

SURSE REGENERABILE PENTRU PRODUCEREA ENERGIEI ELECTRICE

CURS 5

5.1. Introducere

Dacă energia electrică este o formă curată de energie, producerea ei, în marea majoritate a cazurilor presupune utilizarea unor forme de conversie și a unor combustibili primari cu un mare grad de poluare și epuizabili. Peste 80% din producția mondială de energiei electrice este obținută prin combustia combustibililor fosili sau în centrale nucleare în urma reacției de fisiune.

Cererea tot mai mare de energie electrică, în condițiile în care degradarea condițiilor ambientale datorită poluării se acutizează, resursele tradiționale se diminuează, a impus ca și soluții viabile și totodată ca o provocare, *sursele regenerabile*.

Aceste surse sunt surse prin excelență curate și pe termen lung ar putea satisface necesitățile omenirii. Printre aceste surse pot fi enumerate: energia hidrolică (despre care s-a vorbit în cursul de Centrale hidroelectrice) incluzând energia valurilor și a mareelor, soarele, vântul, biomasa, energia

geotermală. De remarcat atenția și importanța dată utilizării ***HIDROGENULUI*** drept combustibil.

Majoritatea acestor resurse se pretează unei conversii și produceri distribuite a energie electrice, în centrale cu puteri între câțiva zeci de kilowați și câțiva megawați.

Acest curs își propune prezentarea posibilităților de conversie ale surselor regenerabile în energie electrică în special în aceste mici capacități.

5.2. Microhidrocentrale (MHC)

Aceste surse de energie electrică contribuie la o mai completă exploatare a resurselor hidraulice. Se pretează foarte bine unei producții descentralizate a energiei electrice.

În general sunt considerate ca fiind microhidrocentrale centralele hidroelectrice cu puteri instalate în jur de 10 MW. Această limită poate să difere de la o zonă la alta chiar în limite largi, de exemplu între 0,5 și 50 MW, în funcție de capabilitatea de amenajare și exploatare a resurselor hidrotehnice. Sunt considerate ca făcând parte din cadrul soluțiilor noi de producere a energiei electrice, și se încadrează în categoria surselor regenerabile. Producția mondială anuală de energie electrică obținută în MHC este estimată la circa 100.000 GWh.

După felul amenajărilor MHC se pot clasifica în:

1. MHC cu cădere mică – sunt căderi de apă peste praguri sau baraje executate pe ape curgătoare (râuri mici sau canale). Sunt fără derivație, cu centrala executată în corpul barajului;

2. MHC cu cădere medie sau mare – pot fi fără derivație, centrala fiind amplasată în baraj, sau cu derivație, atunci când centrala nu este cuprinsă în baraj.

Amenajările MHC cuprind:

1. *Construcții pentru reținerea apei (pentru realizarea unor acumulări)*

a. **Praguri și baraje mici** – sunt construite pentru realizarea unor acumulări mici care să permită devierea unei părți din debit către turbine:

❑ Materialele clasice utilizate sunt: zidărie, lemn și anrocamente, trunchiuri de lemn fixate în postamente de zidărie;

❑ Materialele moderne utilizate sunt: gabioanele (casete cu pereți metalice umplute cu pietriș și îmbinate între ele), palplanșe (piese din lemn, oțel sau beton ansamblate între ele prin canale de îmbinare), structuri gonflabile (baloane de cauciuc umplute cu apă, amplasate pe praguri de beton – figura 5.1);

b. **Baraje mari** – construcția acestora a fost descrisă la cursul „Centrale hidroelectrice”.

2. *Derivații, care cuprind*

❑ Prize de apă;

☐ Canale de aducțiune;

☐ Conduțe forțate;

3. Amenajări auxiliare:

☐ Pentru evacuarea viiturilor;

☐ Pentru golirea acumulărilor;

☐ Pentru pasajul peștilor.

O altă parte importantă a MHC o constituie hidrogeneratoarele, grupuri formate din turbină și generatorul electric.

Centrala propriu-zisă, care încorporează hidrogeneratorul, este construită în funcție de topografia și geologia locului și de tipul grupului turbină-generator utilizat.

Cele mai întâlnite grupuri hidrogeneratoare sunt următoarele:

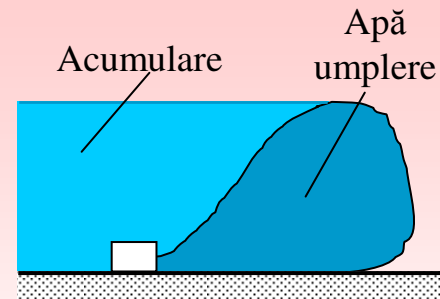


Fig.5.1. Baraj gonflabil

1. *Grupuri cu cameră de apă* – turbinele utilizate sunt turbine cu reacție, iar centralele centrale cu cădere mică și puteri sub 300 kW. Alimentarea rotorului (rotor centrifugal) este făcută într-o cameră de apă, fără o preorientare a curenților de apă;

2. *Grupuri cu cameră de admisie sau injectoare* – camera de admisie în spirală este cea care repartizează apa în distribuitorul turbinelor cu reacție. În cazul turbinelor cu acțiune injectoarele distribuie jeturile tangențial. Turbinel pot fi de tip Francis sau Pelton, cu ax orizontal sau vertical. Grupurile Pelton cu jeturi multiple, Kaplan sau Elicoidale, sunt verticale, dispunere care permite obținerea unor randamente maxime;

3. *Grupuri axiale*

În cazul acestor grupuri, de tip Kaplan sau elicoidale, distribuitoarele sunt pe aceeași axă cu conductele de alimentare. În cazul grupurilor de tip bulb, ansamblul grupului este în interiorul conductei de alimentare. Multiplicatorul coaxial și generatorul sunt amplasați în amonte de turbină.

Generatoarele electrice pot fi de tip asincron, pentru puteri sub 2 MW. În cazul turbinelor lente generatoarele sunt antrenate prin intermediul unor multiplicatoare de viteză. Randamentul conversiei este cuprins între 60% și 90%.

5.3. Centrale electrice care utilizează energia valurilor

Aceste surse de energie electrică sunt interesante pentru alimentarea platformelor petroliere, balizelor maritime, dar în același timp și pentru a debita în rețea.

Se clasifică în:

- Centrale cu baraje situate în zona costieră – apa de mare umple un rezervor prin tălăzuire după care este ghidată spre turbine;
- Centrale plutitoare sau semi-imerse;
- Centrale cu coloană oscilantă – sunt plasate pe coastă și au o cavitate deschisă sub nivelul mării care conține aer între suprafața apei și un piston. Aerul este aspirat și împins către o turbină.
- Centrale imerse – o parte a centralei este fixată de fundul mării iar partea mobilă produce oscilații de presiune hidraulică fiind supusă forței lui Arhimede.

5.4. Utilizarea mareelor și a curenților marini

În anumite zone favorizate, este posibilă exploatarea mareelor de mare amplitudine (2 cicluri pe zi) cu grupuri generatoare care funcționează în ambele sensuri. Aceasta presupune construirea unor baraje și modificarea configurației litoralului. Acesta este unul dintre motivele pentru care se evită utilizarea lor.

5.5. Energia geotermală

Se referă la energia apelor sau a vaporilor încălziți și care pot fi preluați prin forare la adâncimi mai mari sau mai reduse. Aceste ape fierbinți se întâlnesc în anumite zone de pe glob. Dacă temperatura este cuprinsă între 150 și 350 °C, atunci se poate vorbi despre energie geotermală înaltă.

Apa este pompată la suprafață unde este introdusă în schimbătoare de caldură care produc vapori. Vaporii rezultați sunt utilizați pentru antrenarea unor turbine ca și în cazul centralelor clasice cu abur.

5.6. Utilizarea biomasei drept resursă pentru generare de energie electrică și cogenerare

Biomasa reprezintă o sursă de combustibili care pot înlocui combustibilii fosili. Este vorba atât de utilizarea deșeurilor (animale, vegetale, menajere etc.) cât și a unor resurse cultivate (păioase, vegetație lemnoasă cu perioade de dezvoltare redusă etc.) pentru a produce energie termică, abur și apoi energie electrică. Randamentul unor astfel de generatoare poate fi crescut prin cogenerare, adică recuperarea și utilizarea unei părți din energia termică, furnizată pentru producerea de energie electrică, pentru încălzirea unor locuințe, clădiri, hale industriale etc. în locul eliberării ei în atmosferă.

Combustibili obținuți din biomasă sunt în principal:

- ☐ biogazul (în principal metan), cu proprietăți asemănătoare gazului natural;
- ☐ deșeurile uscate care pot fi incinerate direct;
- ☐ paie (de exemplu centrale electrică de la Ely din Marea Britanie furnizează anual peste 270 GWh utilizând circa 200.000 de tone de paie);
- ☐ reziduurile de trestie de zahăr, care au o putere calorică asemănătoare lignitului;

- ❑ lemnul unor vegetale cu creștere rapidă și valoare redusă (salcii, bambus etc.);
- ❑ biocarburanți lichizi, obținuți din plante cultivate cum ar fi: rapița, floarea soarelui, sorg, grâu, porumb etc.
- ❑ gunoiul menajer, care permite obținerea a aproximativ 500 kWh prin arderea a 1 tonă de deșeuri.

