiera eoliană a permis, de asemenea, crearea de locuri de muncă în diverse sectoare, ca cele de producere a eolienei și a componentelor acestora, instalării eolienei, exploatarea și întreținerii, precum și în domeniul cercetării și dezvoltării. Se înregistrează peste 15 000 de angajați în Danemarca și 30 000 în Germania, direct sau indirect implicați în filiera eoliană.

Perspective

Energia eoliană este considerată ca una din opțiunile cele mai durabile dintre variantele viitorului, resursele vântului fiind imense. Se estimează că energia eoliană recuperabilă la nivel mondial se situează la aproximativ 53 000 TWh (TerraWattora), ceea ce reprezintă de 4 ori mai mult decât consumul mondial actual de electricitate.

În Europa, potențialul este suficient pentru asigurarea a cel puțin 20% din necesarul de energie electrică până în 2020, mai ales dacă se ia în considerare noul potențial offshore.

5. Dar zgomotul?



Scara zgomotelor

(Sursa: *Revue Sciences et Avenir*, iulie 2004)

Chiar dacă eolienele de primă generație erau deranjante din punct de vedere sonor, se pare că în prezent, dezvoltările tehnologice au permis reducerea considerabilă a zgomotului produs de astfel de instalații. Astfel, pe scara surselor de zgomot, eolienele se situează undeva între zgomotul produs de un vânt slab și zgomotul din interiorul unei locuințe, respectiv la aproximativ 45 dB. Evoluția nivelului sonor în funcție de numărul de eoliene este logaritmică, respectiv instalarea unei a doua eoliene determină creșterea nivelului sonor cu 3 dB și nu dublarea acestuia.

Pentru diminuarea poluării sonore există mai multe căi:

- multiplicatoarele sunt special concepute pentru eoliene. În plus, se încearcă favorizarea acțiunilor directe, fără utilizarea multiplicatoarelor.
- profilul palelor face obiectul unor cercetări intense pentru reducerea poluării sonore determinată de scurgerea vântului în jurul palelor sau a emisiilor datorate nacei sau pilonului. Arborii de transmisie sunt prevăzuți cu amortizoare pentru limitarea vibrațiilor.
- antifonarea nacei permite, de asemenea, reducerea zgomotelor.