

Modulul 5 -Surse alternative de energie într-un contur urban

5.1. Eficiența recuperării resurselor energetice secundare

A. Aspecte generale privind recuperarea resurselor energetice secundare

Activitățile umane sunt caracterizate în marea lor majoritate printr-un consum de materii prime (materiale) și unul de energie (sub diverse forme). Rezultatul principal al oricărei activități este un produs sau un serviciu. În timpul activității (procesului), pot rezulta unul sau chiar mai multe produse secundare (deșeurii), care depind de modul de lucru (tehnologie), de tipul resurselor consumate (materiale, energie) și de modul de organizare a lucrului (management).

Produsele secundare, dintre care unele pot fi dorite (acceptate) iar altele nedorite, sunt deseori purtători de energie sub diverse forme :

- căldura sensibilă sau latentă;
- suprapresiune;
- putere calorifică.

Aceste produse secundare pot fi aruncate sau pot fi recuperate, reciclate și refolosite în cadrul aceluiași proces sau într-un altul.

Conceptul RRR (recuperare, reciclare, refolosire) a apărut în momentul în care omenirea a devenit conștientă de caracterul limitat al resurselor materiale și energetice, moment care a determinat și o creștere semnificativă a prețurilor acestor resurse.

Recuperarea a devenit din acel moment o necesitate economico-financiară pentru orice activitate umană ale cărei produse intrau pe piața mondială. La acest nivel, prețul recuperării s-a dovedit a fi mai mic decât prețul nerecuperării (costurile de producție fiind mai mici în cazul recuperării decât în cazul nerecuperării). Astfel, dacă unul singur dintre producători adoptă un procedeu care implică recuperarea de orice fel, prețul produsului său scade și îi obligă și pe ceilalți producători de pe aceeași piață să adopte un procedeu asemănător.

În momentul de față, gestionarea eficientă a energiei în cadrul unei organizații (companie, întreprindere, trust, etc) constituie obiectul de activitate al unui colectiv sau măcar al unui responsabil cu utilizarea energiei ("energy manager"), care răspunde în fața conducerii superioare a organizației.

Odată cu creșterea prețului energiei și alinierea lui la prețul mondial, aplicarea recuperării energiei sub toate formele devine și pentru România o prioritate. Din punct de vedere tehnic, recuperarea energiei este legată de un contur de bilanț dat (agregat, secție, clădire, întreprindere, platformă industrială, oraș, etc). În raport cu acest contur de bilanț energetic dat, recuperarea poate fi :

- interioară;
- exterioară.

Fiecare dintre cele două direcții prezintă avantaje și dezavantaje.

Atunci când se pune problema recuperării unui flux de energie deșeu (resursa energetică secundară) eliminat dintr-un contur, primul aspect al analizei constă în inventarierea consumatorilor potențiali pentru fluxul de energie respectiv. Consumatorii potențiali sunt căutați atât în interiorul conturului cât și în exteriorul său. De cele mai multe ori există mai multe variante posibile, care sunt comparate și din care se alege în final soluția cea mai convenabilă. Această alegere trebuie făcută numai pe criterii economice, după ce toate avantajele și dezavantajele au fost exprimate sub formă bănească.

B. Definiție, tipuri de r.e.s., caracteristici

În cadrul proceselor tehnologice industriale se utilizează forme de energie de proveniență diferită. Astfel, energia poate avea o sursă exterioară procesului (arderea combustibililor), o sursă interioară (efect electrotermic) sau poate rezulta și din însăși desfășurarea procesului respectiv (căldură degajată din reacțiile chimice exoterme).

Procesele tehnologice **disponibilizează adesea mari cantități de energie, sub diferite forme, rezultate ca produse secundare**. Atunci când sunt caracterizate de un **potențial energetic utilizabil, aceste fluxuri de energie, având de cele mai multe ori ca suport fluxuri de masă, reprezintă resurse energetice secundare (r.e.s.)**. Având în vedere modul de definire a lor, r.e.s. pot fi încadrate în categoria **pierderilor energetice ale procesului** din care au rezultat.

Analiza recuperării resurselor energetice secundare rezultate în cadrul unui proces tehnologic industrial se face la un moment de timp caracterizat de anumite condiții tehnice și economice. În funcție de aceste condiții, numai o cotă parte din **conținutul energetic al r.e.s. poate fi refolosită eficient tehnico-economic, această cotă constituind resursele energetice refolosibile (r.e.r.)**.

Astfel, valoarea r.e.r. fiind dependentă de stadiul dezvoltării tehnologiilor de recuperare și de nivelul de referință al costurilor energiilor și materialelor utilizate, are un caracter dinamic.

Definirea resurselor energetice secundare și calculul eficienței recuperării lor se face stabilind în prealabil un contur de referință, care poate fi un proces, un agregat, un subansamblu tehnologic, o linie tehnologică, o întreprindere sau o zonă (platformă) industrială.

Diversitatea mare de procese industriale conduce la apariția unor categorii diferite de r.e.s., cu caracteristici diferite în funcție de forma de energie utilizabilă și natura agentului energetic.

În funcție de caracteristicile fizico-chimice pe care le prezintă, r.es.-urile rezultate din diferite procese tehnologice, pot aparține uneia sau simultan mai multor categorii de resurse energetice secundare (r.e.s.). În tabelul 5.1.1. sunt prezentate principalele categorii de r.e.s., forma de energie utilizabilă și exemple.

Tabelul 5.1.1.

Tipuri de r.e.s.

Categoria resurselor energetice secundare	Forma de energie utilizabilă	Exemple de r.e.s.
R.e.s. termice	căldură sensibilă și / sau latentă	- gaze de ardere rezultate din procese pirotehnologice din industria metalurgică, industria chimică, industria materialelor de construcție, incinerarea deșeurilor industriale și urbane; - deșeuri tehnologice fierbinți (zgură, cocs); - abur uzat; - aer umed evacuat din hale industriale și instalații de uscare
R.e.s. combustibile	energie chimică	- gaze de ardere rezultate din procese chimice, furnale, cocserii, convertizoare, rafinării, înobilarea cărbunelui; - leșii din industria celulozei și hârtiei; - deșeuri lemnoase; - deșeuri agricole.
R.e.s. de suprapresiune	energie potențială (suprapresiune)	- gaze de furnal; - gaze rezultate din instalații de ardere sub presiune; - soluții sau fluide cu suprapresiune din agregate tehnologice ca abur, aer comprimat

Exemple de r.e.s. – gazele de ardere (caracteristici)

În categoria resurselor energetice secundare ponderea cea mai importantă o reprezintă gazele de ardere. În cazul principalelor procese tehnologice din industrie (metalurgie, construcții de mașini, materiale de construcții, chimie), temperaturile necesare desfășurării lor variază în limite largi. Ca urmare gazele de ardere rezultate din aceste procese au în mod curent temperaturi cuprinse între 300 - 2800 °C, impunându-se ca importante resurse energetice secundare de natură termică.

Procesele pirotehnologice reprezintă procesele tehnologice care presupun arderea combustibilului sau prelucrarea termică a acestuia. Ele au o pondere mare în cadrul unor ramuri industriale ca:

- industria metalurgică;
- industria constructoare de mașini;

- industria chimică;
- industria petrochimică;
- industria materialelor de construcție.

Randamentele termice ale acestor procese au valori minime, deci ele prezintă pierderi de căldură mari, constituind o rezervă considerabilă de resurse energetice secundare, în special sub forma gazelor de ardere.

Făcând abstracție de procesele electro-termice și de cele chimice bazate pe reacții puternic exoterme, gazele de ardere cu un conținut ridicat de căldură sensibilă, sunt furnizate în general de procesele pirotehnologice, rezultând prin arderea combustibilului.

Datorită temperaturii ridicate impuse de desfășurarea acestor procese, căldura evacuată cu gazele de ardere poate avea o pondere de 35 - 60% din cantitatea de energie consumată.

O categorie aparte de gaze de ardere, din punct de vedere calitativ, o reprezintă cele rezultate din **incinerarea deșeurilor industriale și menajere**. Problematika recuperării acestei categorii de gaze de ardere se analizează corelat cu structura procedeeleor de incinerare a deșeurilor. Deși scopul acestor procedee este eliminarea deșeurilor și nu recuperarea lor, caracteristicile termice ale gazelor de ardere rezultate impun atât deșeurile urbane cât și pe cele industriale ca surse importante de energie, mai ales pentru aglomerările urbane.

Unitățile de incinerare a deșeurilor menajere cu recuperare de energie sunt specifice marilor aglomerări urbane. Datorită puterii calorifice scăzute (apropiată de aceea a cărbunilor inferiori ca turba și lignitul) utilizarea deșeurilor menajere ca resurse energetice combustibile nu prezintă o eficiență energetică ridicată. Însă recuperarea căldurii sensibile a gazelor de ardere rezultate la arderea acestora în uzinele de incinerare este eficientă din punct de vedere tehnico-economic și contribuie la diminuarea costului global al acestui tip de tratament termic.

Limitele domeniului de temperaturi ale gazelor de ardere evacuate în cadrul procedeeleor de incinerare a deșeurilor menajere sunt determinate de caracteristicile constructive și funcționale ale cuptoarelor de incinerare și ale instalațiilor anexe. Astfel, pentru ca arderea să se desfășoare în condiții bune, este necesară o temperatură de minimum 750 °C iar pentru a evita ancrasarea cuptorului, acestea nu trebuie să depășească 950 °C .

De asemenea, recuperarea gazelor de ardere evacuate din cuptoarele de incinerare a deșeurilor menajere prezintă anumite particularități față de cele evacuate din instalațiile pirotehnologice care funcționează cu combustibili clasici. Aceste particularități sunt determinate de conținutul ridicat în poluanți gazoși și solizi.

Conținutul de energie al r.e.s – se determină având în vedere forma de energie și agentul purtător. Astfel, având în vedere principalele categorii de r.e.s. (termice, combustibile, suprapresiune), în cele ce urmează se exemplifică pentru cazul gazelor de ardere modul de determinare al energiei conținute.

Căldura sensibilă conținută de un debit de gaze (r.e.s. termice) care poate fi preluată prin răcirea acestora în instalația recuperatoare este:

$$Q = W (t_1 - t_2) \quad (5.1.1)$$

unde W este capacitatea calorică a debitului de gaze (produsul între debit și căldura specifică medie) iar t_1 este temperatura cu care sunt disponibile gazele ieșite din incinta de lucru.

Valoarea minimă a temperaturii t_2 cu care gazele de ardere ies din instalația recuperatoare este limitată de temperatura punctului de rouă acidă t_r . Astfel, pentru combustibilii care conțin :

- mai puțin de 1% sulf:

$$t_{2\min} = t_r + 30 \text{ grad} \quad (5.1.2)$$

- mai mult de 1% sulf:

$$t_{2\min} = t_r + 40 \text{ grad} \quad (5.1.3)$$

Debitul total de gaze de ardere se calculează în funcție de sarcina tehnologică, de consumul specific de combustibil, de cantitatea de gaze de ardere rezultate prin arderea unității de masă sau de volum de combustibil și de coeficientul de evacuare a gazelor de ardere din camera de lucru a agregatului tehnologic.

La calculul debitului specific de gaze se ține seama și de pătrunderile de aer fals pe traseul gazelor de ardere, de la ieșirea din camera de lucru a agregatului tehnologic până la intrarea în instalația recuperatoare, prin coeficientul de exces de aer.

Suprapresiunea cu care gazele (r.e.s. de suprapresiune) sunt evacuate din incinta de lucru poate fi de ordinul mbar sau de ordinul sutelor de bar. Energia potențială conținută de gaze poate fi valorificată prin destindere într-o turbină de detentă, care poate antrena un generator electric sau un consumator de lucru mecanic din interiorul conturului de bilanț considerat. Lucrul mecanic generat prin destinderea în turbină este:

$$l_T = R T_{IN} (1 - \varepsilon^\alpha) \eta_{IT} / \alpha \quad (5.1.4)$$

unde $R = 8,315 \text{ kJ/kmolK}$ este constanta universală a gazelor, $\alpha = 0,2 - 0,29$ este o mărime care depinde de exponentul adiabatic, $\eta_{IT} = 0,79 - 0,86$ este randamentul intern al turbinei de detentă iar ε este raportul presiunilor de ieșire și de intrare în turbină ($\varepsilon < 1$).

Se poate constata că lucrul mecanic de destindere depinde de temperatura absolută de intrare în turbina T_{IN} și de raportul de destindere ε .

Puterea calorifică (r.e.s. combustibile) - Componentele combustibile care pot fi întâlnite în amestecul de gaze de proces, de sinteză sau de purjă sunt H_2 , CO , CH_4 . Puterea lor calorifică inferioară, exprimată în MJ/kmol, este :

H_2	242
CO	286
CH_4	803

În cazul în care același debit de gaze are suprapresiune și conține și elemente combustibile, recuperarea se poate face etapizat, mai întâi prin destindere și apoi prin ardere.

C. Direcții de recuperare

Recuperarea resurselor energetice secundare poate fi, **interioară sau exterioară**, în raport cu conturul de bilanț energetic stabilit pentru analiză.

Recuperarea interioară are loc atunci când energia conținută de către r.e.s-urile rezultate dintr-un proces tehnologic este recuperată în cadrul aceluiași proces .

Soluțiile de recuperare interioară sunt caracterizate de următoarele aspecte :

-utilizarea energiei recuperate se face direct în cadrul agregatului sau liniei tehnologice în care s-a produs r.e.s. Prin încadrarea în fluxul tehnologic a instalației recuperatoare cât mai aproape de locul producerii r.e.s. se evită pierderile de căldură prin transport, asigurându-se un grad ridicat de recuperare. Limitările recuperării interioare sunt de natură termodinamică și tehnico-economică în ceea ce privește dimensionarea instalației recuperatoare;

- prin aplicarea unei soluții de recuperare de acest tip se economisește combustibil tehnologic (superior), efectul reflectându-se sub aspect energetic și economic la nivelul instalației sau procesului unde s-au produs resursele energetice secundare;

- sub aspect economic, prin încadrarea instalațiilor recuperatoare în fluxul tehnologic, aceste soluții de recuperare nu necesită cheltuieli suplimentare de exploatare;

- aplicarea soluțiilor de recuperare interioară pot conduce la creșterea productivității agregatului tehnologic.

Datorită limitărilor ce intervin în cazul aplicării independente a diferitelor soluții de recuperare interioară, în anumite situații se justifică tehnico-economic aplicarea combinată a acestora.

În tabelul 5.1.2. sunt exemplificate pentru cazul particular al gazelor de ardere caracterizate de nivel termic ridicat (resurse energetice secundare de natură termică), principalele soluții de recuperare interioară.

Tabelul 5.1.2.

Soluții de recuperare interioară a căldurii gazelor

Soluția de recuperare	Elemente caracteristice ale soluției de recuperare
Preîncălzirea aerului de ardere (PA)	<ul style="list-style-type: none"> presupune utilizarea căldurii fizice a gazelor rezultate din camera de lucru a unui agregat tehnologic, pentru preîncălzirea aerului de ardere necesar aceluiași agregat;
Preîncălzirea autonomă a aerului de ardere (PAA)	<ul style="list-style-type: none"> presupune existența unui focar separat de camera de lucru a agregatului tehnologic principal, în care sunt produse gazele de ardere utilizate pentru preîncălzirea aerului; se aplică în cazul în care gazele din agregatul principal au un conținut bogat în elemente combustibile, iar recuperarea lor este mai eficientă ca resurse energetice secundare de natură combustibilă;
Preîncălzirea combustibilului (PC)	<ul style="list-style-type: none"> se aplică în general în cazul utilizării în agregatul principal a unui combustibil gazos (sau lichid) cu putere calorifică scăzută; preîncălzirea combustibilului este limitată de atingerea temperaturii de autoaprindere (dependentă de natura sa);
Preîncălzirea materialelor tehnologice (PMT)	<ul style="list-style-type: none"> se poate realiza atât direct prin străbaterea în contracurent fluxul gazelor de ardere cât și în cadrul unui preîncălzitor separat, implementat în fluxul acestora;
Regenerarea chimică a căldurii gazelor de ardere (RC)	<ul style="list-style-type: none"> presupune utilizarea căldurii fizice a gazelor pentru tratarea preliminară endotermă a combustibilului tehnologic, având ca efecte atât ridicarea conținutului de căldură legată chimic cât și preîncălzirea sa; soluția este aplicată în cazul proceselor pirotehnologice în care gazele de ardere rezultate nu conțin antrenări de particule, ceea ce ar îngreuna atât transportul gazelor de ardere la distanță cât și utilizarea schimbătoarelor de căldură de suprafață;
Recircularea gazelor de ardere (RG)	<ul style="list-style-type: none"> constă în preluarea gazelor din zona finală a agregatului tehnologic și introducerea lor direct în camera de lucru, sau în zona imediat următoare acesteia pentru reducerea temperaturii mediului gazos de aici; se aplică în cazul proceselor pirotehnologice ce impun un regim termic moderat.

Recuperarea exterioară are loc atunci când energia conținută de către r.e.s este utilizată în afara procesului tehnologic din care a rezultat, în cadrul întreprinderii sau platformei industriale, pentru acoperirea necesarului de energie termică și electrică (mecanică).

Aceste soluții de recuperare se pot aplica fie ca soluții independente, fie pentru creșterea gradului total de recuperare realizat în cadrul conturului de bilanț dat.

Analizând recuperarea interioară comparativ cu recuperarea exterioară, aceasta din urmă prezintă următoarele aspecte caracteristice:

- utilizarea energiei recuperate din r.e.s. în afara limitelor procesului industrial din care au rezultat, conduce la limitări de regim în recuperare datorate nesimultanității producerii cu consumul fie sub aspect cantitativ (în cazul utilizării energiei recuperate în direcție termică), fie sub aspect calitativ (în cazul utilizării energiei recuperate în direcție electrică sau mecanică);
- efectele energetice obținute prin economisirea combustibilului se reflectă la nivelul utilizatorului energiei recuperate, de regulă combustibilul economisit fiind combustibil energetic
- efectele economice determinate atât de economia de cheltuieli cu combustibilul cât și de investițiile și cheltuielile aferente instalației recuperatoare influențează balanța economică a utilizatorului energiei recuperate.

În tabelul 5.1.3. sunt precizate principalele aspecte caracteristice ale soluțiilor de recuperare exterioară (exemplificate pentru cazul gazelor de ardere).

Recuperarea complexă - de cele mai multe ori, în special în cazul gazelor de ardere evacuate din procesele pirotehnologice, cu un conținut de căldură sensibilă mare, impune aplicarea recuperării în mai multe trepte (cascadă), combinând soluțiile de recuperare internă cu cele externe. Astfel, se obține un grad total de recuperare mai mare decât prin aplicarea independente a fiecărei soluții de recuperare prezentate anterior.

În aceste condiții, analiza eficienței recuperării se aplică ansamblului schemei de recuperare, scopul fiind determinarea variantei optime de schemă complexă de recuperare.

Problemele care se pun în cazul schemelor complexe de recuperare sunt :

- repartiția cantității totale de căldură între diferitele direcții (soluții) de recuperare;
- optimizarea schemei complexe de recuperare;
- analiza tehnico-economică a ansamblului schemei de recuperare complexă.

Tabelul 5.3.