Pe plan mondial producția de energie electrică produsă din deșeuri și biomasă se cifra la sfârșitul anilor 2000 la circa 160.000 GWh.

Se poate vorbi de centrale cu cogenerare de putere mare sau mică, ele putând fi astfel clasificate în funcție de puterea furnizată ca și putere electrică în:

- ❑ micro-cogenerare sub 36 kW;
- ❑ mini-cogenerare, între 36 și 200 kW;
- ❑ mică cogenerare, pentru puteri cuprinse între 200 și 500 kW.

Tehnologiile utilizate se bazează pe turbine cu gaz, respectiv grupuri electrogene cu motoare diesel.

5.7. Centrale electrice eoliene

Utilizarea energiei eoliene pentru producerea energiei electrice apare ca o soluție, demnă de luat în seamă, după criza energetică declanșată în anii '70. Se demarează programe pentru cercetarea acestui potențial energetic în multe țări ale globului. Astfel, în Danemarca, pornind de la o experiență anterioară (în 1891 inginerul danez Paul La Cour realiza prima turbină generatoare de electricitate din lume, cu o putere de 8 kW), s-a dezvoltat o tehnologie cu care azi domină industria generatoarelor eoliene din întreaga lume.

La începutul anilor '80 această sursă de energie primește un nou avânt în California (*SUA*) bazat pe intervenția statului cu facilități de creditare și forțând uzinele electrice să cumpere energia electrică produsă din surse refolosibile la prețuri preferențiale față de cea generată convențional. Un al treilea val al energiei eoliene afectează din anii '90 și Europa. Danemarca va fi depășită în curând de Germania, Olanda și Marea Britanie în utilizarea energiei eoliene. Astfel la nivelul anului 1995 puterea instalată

în centralele eoliene din Europa era de 2170 MW, din care: 900 MW în Germania, 592 MW în Danemarca, 200 MW în Olanda, 190 MW în Anglia și 123 MW în Spania.

Utilizarea energiei eoliene s-a extins și în alte părți ale globului: Mexic, Argentina, China și Noua Zeelandă.

Specialiștii în domeniu au estimat rezervele anuale potențiale ale energiei eoliene la nivelul globului la $2,6 \times 10^{14}$ kWh. Aceste rezerve depășesc de multe ori consumul mondial anual de energie electrică, dar ele nu pot fi exploatare decât în proporție redusă din cauza a numeroase constrângeri, determinate de caracteristicile vântului: concentrarea relativ mică a energiei și inconstanța vitezei vântului.

Costul unui kWh produs pe cale eoliană este în prezent aproape dublu față de cel produs în centralele electrice noi pe cărbune sau gaz natural, dar nu mai este mult până va deveni competitiv.

5.7.1. Puterea captatoarelor eoliene

Puterea vântului se poate determina plecând de la energia cinetică a unui curent de aer cu viteză constantă:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (5.1)$$

În această relație m reprezintă masa de aer care trece prin suprafața unui captator eolian într-un interval t ,

$$m = \rho \cdot S \cdot v \cdot t = q \cdot t \quad (5.2)$$

unde $q = \rho S v$ este debitul masic de aer prin suprafața captatorului.

Puterea curentului de aer se obține divizând cu t energia vântului (5.1):

$$P = \frac{\rho \cdot S \cdot v^3}{2} = \frac{q \cdot v^2}{2} \quad (5.3)$$

Dacă $S = 1 \text{ m}^2$, știind că $\rho = 1,226 \text{ kg/m}^3$, rezultă o relație de calcul rapid a puterii:

$$P = 0,613 \cdot \left(\frac{v}{10} \right)^3 \quad [\text{kW/m}^2] \quad (5.4)$$

Aceasta este puterea totală a unui curent de aer. Nici unul din captatoarele eoliene cunoscute nu poate utiliza integral puterea curentului de aer care îl străbate. Puterea maximă preluată se poate determina în principiu, luând în considerare numai modificarea vitezei vântului la trecerea prin turbina eoliană.

5.7.2. *Cazul captatorului eolian cu ax orizontal*

Captatoarele eoliene cu ax orizontal au o elice asemănătoare cu elicile de avion, fiind necesară orientarea lor după direcția vântului (figura 5.2). În amonte de captator, viteza vântului este v_1 , iar în aval de acesta devine v_2 , în dreptul captatorului viteza fiind v .

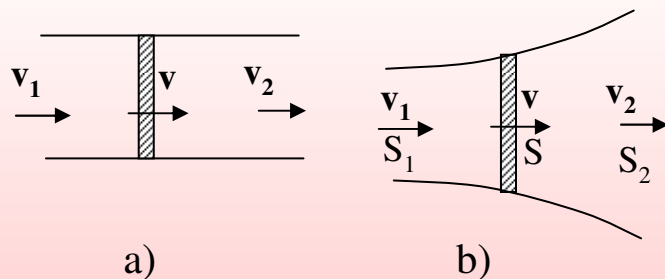


Fig. 5.2. Captatorul cu ax orizontal în tubul de curent.

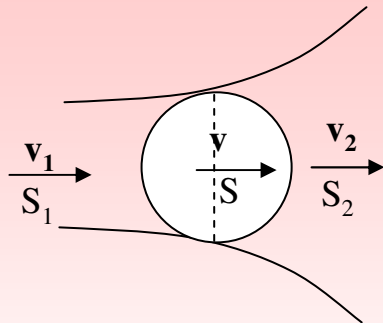
Rezultă, pentru condiția de maxim, soluția $x=1/3$, pentru care puterea preluată este

$$P_{\max} = \frac{16}{27} \cdot \rho \cdot S \cdot \frac{v_1^3}{2} \quad (5.5)$$

Așadar, puterea maximă preluată se ridică la circa 0,592 din puterea curentului de aer și se obține când viteza vântului la ieșirea din turbina eoliană are o valoare de o treime din valoarea inițială. Această valoare este cunoscută sub numele de **limita lui Betz**.

5.7.3. Cazul captatoarelor cu ax vertical

În acest caz palele turbinei sunt verticale, dispuse pe radial pe circumferința unui cilindru. La acest tip de turbină nu contează direcția vântului, dar trebuie luate măsuri ca jumătate din circumferința turbinei să nu fie activă. În figura 5.3 se prezintă acest captator amplasat în tubul de curent. Soluția ecuației $dP/dx=0$ este $x = 1/\sqrt[4]{5}$, ceea ce conduce la



$$P_{\max} = 0,53 \cdot \rho \cdot S \cdot \frac{v_1^3}{2} \quad (5.6)$$

În general putem exprima puterea preluată de un captator eolian prin relația:

Fig.5.3. Captatorul cu ax vertical în tubul de curent

$$P = c_p \cdot P_v \quad (5.7)$$

unde P_v este puterea curentului de aer care traversează suprafața captatorului, iar c_p este coeficientul de putere al acestuia, care depinde de construcția rotorului și de regimul de turație al acestuia, exprimat prin parametrul

$$\lambda = \frac{u}{v} \quad (5.8)$$

numit **rapiditate**. În expresia anterioară u este viteza liniară la periferia rotorului, iar v este viteza vântului. Funcția $c_p(\lambda)$ prezintă o variație neliniară incluzând un maxim, căruia îi corespunde puterea maximă preluată de captator. În figura 5.4 se prezintă o astfel de caracteristică de putere determinată experimental.

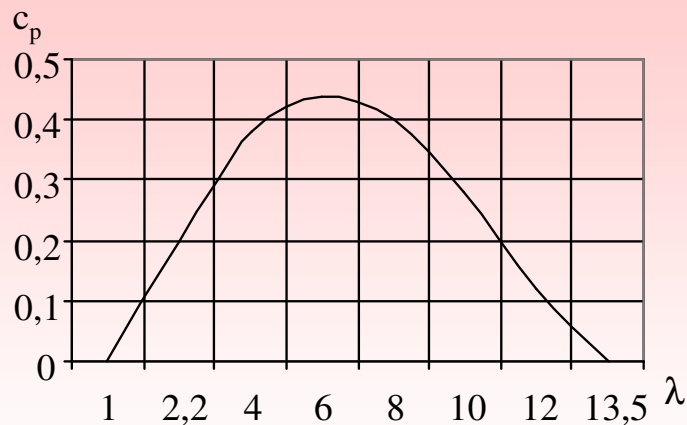


Fig.5.4. Caracteristica de putere a unui agregat eolian.

Deoarece puterea dezvoltată de un captator eolian nu este constantă, variază proporțional cu puterea a treia a vitezei vântului, **puterea** lui **nominală** se consideră egală cu puterea generatorului electric sau a mașinii de lucru antrenate.

Pentru a nu se depăși această putere captatoarele eoliene se prevăd cu sisteme de reglare automată a puterii (prin modificarea unghiului de atac a palelor, a suprafeței lor etc.), iar la viteze ale vântului care depășesc viteza maximă admisibilă, funcționarea va fi întreruptă (prin așezarea palelor paralel cu direcția vântului, împiedicarea accesului vântului etc.) pentru a evita distrugerea rotorului.