Elemente caracteristice ale soluțiilor de recuperare exterioară

Direcția de recuperare	Scopul recuperării	Elemente caracteristice ale soluțiilor de recuperare
Termică	-alimentarea cu căldură a proceselor tehnologice;	• prezintă un grad anual de recuperare înalt, datorită caracterului permanent la acestor consumuri;

	<p>-încălzirea, ventilarea, condiționarea incintelor cu caracter tehnologic, administrativ sau urban;</p> <p>-prepararea apei calde în scopuri menajere și sanitare;</p>	<ul style="list-style-type: none"> • caracterul sezonier al acestor consumuri, face ca utilizarea căldurii în această direcție să aibă o durată anuală de cel mult 2500 - 3000 ore/an, mult mai mică față de duratele anuale de disponibilitate ale gazelor de ardere (5000 - 6000 ore/an, funcție de procesul tehnologic din care provin), ceea ce determină un grad anual de recuperare redus; • limitările de regim care apar sunt de natură cantitativă, necesarul de căldură pentru prepararea apei calde fiind mult mai mic decât căldura conținută de gaze, diferența neputând fi recuperată ;
Electrică (Mecanică)	<p>-producerea energiei electrice;</p> <p>- producerea lucrului mecanic.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • recuperarea căldurii gazelor cu nivel termic ridicat se face în cazane recuperatoare producătoare de abur, utilizat în turbine cu abur cu condensajie pentru producerea energiei electrice; • în funcție de calitatea gazelor, acestea se pot folosi și direct în turbine de detentă cu gaze, pentru producerea lucrului mecanic • gradul anual de recuperare este afectat de către limitările de regim, numai în măsura în care apar restricții în necesarul electroenergetic ce trebuie asigurat;
Cogenerare sau trigenerare	<p>- producere simultană de : căldură și energie electrică sau căldură, energie electrică și frig.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • aburul produs în cazanele recuperatoare poate fi utilizat și într-un ciclu combinat de cogenerare sau trigenerare; • în cazul turbinelor de detentă recuperatoare, gazele eșapate din turbine se pot folosi și pentru alimentarea cu căldură și/sau frig.

D. Efectele recuperării r.e.s.

Printre cele mai eficiente metode de creștere a gradului de utilizare a energiei consumate în procesele industriale poate fi amintită valorificarea resurselor energetice secundare rezultate, în speță a gazelor de ardere .

Efectele recuperării r.e.s. sunt de natură tehnică, economică și ecologică.

Efecte de natură tehnică

Conceperea și încadrarea unor instalații recuperatoare direct în fluxul tehnologic contribuie la modernizarea schemelor generale ale proceselor tehnologice. Astfel amplasarea de recuperatoare (pentru preîncălzirea aerului, a combustibilului, a materialelor tehnologice) în cadrul proceselor pirotehnologice din industria metalurgică, a materialelor de construcții, chimică, permit trecerea la tehnologii noi, performante, cu un înalt grad de recuperare, cu productivități ridicate de obținere a produsului finit. Prin procedeele de recuperare, ca recircularea gazelor de ardere se mărește durata de viață a agregatelor tehnologice, diminuându-se solicitările termice la care sunt supuse părțile componente. Efectele de natură tehnică sunt corelate și se regăsesc în cele de natură economică.

Efecte de natură economică

Sub aspect economic, efectele imediate sunt determinate în primul rând de economia de energie realizată, în funcție de direcția în care s-a făcut recuperarea, fie la nivelul producătorului energiei recuperată, fie la nivelul beneficiarului acestuia. Astfel se reduc consumurile energetice la nivelul conturului analizat (indiferent care este acesta), reducându-se implicit și aportul de combustibil clasic.

Reflectarea economică a reducerii consumurilor energetice, la nivelul întreprinderilor sau a platformelor industriale, are loc prin reducerea cheltuielilor de producție aferente acestora, ceea ce în final determină reducerea prețului de cost al produselor tehnologice.

Efectul indirect, menționat anterior, respectiv reducerea apelului la energia primară, se reflectă prin reducerea pierderilor energetice și a consumurilor efective de energie din etapa extracției și a transportului combustibilului.

Efecte ecologice

O importanță deosebită a recuperării resurselor energetice secundare, o reprezintă efectele reflectate asupra mediului ambiant.

Din diferite procese industriale, rezultă gaze de ardere, care datorită cantității și calității lor nu pot fi evacuate ca atare în mediul ambiant.

Cea mai mare parte a acestora, datorită particularităților pe care le prezintă : temperatură, compoziție, presiune, pot constitui resurse energetice secundare termice, combustibile sau de suprapresiune, ele fiind utilizate ca atare și în același timp neutralizate sub aspectul nocivității asupra mediului ambiant.

Recuperarea gazelor de ardere rezultate din procesele industriale, ca r.e.s. de natură termică determină reducerea sensibilă a emisiei de căldură în mediul ambiant, deci reducerea efectului de seră, care constituie în condițiile puternicei industrializări cu care se confruntă planeta, un pericol iminent de distrugere a echilibrului ecologic.

Există o categorie de resurse energetice secundare sub formă de gaze de ardere, a căror recuperare este susținută în primul rând de considerentele ecologice și apoi de cele energetice și economice. Din această categorie fac parte și gazele de ardere rezultate din procesele industriei chimice, metalurgice, materialelor de construcții, care datorită substanțelor toxice conținute, prin interacțiuni chimică cu aerul dar mai ales cu apa, pot conduce la formarea unor substanțe toxice sau cu caracter coroziv asupra însăși a agregatelor tehnologice și a tot ceea ce există pe o rază apreciabilă.

Prin normativele emise, legislația internațională prevede principalele categorii de poluanți atmosferici, ai apei și solului, efectele lor nocive asupra mediului ambiant, conținuturile limită admise, precum și taxele percepute în cazul depășirii lor. Valorificarea energetică, în limitele eficienței tehnico-economice a gazelor care rezultă din procesele industriale, poate constitui o metodă de conservare a mediului ambiant.

Extracția combustibililor clasici, în special a celor solizi cu exploatare la suprafață prin decopertarea staraturilor de pământ de deasupra, are efecte negative asupra echilibrului ecologic. Din această cauză orice economie de combustibil (inclusiv cel nuclear), realizată prin recuperare reprezintă o reducere substanțială a apelului la resursele de energie primară, reducându-se astfel efectele nocive asupra mediului ambiant.

5.2. Resurse energetice regenerabile

A. Solar

A. Elemente caracteristice ale radiației solare

Pământul primește aproape toată energia din spațiu sub formă de radiație electromagnetică solară. Cantitatea totală de căldură a Pământului nu se schimbă semnificativ în timp, deoarece există egalitate între radiația solară absorbită și radiația termică emisă de Pământ. Soarele este o sferă formată din gaze fierbinți cu diametrul de 1,39 milioane de kilometri și se află la distanța de 150 milioane de kilometri de Pământ. Așa cum se vede de pe Pământ, Soarele se rotește în jurul axei sale odată la fiecare patru săptămâni. El nu se rotește ca un corp solid, astfel că regiunea din jurul ecuatorului se rotește cu o perioadă de circa 27 de zile, iar regiunile polare cu o perioadă de circa 30 de zile. Soarele este de fapt un reactor de fuziune continuă, în care hidrogenul este convertit în heliu cu o rată de 4 milioane de tone/s, astfel că suprafața Soarelui are temperatura efectivă egală cu cea a corpului negru (temperatura corpului negru ce radiază aceeași cantitate de energie ca și Soarele) de 5 777 K. Necesarul de energie actual la nivel mondial al Pământului ar putea fi acoperit de energia emisă de pe numai 10 ha din suprafața Soarelui. Se estimează că energia radiantă solară interceptată de Pământ timp de 10 zile este echivalentă cu căldura ce s-ar dezvolta prin arderea tuturor rezervelor cunoscute de combustibili fosili de pe Pământ.

Suprafața Soarelui radiază energie electromagnetică sub formă de fotoni și neutroni în timp ce fluxul total de energie radiantă a Soarelui este de 0,38 milioane Zettawați ($1 \text{ ZW} = 10^{21} \text{ W}$). Pământul primește numai o parte din această energie, circa 170 milioane de Gigawați. Cea mai mare parte a radiației electromagnetice ce ajunge pe Pământ este emisă de stratul sferic dens exterior format din gaze fierbinți, numit fotosferă. La exteriorul fotosferei se găsesc cromosfera și coroana. Aceste regiuni sunt formate din gaze cu densitate mică ce au temperatură mare și variații în timp ale diametrului și energiei emise. Deoarece aceste gaze au densitate mică, emisia de energie din aceste zone este redusă și nu prezintă importanță pentru aplicațiile termice solare de pe Pământ. Energia totală absorbită de la Soare în decursul unui an va fi de 3 850 Zettajouli ($1 \text{ ZJ} = 10^{21} \text{ J}$). Din această energie, fotosinteza plantelor captează 3 ZJ, energia eoliană 2,2 ZJ iar necesarul uman de energie este de 0,5 ZJ din care numai 0,06 ZJ sub formă de electricitate.

Potențialul de utilizare a energiei solare în România este relativ important, existând zone (Litoralul Mării Negre, Dobrogea și respectiv zonele sudice) în care fluxul energetic solar anual ajunge până la valori de 1 450... 1 600 kWh/m²/an. În majoritatea regiunilor țării, fluxul energetic solar anual, depășește 1 250...1 350 kWh/m²/an.

Pentru studiul radiației solare, se vor defini câteva mărimi importante.

Constanta solară, I_{sc} , reprezintă fluxul de energie termică unitară primită de la Soare, măsurată în straturile superioare ale atmosferei terestre, perpendicular pe direcția razelor solare. Valoarea general acceptată pentru constanta solară este de $1\,350 \text{ W/m}^2$, reprezentând o valoare medie anuală, măsurată cu ajutorul sateliților de cercetare științifică.

Fluxul de energie radiantă incident pe unitatea de suprafață a Pământului se numește **iradianță** (W/m^2).

Fluxul de energie radiantă solară, care ajunge la suprafața Pământului este mai mic decât constanta solară, deoarece în timp ce traversează atmosfera terestră, cu o grosime de peste 50 km, intensitatea radiației solare este redusă treptat.

Mecanismele prin care se modifică intensitatea radiației solare, la traversarea atmosferei, sunt absorbția și difuzia.

În atmosferă, radiația X și o parte din radiația ultravioletă este absorbită (reținută, filtrată). Vaporii de apă, dioxidul de carbon și alte gaze existente în atmosferă, contribuie la absorbția radiației solare de către atmosferă.

Radiația absorbită este în general transformată în căldură, iar radiația difuză astfel obținută este retrimisă în toate direcțiile. Prin aceste procese, atmosfera se încălzește și produce la rândul ei, o radiație cu lungime de undă mare, denumită **radiație atmosferică**. În plus, fața de cele două mecanisme de modificare a intensității radiației solare, o parte din radiația solară este reflectată de atmosfera terestră, sau de unele

componente ale sale (moleculele de aer și anumite categorii de nori). Prin reflexie, o parte din radiația solară este disipată, mecanismul acestui proces fiind denumit difuzie Rayleigh, iar acest fenomen reprezintă radiația bolții cerești.

Radiația globală ajunsă de la Soare, pe o suprafață orizontală la nivelul solului într-o zi senină, reprezintă suma dintre radiația directă și radiația difuză. Radiația solară directă depinde de orientarea suprafeței receptoare. Radiația solară difuză poate fi considerată aceeași, indiferent de orientarea suprafeței receptoare, chiar dacă în realitate există mici diferențe.

Energia termică unitară primită de la Soare, măsurată la nivelul suprafeței Pământului, perpendicular pe direcția razelor solare, pentru condițiile în care cerul este perfect senin și lipsit de poluare, în zonele Europei de Vest, Europei Centrale și Europei de Est, în jurul prânzului, poate atinge $1\ 000\ \text{W/m}^2$. Această valoare reprezintă suma dintre radiația directă și difuză.

Radiația solară este influențată de modificarea permanentă a câtorva parametrii importanți, cum sunt:

- Înălțimea Soarelui pe cer (unghiul format de direcția razelor Soarelui cu planul orizontal);
- Unghiul de înclinare a axei Pământului;
- Modificarea distanței Pământ – Soare (aproximativ 150 milioane kilometri pe o traiectorie eliptică, ușor excentrică);
- Latitudinea geografică.

Principalele componente ale radiației solare care ajunge pe Pământ și participația fiecărei componente în radiația globală, din punct de vedere energetic, sunt:

- radiație ultravioletă cu lungimea de undă, λ , cuprinsă între $0,28 \div 0,38\ \mu\text{m}$ - 3%;
- radiație vizibilă cu λ între $0,38 \div 0,78\ \mu\text{m}$ - 42%;
- radiație infraroșie cu λ între $0,78 \div 2,5\ \mu\text{m}$ - 55%.

Se observă că cea mai mare cantitate de energie termică se regăsește în domeniul radiației infraroșii și nu în domeniul radiației vizibile, ceea ce sugerează ideea că această radiație poate fi captată eficient și în condițiile în care cerul nu este perfect senin. Pentru realizarea acestui obiectiv, au fost realizate panourile solare cu tuburi vidate, iar pentru captarea eficientă a radiației solare, chiar și la temperaturi sub 0°C , s-au realizat panouri solare cu tuburi termice.

Figura 5.2.1 prezintă principalele fluxuri ale radiației primare pe o suprafață sau în apropierea Pământului în procesele termice solare. Din motive practice, se consideră radiația în doua intervale de lungimii de undă.

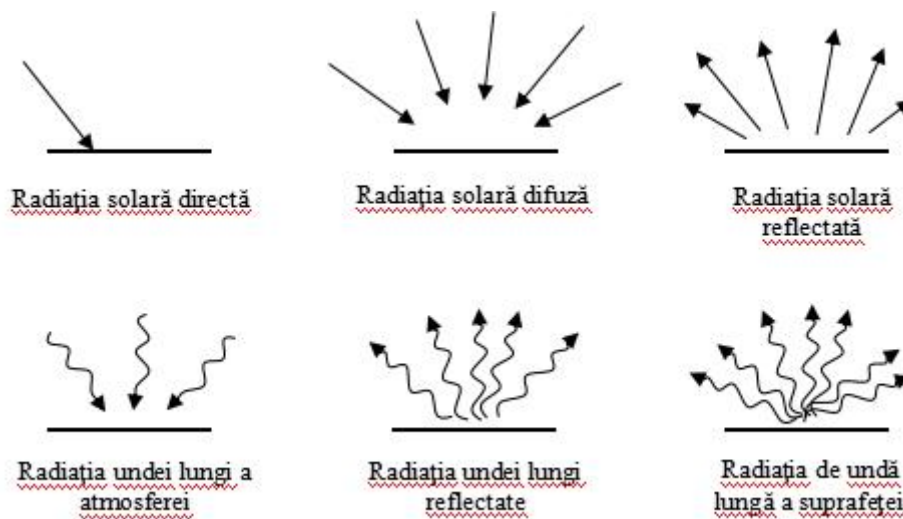


Fig. 5.2.1 Fluxurile energiei radiante în procesele termice solare

Radiația solară sau undă scurtă – este radiația provenită de la Soare, în intervalul lungimilor de undă de (0,3...3) μm . În terminologia folosită pe tot parcursul acestui capitol, radiația solară include atât componenta directă cât și componenta difuză dacă nu se specifică altfel.

Radiație de undă lungă – este radiația provenită de la surse cu temperaturi apropiate de temperatura ambiantă având valori importante la toate lungimile de undă mai mari de 3 μm . Radiația este emisă de atmosferă, de un colector sau de orice alt corp fiind cunoscută în literatura de specialitate drept radiație „terestră”.

Spectrul electromagnetic. Radiația termică reprezintă energia electromagnetică care se propagă printr-un spațiu cu viteza luminii. Dintre aplicațiile energiei solare, numai radiația termică este importantă. Radiația termică este emisă de corpuri pe baza temperaturii lor (atomii, moleculele sau electronii ridicați la stări de excitație revin spontan la stări mici de energie emițând energie sub formă de radiație). Datorită variației stărilor atomilor și moleculelor care se manifestă din punct de vedere electronic, rotațional și vibrațional, radiația emisă este în general distribuită într-un domeniu de lungimi de undă.

Spectrul radiației electromagnetice este împărțit în intervale de lungimi de undă. În figura 5.2.2 se arată limitele aproximative ale acestor intervale și lungimile de undă.

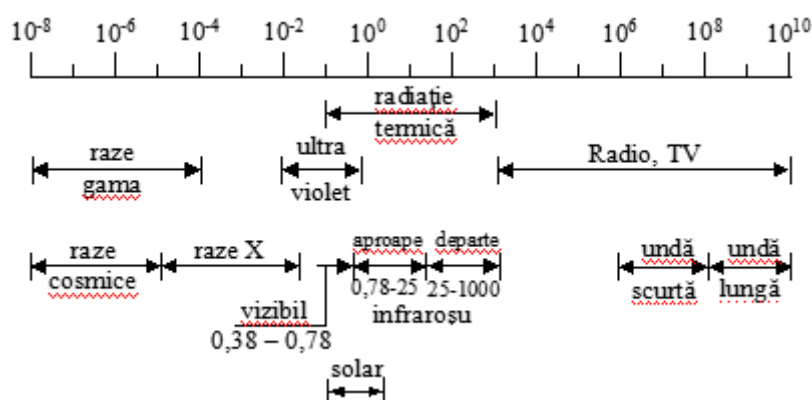


Fig. 5.2.2 Spectrul radiației electromagnetice

Legătura dintre lungimea de undă și frecvență este dată de relația:

$$C = \lambda \cdot \nu, \quad (5.2-1)$$

unde: C este viteza luminii.

Radiația solară din afara atmosferei are cea mai mare parte a energiei în intervalul (0,25...3) μm , în timp ce energia solară primită de la Pământ este în cea mai mare parte în intervalul (0,29...2,5) μm .

Radiația electromagnetică prezintă un dublu caracter: corpuscular a cărei energie este caracterizată de **foton** și ondulatoriu, caracterizat de **lungimea de undă**. Energia fotonului este dată de relația :

$$E \cong h \cdot \nu, \quad (5.2-2)$$

unde: h este constanta lui Planck ($6,625 \cdot 10^{-34}$ [J·s]).

B. Sisteme pasive de valorificare a energiei solare

Captatori plani de valorificare a energiei solare

Descrierea colectoarelor solare plane. După cum se observă în figura 5.2.3, un colector solar plan este alcătuit din următoarele părți:

- anvelopa transparentă ce permite trecerea radiației solare către o suprafață plană de absorbție în scopul reducerii pierderilor de căldură prin convecție și radiație în atmosferă;
- o suprafață plană de culoare neagră ce absoarbe energia în vederea transferării acesteia către un fluid;
- izolația interioară pentru reducerea pierderilor de căldură prin conducție termică.

Figura 5.2.3 prezintă o modalitate de încălzire a apei utilizând captatoarele solare plane. Echipamentele utilizate la un captator solar plan sunt în principiu aceleași că la orice captator cu excepția faptului că tuburile colectoare sunt înlocuite prin conducte.

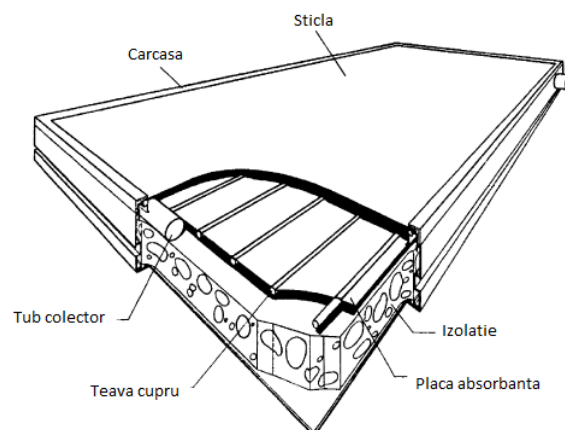


Fig. 5.2.3 Colector solar plan

Colectoarele solare plane sunt aproape întotdeauna montate într-o poziție staționară (de exemplu, ca parte integrantă a unui perete sau structura acoperișului), optimizându-se orientarea în funcție de perioada din an în care dispozitivul solar este destinat să funcționeze. Colectoarele solare plane au de obicei o poziție fixă și nu urmăresc poziția soarelui. Colectorul ar trebui orientat direct spre ecuator, cu fața spre sud în emisfera nordică și cu fața spre nord în cea sudică. Unghiul optim de înclinare al colectorului este egal cu latitudinea locației unde este amplasat cu o variație a unghiului între 10-15° mai mult sau mai puțin în funcție de aplicație.

Un colector solar plan este alcătuit din următoarele componente:

- unul sau mai multe straturi de sticlă sau alte suprafețe care să permită trecerea radiației termice;
- țevi și suprafețele absorbante dintre acestea ce permit intensificarea transferului de căldură către fluidul ce circula prin țevi;
- colectoare de capăt care permit admisia fluidului și refularea către țevile din suprafața absorbantă;
- izolația cu rolul de a reduce pierderea de căldură de pe suprafețele laterale ale carcasi;
- carcasa în scopul protejării componentelor enumerate mai sus împotriva umidității, prafului, etc.

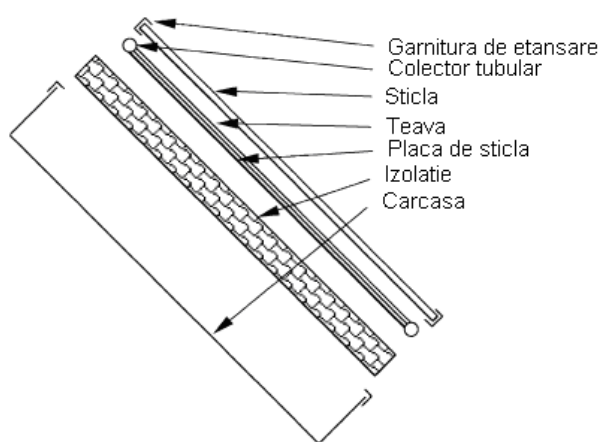


Fig 5.2.4 Secțiune într-un colector solar plan

Bilanțul energetic al colectoarelor solare plane.

La starea de echilibru, eficiența unui colector solar se evidențiază prin realizarea unui bilanț energetic unde se ține cont de: distribuția energiei solare incidente, câștigul de energie utilă, pierderile termice, și pierderile optice. Radiația solară absorbită de către un colector pe unitatea de suprafață de absorbție este egală cu diferența dintre radiația solară incidentă și pierderile optice. Pierderea de energie termică a colectorului în mediul ambiant prin conducție, convecție, și radiație se determină ca produsul dintre coeficientul de transfer termic U_L și diferența dintre temperatura medie a plăcii absorbante T_{pm} și

temperatura mediului ambiant T_a . La starea de echilibru producția de energie utilă a unui colector de suprafață A_c este dată de diferența dintre radiația solară absorbită și pierderile termice de căldură:

$$Q_u = A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_{pm} - T_a)], \quad (5.2-3)$$

unde: Q_u - fluxul total de căldură exprimat în [W]; A_c - este suprafață totală de schimb de căldură exprimată în [m²]; S - densitatea fluxului termic exprimată în [W/m²]; U_L - coeficientul global de schimb de căldură exprimat în [W/m²·K]; T_{pm} , T_a - temperatura medie a plăcii absorbante respectiv a mediului ambiant, în [K].

Ecuția de mai sus se caracterizează prin dificultatea calculului sau a măsurării temperaturii medii de absorbție a plăcii în special din cauza dependenței de datele de proiectare ale colectorului, de radiația solară incidentă precum și de temperatura fluidului la intrarea în colector. Cel mai convenabil este ca radiația solară să fie raportată orar, deoarece toate datele meteorologice sunt culese pentru această perioadă de timp. Se poate considera S ca fiind densitatea fluxului termic orar, exprimată în J/m²/hr, caz în

care termenul ce definește pierderile termice $U_L \cdot (T_{pm} - T_a)$ trebuie înmulțit cu 3600 s/h pentru a obține valoarea numerică a energiei utile în J/h. Utilizarea orei ca unitate de timp nu este corespunzătoare

sistemului internațional dar este ușor de interpretat. Altfel, putem integra ecuația de mai sus pe o perioadă de o ora. Ținând cont că este dificil de obținut date pe perioade mai mici de o ora, integrarea ecuației se poate face în ipoteza că marimile S , T_{pm} , și T_a rămân constante pe această perioadă de timp. Rezultatul ecuației de mai sus rămâne neschimbat în situația în care atât în membrul drept cât și în cel stâng se înmulțește cu 3600 s/h. Pentru a evita introducerea acestei constante în expresia energiei utile orare, s-au

utilizat diferite simboluri pentru a exprima fluxuri sau cantități orare integrate $\left(\dot{Q}_u, Q_u \right)$.

O măsură a performanțelor colectorului este eficiența acestuia care se definește ca raportul între fluxul termic livrat de către colector Q_{livrat} și fluxul radiației solare incidente pe suprafață colectorului $Q_{disponibil}$:

$$\eta_{colector} = \frac{Q_{livrat}}{Q_{disponibil}}, \quad (5.2-4)$$

unde: $\eta_{colector}$ - eficiența colectorului termic; Q_{livrat} - fluxul termic livrat de către colector, în [kW]; $Q_{disponibil}$ - fluxul radiației solare incidente pe suprafața colectorului, în [kW].

Căldura livrată de către colector mai poate fi scrisă:

$$Q_{livrat} = D_{iesire} \cdot c_{p_iesire} \cdot t_{iesire} - D_{intrare} \cdot c_{p_intrare} \cdot t_{intrare}, \quad (5.2-5)$$

unde: D_{iesire} - reprezintă debitul fluidului de lucru la ieșirea din colectorul solar, în kg/s; c_{p_iesire} - reprezintă căldura specifică a fluidului la ieșirea din colectorul solar, în kJ/kg·K; t_{iesire} - reprezintă temperatura fluidului de lucru la ieșirea din colectorul solar, în K; $D_{intrare}$ - reprezintă debitul fluidului de lucru la intrarea în

colectorul solar, în kg/s; $c_{p_intrare}$ - reprezintă căldură specifică a fluidului la intrarea în colectorul solar, în kJ/kg·K; $t_{intrare}$ - reprezintă temperatura fluidului de lucru la intrarea în colectorul solar, în K.

Dacă debitul fluidului de lucru și căldura specifică nu se modifică, atunci:

$$Q_{livrat} = D_{fluid} \cdot c_p \cdot \Delta t, \quad (5.2-6)$$

unde: D_{fluid} - debitul fluidului de lucru; c_p - căldura specifică fluidului la ieșirea din colectorul solar; Δt - diferența între temperatura de intrare și cea de ieșire a fluidului de lucru din colectorul termic, în K.

Dat fiind faptul că, colectoarele solare au inerție termică, eficiența acestora se poate determina pe diferite perioade de timp:

- pentru regimuri momentane: măsurarea mărimilor momentane poate duce la erori mari în determinarea eficienței din cauza acumulărilor (pe perioadele de acumulare eficiența colectoarelor este foarte scăzută) și dezacumulărilor ce apar în proces (pe perioadele de dezacumulare eficiența poate avea valori mai mari decât 1);
- pentru regimuri staționare: după o perioadă suficientă de funcționare în regimuri cu parametrii staționari, se poate stabili o valoare credibilă a eficienței panourilor;
- pentru valori mediate: medierea valorilor fluxurilor termice ce apar pe o perioadă de timp (o oră sau o zi) duce la valori credibile pentru eficiența colectoarelor din cauza că perioadele de acumulare și dezacumulare sunt mai scurte decât aceste perioade.

Pentru medierea mărimilor ce apar se pot folosi următoarele formule:

$$Q_{livrat} = \frac{\int_0^{timp} D_{fluid} \cdot c_p \cdot \Delta t \cdot d\tau}{\int_0^{timp} d\tau}, \quad (5.2-7)$$

unde „timp” reprezintă perioada în care se mediază valorile și:

$$Q_{livrat} = \frac{\sum_{i=1}^n (D_{fluid_i} \cdot c_p \cdot (t_{1_i} - t_{2_i}) \cdot \Delta\tau_i)}{\sum_{i=1}^n \Delta\tau_i}, \quad (5.2-8)$$

unde: D_{fluid_i} - debitul de fluid măsurat pe perioada i ; t_{1_i} - temperatura fluidului măsurată la ieșirea din colectorul solar pentru măsurătoarea i ; t_{2_i} - temperatura fluidului măsurată la intrarea în colectorul solar pentru măsurătoarea i ; $\Delta\tau_i$ - lungimea perioadei de timp pentru care se face măsurătoarea i .

În ecuațiile (5.2-7) și (5.2-8), numărătorul reprezintă cantitatea de energie produsă de către panou în perioada de timp τ . Cantitățile de căldură disponibile sunt prezentate în ecuațiile (5.2-9) și (5.2-10).

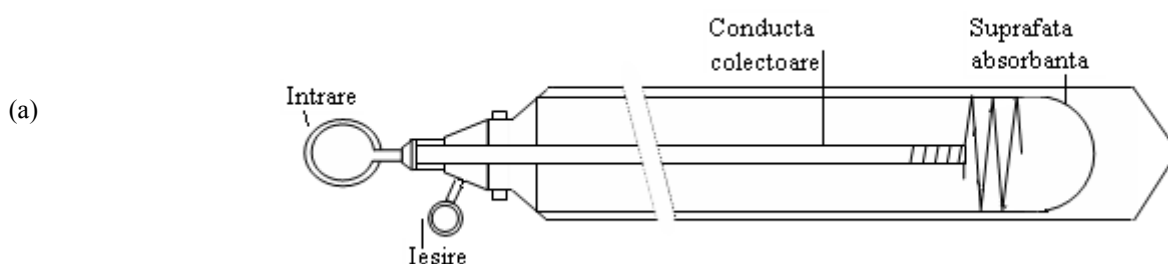
$$Q_{disponibil} = \frac{\int_0^{timp} I_{global} \cdot d\tau}{\int_0^{timp} d\tau}, \quad (5.2-9)$$

$$Q_{disponibil} = \frac{\sum_{i=1}^n (I_{global_i} \cdot \Delta\tau_i)}{\sum_{i=1}^n \Delta\tau_i}, \quad (5.2-10)$$

unde: I_{global} – reprezintă radiația solară globală momentană; $I_{global-i}$ – reprezintă radiația solară globală momentană pentru măsurătoarea i .

Captatori cilindrici ai energiei solare

În paragraful de mai sus s-au tratat colectoarele cu suprafața absorbantă plată selectivă cu tuburi vidate caracterizate de o eficiență ridicată și un coeficient redus de pierderi de căldură. Alte tipuri de colectoare de evacuare sunt cele de tip Dewar în care vidul este menținut de două tuburi de sticlă concentrice; suprafața cilindrică de absorbție se află pe partea exterioară sau interioară a celor două tuburi sau pe un cilindru subțire aflat în interiorul tubului. Două structuri importante ale acestor tuburi sunt prezentate în figurile 5.2.5 (a) și (b) în care se prezintă schematic două tipuri de suprafețe cilindrice. Tipul (a) este un colector cu suprafață de absorbție de tip selectiv ce se află pe partea exterioară a tubului de sticlă. Un al treilea tub de colectare este utilizat pentru a transporta lichidul din instalație către consumator. Fluidul de lucru umple spațiul interior al tubului colector. Acesta se realizează astfel încât să se reducă transferul de căldură care apare de la interiorul tubului către exterior. Figura 5.2.5 (b) prezintă structura subțire a tubului absorbant introdus în colectorul de tip Dewar. Suprafața absorbantă este foarte fină și în aceste condiții cantitatea de fluid din tubul Dewar este mai mică iar o eventuală spargere a unui tub nu conduce la pierderea lichidului disponibil.



(b)



Fig 5.2.5 (a-b): Colectoare cu suprafață absorbantă cilindrică: (a) cu tub colector, (b) colectoarele sunt insertizate în placă

Figura 5.2.5 prezintă o secțiune transversală cu o serie de amortizoare cilindrice aflate la o distanță de aproximativ un diametru. O parte dintre radiațiile incidente sunt absorbite direct de către cilindrii, în timp ce cealaltă parte este reflectă, pierzându-se în mediul ambiant. Proprietățile optice ale acestor reflectoare și matrici de tuburi sunt nesimetrice și biaxiale utilizându-se modificări ale unghiului de incidență.

Valoarea $F_R (\gamma\tau\alpha)_n$ obținută pentru colectoarele cu reflexie difuză variază între 0,6 și 0,7. Chow (1984) a studiat influențele modificării unghiului de incidență. El a descoperit din măsurarea curbelor, că eroarea s-a încadrat în erorile experimentale.

Coeficientul de pierdere a căldurii pentru aceste colectoare este dependent de temperatură mai mult decât în cazul colectoarelor cu plăci plane.

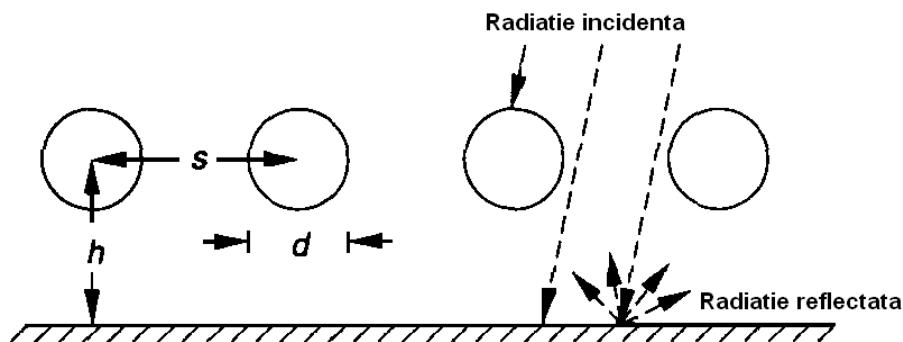


Fig 5.2.6 Secțiune într-un colector cu suprafața absorbantă cilindrică

Captatori cu concentratori ai energiei solare

Oglizile parabolice sunt construite cu două grade de libertate putând urmări poziția soarelui pe cer. Ele sunt montate pe un stativ și concentrează razele solare într-un punct focal propriu fiecărei oglinzi unde este montat un receptor de energie termică. Acest mod de construcție este foarte compact. La instalațiile de acest tip receptorul este conectat la un motor Stirling care transformă energia termică direct în energie mecanică putând acționa un generator electric. Aceste instalații ating un randament înalt în transformarea energiei solare în energie electrică.

Modularitatea acestor instalații permite atât utilizarea lor în locuri izolate sau independente cât și conectarea mai multora formând o centrală virtuală în cadrul generării distribuite a energiei electrice. O soluție mai rară o constituie parcurile (fermele) de oglinzi parabolice. În punctul focal comun tuturor

oglinzilor se află o suprafață absorbantă cu ajutorul căreia este încălzit un agent termic utilizat în continuare pentru generare de aburi. Conectarea în grup a mai multor oglinzi parabolice constituie o abordare mai puțin economică decât centralele cu jgheaburi parabolice sau cele cu turn solar.

Captatoarele cu concentrator (sau cu focalizarea radiațiilor) utilizează sisteme optice bazate pe reflexie sau refracție pentru a mări densitatea fluxului de radiație care cade pe suprafața de captare a receptorului. În consecință, un captator cu focalizare poate fi considerat ca o particularitate a captatorului plan, modificat prin interpunerea între receptor și Soare a unui concentrator de radiații. Odată cu creșterea densității fluxului de radiație solară care ajunge la receptor scade suprafața necesară de recepție pentru o aceeași cantitate totală de energie captată ceea ce determină în mod corespunzător scăderea pierderilor termice ale receptorului și conduce în final la obținerea unor temperaturi mai mari în fluidul de lucru. Pe de altă parte, sistemele cu concentrator funcționează numai pe baza componentei directe a radiației solare. În consecință radiația difuză nu este concentrată apărând suplimentar și pierderi optice, comparativ cu captatoarele plane. Pe lângă acestea, pierderile prin radiație la temperaturi mai mari decât cele din captatoarele plane devin din ce în ce mai importante.

În funcție de principiul de funcționare dar și de modul în care concentratorul a fost realizat, densitatea fluxului de radiație pe suprafețele absorbante ale receptorului poate varia de la valori relativ mici de 1,5 - 2 kW/m² până la valori foarte mari de ordinul a 10 000 kW/m². Odată cu creșterea densității fluxului de radiație crește și temperatura la care este preluată cantitatea de căldură utilă. Creșterea densității fluxului de radiație atrage după sine necesitatea îndeplinirii unor exigențe sporite în ceea ce privește precizia sistemelor optice folosite pentru concentrare. Acest lucru conduce la creșterea costurilor unui astfel de captator. Astfel, costul energiei furnizate de un sistem de captare cu focalizare depinde de temperatura la care se produce agentul termic. De altfel, se știe din termodinamică, energia termică este cu atât mai valoroasă cu cât nivelul de temperatură la care este livrată este mai ridicat deoarece, conform principiului 2 al termodinamicii (randamentul Carnot), conversia căldurii în lucru mecanic se face cu un randament ce depinde direct de temperatura sursei calde și a celei reci.

Din punct de vedere practic (proiectare, tehnologie, exploatare) captatoarele cu concentrator prezintă câteva probleme suplimentare comparativ cu captatoarele plane. Astfel, cu excepția unor sisteme cu raport mic de concentrare, toate captatoarele cu focalizare necesită un sistem de orientare pentru urmărirea mișcării aparente diurne, lunare sau sezoniere a Soarelui, în așa fel încât cu ajutorul sistemului optic de concentrare, radiația directă să fie dirijată permanent către suprafața absorbantă a receptorului. Pe de altă parte apar și unele cerințe specifice pentru întreținerea sistemelor optice, în special pentru păstrarea calității suprafețelor de reflexie sau refracție împotriva murdăririi, oxidării, deteriorării sau deformării.

În aplicațiile practice se preferă furnizarea energiei termice la parametri superiori colectoarelor solari plani. Temperatura energiei livrate poate fi mărită prin reducerea suprafeței ce generează pierderi de căldură. Creșterea temperaturii are loc prin interpunerea unui dispozitiv optic între sursa de radiație și suprafața absorbantă de energie. Pentru atingerea parametrilor doriți, suprafața absorbantă trebuie să fie caracterizată de pierderi mici de căldură în comparație cu un colector plan.