5.7.4. Tipuri constructive de captatoare eoliene

A. Captatoare cu ax orizontal

Această categorie cuprinde captatoarele cele mai performante din punct de vedere al coeficientului de putere și a posibilităților de reglare a puterii. În figura 5.5 se prezintă cea mai cunoscută variantă constructivă.

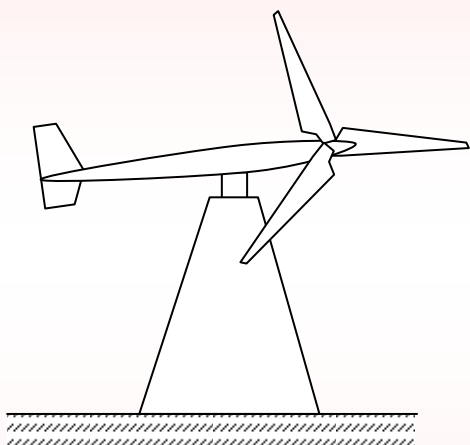


Fig.5.5. Turbină eoliană cu ax orizontal.

Rotorul acestei turbine este echipat cu două, trei sau mai multe pale, asemănătoare cu cele ale unei elice de avion atât în privința profilului cât și a posibilităților de rotire în jurul axului propriu (de modificare a unghiului de atac).

Cele cu două sau trei pale mai poartă denumirea de **moară olandeză**, iar cele cu un număr foarte mare de pale poartă denumirea de **moară americană**.

De asemenea, se poate observa sistemul de orientare după direcția vântului sub forma unei aripi sau **coadă de orientare**.

Această soluție constructivă se adoptă și la puteri mici, dar și la cele mai mari puteri (diametre peste 100 m).

B. Captatoare eoliene cu ax vertical

Acestea au cele mai multe variante constructive. Ele, de regulă, nu au nevoie de sistem de orientare după direcția vântului.

B.1. Captatoarele eoliene cu rezistență simplă

La aceste turbine eoliene, forța motoare se obține ca efect al acțiunii vântului pe palele (verticale) care se deplasează în direcția acestuia.

Mișcarea rotorului este posibilă numai dacă o jumătate de circumferință este ecranată (varianta *a*) sau dacă palele sunt articulate în așa fel încât preiau impuls mecanic numai acelea care se deplasează în direcția vântului (varianta *b*).

Aceste variante s-au realizat practic numai pentru puteri mici.

B.2. Captatoare eoliene cu diferență de rezistență

La aceste captatoare forța motoare se obține ca diferența dintre forțele de rezistență exercitate pe palele care se deplasează în sensul vântului (concave) și palele care se deplasează în sens contrar (convexe), soluția

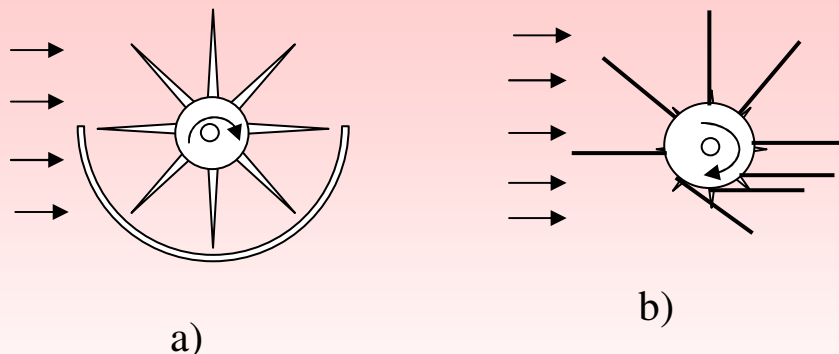


Fig. 5.6. Turbine eoliene cu ax vertical și rezistență simplă:

a) cu rotor ecranat; b) cu pale batante

constructivă fiind prezentată în figura 5.7 a.

O variantă interesantă este **rotorul Savonius** (fig.5.7 b și c), formată din doi semicilindrii cu axele paralele și decalate astfel încât să permită intrarea curentului de aer între aceștia. În acest caz, forța motoare apare atât datorită diferenței de rezistență cât și datorită impulsului creat prin schimbarea direcției curentului de aer în interiorul rotorului. Prin urmare acest tip de turbină necesită pentru demaraj cele mai scăzute viteze ale vântului (3...5 m/s).

Această soluție prezintă și o posibilitate simplă de reglare a puterii preluate de la curentul de aer prin modificarea distanței dintre cei doi semicilindrii și deci a deschiderii rotorului. La depășirea vitezei admisibile a vântului prin apropierea până la suprapunere a axelor semicilindrilor puterea preluată devine nulă și turbina nu se mai rotește.

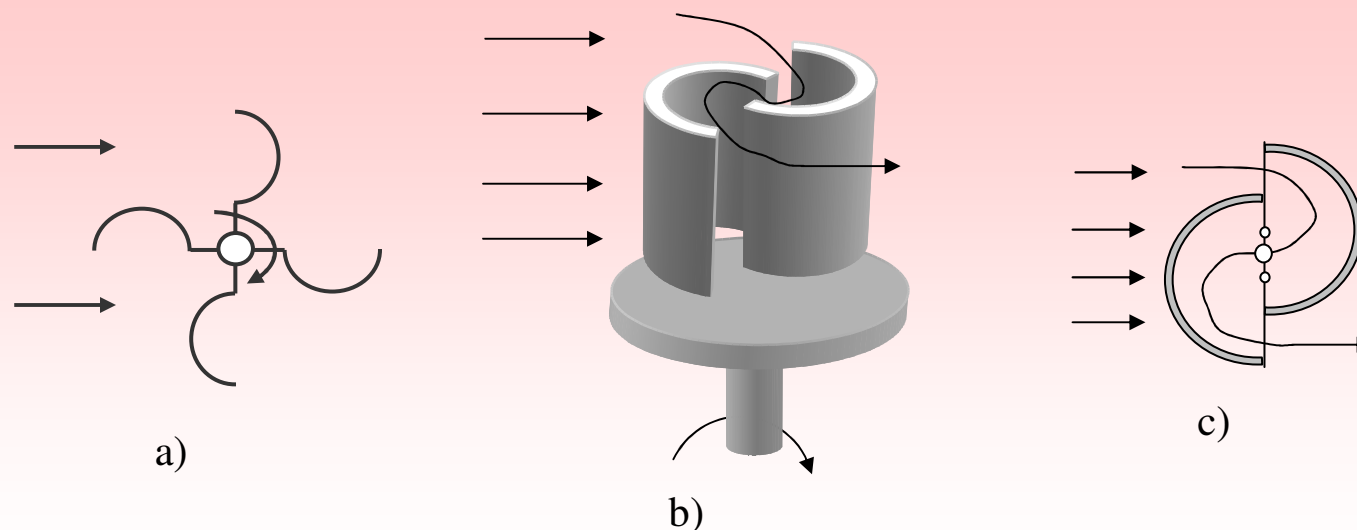


Fig. 5.7. Turbine eoliene cu ax vertical și diferență de rezistență.
a) tip morișcă; b) cu rotor Savonius; c) cu rotor Savonius – vedere de sus.

Dezavantajul principal al turbinei Savonius este legat de greutatea ei mare, dată de suprafețele mari din tablă necesare.

Pentru puteri mari se utilizează și aici pale cu forma aripii de avion la care forța motoare este de tip forță portantă sau rotoare sub formă de turbină.

O variantă interesantă este **turbina eoliană Darrieus** (figura 5.8), inventată în 1925 și restudiată după 1970. Aceasta are palele flexibile și de tip panglică. Acestea în zona activă au un profil asemănător aripii de avion. Fiecare pală (2-3 pale) este îndoită, având forma simetrică pe care o ia o funie atunci când se rotește în jurul unei axe verticale.

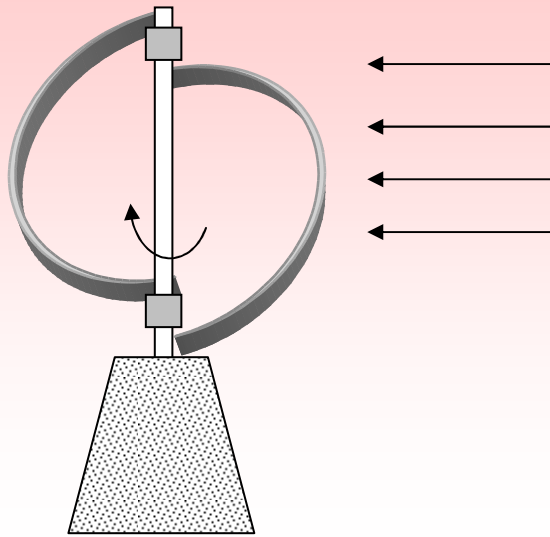


Fig. 5.8. Turbina eoliană Darrieus.