Există două tipuri de colectoare solare: cu concentrare respectiv staționare sau fără concentrare. Un colector staționar are aceeași suprafață pentru interceptarea respectiv pentru absorbția radiației solare, în timp ce un colector cu concentrare care urmărește poziția Soarelui, are o suprafață concavă ce interceptează radiația solară și o concentrează către un receptor crescând în felul acesta fluxul de radiații. Concentratoarele pot avea raporturi de concentrare de la valori scăzute, 1 pentru colectoarele plane până la valori ridicate 1 000 – 1 500 pentru colectoare parabolice sau heliostate construite pe două axe de urmărire a poziției Soarelui. Creșterea proporției înseamnă creșterea temperaturii la care energia poate fi livrată și creșterea cerințelor de precizie optică și de poziționare a sistemului optic. Astfel, costul energiei livrate de către concentratorul colector se stabilește în funcție de temperatura la care este aceasta disponibilă. Pentru factori de concentrare ridicați, corespunzător unei înalte precizii optice, concentratoarele colectoare se numesc cuptoare solare; acestea sunt instrumente de laborator utilizate pentru studierea proprietăților materialelor la temperaturi înalte precum și a altor procese care se desfășoară la temperaturi înalte. Laszlo (1965) a tratat pe larg cuptoarele solare.

Concentratoarele colectoare prezintă dificultăți în plus față de cele ale colectoarelor cu plăci plane. Acestea trebuie (cu excepția celor cu raport de concentrare foarte scăzut) să fie poziționate, astfel încât radiația solară să fie orientată spre suprafața de absorbție. Cu toate acestea, proiectantul are o gamă largă de configurații care permit setarea parametrilor. De asemenea, există noi cerințe pentru întreținerea și menținerea calității sistemelor optice pentru perioade îndelungate de timp în prezența particulelor atmosferice corozive și oxidante. Problemele de funcționare și costul de producție au micșorat gradul de utilitate al concentratorului colector.

Pentru a se evita confuziile de termeni, termenul „colectoare” va fi folosit pentru întregul sistem format din receptor și concentrator. Receptorul este acel element al sistemului în care radiația este absorbită și transformată într-o altă formă de energie; acesta include absorber-ul care este acoperit și izolat. Sistemul optic este partea din colector care direcționează radiațiile pe receptor. Diafragma concentratorului, reprezintă deschizătura prin care radiația solară intră în concentrator.

Configurația (structura) colectoarelor. Există mai multe tipuri de concentratoare care fac posibilă creșterea fluxului de radiație asupra receptorului. Ele pot fi cilindrice cu concentrare pe o linie sau circulare cu concentrare pe un punct. Receptorul reprezintă o suprafață care poate fi concavă, plată, sau convexă.

În figura 5.2.7 se prezintă șase configurații. Primele două configurații (a) și (b) sunt realizate din matrici de tuburi de evacuare, cu suprafețe absorbante cilindrice distanțate una față de cealaltă prevăzute cu reflectoare pentru a concentra radiația direct asupra zonei dintre tuburi și absorbant. Primul folosește un difuzor plat iar al doilea un reflector specular în vârf.

Configurația din figura 5.2.7 (c) dispune de un receptor plan cu reflectoare plane pe margini pentru a reflecta radiația suplimentară pe suprafața receptorului. Raportul de concentrare pentru acest tip este scăzut, cu o valoare maximă mai mică de 4. O parte a radiației incidente dispersate pe aceste componente va fi captată de receptor. Aceste colectoare pot fi asociate cu o placă plană având un sistem auxiliar ce completează nivelul de radiații. Studiul acestor concentratoare a fost realizat pentru prima dată în 1971 de către Hollands, iar apoi de către alți cercetători printre care Selcuk în 1979. În figura 5.2.7 (d) este prezentată o secțiune printr-un reflector parabolic, care poate fi o suprafață cilindrică (cu un receptor tubular) sau o suprafață de rotație (cu un receptor sferic sau semisferic). Colectoarele cilindrice de acest tip au fost studiate îndelung și sunt în prezent cele mai utilizate.

Reflectoarele parabolice continue pot fi înlocuite de reflectoare Fresnel, de o serie de reflectoare plane sau de o matrice mobilă asemenea celei din figura 5.2.7 (e). Fețele reflectoarelor pot fi de asemenea montate individual și ajustate pe poziție ca în figura 5.2.7 (f). Un număr mare de matrici heliostatice cu receptoare montate pe un turn, stau la baza acestor colectoare. În figura 5.2.7 (c)-(f) sunt prezentate o serie de reflectoare cu o singură față plată. De asemenea, se pot utiliza diverse forme de receptoare (captatoare), rotunde, semisferice, convexe sau concave.

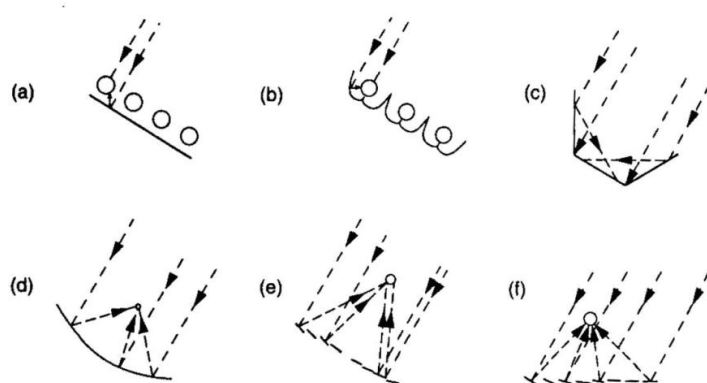


Fig. 5.2.7 Diferite configurații de concentratori

În general, concentratoarele cu receptoare mai mici decât deschiderea sunt eficiente doar pe un fascicol de radiații. De asemenea, este evident că unghiul de incidentă al fascicolului de radiații pe concentrator este important, iar un astfel de mecanism de urmărire a poziției Soarelui este necesar să existe amplasat pe colectoare. O gamă diversă de mecanisme de orientare au fost dezvoltate, pentru a dirija colectoarele astfel încât fascicolul de radiație să fie reflectat într-un mod eficient pe receptor.

Sistemele de mișcare pot fi eficiente dacă sunt combinate două sau mai multe între ele. Sistemele optice liniare cilindrice concentrează radiația luminoasă pe receptor urmărind ca Soarele să se afle în planul central al concentratorului (planul include axa focală și linia vertexului reflectorului). Colectorii pot fi roțiți pe o singură axă de rotație, care poate fi nord-sud, est-vest, sau înclinată și paralel cu axa pământului ($150^\circ/h$). Sunt diferențe semnificative în ceea ce privește cantitatea de raze incidente, dependența de timp și calitatea reflexiei obținută pentru cele trei moduri de orientare.

Reflectoarele care au o suprafață de rotație (concentratoarele circulare) trebuie să fie orientate în așa fel încât axa să fie aliniată cu Soarele și, de asemenea, să fie capabile să se miște pe două axe. Aceste axe pot să fie orizontale și verticale, înclinate sau paralele cu axa de rotație a Pământului (axa polară). Sistemele de orientare pot ajusta aproape continuu poziția colectorului pentru a compensa mișcarea Soarelui. Pentru colectoarele lineare de concentrație scăzută se poate ajusta poziția săptămânal, lunar, sau pe anotimpuri. Mișcarea continuă poate fi făcută manual sau automat. Sistemele manuale depind în mare parte de operatori și de experiența lor în a face corecțiile necesare, și pot fi adecvate pentru situațiile în care rata de concentrație nu este prea mare, iar mâna de lucru este ieftină.

C. Sisteme hibrid de valorificare a energiei solare în vederea producerii de energie electrică

Centralele solare termice, în funcție de modul de construcție, pot atinge randamente mai mari la costuri de investiții mai reduse decât instalațiile pe bază de panouri solare fotovoltaice. Totuși, realizarea acestor centrale necesită cheltuieli de întreținere mai mari și sunt disponibile doar pentru puteri instalate depășind un anumit prag minim. Totodată, centralele sunt exploatabile economic doar în zone caracterizate printr-un număr anual ridicat de zile însorite.

Cele mai multe realizări au fost orientate spre încălzirea unui fluid ce circulă printr-un colector solar. Adeseori, necesitățile industriale sunt satisfăcute de această căldură. Energia mecanică sau electrică este fie produsă singular fie în cogenerare cu energia termică. Producerea de energie mecanică sau generarea de energie electrică din energia calorică provenind de la Soare se face cu ajutorul motoarelor termice. Cele mai folosite motoare termice sunt cele care funcționează după ciclurile Rankine, Stirling și Brayton. Pentru aplicațiile cu colectoare cilindro-parabolice și cele cu captator central se folosește de regulă o singură mașină termică de capacitate suficientă să acopere necesarul de energie mecanică sau electrică. În ambele cazuri energia termică provenită de la Soare este concentrată într-un singur punct, acolo unde se amplasează mașina termică.

În cazul colectoarelor parabolice se poate colecta fluidului încălzit de la câmpul de colectoare și transporta către o singură mașină termică sau se pot utiliza mașini termice de putere mai mică în focarul fiecărui

colector. Avantajul principal al utilizării mai multor mașini termice este acela că de cele mai multe ori este mai ușor de transportat energia electrică decât cea termică. Alte avantaje constau în:

- scoaterea din funcțiune a mașinilor termice mici pentru a fi înlocuite sau reparate se poate face menținând constantă puterea electrică;
- puterea centralei poate fi crescută prin adăugarea de noi module.

Principalul dezavantaj al modularității constă în aceea că trebuie folosite multe mașini termice mici (10-100 kW) și prin urmare nu se poate vorbi de avantajele economice și de eficiența corespunzătoare unităților mari. În plus, integrarea unui număr considerabil de unități de acumulare a căldurii nu este considerată fezabilă. În cazul mașinilor termice plasate în interiorul focarelor colectoarelor a căror funcționare este dependentă de poziția Soarelui (specific mașinilor termice în care are loc schimbarea de fază a fluidului de lucru) trebuie supravegheat sistemul de ungere. În figura 5.2.8 este prezentată schema centralei solare Solel ce funcționează în deșertul Mojave din sudul Californiei, SUA, cu o puterea electrică de 354 MW, este în prezent cea mai mare centrală solară cu colectoare cilindro parabolice în funcțiune.

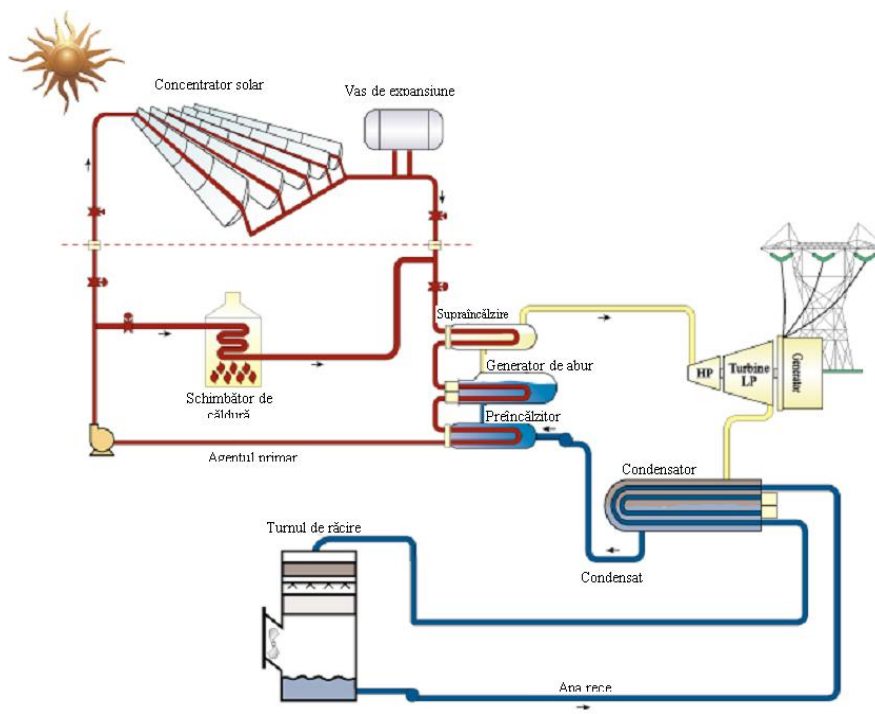


Fig 5.2.8 Schema centralei electrice termo-solare Solel din deșertul Mojave, SUA

În figura 5.2.9 este prezentată harta lumii cu zonele propice construirii de centrale solare.

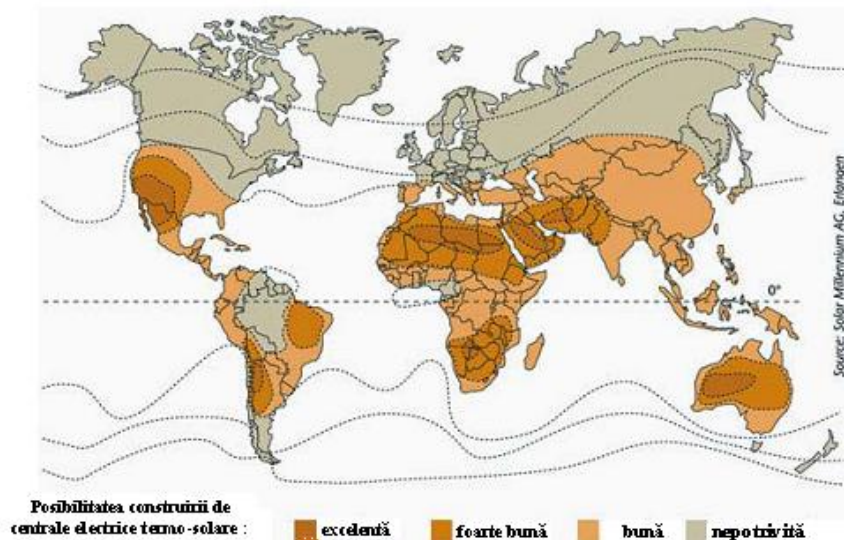


Fig 5.2.9 Harta cu zonele propice construirii de centrale solare

Motoare Stirling cuplate cu captatori solari

Conversia energiei solare termice în energie mecanică sau electrică a fost obiectivul experimentărilor pe o perioadă de peste un secol. La expoziția din Paris din anul 1872 profesorul de matematică Augustin Mouchot și inginerul Abel Pifre au expus primul sistem de conversie a energiei solare în energie mecanică - o presă de tipar acționată de un motor cu abur alimentat de la un concentrator solar parabolic (figura 5.2.10). Mai târziu, în anul 1913, întreprinzătorul american Frank Shuman aplică același principiu și realizează în Egipt prima instalație solară pentru irigare. Aburul pentru motorul termic era produs de 5 colectoare cilindro – parabolice cu lungimea de 80 m și apertura de 4 m fiecare. Receptorul – o țevă din fontă, amplasată în focar, asigura transportarea aburului către motor. Sistemul dezvoltă o putere mecanică utilă de circa 45 kW fiind folosită la pomparea apei din râul Nil pentru irigare. Datorită prețului mare a cărbunelui în zona respectivă la acea vreme, durata de recuperare a sistemului nu depășea 4 ani. Este necesar să menționăm un dezavantaj foarte important al motoarelor termice solare – eficiența redusă. Aceasta fiind o consecință a densității de putere mică a radiației solare și din principiile fundamentale ale termodinamicii.

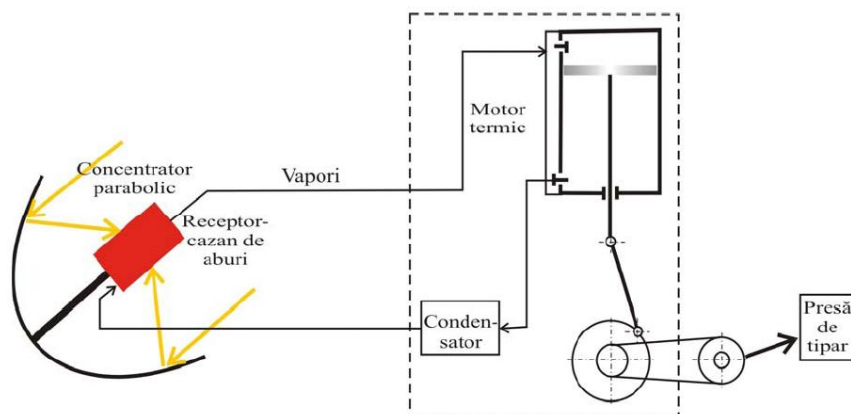


Fig 5.2.10 Schema motorului solar termic realizat de Augustin Mouchot și Abel Pifre în anul 1872

O interpretare mai accesibilă pentru al II-lea principiu al termodinamicii constă în următoarele: energia termică sau căldura nu poate fi transformată în totalitate în alte forme de energie, de exemplu, mecanică sau electrică. Randamentul unui motor termic, fie cu piston sau cu turbină, depinde de temperatura sursei calde, altfel spus temperatura la intrare T_{in} și temperatura sursei reci (a condensatorului), T_{ies} , între care se produce schimbul de căldură.

De exemplu, o turbină alimentată de la un concentrator parabolic cu abur la temperatura de 330°C și temperatura în condensator de 34°C va avea o eficiență teoretică egală cu $1-(34+273)/(330+273)=0,491$ sau 49,1 %. Randamentul real, datorită pierderilor de energie, va fi cu mult mai mic și va fi de circa 25 %.

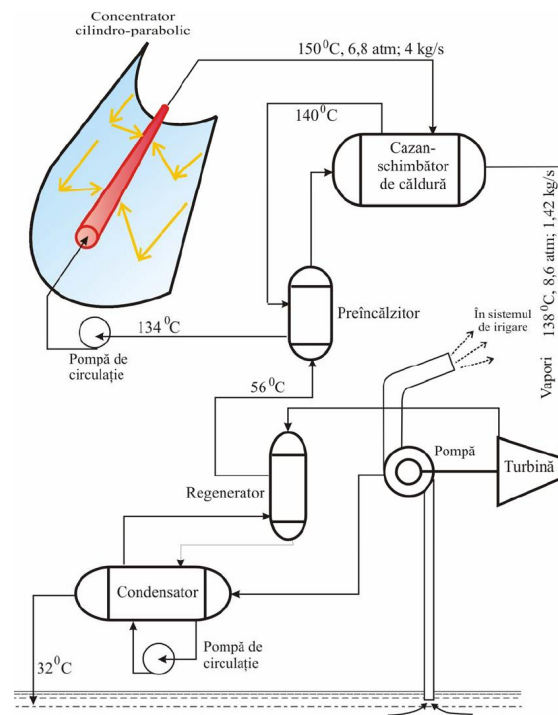


Fig 5.2.11 Sistemul de pompare solară realizat de G. Alexander în anul 1979

Pentru a obține vapori de apă este necesară o temperatură de cel puțin o 100°C . Dacă temperatura obținută de la colectorul solar este mai mică, atunci poate fi folosit un motor termic care funcționează conform ciclului Rankine. Aici, în calitate de fluid caloportor se folosesc substanțe organice cu temperatura de fierbere mai mică de 100°C de tipul celor folosite în frigider sau pompe de căldură. Un astfel de motor termic va avea un randament și mai mic.