Palele sunt supuse la întindere în timpul funcționării. De asemenea această turbină nu necesită un mecanism special de protecție împotriva vânturilor prea tari, deoarece datorită proprietăților sale aerodinamice rotorul Darrieus își micșorează viteza la vânturi tari.

Un dezavantaj al acestei turbine este că nu pornește singură. Fie se utilizează, pentru pornire, generatorul electric în regim de motor, fie se montează cu un mic rotor Savonius pe același ax.

Și turbinele Darrieus s-au realizat pentru puteri de ordinul MW-lor și înălțimi până la 200 m.

Captatoarele eoliene cu ax vertical sunt mai avantajoase decât cele cu ax orizontal, atât prin faptul că sunt omnidirecționale, nu au nevoie de dispozitive de orientare după direcția vântului, cât și datorită faptului că energia mecanică este accesibilă la sol, nu e nevoie de nacelă pentru montarea generatorului.

5.7.5. Producerea de energie electrică de curent continuu

Se utilizează îndeosebi în instalațiile de putere mică și utilizează fie generatoare de c.c. sau alternatoare asociate cu un redresor. Ultima soluție este mai avantajoasă, alternatorul având un gabarit mult mai mic (greutate de două ori mai mică decât un dinam la aceeași putere).

Turbinele eoliene folosite sunt de regulă cu ax vertical.

5.7.6. Producerea de curent alternativ cu generatoare sincrone

În acest caz, generatorul sincron poate funcționa fie la turație variabilă, fie la turație constantă.

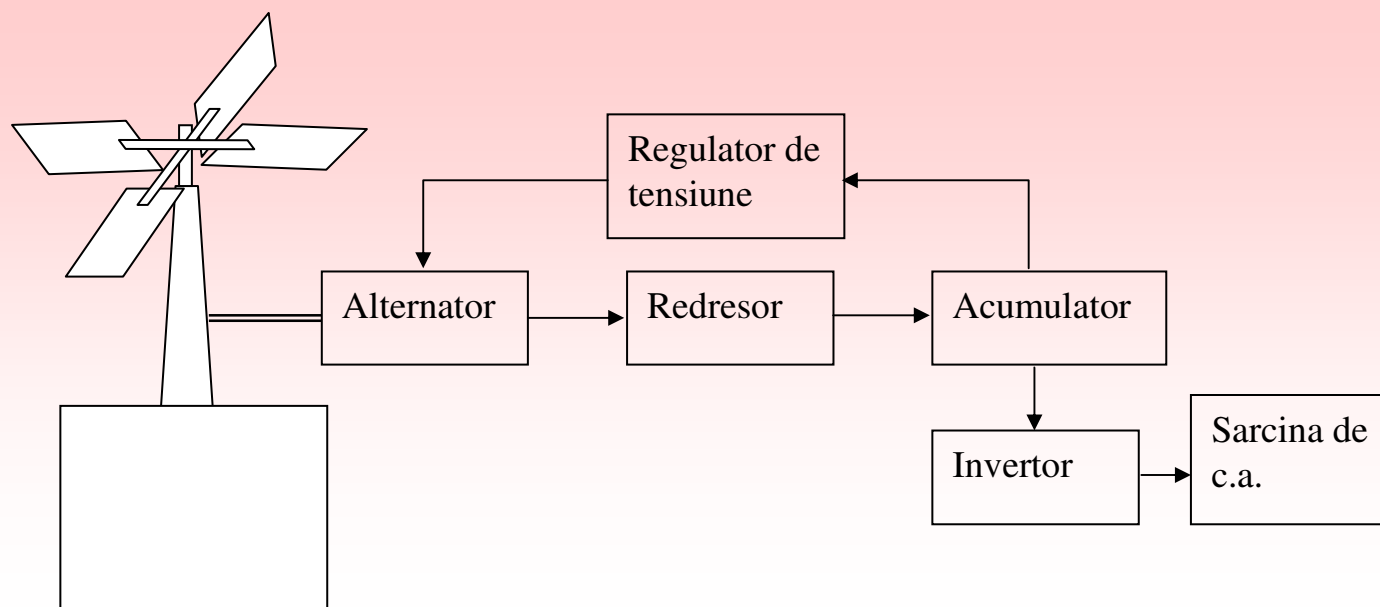


Fig.5.9. Schema bloc a unei instalații eoliene de putere mică

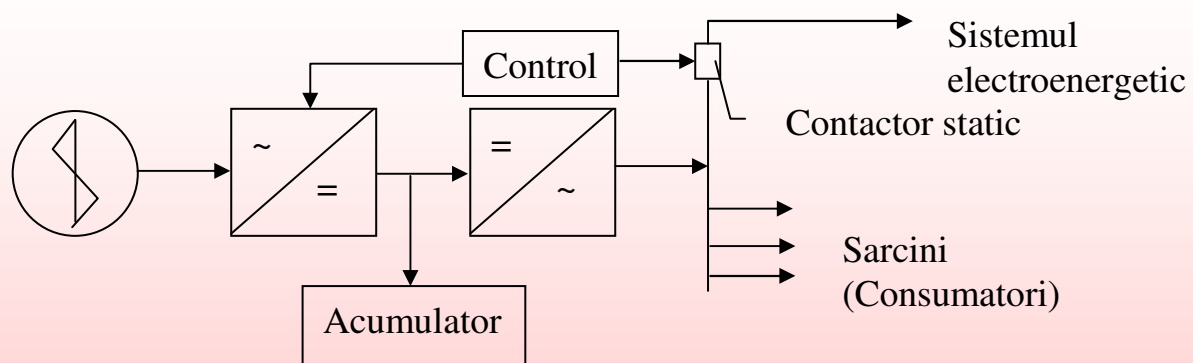


Fig. 5.10. Posibilitatea de funcționare a unui generator eolian cu turație variabilă și conectat la sistemul electroenergetic.

Varianta cu turație variabilă, se utilizează în rețele izolate față de sistemul energetic. Această energie nu îndeplinește indicatorii esențiali de calitate și nu poate fi utilizată decât la anumite aplicații: încălzire electrică și iluminat.

Varianta cu turație constantă, implică existența unor mijloace de reglare foarte sofisticate a turației prin reglarea înclinării palelor turbinei și nu se justifică decât la puteri mari. Aceste generatoare eoliene pot fi legate la sistemul electroenergetic.

Un sistem foarte des utilizat este prezentat în Fig. 5.10.

5.7.7. Producerea de curent alternativ cu generatoare asincrone sau de inducție

În centralele electrice eoliene, generatorul asincron sau de inducție este cel mai utilizat datorită următoarelor avantaje:

- ❑ sunt mai ieftine și necesită întreținere mult mai puțină în raport cu celelalte tipuri de generatoare;
- ❑ pornirea și punerea în paralel cu sistemul electroenergetic nu necesită dispozitive speciale;
- ❑ funcționare mai sigură la defecte în rețea (dispariția tensiunii), repornirea este însoțită doar de un curent mai mare de câteva ori decât cel nominal.

Dezavantajele lui ar fi curentul mai mare la pornire și consumul de energie reactivă din rețea.

Ele se prevăd cu baterii de condensatoare pentru producerea energiei reactive, pentru a putea fi folosite și izolat, nelegate la sistemul electroenergetic.

5.8. Instalații fotovoltaice

Exceptând sursele nucleare de energie, toate celelalte surse de energie de pe planeta noastră își au originea în energia solară.

Lumina directă a soarelui este cea mai abundentă sursă de energie de pe glob. O parte este absorbită de atmosferă și se regăsește sub forma energiei eoliene, dar în medie $1,353 \text{ kW/m}^2$ din această energie cade pe suprafața pământului, bineînțeles cu valori mai mari la ecuator și în zone deșertice.

Utilizarea directă a energiei solare se face de mult timp folosind captatoare solare cu sau fără concentratoare pentru încălzirea apei, pentru încălzirea aerului, pentru topirea metalelor, pentru uscarea diferitelor produse agricole sau industriale și pentru producerea de energie electrică în centrale termice solare.

Dar cea mai interesantă cale de utilizare a energiei solare este conversia ei directă în energie electrică. Există mai multe modalități de utilizare directă a energiei solare: conversia fotovoltaică, conversia termoelectrică și conversia termoionică. Dintre acestea, conversia fotovoltaică se pare că are cele mai

mari posibilități de a deveni o tehnologie alternativă la modul clasic de producere a energiei electrice în condițiile actualei crize energetice. Principiul de funcționare, efectul fotovoltaic, a fost descoperit de savantul francez Becquerel încă din 1839.

Această nouă tehnologie a fost inventată la laboratoarele Bell din New Jersey în 1954, căutând o sursă de electricitate pentru telefoanele din zonele izolate. Au realizat celule fotovoltaice cu randamente de 4-6%, dar din cauza costurilor mari a energiei produse au renunțat la această tehnologie.