De exemplu, eficiența unui motor termic care funcționează cu vapori de 85°C , obținuți de la un colector solar plan și temperatura la condensare de 30°C , nu va depăși 15 %. Primul Război Mondial a provocat folosirea pe scară largă a motoarelor cu ardere internă care funcționează cu benzină sau motorină. A început era petrolului ieftin și motoarele termice solare au fost date uitării pentru o perioadă de peste 50 de ani. S-a revenit la ele după începerea crizei petrolului din anul 1973. Un grup de ingineri din SUA sub conducerea lui G. Alexander realizează în 1979 un nou proiect de irigare solară în localitatea Gila Bend [3.7].

Schema de funcționare a sistemului este prezentată în figura 5.2.11. Energia primară este obținută de la un colector solar cilindro-parabolic cu o suprafață de 537 m², care încălzește apa până la temperatura de 150°C la o presiune de circa 7 atm. Apa caldă circulă prin schimbătorul de căldură, care îndeplinește și funcția de cazan, preîncălzitor și receptor. În circuitul secundar (în schemă nu este arătat) al schimbătorului de căldură se folosește fluidul de lucru Refrigerant 113 cu o temperatură mică de fierbere. Vaporii cu temperatura de 138°C și presiunea de circa 9 atm sunt folosiți pentru alimentarea turbinei, care antrenează o pompă. O parte de vapori sunt utilizați pentru preîncălzirea apei din circuitul primar. După turbină vaporii sunt folosiți în regenerador pentru a încălzi apa din circuitul preîncălzitorului. Din regenerador vaporii condensează în condensator unde pentru răcire se folosește o parte din apa pompată fiind recirculată în bazin la temperatura de circa 32°C. În primul an de exploatare sistemul a funcționat 323 de ore având o capacitate cuprinsă între 240 și 570 l/s sau 364 și 2052 m³/h. În al doilea an a funcționat 188 h livrând $1,24 \cdot 10^5$ m³ de apă sau la o capacitate de circa 660 m³/h.

Aplicații industriale ale captatorilor cu concentratori ai energiei solare

Procesul de conversie a energiei solare termice în energie electrică este similar cu cel tradițional bazat pe combustibili fosili unde energia chimică stocată în combustibil este transformată în energie potențială a aburului comprimat cu temperatura de până la 500-600°C. În turbină prin destinderea aburului, energia potențială este transformată în energie cinetică, și apoi în energie electrică utilizând un generator electric. În sistemele solare combustibilul fosil este înlocuit cu radiația solară, focarul cazanului – cu un colector solar cu concentrare: cilindro-parabolic, cu oglindă paraboloidală sau cu heliostate și turn central. Celelalte elemente ale centralei solare termice rămân aceleași ca și la o centrală termică tradițională. În ultimele două decenii ale secolului trecut au fost realizate cu succes câteva proiecte pilot de centrale solare termice care au demonstrat viabilitatea tehnică și tehnologică a acestora și au deschis calea spre realizare a noi proiecte cu capacitatea de sute de MW. În continuare se va descrie succint două proiecte comerciale: cu concentratoare cilindro-parabolice și cu heliostate.

Centrală termică solară cu concentratoare cilindro – parabolice Cea mai mare centrală solară termică din lume are o putere maximală de 354 MW și este amplasată în localitatea Kramer Junction, California, SUA. A fost construită de firma Luz International în perioada 1985-1991 și constă din 9 unități cu capacitatea între 14 și 30 MW putere electrică. Mai târziu acest tip de centrală a fost denumit „Sisteme solare tip LUZ”. În figura 5.2.12 se prezintă o porțiune din câmpul de concentratoare cilindro – parabolice. Până în anul 2001, centrala a furnizat în rețeaua publică a Californiei 9 TWh de energie electrică.



Fig 5.2.12 O porțiune de câmp cu colectoare solare cilindro-parabolice a centralei termice Kramer Junction, California

Centrala este dotată cu un circuit auxiliar care funcționează pe gaz natural și care permite extinderea producerii de energie cu 25 %, fie pe timp noros sau în orele de vârf. Centrala a fost proiectată să furnizeze energie electrică în orele de vârf, când costul de livrare este maximal. În California această perioadă se încadrează între lunile iunie-septembrie, orele 12⁰⁰-18⁰⁰.

Principalele componente a centralei sunt prezentate în schema din figura 5.2.13.

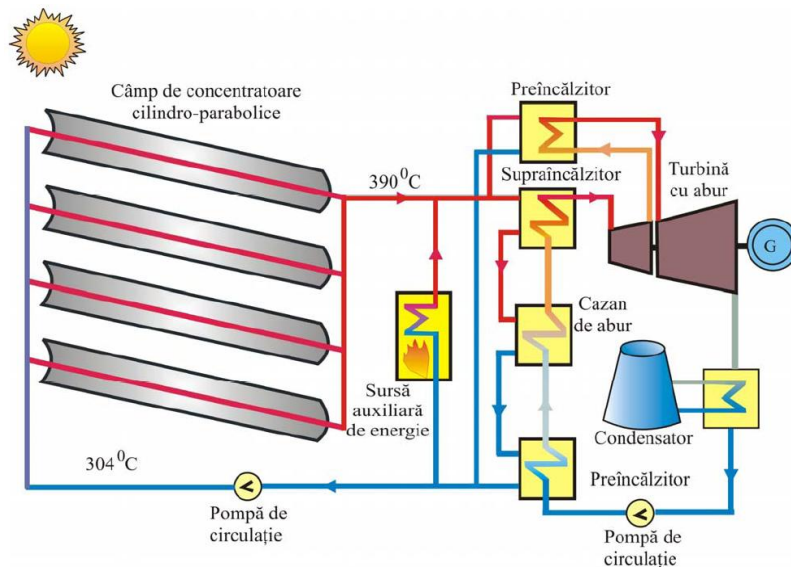


Fig 5.2.13 Schema funcțională a centralei solare termice Kramer Junction, California

Câmpul de colectoare solare este format din concentratoare cilindro – parabolice cu o suprafață totală de circa $1,75 \times 10^6$ m². Partea activă a concentratorului – reflectorul este format din sticlă cu conținut mic de fier și acoperită din spate cu argint. Sticla este montată pe o structură metalică secționată conducând la obținerea de colectoare de diferite lungimi. Colectoarele se montează în rânduri paralele în direcția sud-nord. Pentru urmărirea Soarelui se folosesc acționări hidraulice. Receptorul de radiație solară prezintă o țevă de oțel cu diametrul de 70 mm acoperită cu un strat de material selectiv. Pentru a micșora pierderile de energie receptorul este amplasat într-un tub de sticlă vidat. La temperatura de 350°C suprafața

receptorului are o absorbanță egală cu 0,96 și o emitanță de numai 0,19. Reflectanța oglinzilor în stare curată este egală cu 0,94. În primul contur, în care se includ și colectoarele solare, în calitate de caloportor se folosește un fluid sintetic. Temperatura fluidului la ieșire din colectoare este de 390°C, iar la intrare de circa 304°C. În al doilea contur se folosește apa, care se transformă în abur în cazanul alimentat energie termică de la colectoarele solare. Unitatea de generare reprezintă un grup tradițional turbină cu abur-generator sincron. Turbina cu abur are două trepte de presiune – prima se alimentează cu abur supraîncălzit, iar a doua – de la preîncălzitor.

Centrală termică solară cu heliostate și turn central. În anii '90 au fost construite câteva centrale pilot cu heliostate și turn central: în Rusia cu puterea de 5 MW, Italia, Spania și Franța – cu puterea de 1 MW. Cea mai mare centrală din lume cu heliostate a fost construită în anul 1982 în SUA, localitatea Barstow, California. Centrala a fost numită Solar One și are o putere de 10 MW. După 6 ani de exploatare, în 1988 s-a luat decizia de a reconstrui centrala. Ea a fost dotată cu un sistem de acumulare a energiei termice cu sare topită, de asemenea s-a modernizat sistemul de comandă cu heliostatele. Schema de funcționare a centralei Solar Two este prezentată în figura 5.2.14.

Câmpul de heliostate cuprinde 1818 reflectoare cu o suprafață totală de 71100 m². Fiecare heliostat este orientat astfel ca să reflecte razele solare pe receptorul instalat în centrul câmpului la o înălțime de 90 m. Un heliostat conține 12 panouri concave cu o suprafață totală de 39,12 m². Ca material reflector se utilizează sticlă acoperită cu argint. Receptorul prezintă un cilindru cu înălțimea de 13,7 m și diametrul de 7 m. Cilindrul receptorului este format din 24 de panouri, fiecare având lățimea de 0,9 m și înălțimea de 13,7 m. Fiecare panou este format din țevi din oțel aliat cu diametrul 69 mm montate paralel și acoperite cu vopsea neagră nonselectivă rezistentă la temperaturi de până la 620°C. Prin primul contur circulă sare topită. La ieșire din receptor temperatura este de 570°C. În cazan se produce abur, care circulă prin al doilea contur.

Cazanul îndeplinește și funcția de preîncălzitor pentru treapta de presiune înaltă a turbinei. Temperatura sării topite la intrarea receptorului este de 290 °C. Exploatarea centralei pe parcursul a câțiva ani a demonstrat eficiența sistemului de stocare a energiei termice, permițând obținerea unui factor de utilizare a puterii instalate de circa 65 %. Altfel spus, din cele 8760 h ale anului, centrala produce energie electrică pe parcursul a 5694 h. Cea mai mare putere electrică produsă de grupul turbină – generator a fost de 11,6 MW.

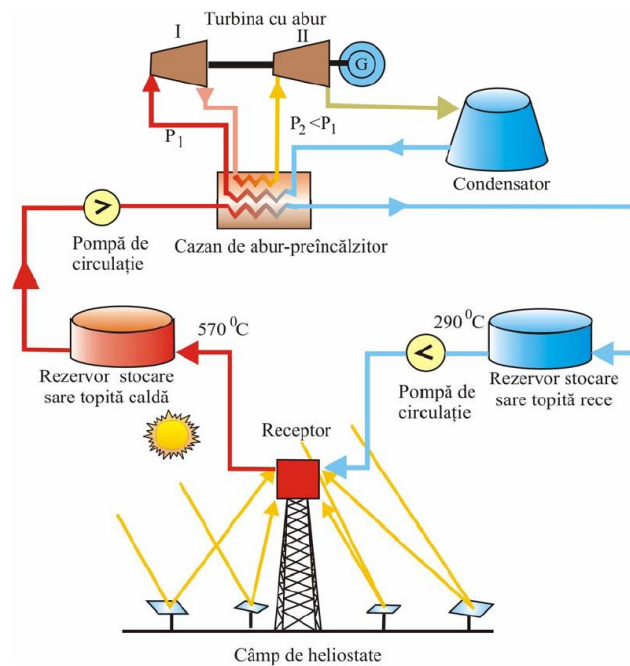


Fig 5.2.14 Schema funcțională a centralei solare termice Solar Two

Integrarea sistemelor de valorificare a energiei solare în cadrul clădirilor

Proprietățile ($\tau\alpha$) și ϵ afectează direct performanțele termice ale colectorului solar. Degradarea acestor proprietăți pot afecta performanțele pe termen lung, de aceea materialele selectate trebuie să aibă proprietăți stabile în timp. Suprafața plăcii absorbante trebuie să reziste la temperaturi înalte posibile în perioada de exploatare, temperatura fluidului T_m va fi egală cu temperatura plăcii. Pentru suprafața transparentă există pericolul distrugerii de către grindină. Din studiile experimentale s-a tras concluzia că riscul distrugerii colectorului acoperit cu sticlă călită cu grosimea de 3 mm este neglijabil. Astfel, în 1979 în Colorado, SUA a avut loc o furtună în care bucăți de grindină cu diametrul între 2 și 10 cm au cazut pe colectoarele solare. În calea furtunii s-au aflat 1010 colectoare solare amplasate sub unghiuri cuprinse între 32 și 560, din care doar la 11 colectoare a fost spartă sticla. Îmbinarea sticlei cu carcasa trebuie făcută fără muchii sau nervuri care se evidențiază de asupra suprafeței transparente. Aceasta va facilita scurgerea apei și alunecarea zăpezii de pe suprafața colectorului.

Izolarea termică. Rolul de izolație termică în partea frontală a colectorului îl joacă suprafața transparentă (sticla) și pătura de aer formată între suprafața absorbantă SA și suprafața transparentă ST. Spațiul de aer trebuie să fie cuprins între 25 și 40 mm. Se consideră o grosime optimă de 28 mm. Celelalte părți ale colectorului - spatele și părțile laterale trebuie să fie izolate cu un strat de 5-10 cm de vată de sticlă sau alt material izolator cu caracteristici termice asemănătoare. Vata din sticlă are următoarele avantaje:

- Este relativ ieftină;
- Proprietăți izolatoare foarte bune ($\lambda=0,05-0,06 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$);

- Rezistă la temperaturi de peste 100 OC;
- Greutate specifică mică ($\rho=150-200 \text{ kg/m}^3$);

Dezavantaje: își pierde calitățile izolante în condiții de umiditate ridicată.

Se recomandă folosirea panourilor din vată de sticlă, evitându-se tasarea la plasarea înclinată a colectorului solar. O soluție rezonabilă din punctul de vedere cost-calitate poate fi izolația termică hibridă formată dintr-un panou de vată de sticlă cu grosimea de 4 cm și unul de 3 cm din polistiren expandat. Vata de sticlă, fiind mai rezistentă la temperaturi mari, se amplasează imediat după placa absorbantă, iar polistirenul – după panoul din vată de sticlă. La rândul său polistirenul este mai rezistent la umiditate. Pentru a îmbunătăți izolația termică a unui colector se recomandă introducerea unei folii subțiri de aluminiu între izolație și placa absorbantă. Folia va servi ca ecran pentru radiația infraroșie care va fi reflectată spre placa absorbantă. Între placa absorbantă și folie se lasă un spațiu de aer ce va avea un rol de izolator termic suplimentar.

Etanșarea colectorului. Pentru a preveni pătrunderea apei și a prafului în interiorul colectorului este necesară etanșarea acestuia. În condiții de cer noros vaporii de apă se vor condensa pe suprafața internă a sticlei ce va conduce la micșorarea transparenței și a randamentului. Condensul va exista în interiorul colectorului până ce sticla va fi suficient de caldă pentru ca el să se vaporizeze. Existența aerului umed în interiorul colectorului va conduce la decalarea funcționării acestuia corespunzător parametrilor de proces. Dacă colectorul nu este etanș, praful va pătrunde în interior și se va depozita atât pe suprafața interioară a sticlei, cât și pe placa transparentă. Dacă din considerente economice este dificil de etanșat corespunzător, atunci este indicat să se realizeze o ventilație interioară a colectorului. În acest scop, între SA și ST se dau câteva găuri cu diametrul de 2-3 mm, poziționate astfel încât să se evite pătrunderea apei pluviale.

Carcasa. Are funcția de a menține ansamblul și de a asigura etanșarea colectorului. Cel mai indicat material este cornierul din aluminiu anodizat și folii din oțel zincat. Carcasa nu trebuie să aibă o rezistență mecanică mare. De obicei, colectoarele se amplasează pe acoperișul casei sau este sprijinită pe un suport din oțel cornier. Acest suport va prelua și solicitările provocate de vânt. Carcasa are o construcție simplă în forma unei cutii cu un fund plat sau ondulat (pentru o rigiditate mai mare) și patru laturi. Înălțimea laturilor trebuie să corespundă condițiilor de montare a izolației termice, suprafeței transparente și celei absorbante și a spațiului de aer, în total 10-15 cm. Este important ca greutatea carcasei și a colectorului să fie mică pentru a ușura montarea.

Montarea colectoarelor. Se va efectua în serie sau în paralel (figura 5.2.15). La conectarea în serie, apa trece succesiv prin colectoare încălzindu-se din ce în ce mai mult.

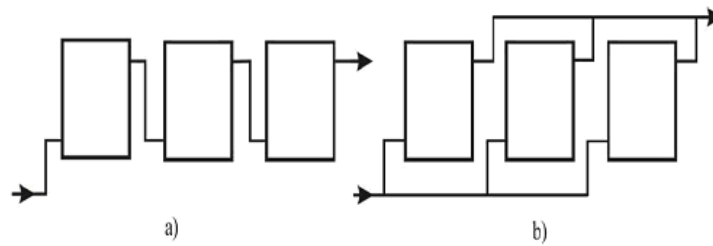


Fig 5.2.15 Conectarea colectoarelor solare în serie (a) sau în paralel (b)

Panourile vor lucra la temperaturi diferite ceea ce conduce la scăderea randamentului panourilor spre ieșirea din colector. La calculul randamentului panourilor se ia în considerație creșterea rezistenței hidraulice. Din acest motiv se recomandă utilizarea colectoarelor solare în serie pentru sisteme cu circulația forțată a apei. La montarea colectoarelor solare în paralel, fiecare colector va asigura doar o parte din debit și vor avea temperaturi aproximativ egale. Rezistența hidraulică scade și sistemul poate funcționa cu circulație naturală (termosifon). Sunt întâlnite scheme hibride de conectare serie – paralel sau paralel – serie.

Sisteme hibride ce conțin colectoare solare termice și surse de rezervă, pentru încălzire și preparare de a.c.m.

Colectorul solar conține un schimbător special de căldură care transformă energia radiației solare în energie termică (figura 5.2.16). Totodată, colectorul solar diferă de majoritatea schimbătoarelor de căldură convenționale (de exemplu, schimbătoare de căldură lichid-lichid), în care transferul de căldură prin radiație joacă un rol nesemnificativ. Dimpotrivă, în colectorul solar transferul de energie către lichid sau gaz se realizează la distanță prin intermediul radiației solare caracterizată printr-o densitate de putere de maxim 1 000-1 100 W/m².

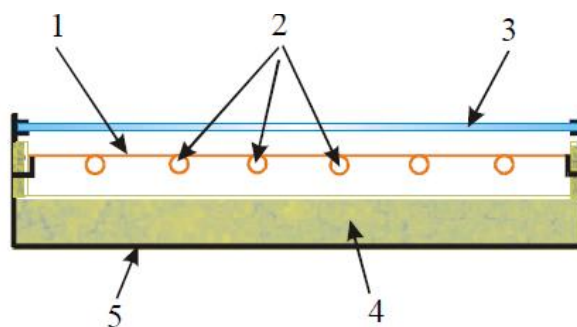


Fig. 5.2.16 Schema constructivă a colectorului solar

Colectorul solar de formă plană poate fi proiectat pentru a furniza apă caldă la temperaturi medii, de circa 40 – 170 °C. Colectorul solar utilizează ambele componente ale radiației solare – directă și difuză, nu necesită urmărirea soarelui pe bolta cerească, necesită cheltuieli reduse în exploatare și are o construcție mult mai simplă în comparație cu colectoarele cu concentrarea radiației solare. Acest tip de colector este cel mai răspândit, fiind parte componentă a oricărui sistem pentru încălzirea apei din spațiile locative,

uscătoriile solare și din sistemele de refrigerare. Colectorul solar este caracterizat de un grad avansat de perfecțiune tehnică, tehnologică, o piață dezvoltată de desfacere și perspective economice.