Utilizarea sistemelor electrice solare în gospodăriile rurale crește și în țările industriale. Astfel un sistem FV de 2500W – suficient pentru a alimenta iluminatul, mașina de spălat, frigiderul, radioul, televizorul și computerul unei locuințe costă mai puțin de 15000 de dolari, inclusiv panoul fotovoltaic, becuri, cabluri, baterie de înmagazinare a energiei și instalația de reglare. Norvegia avea în 1993 peste 50000 de case rurale alimentate cu celule fotovoltaice și o situație similară se întâlnește în Japonia, Spania, Elveția și SUA. În Germania se derulează programul celor 100000 de acoperișuri solare.

În Israel pot fi văzuți stâlpi de iluminat stradal echipați cu mici panouri solare, care ziua acumulează energie electrică și noaptea asigură iluminatul stradal.

Japonia intenționează să asigure 30% din consumul rezidențial de instalații fotovoltaice (250 MW în anul 2000 și 4600 MW în anul 2010), Germania 10% până în anul 2010, SUA 15% din consumul rezidențial până în 2010 și 100% în următorii 25-40 de ani după 2010.

Reducerea costurilor celulelor fotovoltaice este așteptată în continuare și ca urmare o mai largă utilizare a acestei tehnologii.

5.8.1. Conversia fotoelectrică a energiei

Conversia radiației solare în energie electrică prin efect fotovoltaic se realizează în celule solare.

Celula solară este un dispozitiv realizat cu materiale semiconductoare, în care prin absorbția luminii se generează perechi de electroni și goluri libere, iar aceștia sunt separați spațial datorită unei discontinuități interne ce formează o barieră de potențial, electronii fiind antrenați în sens opus

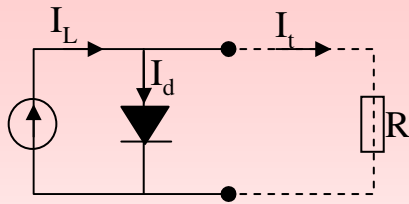
golurilor. Prin separarea purtătorilor de sarcină ia naștere o tensiune la bornele celulei și un curent printr-o rezistență de sarcină, astfel încât celula iluminată funcționează ca un generator de putere electrică.

Din punct de vedere structural, celulele fotovoltaice sunt formate din două zone, realizând o joncțiune, care poate fi de mai multe tipuri:

- ❑ homojoncțiune, în care cele două zone sunt formate din același material semiconductor, având tipuri de conducția diferite;
- ❑ heterojoncțiune, în care cele două zone sunt formate din materiale semiconductoare diferite, având de asemenea tipuri de conducție diferite;
- ❑ joncțiune metal - semiconductor (celula Schotky);
- ❑ joncțiune electrolit – semiconductor.

Principalele fenomene care formează conversia fotoelectrică se pot explica pornind de la cazul cel mai simplu: homojoncțiunea semiconductoare.

Schema echivalentă a unei fotocelule, ca în figura 5.11. Schema cuprinde o sursă de curent constant I_L (pentru o iluminare constantă), care debitează pe rezistența neliniară a joncțiunii **p-n**, polarizată direct și pe rezistența de sarcină **R**.



Se poate observa că la scurtcircuit ($U=0$)

$$I_{sc} = -I_L \quad (5.9)$$

Fig.5.11. Schema echivalentă a unei fotocelule

De obicei acest curent este direct proporțional cu intensitatea radiației incidente. Tensiunea de mers în gol (pentru $I_t=0$), se poate calcula cu:

$$U_0 = \frac{kT}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right) \quad (5.10)$$

5.8.2. Tipuri de fotocelule

A. Celule fotovoltaiice cu siliciu cristalin

Germaniul nu se folosește la realizarea fotocelulelor din cauza slabei sale rezistențe la temperaturi ridicate.

Siliciul domină piața mondială a celulelor fotovoltaiice (peste 50%), din cel puțin trei motive: stabilitate funcțională și randamente bune, tehnologii bine puse la punct în alte domenii ale electronicii, el fiind și unul din cele mai abundente materiale din natură. Tehnologiile actuale utilizează siliciul sub trei forme: monocristal, policristalin și amorf hidrogenat. Dezavantajul major al acestor tipuri de fotocelule

este costul încă ridicat.

B. Fotocelule cu siliciu amorf hidrogenat ($a\text{-Si:H}$)

Din cauza ordinii structurale, siliciul monocristalin ($c\text{-Si}$), are benzi de conducție și de valență clar delimitate, în care purtătorii de sarcină au mobilități mari, deci este un semiconductor cu proprietăți controlabile prin dopare controlată.

Nu același lucru se poate spune despre siliciul amorf pur ($a\text{-Si}$). Acesta, din cauza dezordinii structurale, are mulți atomi cu legături rupte. Acestea fac ca să existe un număr mare de stări energetice, iar purtătorii de sarcină să posede mobilități scăzute. Toate acestea fac imposibilă controlarea prin dopare a tipului de conducție și în final conduc la o fotoconducție neglijabilă.

Dacă, prin procesul de preparare al siliciului amorf, în acesta se incorporează și hidrogen, rezultă siliciul amorf hidrogenat ($a\text{-Si:H}$), care este de fapt un aliaj siliciu-hidrogen cu hidrogen în proporție de până la 30%. Circa 1% din acest hidrogen compensează majoritatea legăturilor rupte din atomii de siliciu ai rețelei dezordonate, iar restul hidrogenului realizează

legături siliciu-hidrogen care relaxează în continuare tensiunile și abaterile de la ordinea locală, impuse de necesitatea interconectării atomilor într-o rețea care rămâne totuși dezordonată. În final, numărul de stări energetice se reduce și se obține un semiconductor amorf cu proprietăți asemănătoare celui cristalin și care are proprietăți fotovoltaice controlabile prin dopare controlată.

C. Celule solare pe bază de CdS

Aceste celule solare sunt de tipul heterojoncțiune obținute în tehnologie cu straturi subțiri policristaline. Stratul de bază (stratul **n**) este întotdeauna sulfura de cadmiu **CdS**, dar stratul **p** poate fi realizat în mai multe moduri: din sulfură de cupru **Cu₂S**, telurură de cadmiu **CdTe** sau **CuInSe₂**. Celulele **CdS-Cu₂S** au intrat în atenția cercetătorilor deoarece pot fi obținute cu straturi subțiri policristaline, deci consum redus de materiale semiconductoare și cu tehnologii de mare serie.

D. Celule solare din GaAs

Utilizarea acestui tip de semiconductor la realizarea celulelor solare ar avea, în raport cu siliciul, următoarele avantaje:

- este cel mai eficient material semiconductor în conversia energiei solare în energie electrică prin fenomene fotovoltaice (eficiență maximă 26%);

- poate funcționa la temperaturi superioare siliciului, permițând realizarea de celule solare cu concentrarea 1000 față de concentrarea 100 cât permit cele de siliciu;

- coeficient de absorbție mai ridicat, ceea ce permite folosirea structurilor foarte subțiri.

Ele au și dezavantaje, din care cauză încă nu au cunoscut o mare răspândire. Astfel, acest material semiconductor este mai scump de vreo 10 ori decât siliciul.

5.9. Pile cu combustibil

« **Grupul de lucru Hidrogen** este o inițiativă de ultimă oră a Comisiei Europene, care va cerceta potențialul hidrogenului ca viitor înlocuitor al surselor de energie convenționale. Hidrogenul este văzut ca sursa de energie a Mileniului 3, ce poate fi folosit de la carburant pentru motoare, la sursă de energie în baterii până la combustibil pentru centrale electrice. Grupul va fi constituit din reprezentanți ai unor reputeate centre de cercetare, producători de componente și pile de combustie, companii de electricitate, producători de automobile și mașini de transport. Pila de combustie combină hidrogenul cu oxigenul pentru a produce energie electrică, în urma procesului rezultând doar apă și energie termică. Comisia Europeană a mai lansat proiectul demonstrativ **CUTE** (*Clean Urban Transport for Europe*), prin care nouă orașe europene (Amsterdam, Barcelona, Hamburg, Londra, Luxembourg, Madrid, Porto, Stockholm și Stuttgart) vor introduce hidrogenul în sistemul de transport public. Alt

program suport – **ECTOS** (Ecological City Transport System), a fost lansat în 2001. »

5.9.1 Generalități

Conversia electrochimică a energiei se referă la transformarea directă a energiei chimice în energie electrică, evitând faza intermediară a energiei calorice. Această conversie este mai avantajoasă decât conversia indirectă a energiei chimice a combustibililor în energie electrică din următoarele considerente:

- se elimină echipamentele costisitoare legate de procesul termodinamic (cazan, turbină, generator electric și instalațiile aferente);
- randamentul nu este limitat la valoarea teoretică corespunzătoare ciclului Carnot, deoarece temperatura procesului este constantă. Randamentul este limitat numai de fenomenele specifice de natură electrochimică, care permit, teoretic deocamdată, dublarea acestuia în raport cu filiera clasică (80%).

Importanța sistemelor de conversie electrochimică a energiei nu este măsurabilă prin aportul lor cantitativ la balanța energetică globală (mai mic decât 1%), ci se manifestă în special sub aspecte calitative specifice, în aplicații speciale ca: pornirea motoarelor cu ardere internă, acționarea electrocarelor, iluminatul vehiculelor, iluminatul de siguranță, propulsia submarinelor etc.

În ultimul timp, interesul pentru conversia electrochimică, această metodă directă care nu este afectată de limitarea impusă de principiul al II-lea al termodinamicii, a readus în actualitate o altă posibilitate de producere a energiei electrice – **pilele cu combustibil**.

Pilele cu combustibil funcționează atâta timp cât sunt alimentate cu combustibil și oxidant. Ele, spre deosebire de acumulatori, nu necesită o reîncărcare electrică.

În cazul acumulatorilor, electrozii sunt constituiți din materie activă care se consumă în timpul funcționării, și se regenerează prin reîncărcare.

Electrozii pilelor cu combustibil conțin numai catalizatorii necesari reacțiilor chimice, reactanții provenind din exterior.

În ceea ce privește avantajele asupra protejării mediului exterior se poate spune că randamentul superior oricărei mașini termice, emanațiile poluante practic inexistente – atât cele gazoase cât și cele fonice – posibilități de utilizare ca și surse distribuite, sunt atuuri în favoarea utilizării acestora pe scară din ce în ce mai largă.

De altfel sunt sute de firme și centre de cercetare în domeniul pilelor cu combustibil, interesul asupra lor impunând realizarea unor programe la nivel european, sau în cazul SUA micșorea impozitelor și taxelor pentru cei care promovează și utilizează astfel de surse.

5.9.2. Scurt istoric

Celula cu combustibil a fost descoperită la mijlocul secolului al XIX-lea, în Marea Britanie, de către sir William Grove. Era vorba despre o celulă hidrogen/oxigen având drept electrolit acid sulfuric diluat și electrozi de platină. Grove construiește o baterie de 50 de celule elementare capabilă să descompună apa în hidrogen și oxigen. El remarcă necesitatea unei suprafețe de contact foarte mari, deoarece densitatea de putere era foarte mică (o

densitate de curent de câțiva mA/cm² la o cădere de tensiune de 0,73 V). În 1989, Ludwig Mond și Carl Langer sunt primii care dau forma actuală și numele de pilă cu combustibil ansamblului de celule conectate în serie prin plăci bipolare. Ei obțin curenți între 2 și 2,5 A, la o densitate a curentului de circa 3 mA/cm², o cădere de tensiune de 0,73 V. Suprafața activă era de 700 cm² pentru o cantitate de platină de circa 1,43 mg/cm². Obținerea unui kilowatt necesita 1 kg de platină care costa în jur de 12000 €, cost absolut prohibitiv. La sfârșitul secolului al XIX-lea W.W. Jacques construiește prima pilă cu combustibil cu o putere de 1,5 kW. Chiar dacă performanțele acestei pile erau destul de bune primele realizări care dau credibilitate utilității pilelor cu combustibili apar în jurul anilor 1930 și sunt legate de numele inginerului englez Francis T. Bacon. El realizează o pilă cu combustibil având performanțe remarcabile: 100 mA/cm² la 1 V. Aceste cercetări conduc la realizarea în 1953 a unei pile de câțiva kW la o densitate de curent de circa 1 A/cm² și o cădere de tensiune de 0,8 V.

O serie de realizări tehnologice, impulsionate de către programul spațial al NASA, au fost demarate la sfârșitul anilor 1950 și finalizate prin realizarea unor celule cu electrolit solid pentru programul GEMINI, respectiv alcaline

pentru programul APOLLO.

În paralel în Germania Justi și Winsel dezvoltă pile cu combustibil cu puteri de câțiva kW și electrozi de nichel. În același timp în SUA, H.K. Ihrig fabrică o pilă de 15 kW pentru alimentarea unui tractor cu acționare electrică, în cadrul companiei Alis-Chalmers Manufacturing Company. K.V. Kordesch, la Union Carbide, realizează o pilă alcalină de 6 kW, care asociată cu un acumulator plumb/acid, alimenta un autovehicul Austin. În prezent s-au realizat pile de combustie cu puteri de ordinul megawatts-ilor iar aplicațiile lor cuprind domenii între mW și zeci de MW.

5.9.3. Principiul de funcționare al pilelor cu combustibil

Pilele de combustie sunt generatoare electrochimice de energie electrică ce se caracterizează prin alimentare continuă cu reactanți la cei doi electrozi. Ele se numesc **pile**, deoarece asemenea celorlalte pile electrice au doi electrozi și electrolit. Calificativul **cu combustibil** provine de la faptul că acestea utilizează drept surse de energie chimică, substanțe combustibile,

naturale sau sintetice, care sunt supuse unor reacții de oxidare și reducere asemănătoare celor de la arderea combustibililor, rezultând și produși secundari asemănători celor de la ardere.

Anodul, sau electrodul de combustibil, este locul unde are loc oxidarea combustibilului (H_2 , CH_3OH , N_2H_4 , hidrocarburi etc.) cu care se alimentează pila. **Catodul**, sau electrodul de oxigen (aer), este locul unde are loc reducerea oxigenului molecular. Cea mai bine studiată și dezvoltată pilă de combustie este pila hidrogen-oxigen sau pila Grove. În figura 5.12 se prezintă schematic pila Grove.

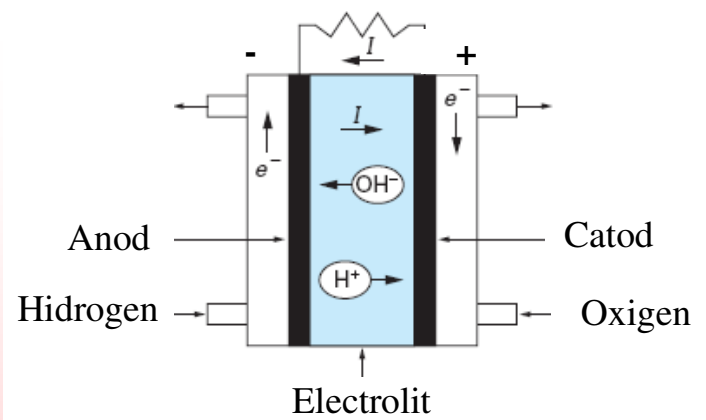


Fig.5.12. Schema de principiu a unei pile cu combustibil (hydrogen/oxygen)

5.9.4. Clasificarea pilelor cu combustibil

Celule cu combustibil utilizează drept agent de combustie hidrogenul îmbuteliat (lichid sau gazos) sau obținut prin reformarea altor combustibili cum ar fi: hidrazina, gaz metan, metanol, propanol, cărbune, nafta etc. Celule cu combustibil pot fi clasificate după mai multe criterii care în general au la bază tipul electrolitului utilizat. Astfel se poate vorbi despre:

- A. Celule alcaline **AFC** (*Alkaline Fuel Cell*).
- B. Celule cu acid fosforic **PAFC** (*Phosphoric Acid Fuel Cells*);
- C. Celule cu oxizi solizi **SOFC** (*Solid Oxide Fuel Cells*);
- D. Celule cu carbonat topit **MCFC** (*Molten Carbonate Fuel Cells*);
- E. Celule cu membrană schimbătoare de protoni **PEMFC** (*Proton Exchange Membrane Fuel Cells*);
- F. Celule cu alimentare directă cu metanol **DMFC** (*Direct Methanol Fuel Cells*);

În tabelul 5.1 sunt descrise reacțiile la electrozi, catalizatorii utilizați și transportul de ioni în electrolit.

Tabelul 5.1. Reacții la electrozi

Tip de pilă	Anod (catalizator)	Electrolit	Catode (catalizator)	Temperatura (°C)
PEMFC	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ (Pt)	Polimer acid H ⁺ (solid)	$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ (Pt)	60÷90
DMFC	$CH_3OH + H_2O \rightarrow$ $CO_2 + 2H^+ + 6e^-$ (Pt)	Polimer acid H ⁺ (solid)	$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ (Pt)	60÷90
PAFC	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ (Pt)	H ₃ PO ₄ (85÷100%) H ⁺ (lichid)	$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$ (Pt)	160÷220
AFC	$H_2 + 2OH^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$ (Pt, Ni)	KOH (8÷12 N) OH ⁻ (lichid)	$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$ (Pt-Au, Ag)	50÷250
MCFC	$H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow$ $H_2O + CO_2 + 2e^-$ (Ni+10%Cr)	Li ₂ CO ₃ /K ₂ CO ₃ /Na ₂ CO ₃ CO ₃ ²⁻ (lichid)	$\frac{1}{2}O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$ (NiO litiat)	650
SOFC	$H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$ (cermet Ni-ZrO ₂)	ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ O ²⁻ (solid)	$\frac{1}{2}O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-}$ (perovskit La _x Sr _{1-x} MnO ₃)	750÷1050
PEMFC – Proton Exchange Membrane Fuel Cell AFC – Alkaline Fuel Cell DMFC – Direct Methanol Fuel Cell MCFC – Molten Carbonate Fuel Cell PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell SOFC – Solid Oxide Fuel Cell				

B. Pile cu combustibil alcaline (AFC)

Din punct de vedere istoric sunt primele pile care au cunoscut o dezvoltare la nivel industrial, și pentru programul spațial Apollo. De fapt odată cu programul Apollo, pilele cu combustibil alcaline au fost prezente în toate zborurile NASA.