Principalele părți componente sunt: așa numita “cutie sau ladă neagră” (5), cu izolația termică a trei pereți (4), acoperită cu suprafața transparentă (ST) (3). Schimbătorul de căldură este de tip placă metalică-țeavă, respectiv suprafața absorbantă (SA) (1) și țevile (2). În cazul colectorului cu aer, schimbătorul de căldură este de tip placă metalică – canal pentru aer. Funcționarea colectorului solar se bazează pe două fenomene fizice: absorbția de către un corp negru a radiației solare, suprafața absorbantă SA și efectul de seră realizat de suprafața transparentă ST. În cazul colectorului solar, se realizează un efect de seră artificial. Suprafața ST este transparentă pentru razele solare și opacă pentru radiația infraroșie (căldura emisă de către suprafața absorbantă SA). Prin urmare, transferul de căldură se realizează de la SA caracterizată printr-o temperatură ridicată, către țevile (2) prin care circula fluidul caloportor.

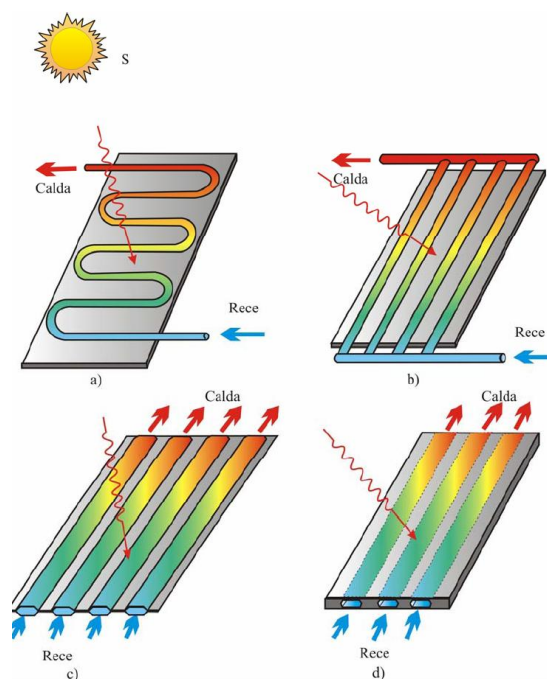


Fig. 5.2.17 Schimbătoare de căldură utilizate în colectoarele solare

Pe parcursul anilor au fost propuse diferite soluții tehnice de îmbinare a plăcii metalice (1) cu țevile (2). Cele mai viabile soluții sunt prezentate în figura 5.2.17: serpentină (a), cu țevi paralele (b), cu canale formate din două plăci metalice sudate prin metoda de contact (c) sau canale formate în interiorul unei plăci din masă plastică (d). Pentru primele două scheme constructive o deosebită importanță are contactul dintre țevă și placă. El trebuie realizat cu o rezistență termică cât mai mică. În figura 5.2.18 (a), (b) și (c) sunt prezentate trei soluții tehnice:

a) Prima se realizează prin sudarea tradițională a plăcii 1 și țevii 2. Se recomandă în cazul folosirii plăcilor din oțel înnegrit cu grosimea de 1,5-2,0 mm. Adesea, sudura este sursa principală de defecțiuni, durata de exploatare a acestui schimbător de căldură nu depășește 5 ani.

b) A doua soluție (există mai multe variante) constă în deformarea plăcii astfel ca să cuprindă (îmbrace) țeava (brazare). Este simplă, asigură productivitate mare la fabricare, fiabilă. Cu timpul, din cauza dilatărilor termice liniare diferite ale plăcii și țevii, între ele apare un joc, se mărește rezistența termică a contactului placă-țeavă și respectiv, scade eficiența transferului de căldură.

c) Placa (1) din cupru cu grosimea ce nu depășește 0,2 mm se sudează la rece cu țeava (2) de asemenea din cupru cu diametrul interior de 6 și exterior de 8 mm. Se utilizează sudarea cu unde ultrasonice, amplitudinea fiind de 150 μm. Asigură o productivitate de cel puțin 11 m/min, o calitate bună a sudurii (5) și o durată de exploatare a schimbătorului de căldură de 20 de ani. În colectoarele solare moderne se utilizează schimbătoare de căldură fabricate conform acestei tehnologii.

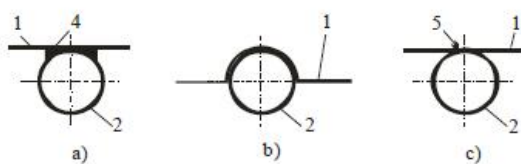


Fig. 5.2.18 Soluții tehnice de îmbinare a ansamblului țeavă-placă

Pompe de căldură integrate sistemelor solare

Cele mai răspândite sisteme solare pentru încălzirea apei (SSIA) sunt prezentate în figura 5.2.19.

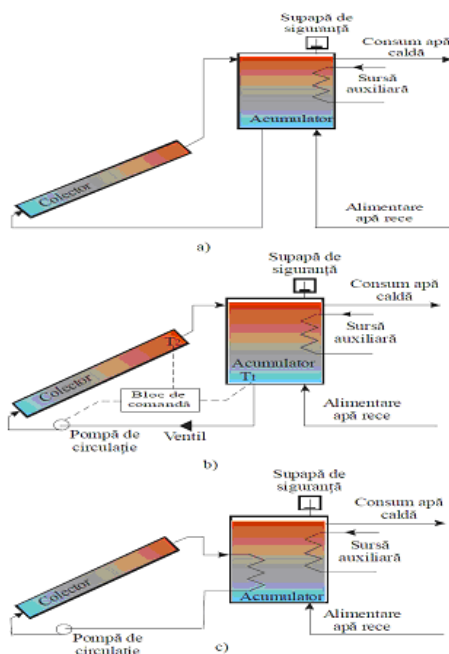


Fig. 5.2.19 Scheme uzuale ale sistemelor solare pentru încălzirea apei:

a - cu circulație naturală; b - cu circulație forțată; c - cu două contururi

Elementele de bază ale unei SSIA sunt: colectorul solar, acumulatorul (rezervorul de apă), schimbătorul de căldură, pompa de circulație, sursa auxiliară de energie.

Diferența dintre schemele prezentate constă în interconexiunea și aranjamentul acestor elemente. În figura 5.2.19 (a) este prezentată o SSIA cu circulație naturală. Pentru a asigura o circulație sigură a apei, acumulatorul trebuie să fie amplasat mai sus decât colectorul. Atât în colector, cât și în rezervor se stabilește un gradient de temperatură între partea superioară și partea inferioară, se creează o diferență de densitate între straturile de apă (apa caldă este mai ușoară decât cea rece) și ca urmare apare o diferență de presiune care asigură circulația apei. Diferența de presiune depinde de diferența de temperaturi, astfel că fluxul masic de apă în sistem depinde de puterea termică utilă captată de colector, care determină această diferență de temperaturi.

În aceste circumstanțe SSIA cu circulație naturală sunt autoreglabile – creșterea puterii captate conduce la creșterea fluxului de apă care circulă în sistem.

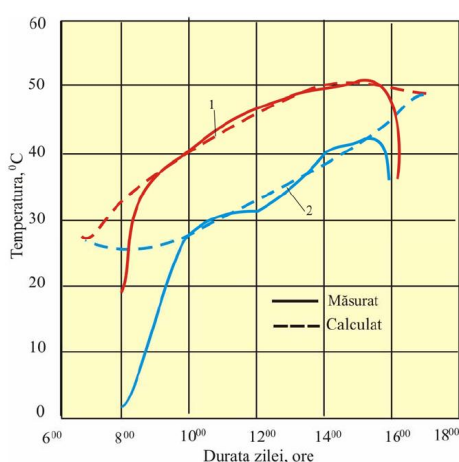


Fig. 5.2.20 Variația temperaturii apei pe parcursul zilei: 1 – la ieșire; 2 – la intrare

Studiile teoretice și experimentale efectuate în anii '70 ai secolului trecut au demonstrat, că pentru o gamă largă de SSIA cu circulație naturală, diferența de temperatură a apei la intrarea și ieșirea colectorului este de aproximativ 10 °C și rămâne constantă pe parcursul zilei (vezi figura 5.2.20). Debitul specific al apei este de 50-60 l/m²h, astfel că într-un SSIA cu suprafața colectorului de 4 m² debitul apei va fi de circa 200 l pe parcursul unei ore. Dacă volumul acumulatorului este de 200 – 300 l, atunci pe parcursul unei zile solare acest volum va fi vehiculat de câteva ori prin sistem, încălzindu-se. Este evident, că spre sfârșitul zilei diferența de temperaturi între stratul de sus și cel de jos al apei din rezervor va fi minimă și circulația apei se va opri.

SSIA cu circulație naturală se utilizează pe scară largă în Israel, Australia, statele California și Florida din SUA unde pericolul înghețului este redus și ele pot funcționa tot timpul anului. Construcția acestora este cea mai simplă și nu necesită cheltuieli suplimentare pentru circulația apei, acestea fiind în general proiectate pentru încălzirea apei până la temperatura de 65°C .

În România, SSIA cu circulație naturală poate fi exploatată în perioada aprilie – septembrie. Pentru a evita distrugerea instalației în perioada rece a anului, se recomandă golirea acesteia de apă. În cazul când

condițiile financiare permit, se poate instala și o sursă auxiliară de energie, fie electrică sau utilizând un combustibil fosil – gazul natural, care permite acoperirea lipsei de putere livrată de SSIA. Ea poate fi conectată în paralel cu colectorul solar (după cum este arătat în figura 5.2.19 (a)).

În ultimul caz SSIA îndeplinește funcția de preîncălzitor. Este important să menționăm, că SSIA cu circulație naturală va funcționa mai eficient dacă consumul principal de apă caldă revine orelor de dimineață. Altfel spus, apa rece trebuie introdusă în acumulator înainte de orele de maximă radiație solară pentru a asigura gradientul de temperatură necesar unei funcționări normale în perioada însorită.

SSIA cu circulație forțată este prezentat în figura 5.2.19 (b). Pompa de circulație este comandată independent de diferența dintre temperatura T_2 în partea de sus a colectorului și temperatura T_1 în partea de jos a rezervorului. Temperatura este controlată de un releu diferențial și pompa va funcționa doar atunci când diferența de temperaturi scade sub valoarea critică. Pentru a exclude circulația inversă a apei pe timp de noapte este prevăzută o valvă unidirecțională. În zonele cu pericol de îngheț schema SSIA se modifică și va avea două contururi de circulație. În figura 5.2.19 (c) primul contur cuprinde colectorul, pompa de circulație și schimbătorul de căldură care se umple cu lichid antigel. Al doilea contur prezintă circuitul propriu zis de apă caldă. Transferul de căldură dintre primul și al doilea contur se efectuează prin intermediul unui schimbător de căldură lichid – lichid (vezi serpentina din acumulator). Această schemă este mai răspândită în țările din centrul și nordul Europei și America de Nord. Un SSIA standard conține 2-3 colectoare cu dimensiunea de 1x2 m, rezervorul de apă are un volum de 200-400 l iar debitul specific este de 50-60 l/m²h. Colectorul solar se realizează cu un singur strat de sticlă, suprafața absorbantă este selectivă, iar în unele cazuri - prezintă o suprafață înnegrită. Un rol important în funcționarea unui SSIA îl are distribuția stratificată după temperatură a coloanei de apă în rezervor. Cu cât gradul de stratificare este mai mare cu atât este mai mare aportul energiei solare în acoperirea necesității anuale de apă caldă. În acest context, este rațional să se micșoreze debitul specific. Studiile efectuate în trecut în Suedia au condus la concluzia că debitul optim în SSIA cu circulație forțată este de 7-20 l/m² h.

B. Eolian

Vântul este un fenomen fizic care se manifestă ca o deplasare a unei mase de aer dinspre o zonă cu presiuni înalte către o zonă cu presiuni joase sub influența gradientului baric orizontal. Apariția vântului este rezultatul diferențelor de temperatură, umiditate, presiune între diferite zone geografice, dar și datorită distanței față de Soare și a rotației Pământului în jurul axei sale, respectiv forței Coriolis.

Deplasarea maselor de aer se face dinspre zonele cu o densitate mai ridicată a aerului spre zonele cu o densitate mai scăzută. Forța Coriolis modifică doar direcția vântului, nu și modulul vitezei vântului, astfel încât masele de aer deplasează spre dreapta, de la direcția sa de mișcare, în emisfera nordică și spre stânga

în emisfera sudică. În figura 5.2.21 se prezintă efectul forței Coriolis asupra mișcării maselor de aer. Forța Coriolis este mai redusă în *stratul limită atmosferic*. La altitudini egale cu grosimea stratului limită atmosferic, devierea maselor de aer datorată rotației Pământului este maximă.

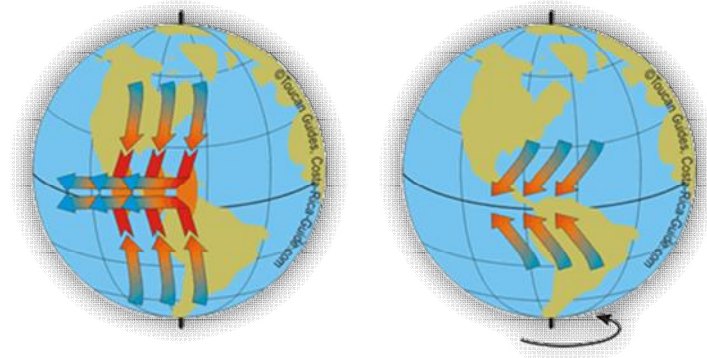


Fig. 5.2.21. Deplasarea maselor de aer sub efectul forței Coriolis

Stratul limită atmosferic este o parte a stratului atmosferic aflat în vecinătatea uscatului sau apei, și în care se simte influența dinamică și termică a acestora asupra mișcării aerului. Aici se manifestă frecarea maselor de aer cu suprafața terestră, mișcarea aerului fiind influențată în mod semnificativ de forța de frecare. Grosimea stratului limită atmosferic este variabilă, Fig. 5.2.22.

Atmosfera liberă este zona exterioară stratului limită atmosferic. Vântul din atmosfera liberă se numește *vânt de gradient* și are o intensitate mai mare decât *vântul cu frecare* din stratul limită atmosferic.

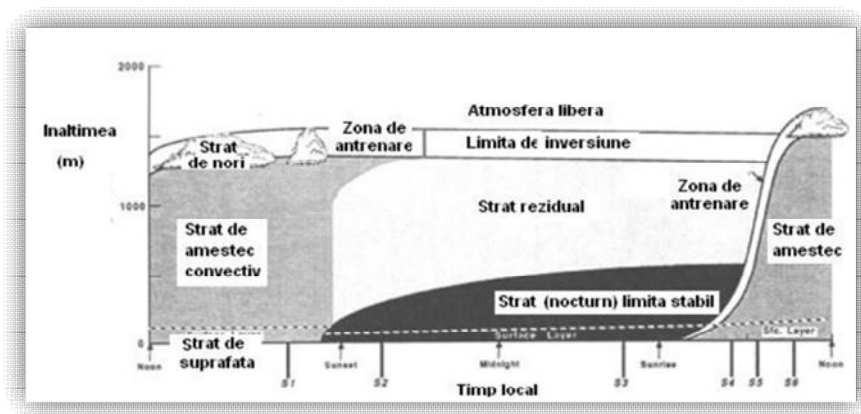


Fig. 5.2.22. Stratul limită atmosferic în regiunile cu presiune ridicată deasupra solului are în alcătuire un strat mixt foarte turbulent; un strat rezidual mai puțin turbulent și un strat stabil cu turbulență sporadică.

Caracterizarea vântului se face prin două mărimi variabile în timp și spațiu: direcția din care bate vântul și viteza. Mărimile sunt măsurabile. Viteza vântului este instantanee, V_i (m/s) și medie, V_m (m/s). Viteza instantanee are expresia $V_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{dL}{dt}$ (m/s), unde ΔL (m) este distanța parcursă de vânt din momentul de timp t (s) în momentul $t + \Delta t$ (s) și Δt este o perioadă foarte scurtă de timp. Viteza instantanee maximă este maximul vitezelor V_i observate într-o perioadă de timp. Viteza medie este media vitezelor

instantanee într-o perioadă de timp și anume, $V_m = \int_{t_0}^{t_0+t} V_i \frac{dt}{t} = \frac{L}{t}$ (m/s), unde L este distanța parcursă de vânt între momentele de timp t_0 și $t+t_0$, t_0 este momentul de timp inițial și t este perioada de timp de măsurare a vitezei instantanee V_i (m/s), [5.2.4].

Pentru indicarea direcției vântului și a frecvenței de apariție a acestei viteze se folosește roza vânturilor. Reprezentarea grafică este în coordonate polare folosind benzi colorate pentru diferite domenii de viteză și considerând o perioadă cât mai mare de timp (de obicei, 30 de ani de înregistrări meteorologice), Fig. 5.2.23. Direcțiile cu cea mai mare deschidere au frecvența cea mai mare exprimată în procente. Roza vânturilor se poate trasa în 8, 16 sau 32 de direcții cardinale, Fig. 5.2.24.

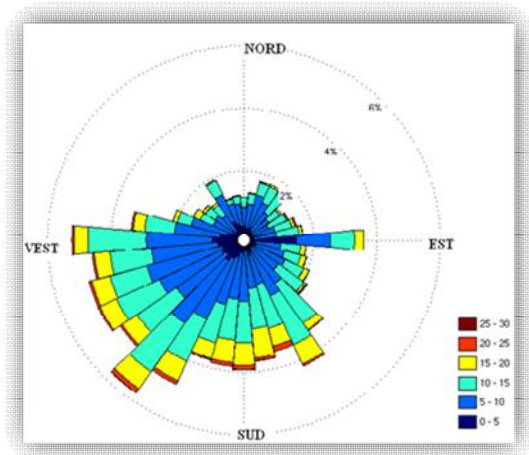


Fig. 5.2.23. Reprezentarea grafică a direcției vântului, vitezei și frecvenței de apariție într-un interval de timp dat.

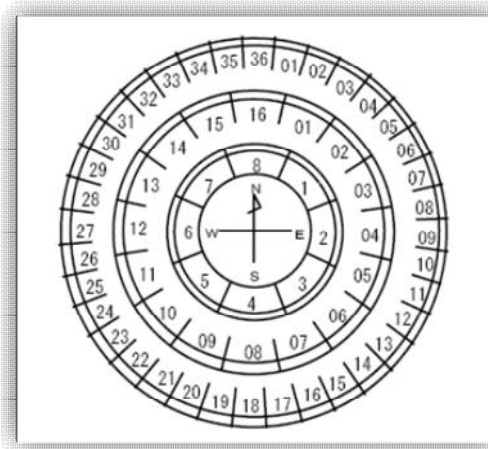


Fig. 5.2.24. Scară pentru roza vânturilor. Direcția din care bate vântul este raportată la direcția nord adevărată pe care sunt trasate patru repere fundamentale (N – nord, S – sud, E – est și V sau W – vest).

De obicei, viteza vântului se măsoară cu anemometrul cu cupe sau elice, Fig.5.2.25, și direcția vântului cu girueta, Fig. 5.2.26. Pentru monitorizarea continuă, pe o perioadă lungă (de cel puțin 10 luni) a vitezei și direcției vântului se folosesc stâlpi meteorologici de măsurare (*met mast* în engleză) pe care sunt montate anemometre și giruete, Fig. 5.2.27. Măsurătorile de vânt se fac la înălțimi de 10m deasupra terenului, dar pentru determinarea potențialului eolian în axa de instalare a turbinei eoliene se folosesc și stâlpi cu înălțimi ce pot depăși 100m.