Pilele se caracterizează prin prezența unui electrod alcalin (potasiu) și prezintă avantajul că pot funcționa fără utilizarea unor metale nobile cași catalizatori.

La anod se utilizează nichel iar la catod argint.

Unul dintre inconvenientele majore ale acestor pile este legat de sensibilitatea deosebită a electrolitului față de gazele carbonice, care provoacă precipitarea de carbonați, diminuând rapid conductivitatea electrică.

A. Pile cu acid fosforic (PAFC)

Pilele de acest tip sunt cele mai dezvoltate și cele mai aproape de a fi comercializate pe scară largă. S-au construit generatoare cu puteri cuprinse

între 100 și 200 kW (de exemplu de firma ONSI din SUA care a produs peste o sută de pile, sau FUJI din Japonia).

Aceste pile sunt adaptate pentru funcționarea în mediu urban, datorită gabaritului lor, și pentru funcționare în instalații cu cogenerare datorită temperaturii de operare de circa 200 °C.

Aceste aspecte au condus la realizarea unor centrale de puteri mai mari, de exemplu la Goi în Japonia o centrală cu o putere instalată de 11 kW sau la Milano o centrală cu o putere de 1 kW.

Principalele subsisteme componente ale pilei sunt:

- ❑ subsistemul de tratare a gazului natural (desulfurizare, reformare și reactor de gaz cu apă);
- ❑ pila propriu-zisă;
- ❑ convertizorul c.c./c.c.;
- ❑ subsistemul de control.

Electrolitul utilizat este acidul fosforic cu concentrație de 100 %, absorbit într-o matrice de carbură de siliciu. Principalele proprietăți ale acestui lichid sunt:

- ❑ vâscozitatea, care îl face puțin volatil;
- ❑ o bună conductivitate ionică la temperaturi înalte;

❑o bună solubilitate a oxigenului;

❑se solidifică la 42 °C, ceea ce face obligatorie menținerea temperaturii pilei tot timpul peste această temperatură, chiar în timpul opririlor.

Electrozii utilizați sunt electrozi de carbon cu o suprafață specifică mare. Sunt compuși din granule de carbon catalizate cu platină. Acestea sunt fixate într-o masă poroasă în formă de burete de politetrafluoroetilenă (PTFE) care joacă și rol de agent hidrofob și împiedecă „înecarea” electrozilor cu electrolit.

Pilele funcționează cu gaz, care prin reformare într-un reactor de gaz cu apă, este transformat în hidrogen (circa 80%), bioxid de carbon CO₂ (circa 20%) și monoxid de carbon CO (circa 1%). Temperatura de funcționare este suficient de ridicată pentru a împiedeca otrăvirea cu monoxid de carbon a electrozilor de platină de la anod.

Randamentul electric al pilei este cuprins între 35-40 %, iar cel termic de 40 %, căldura pentru cogenerare fiind produsă la circa 80 °C. Dacă randamentul electric este aproximativ constant în funcție de puterea nominală, randamentul termic variază în funcție de temperaturile de intrare și de ieșire a rețelei termice la care este conectată pila.

Durata de viață a unei astfel de pile poate atinge 40.000 de ore, îmbătrânirea pilei fiind rezultatul următorilor factori:

- ❑ evaporarea electrolitului;
- ❑ corodarea electrozilor și incintei pilei;
- ❑ fuziunea granulelor de catalizator, fenomen care reduce suprafața activă.

Îmbătrânirea este accelerată de opririle și redemarările repetate în special de cele de urgență. Aceasta provoacă o scădere progresivă a tensiunii și o creștere a căldurii pilei. Acestea pot să conducă la oprirea convertizorului și la imposibilitatea sistemului de răcire de a evacua întreaga cantitate de căldură produsă.

Condițiile de funcționare ale PAFC sunt următoarele:

presiunea între 1 și 5 bar;

- ❑ răcirea cu apă, aer, sau apă/glicol;
- ❑ o utilizare a hidrogenului între 70-80%;
- ❑ densitatea de curent de circa 200-350 mA/cm², la puterea nominală;
- ❑ excedentul de hidrogen este ars în reformator pentru a produce căldura necesară reacției de reformare a gazului.

C. Pile cu combustibil cu oxid solid (SOFC)

Sunt pile care funcționează la temperaturi înalte cuprinse între 800-1000 °C. Acest fapt face ca să nu mai necesitate utilizarea unor catalizatori din metale rare pentru accelerarea reacțiilor. Totodată pot fi alimentate cu alți tip de combustibili decât hidrogenul pur.

Un gaz ca și monoxidul de carbon, considerat drept o otravă pentru pilele cu combustibil cu funcționare sub 200 °C, devine la aceste temperaturi ridicate un combustibil caare se oxidează la fel de ușor ca și hidrogenul.

Metnul (gazul natural), care este inert din punct de vedere electrochimic la temperaturi sub 400 °C, devine un combustibil la temperaturi înalte.

Aceste pile sunt construite în principal din materiale ceramice de diferite naturi, sau de materiale ceramice asociate cu metale (cazul anozilor de nichel).

Conducția ionică este realizată prin ioni de oxizi (O^{2-}) întrun electrolit de tip ytriat de zirconiu. Reacțiile se derulează la electrozi unde există tre faze:

□un conductor electronic care transport electronii pentru reacțiile de reducere și de oxidare;

❑ un conductor ionic (oxid), care evacuează ionii de la catod pentru ai transporta la anod;

❑ un mediu poros care antrenează gazele de reacție și elimină produși de reacție sau cei care nu au participat la reacție.

Coeficienții de dilatare a fiecărui component al pilei joacă un rol important în ceea ce privește durata de viață. În primul rând o dilatare mare va avea un efect important în ceea ce privește eforturile mecanice. Totodată, coeficienți de dilatare mari vor influența ciclarea termică (înserierea mai multor celule) prin influența lor asupra etanșezării dintre celule.

Au fost dezvoltate mai multe arhitecturi pentru SOFC, atât tubulare (Westinghouse) cât și planare. Configurațiile planare prezintă suprafețe de etanșezare mult mai mari decât cele tubulare.

Cercetările actuale vizează diminuarea temperaturilor de funcționare la circa 700 °C, astfel încât pentru îmbinarea și interconectarea celulelor să poată fi utilizate materiale metalice. Aceste temperaturi impun utilizarea unor altor materiale pentru electrozi și electroliți.

O altă direcție de cercetare o reprezintă utilizarea în construcția electrozilor unor materiale conductoare mixte (ionice și electronice) atât pentru a simplifica structura electrozilor cât și pentru a favoriza contactul între cele trei faze: ionice, electronice și gazoase.

D. Pile cu combustibil cu carbonat topit (MCFC)

Carbonații alcalini sunt formați din elemente care există din abundență în natură și nu sunt toxici. Ei formează amestecuri eutectice cu puncte topire relativ joase (de exemplu 488 °C pentru $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{K}_2\text{CO}_3$). Totodată prezintă o conductivitate electrică bună în stare topită între 1,3-2,5 S/cm. Funcționarea are loc la temperaturi în jur de 650 °C, electrolitul în această stare fiind relativ stabil și nevolatil. Această temperatură de funcționare are mai multe implicații:

- pe de o parte favorizează reacțiile de oxidare ale combustibililor (H_2 , CO, gaz natural, cărbune gazeificat, etc.) și de reducere a oxidanților (oxigen). În consecință se pot utiliza materiale mai puțin costisitoare pentru construcția electrozilor cum ar fi nichelul;
- pe de altă parte permit funcționarea în instalații cu cogenerare;

- ❑ permit utilizarea unor combustibili diferiți de hidrogenul pur: gaz natural, metanol, gaz de sinteză, cărbune gazeificat;
- ❑ spre deosebire de alte tipuri de pile, la MCFC, oxidantul este format dintr-un amestec de circa 70% aer și 30% bioxid de carbon.

Durata de viață a pilei este influențată de mai mulți factori:

- ❑ dizolvarea electrodului catodic din litiat de NiO, care poate produce prin reducerea Ni un scurtcircuit între anod și catod;
- ❑ corodarea plăcilor de interconectare;
- ❑ pierderile de electrolit prin evaporare și corodare.

Aceste pile sunt la nivel experimental, fiind realizate prototipuri cu puteri între câțiva kW și 2 MW. Cele mai intense cercetări sunt făcute în SUA, Japonia, iar în Europa în Germania, Italia, Belgia și Olanda.

E. Pile cu combustibil cu membrană schimbătoare de protoni (PEMFC)

Aceste pile (schema de principiu este prezentată în figura) utilizează un electrolit solid, constituit dintr-o membrană polimerică cu conducție protonică asigurată de o funcție sulfonică.