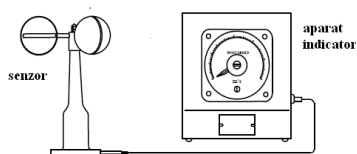


Fig. 5.2.25. Anemometru cu cupe

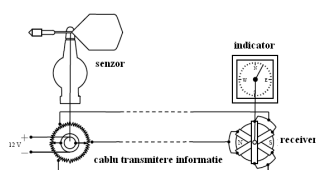


Fig. 5.2.26. Sistem de măsurare a direcției vântului cu girueta



Fig. 5.2.27. Stâlp de măsurare a direcției și vitezei vântului

Aparatele moderne pentru măsurarea vitezei și direcției vântului folosesc principiul teledetecției acustice. La ora actuală aparatul de tip SODAR (SONic Detection And Ranging) se bazează ca principiu de funcționare pe efectul Doppler. Un transmițător, Fig.5.2.28, va transmite în trei direcții (vertical, oblic în sus direcție nord-sud și oblic în sus direcție est-vest) un semnal acustic sinusoidal cu amplitudini între 1 ÷ 6 kHz și perioadă de 50ms. Un receptor va recepționa apoi, după o scurtă perioadă de timp, undele sonore care revin ca urmare a reflectării acestora datorită turbulenței stratului limită atmosferic și structurii termodinamice a atmosferei. Este detectată diferența dintre frecvența unei sonore emise și frecvența unei sonore recepționate, măsurându-se viteza medie a masei de aer. Cu ajutorul acestui instrument se pot măsura viteze și direcții ale vântului la altitudini de 500 până la 600m.

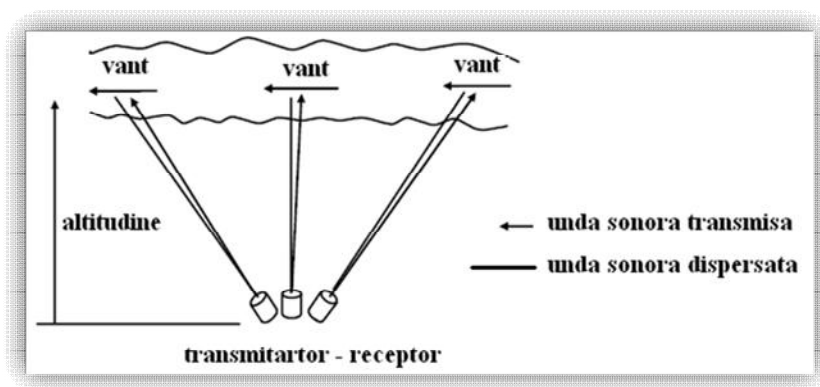


Fig. 5.2.28. SODAR, principiu de funcționare

Investițiile în conversia energiei eoliene în energie electrică necesită investiții încă din fazele inițiale ale proiectului. Se estimează că pentru costurile de pregătire și proiectare valoarea investiției este de 3% până la 4% din investiția totală. Costurile includ și măsurătorile de parametri ai vântului pe o perioadă de cel puțin 10 luni, în scopul determinării potențialului eolian din amplasamentul de instalare al turbinelor eoliene.

Estimarea potențialului eolian în vederea instalării echipamentelor de conversie a energiei vântului în energie electrică se face la cota de instalare a turbinei eoliene. Dacă măsurătorile privind intensitatea și direcția vântului au fost făcute la cote mai mici decât cota de instalare se poate folosi o lege exponențială de variație a vitezei vântului care permite calculul vitezei la înălțimea dorită. Notând cu V_r viteza de referință măsurată la cota de referință z_r , se determină viteza vântului V la cota z folosind formula $V = V_r (z/z_r)^\alpha$, unde $\alpha = \alpha_0 [1 - 0,55 \log(V_r)]$ și $\alpha_0 = (z_0/z_r)^{0,2}$, cu z_0 parametrul de rugozitate convențională al terenului, Tabel 5.2.4.

Categorie teren și parametru rugozitate, z_0

Categoria terenului	Descriere	z_0 (m)
I, Mare, lacuri	Arii expuse vântului venind dinspre suprafețe întinse de apă.	
Teren plat	Teren plat (ușor ondulat) cu obstacole rare nu mai înalte de 1,5 m.	0,003 ÷ 0,01
II, Câmp deschis	Terenuri agricole și cu iarbă.	
	Terenuri cu obstacole singulare nu mai înalte de 10 m.	0,03 ÷ 0,07
III, Zone cu densitate redusă a construcțiilor	Zone cu densitate redusă a construcțiilor și zone împădurite.	0,1 ÷ 0,4
IV, Zone urbane	Zone urbane dens construite în care cel puțin 15% din suprafață este acoperită cu construcții având mai mult de 15 m înălțime.	0,8 ÷ 1,2
Păduri	Păduri cu înălțimea medie a arborilor de cca. 15 m.	

Vitezele vântului sunt înregistrate ca medieri pe intervale scurte și egale de timp sortate pe "bini" adică, pe intervale de vânt ce au o valoare centrală, de exemplu $0 \pm 0,5$; $1 \pm 0,5$; $2 \pm 0,5$; $3 \pm 0,5$ m/s etc. Sunt identificate frecvențele sau perioadele corelate cu intervalele de viteze de vânt, care apoi sunt corelate cu valoarea centrală a intervalului de viteză permițând trasarea a două tipuri de curbe: *curba de frecvență*, în care frecvenței de apariție a unei viteze i se asociază intervale de timp (ore/an sau % din numărul total de ore într-un an sau alt interval de timp); *curba de asigurare*, care are în abscisă frecvența de apariție a vitezei sau durata ei (ore/an) și în ordonată pragul de viteză asigurat. Curbele de asigurare și de frecvență a vitezei vântului se pot aproxima prin modele statistice ce utilizează funcția Weibull, Fig 5.2.29.

Se estimează puterea cinetică unitară și puterea valorificată în punctul de instalare. Deoarece tehnologia de conversie folosită nu este cunoscută (nu a fost aleasă turbina eoliană) se consideră că aria baleată de rotorul turbinei este de 1 m^2 , iar energia asociată este denumită energie unitară. De asemenea, având în vedere că estimările sunt anuale se consideră un total de 8760 ore de funcționare pe an. În estimările care se fac, folosim viteza minimă a vântului la care turbina eoliană începe valorificarea energiei, V_{min} , viteza de instalare (care este viteza vântului la care se dimensionează turbina) V_i și viteza maximă a vântului până la care are loc valorificarea, V_{max} . Estimarea acestor viteze se face în funcție de curba de frecvență și de caracteristicile de putere ale turbinelor ce se vor instala în amplasament. Dacă nu se cunoaște turbina eoliană se va considera că $V_{min} \cong (0,5 \div 0,6)V_m$, $V_i \cong (1,5 \div 2)V_m$ și $V_{max} \cong (2,5 \div 3)V_m$, [5.2.8]. Puterea cinetică unitară în punctul de instalare (teoretică) se calculează pentru viteza de instalare V_i folosind formula de

definiție $P_{cui} = \rho_{aer} \frac{V_i^3}{2} \text{ W/m}^2$, unde ρ_{aer} este densitatea aerului. Pentru a determina puterea unitară

valorificată în punctul de instalare, P_{ui} se consideră drept coeficient de putere, C_p , limita lui Betz, $C_p = 0.59$,

deoarece nu este cunoscut tipul de turbină folosită în instalație. Astfel se obține, $P_{ui} = C_p \cdot P_{cui} \text{ W/m}^2$. Pentru determinarea energiei cinetice unitare anuale se însumează energiile cinetice unitare corespunzătoare fiecărei frecvențe a vântului, respectiv $E_{ca} = \sum_0^{8760} \rho_{aer} \frac{V^3}{2} \cdot \Delta t \text{ Wh/an}$. Energia cinetică anuală este o energie teoretică dată de vânt, pe care dorim să o valorificăm. Energia unitară valorificată într-un an este suma energiilor unitare valorificate pentru domeniul încărcărilor la nivelul puterii de instalare și a celei pentru domeniul încărcărilor parțiale.

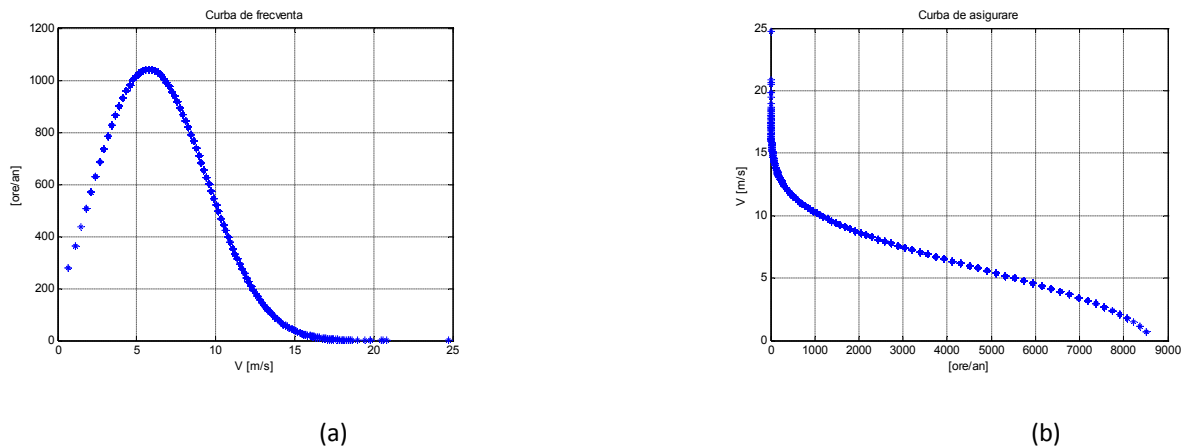


Fig. 5.2.28. Curba de frecvență (a) și (b) Curba de asigurare pentru vitezele vântului în cota de instalare a axului turbinei

Potențialul eolian teoretic estimat, al României, este de 14000 MW (putere estimată) și poate furniza o cantitate de energie de aproximativ 23000 GWh/an.

Măsurătorile meteorologice ale vântului, efectuate conform standardelor la 10 m deasupra solului au arătat că pentru majoritatea zonelor țării, exceptând zona Dobrogea și platforma continentală a Mării Negre, frecvența de apariție a vântului pe intervale de viteză este maximă în jurul vitezei de 5 m/s. Această valoare este insuficientă pentru turbinele eoliene actuale de puteri mari care sunt concepute să lucreze eficient la viteze ale vântului de 10 m/s. De aceea s-au refăcut hărțile de potențial eolian cu măsurători ale vântului la înălțimea rotorului turbinelor eoliene. A fost elaborată harta eoliană a României cu viteze medii calculate la 50 m deasupra solului.

Turbinele eoliene sunt mașini motoare care transformă energia cinetică a vântului în energie mecanică, ca urmare a interacțiunii dintre vânt și paletajul rotoric. La arborele turbinei apare un moment, M [Nm] și o viteză de rotație, n [rot/s], care aplicate la arborele unui generator electric generează o energie electrică. Ansamblul de turbină eoliană și generator electric este cunoscut ca *agregat eolian* sau *aerogenerator*¹.

La trecerea fluxului de aer prin rotorul unei turbine eoliene doar o parte din energia cinetică este cedată rotorului, restul de energie se consumă pentru ca aerul să părăsească zona de interacțiune flux de aer – rotor. De aceea puterea pe care o turbină eoliană o extrage dintr-o masă de aer m este mai mică decât

puterea dezvoltată de aceeași masă de aer, la aceeași viteză de deplasare, pentru aceeași arie de curgere. Cu alte cuvinte, rotoarele turbinelor eoliene reduc viteza vântului de la viteza inițială V_1 (m/s), în amonte de rotor, la viteza V_2 (m/s), în aval de rotor, Fig 5.2.29.

Conform Comisiei Internaționale de Electrotehnică, IEC 61400-1/2005, [1] (IEC-International Electrotechnical Commission) turbinele eoliene se clasifică în patru clase, Tabel 5.2.5.

Toți producătorii de turbine eoliene au trecut în catalog clasa turbinei. De exemplu o turbină eoliană de clasă IIB este proiectată și garantată pentru o viteză de referință $V_{ref} = 42,5$ m/s la o intensitate a turbulenței $I_{ref} = 14\%$. Clasa S a turbinelor eoliene este destinată turbinelor eoliene care funcționează în condiții speciale. De exemplu, turbinele eoliene offshore care funcționează în condiții externe particulare față de caracteristicile menționate în Tabelul 5.2.5.

Turbinele eoliene sunt proiectate în conformitate cu specificațiile standardului IEC 61400-1: 2005 și sunt capabile să reziste condițiilor climatice pentru care viteza extremă medie a vântului pe un interval de 10 minute cu o perioadă de recurență de 50 de ani, la înălțimea axului nacelei este mai mică sau egală cu viteza de referință, V_{ref} .

Din cele prezentate rezultă că pentru proiectantul unei centrale eoliene este important nu doar potențialul eolian al amplasamentului. În egală măsură sunt importante și utile informațiile referitoare la intensitatea turbulenței și a valorilor extreme de vânt.

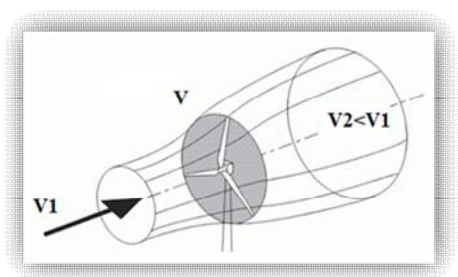


Fig. 5.2.29. Modelul fizic pentru curgerea vântului printr-o turbină eoliană

Tabelul 5.2.5

Parametrii de bază pentru clasele de turbine eoliene

Clasa de încadrare a turbinei eoliene		I	II	III	S
V_{ref} (m/s)		50	42,5	37,5	Valori ce trebuie specificate de către proiectant
A	I_{ref} (-)	0,16	0,16	0,16	
B	I_{ref} (-)	0,14	0,14	0,14	
C	I_{ref} (-)	0,12	0,12	0,12	

Orice producător de turbine eoliene va garanta funcționarea acesteia și performanța ei printr-o caracteristică de putere, Fig.5.2.30, dată ca dependența puterii turbinei eoliene la diferite viteze ale vântului. Caracteristica de putere nu arată numai domeniul de viteze ale vântului pentru care turbina va funcționa la o putere nominală (care este maximă), dar și vitezele caracteristice turbinei eoliene:

- viteza de pornire, care este o viteză minimă, V_{min} , la care începe funcționarea turbinei;

- viteza de oprire, care este o viteză maximă, V_{max} , la care turbina se oprește pentru a nu pune în pericol integritatea ei structurală;
- viteza nominală, V_n , la care turbina începe să funcționeze la puterea nominală.

Caracteristica de putere are delimitate, de către vitezele mai sus amintite, trei domenii de funcționare. Domeniul I este domeniul vitezelor mici ale vântului la care turbina începe să funcționeze și pe măsură ce vitezele cresc față de V_{min} sunt create condițiile pentru a crea cuplul necesar rotirii rotorului turbinei eoliene. Domeniul al II-lea este domeniul intermediar de viteze ale vântului în timpul cărora coeficientul de putere C_p , specific funcționării turbinei eoliene, crește și devine maxim, astfel încât până când vântul ajunge la viteza nominală conversia energiei vântului în energie electrică să se facă cu randament cât mai bun, Fig. 5.2.31.

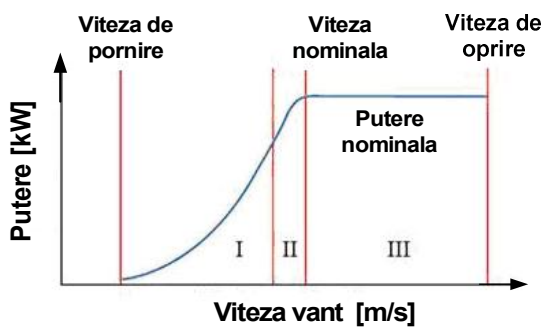


Fig. 5.2.30. Caracteristica de putere ideală a unei turbine eoliene

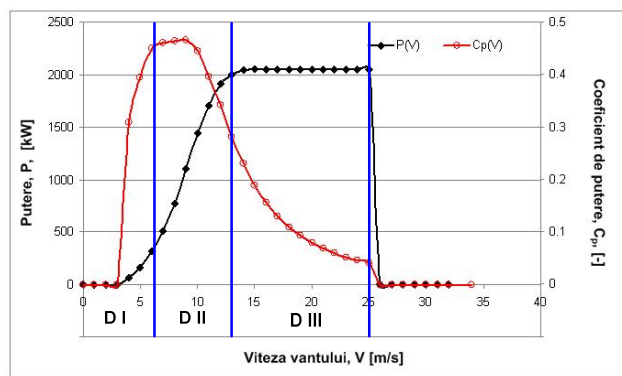


Fig. 5.2.31. Caracteristica de putere și caracteristica coeficientului de putere pentru turbina

Caracteristica de putere nu arată numai domeniul de viteze ale vântului pentru care turbina va funcționa la o putere nominală (care este maximă), dar și vitezele caracteristice turbinei eoliene:

- viteza de pornire, care este o viteză minimă, V_{min} , la care începe funcționarea turbinei;
- viteza de oprire, care este o viteză maximă, V_{max} , la care turbina se oprește pentru a nu pune în pericol integritatea ei structurală;
- viteza nominală, V_n , la care turbina începe să funcționeze la puterea nominală.

Caracteristica de putere are delimitate, de către vitezele mai sus amintite, trei domenii de funcționare. Domeniul I este domeniul vitezelor mici ale vântului la care turbina începe să funcționeze și pe măsură ce vitezele cresc față de V_{min} sunt create condițiile pentru a crea cuplul necesar rotirii rotorului turbinei eoliene. Domeniul al II-lea este domeniul intermediar de viteze ale vântului în timpul cărora coeficientul de putere C_p , specific funcționării turbinei eoliene, crește și devine maxim, astfel încât până când vântul ajunge la viteza nominală conversia energiei vântului în energie electrică să se facă cu randament cât mai bun. Domeniul al III-lea este domeniul în care turbina eoliană funcționează la putere nominală. În exploatare se dorește ca turbina eoliană să funcționeze cât mai mult timp în acest domeniu.

Coeficientul de putere, amintit mai sus, reprezintă raportul dintre puterea obținută de turbina eoliană, prin conversia energiei cinetice a vântului în energie electrică, și puterea teoretică a vântului.

Alegerea turbinei eoliene pentru un amplasament dat are în vedere și mărimile aerologice complementare vitezei vântului. Astfel presiunea atmosferică și temperatura atmosferică determină densitatea aerului, această mărime intervenind în calculul puterii și energiei vântului. Pentru un interval de temperaturi de -10°C până la $+20^{\circ}\text{C}$ și de umiditate relativă ce variază între 0,6 până la 1 se poate aproxima densitatea aerului cu relația, $\rho = p / RT$ (kg/m^3), unde p este presiunea atmosferică (Pa), T este temperatura atmosferică ($^{\circ}\text{K}$) și R constanta gazului, cu $R=287$ ($\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{K}}$) pentru aer.