Cea mai comercializată și utilizat polimer, cunoscut sub denumirea comercială

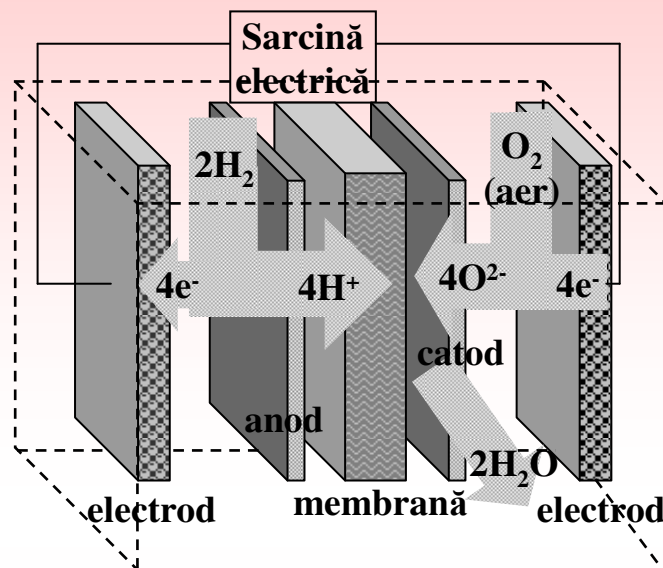


Fig.2. Basic PEFC operation.

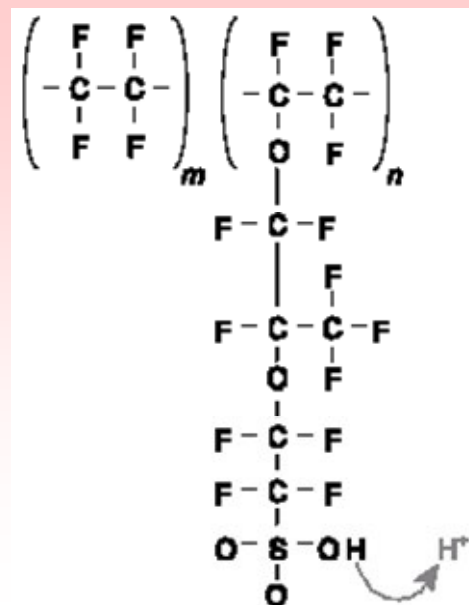


Fig.2.2. Structura chimica a Nafion-ului.

NAFION, este un compus perfluorosulfonic, funcția acidă fiind de tip sulfonic (figura). Se observă apariția atomilor de fluor asociați celor de carbon. Această substituție asigură acestui polimer apropiat de Teflon, o aciditate superioară acizilor clasici (sulfuric, clorhidric, azotic etc.) și o stabilitate chimică bună în medii oxidante sau reducătoare (zonele anodice respectiv catodice). Aceste membrane au carter hidrofil și necesită să fie în permanență hidratate pentru a asigura conducția protonică.

De altfel modalitatea de conducție este foarte apropiată de conducția într-un lichid. Temperatura de funcționare este limitată la maximum 100-150 °C (în funcție de tehnologia utilizată), pentru a preîntâmpina evaporarea și implicit deshidratarea la presiunea atmosferică.

Pentru aceste pile gestionarea apei este o problemă importantă atât la nivel de membrană cât și la nivel de sistem.

Catalizatorul utilizat este platina pură sau în aliaj cu metale de tranziție.

Acesta trebuie să reziste în mediul puternic acid și să prezinte o activitate catalitică suficientă pentru a iniția reacțiile de oxidare și de reducere de la electrozi.

Costul ridicat a materialelor de cataliză, au făcut ca multe din cercetările desfășurate în ultimii ani să aibă drept scop reducerea masei acestor materiale. Aceste progrese au fost posibile prin utilizarea unor electrozi constituiți de particole de platină cu dimensiuni foarte mici (nanometri) depuse pe pudră de carbon. În acest fel suprafața activă a catalizatorului devine extrem de mare, iar consumul de platină foarte mic. Astfel, practic de la lansarea programelor spațiale până în zilele noastre consumul de platină pe m² a scăzut de peste 100 de ori (de la 20g/m² la 0,2g/m²).

Această ameliorare contribuie și mai mult prin suprafața poroasă care permite infiltrarea electrolitului în masa electrodului, astfel încât catalizatorul este utilizat nu numai la interfața electrod/electrolit, dar și în adâncime pe câțiva micrometri. Electrozii astfel obținuți prezintă o suprafață de reacție de circa o sută de ori mai mare decât suprafața geometrică (aparentă). Astfel s-a ajuns la creștere în ceea ce privește densitatea de putere de la $0,05 \text{ W/cm}^2$ la $0,7-0,8 \text{ W/cm}^2$.

Platina este sensibilă la otrăvirea cu produse sulfurice sau cu monoxid de carbon atunci când hidrogenul este obținut prin reformare. De asemenea ea este sensibilă la produsele grase (uleiuri, vaseline) care pot fi conținute în aerul cu care este alimentat catodul. La anod gazul trebuie desulfurat și catalizatorul modificat (în aliaj cu metale de tranziție), iar la catod se pot utiliza filtre adaptate și sisteme de compresie care să nu introducă produsele de ungere în aerul comprimat.

Un alt element important sunt plăcile bipolare sau separatoare (figura). Funcțiile lor sunt de separare a anodului unei celule de catodul celulei vecine, de distribuire a gazelor de reacție pe suprafața electrozilor și de a conduce curentul electric de la o celulă la alta.

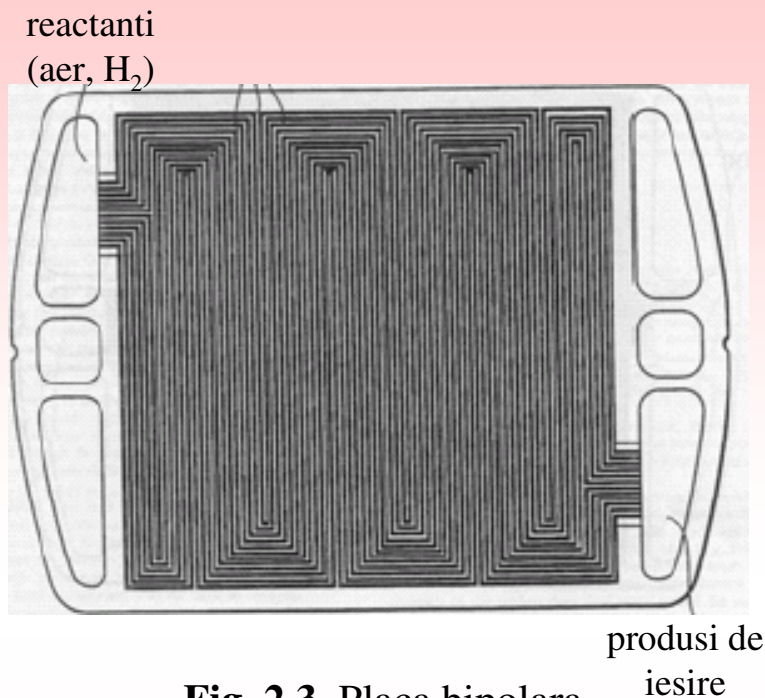


Fig. 2.3. Placa bipolară

Prin urmare aceste plăci trebuie să fie bune conducătoare din punct de vedere electronic, izolante ionic, și să reziste mediului oxidant, sau reducător, respectiv apei. Sunt realizate de cele mai multe ori din grafit impregnat cu rășini fenolice și frezate pe fiecare față pentru a obține canalele de distribuție a gazelor. Grafitul este stabil chimic, bun conductor electric, dar este greu de prelucrat mecanic. Din acest motiv se

fac cercetări pentru înlocuirea plăcilor din grafit cu plăci din metale ambutisate, sau materiale compozite turnate sau injectate. Materialele metalice se comportă bine din punct de vedere electric, dar nu rezistă mediilor corozive, în timp ce materialele compozite prezintă o bună stabilitate chimică dar au o conductivitate electrică și o rezistență mecanică scăzute.

Plăcile bipolare asigură de obicei și funcția de răcire prin intermediul lichidului de răcire care circulă prin canale realizate în grosimea plăcii.

5.9.5. Domenii de aplicare

Principalele aplicații ale pilelor cu combustibili sunt :

1. Producerea descentralizată de energie electrică (până la câteva sute de megawați) ;
2. Cogenerarea industrială sau centralizată (până la 50 MW) ;
3. Cogenerare terțiară (până la 250 kW) ;
4. Aplicații rezidențiale cu cogenerare (1 la 10 kW) ;
5. Alimentarea unor așezări izolate (până la 200 kW) ;
6. Alimentare de siguranță – spitale etc. (până la 200 kW) ;
7. Autovehicule electrice (în jur de 50 kW)
8. Autobuze electrice (în jur de 200 kW) ;
9. Aplicații navale și submarine (module de 200 la 500 kW) ;
10. Aplicații portabile – telefonie mobilă, ceasuri etc. (1 la 100 W) ;
11. Aplicații spațiale (10 la 50 kW).

Pilele de tip AFC și PEMFC sunt utilizate în tracțiuni electrice în timp ce pilele PAFC și SOFC ca și surse auxiliare de putere în aplicații staționare cu cogenerare.