În prezent, pentru analiza unui potențial eolian și dimensionarea unei centrale eoliene se folosește aplicația **WASP** (Wind Atlas Analysis and Application Program) dezvoltată de Departamentul de Energie Eoliană al Universității Tehnice din Danemarca. WASP face o prognoză climatologică, estimează potențialul eolian dintr-un amplasament, estimează producția de energie eoliană generată de turbinele eoliene și de centralele eoliene. Prognozele se bazează pe datele meteorologice măsurate în amplasamentul viitoarelor turbine eoliene. WASP are în componența lui un model de curgere al vântului peste un domeniu cu rugozități diferite, cu obstacole sau cu vârtejuri.

Performanțele unei turbine eoliene sunt descrise de variația coeficientului de putere C_p și a coeficientului de moment C_m în funcție de rapiditatea turbinei, respectiv caracteristicile $C_p = C_p(\lambda)$ și $C_m = C_m(\lambda)$. *Rapiditatea turbinei* este un parametru adimensional și se definește ca raportul dintre viteza liniară la vârful palei, V [m/s], și viteza vântului, V_{∞} , $\lambda = \frac{V}{V_{\infty}} = \frac{\omega R}{V_{\infty}}$ unde R [m] este raza rotorului și ω [rad/s] - viteza de rotație. Asimilând viteza vântului cu viteza vântului la intrarea în rotor V_1 , conform figurii 5.2.29, și având în vedere relația dintre putere și moment, $P = \omega \cdot M$, rezultă relația dintre coeficienții de putere și moment, $C_p = \lambda \cdot C_m$. *Soliditatea*, un alt parametru adimensional de care depind caracteristicile turbinei eoliene, este raportul dintre aria palelor, A_p , și aria baleiată de pale, A , la o rotație a rotorului, figura 5.2.32. Notat cu σ , soliditatea se exprimă prin $\sigma = \frac{A_p}{A}$. În literatura de specialitate sunt cunoscute relațiile între rapiditate și soliditate, respectiv între rapiditate și coeficientul de putere, C_p , pentru diferite tipuri de turbine eoliene, figurile 5.2.33 și 5.2.34. Astfel cu cât turbinele sunt mai rapide ($\lambda > 4$) cu atât soliditatea scade, adică suprafața portantă a paletelor se reduce

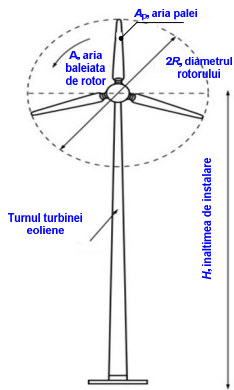


Fig. 5.2.32. Soliditatea unui rotor de turbină eoliană cu ax orizontal

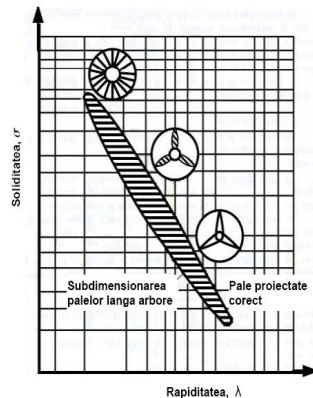


Fig. 5.2.33. Influența rapidității asupra solidității unui rotor de turbină eoliană cu ax orizontal

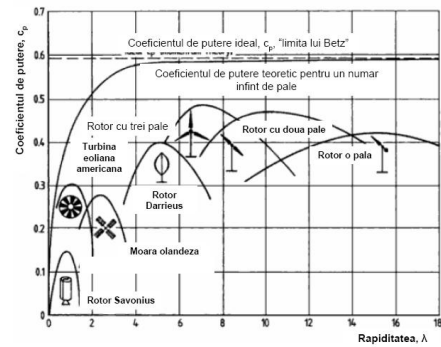


Fig. 5.2.34. Influența rapidității asupra coeficientului de putere, C_p , pentru diferite tipuri de turbine

Există mai multe tipuri constructive de turbine eoliene care s-au dezvoltat și au devenit competitive pe piața de energie.

Cele mai utilizate criterii de clasificare a turbinelor eoliene sunt: după poziția axului turbinei față de direcția curentului de aer care străbate rotorul; după principiul de funcționare; după rapiditate; după poziția turbinei față de stâlpul de susținere (valabil pentru turbinele cu ax orizontal); după mărimea puterii; după numărul de pale; după destinație.

În funcție de poziția axului rotorului turbinele eoliene sunt cu ax vertical, la care axa turbinei este perpendiculară pe direcția vântului, și cu ax orizontal, la care axa de rotație a turbinei este paralelă cu direcția vântului, Fig 5.2.35. Turbinele eoliene cu ax orizontal au randamente mai mari și s-au impus în aplicațiile moderne de valorificare a potențialului eolian, chiar dacă au turații mai ridicate decât celelalte tipuri și necesită prezența unui multiplicator între turbină și generator. Greutatea specifică este mică față de cea a turbinelor cu ax vertical și au o complexitate constructivă mai mare, ceea ce impune și costuri specifice ridicate. De obicei, la acest tip de turbine, rotorul trebuie orientat pe direcția vântului cu ajutorul unor sisteme mecanice suplimentare. Generatorul și celelalte subansambluri sunt conținute într-o nacelă poziționată la cota axului turbinei, ceea ce face ca intervențiile să fie dificile. Turbinele eoliene cu ax vertical sunt mai robuste, au o construcție mai simplă și sunt mai fiabile decât turbinele cu ax orizontal. Generatorul și partea electrică sunt la sol sau pe o platformă în apropierea turbinei, drept pentru care reparația și întreținerea acestui tip de turbină este mult mai ușoară. Sunt caracterizate prin viteze de demaraj mai scăzute. Randamentele și turațiile sunt însă mai mici, iar puterile sunt limitate.

După principiul de funcționare, sau după modul de interacțiune dintre paletajul turbinei și curentul de aer, turbinele eoliene pot fi cu rezistență și cu portanță. *Turbinele eoliene cu rezistență* funcționează pe baza forței de rezistență aerodinamică, caz în care cuplul motor este produsul acestei forțe cu viteza relativă. Forța de rezistență aerodinamică are direcția și sensul vitezei relative; de aceea palele acestor mașini au

forme de placă și cupă care produc rezistențe aerodinamice mari. Rapiditatea turbinelor cu rezistență este subunitară, $\lambda < 1$. Aceste turbine au turații mici, coeficienți de putere, respectiv randamente, mici și coeficient de moment mare. De aceea sunt utilizate în acționarea pompelor sau a morilor de măcinat. Cel mai cunoscut tip de turbină cu rezistență este turbina cu palete cilindrice de tip Savonius, $\lambda = 0,9 \div 1$. Turbinele eoliene cu portanță au cuplul motor produs de forța de portanță aerodinamică. Astfel, palele acestor turbine au un profil aerodinamic capabil să dezvolte o forță portantă mare și o forță de rezistență la înaintare minimă. Turbinele eoliene cu portanță sunt rapide ($\lambda \geq 1$), au coeficienți de putere mai mari ($C_p \geq 0,3$) și extrag mai multă energie din curentul de aer pentru aceeași arie baleiată, decât o turbină eoliană cu rezistență. Varianta comercială a turbinelor eoliene cu portanță este *turbina tip elice*. Rotorul acestor turbine este format din una sau mai multe pale identice, dispuse radial și montate solidar într-un butuc central calat pe un arbore sprijinit în lagăre. Turbinele eoliene tip elice sunt turbine rapide ($\lambda \geq 5$), cu ax orizontal. Din categoria turbinelor cu portanță fac parte și turbinele cu ax vertical de tip Darrieus, Giromill și turbinele multipale (tip roata fermierului și tip roată de bicicletă).

În funcție de rapiditate turbinele eoliene pot fi *lente* ($\lambda < 5$) și *rapide* ($\lambda \geq 5$).



a)



b)

Fig. 5.2.35. Clasificarea turbinelor după poziția axului turbinei:

a) Turbină eoliana cu ax vertical (Darrieus), Eole (4 MW, Hydro-Quebec, 1987)

b) Turbină eoliana cu ax orizontal, HWP-55 (1MW, Howden, UK, 1989)

Turbinele eoliene sunt realizate într-o gamă foarte mare de puteri. Astfel, **după putere**, turbinele eoliene se împart în: *turbine de puteri foarte mici* ($P < 1$ kW), *turbine mici* ($1\text{kW} < P \leq 25$ kW), *turbine de puteri medii* (25 kW $< P \leq 100$ kW), *turbine de puteri mari* (100 kW $< P \leq 300$) kW, *turbine de puteri foarte mari* $P > 300$ kW, ajungându-se până la turbine gigant cu $P > 1$ MW. Cu un rotor de 127 m și o putere dimensionată la 6MW, E126 era considerată cea mai mare turbină eoliană montată pe uscat (onshore).

În ultimii ani sistemele mecanice specifice turbinelor eoliene cu ax orizontal au evoluat, în prezent fiind distincte două sisteme de funcționare:

- sistem la care transmisia mișcării de la turbina propriu-zisă la arborele generatorului electric se face prin cutie de viteză;
- sistem mecanic fără cutie de viteză, cu acționare directă, Fig. 5.2.36.

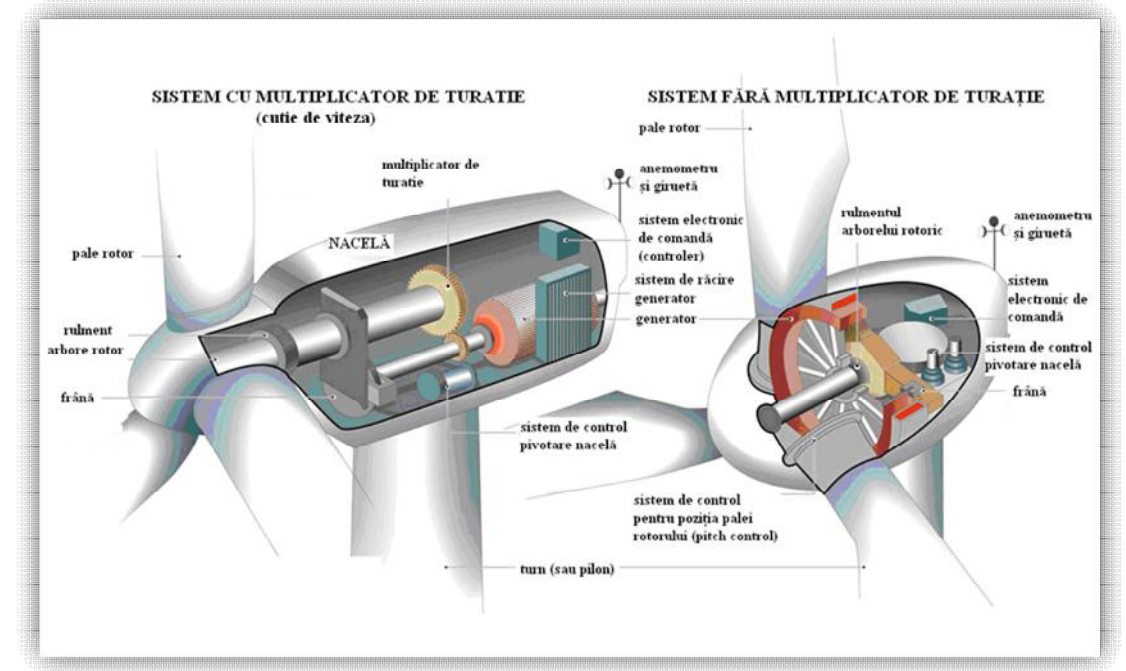


Fig. 5.2.36. Sisteme de acționare turbină eoliană propriu-zisă și generator electric.

Turbina eoliană cu ax orizontal (Fig. 5.2.37) este alcătuită din rotor (1), nacelă (2), turn sau pilon (3) și fundație (4).



Fig. 5.2.37. Structura turbinei eoliene cu ax orizontal

Fundația este un subansamblu constructiv de bază pe care se face montajul întregii turbine eoliene. Fundația este o structură de beton armat adaptată condițiilor geomorfologice ale terenului din zona de montaj.

Turnul sau pilonul susține turbina eoliană dar este și o cale de acces a personalului de exploatare și întreținere la elementele electro-mecanice și de control din nacela turbinei. Turnul este alcătuit din

tronsoane în funcție de înălțimea turbinei. În interiorul turnului sunt mijloace de acces către nacelă (scări și/sau ascensor) și cablurile de distribuție a energiei electrice produse de turbina eoliană.

Nacela este montată în vârful turnului și are asamblat în interiorul ei toate elementele mecanice, electrice și de control din componența turbinei eoliene. La locul de montaj, nacela este livrată cu toate aceste echipamente montate.

Rotorul turbinei eoliene este partea aerodinamică care transformă energia cinetică a vântului în energie mecanică ca urmare a interacțiunii vântului cu palele rotorice. Rotorul este alcătuit din pale și butuc. Varianta comercială a turbinei eoliene cu ax orizontal are trei pale, cu posibilitatea de variație a unghiului de așezare a palei rotorice astfel încât funcționarea turbinei să fie optimă la variația intensității vântului.

În funcție de sistemul constructiv, în interiorul nacelui sunt montate arborele principal, multiplicatorul de turație, sistemul de frânare, arborele de turație ridicată, generatorul electric, sistemul de răcire al generatorului electric, sistemul de pivotare și echipamentele electronice de comandă și control.

C. Biomasa

Biomasa. Definiție și importanță

Biomasa reprezintă componentul vegetal al naturii. Ca formă de păstrare a energiei Soarelui în formă chimică, biomasa este principala resursă de pe Pământ. Legea din 2000 a "Cercetării și dezvoltării biomasei", definește biomasa (ca sursă energetică regenerabilă), ca fiind "Orice substanță organică, disponibilă periodic sau reînnoibilă, care include recolte agricole, copaci, lemn și deșeuri de lemn, plante (inclusiv plante acvatice), ierburi, fibre și reziduuri animale, reziduuri municipale și alte materiale reziduale." Prin extensie biomasei i se pot asocia deșeurile animale, deșeuri industriale pe bază de celuloză și cu anumite restricții, turba.

Conform cu Directiva SER-electricitate, "biomasa" reprezintă fracția biodegradabilă a produselor, deșeuri și reziduuri din agricultură (inclusiv substanțele animale și vegetale), industria forestieră și prelucrarea lemnului, precum și fracțiile biodegradabile ale deșeurilor industriale și municipale.

Chiar dacă numai un procent foarte mic din energia solară care ajunge pe Pământ este fixată de materia organică, aceasta echivalează cu o cantitate de opt ori mai mare decât consumul total curent de energie primară. Numai un procent foarte mic din această energie este acumulat în combustibili fosili (turba, hidrocarburi). După hidroenergie, biomasa este a doua sursă de energie regenerabilă în lume. Unele companii de utilități și de producere de energie, cu centrale pe bază de cărbune, au constatat că înlocuirea unei părți de cărbune cu biomasă reprezintă o opțiune ieftină pentru reducerea emisiilor nedorite. Până la 25% din cantitatea de cărbune poate fi înlocuită cu biomasă.

Potențialul și valorificarea biomasei. Situația la nivel internațional și național

Potrivit O.N.U., consumul de energie provenită din biomasă a fost în anul 1990 de aproape 6,7 % din totalul consumului global. Pentru anul 2000, datele obținute de Agenția Internațională pentru Energie (A.I.E.), dintr-un sondaj realizat în 133 de țări, indică faptul că energia obținută din biomasă reprezintă 10,5 % din totalul consumului de energie.

În consumul curent de biomasă în România, biomasa este folosită pentru:

- cazane industriale de abur sau apă fierbinte pentru încălzire industrială, cu combustibil pe bază de lemn,
- cazane de apă caldă, cu o putere instalată între 0,7 MW și 7,0 MW pentru încălzire urbană (cu combustibil pe bază de lemn),
- sobe, cuptoare și altele cu lemne și/sau deșeuri agricole, pentru încălzirea locuințelor individuale și prepararea hranei.

În Europa ponderea majoritară a biomasei în producerea de energie se regăsește în: Suedia 17,9%, Finlanda 20,4%, în timp ce Franța are 4,5%, Germania 2,5%, Italia 4,9%, iar în România 7,9%.

Cu privire la aportul, pe tipuri de biomasă, pentru acoperirea consumului de energie se poate constata că ponderea cea mai mare o are biomasa vegetală (în proporție de 59% în Germania, 78 – 80% în SUA, respectiv Franța) iar cea mai mica biogazul, în proporție de 2 – 6% [5.1].

Prețul ridicat al petrolului face ca țările puternic industrializate să fie din nou interesate de „lemnul de foc”. De exemplu, aproape jumătate din casele din statul Vermont – SUA sunt încălzite cu lemn [5.2].

Clasificarea biomasei

Surse și tipuri de biomasă

Cercetătorii caracterizează în diferite moduri numeroasele tipuri de biomasă, dar cei mai mulți sunt de acord cu împărțirea acestora în patru mari categorii:

- biomasa lemnoasă
- biomasa agricolă
- biomasa special cultivată pentru scopuri energetice
- alte tipuri de biomasa - deseuri din industria zootehnică (dejectii animale) - deseuri combustibile nepericuloase (urbane, industriale)

Biomasa lemnoasă este una din tipurile cele mai utilizate ale biomasei ea fiind împartita in patru mari categorii:

- reziduurile lemnoase
- deseurile forestiere
- deseuri lemnoase urbane
- biomasa rezultata din curatarea copacilor.

Biomasa agricolă este cantitativ apreciabil mai multă decât biomasa lemnoasă. În cadrul acesteia, tipurile cele mai utilizate curent în scopuri energetice, sunt: paie; tulpini și știuleți de porumb; corzi de viță de vie; puzderii de in și cânepă; plantele agricole; floarea soarelui și soia; biomasa din fructe și semințe. Spre deosebire de biomasa lemnoasă, biomasa agricolă are un conținut de cenușă de circa 5%.

Biomasa special cultivată pentru scopuri energetice

În această categorie intră biomasa produsă prin cultivarea specială de plante, utilizate drept combustibil pentru generarea de energie electrică; astfel de plante se mai numesc "plante energetice". Au fost dezvoltate, în acest sens, mai multe specii de plante special pentru producerea de combustibil. Unele specii de plante energetice aparțin categoriei biomasei din plante și sunt selectate ca să crească rapid, să fie rezistente la secetă și la dăunători iar după recoltare să fie competitive pentru a fi folosite în calitate de combustibili.

Alte tipuri de biomasă

Reziduurile (primare, secundare, terțiare) reprezintă o altă categorie de biomasă. În dicționarul limbii române, deșeurile este definit: "Parte dintr-o materie primă sau dintr-un material ce rămâne în urma unui proces tehnologic de realizare a unui anumit produs sau semifabricat, neputând fi utilizat în cursul aceluiași proces tehnologic (deșeurile industriale), sau care rezultă din activități umane, casnice, menajere (deșeurile neindustriale). Rudologia - știința deșeurilor - a introdus în ultima perioadă noțiunea de deșeu ultim: deșeurile rezultate sau nu din tratarea unui deșeu, care în condițiile tehnice și economice prezente nu poate fi tratat în vederea recuperării părții valorizabile sau a reducerii caracterului său poluant.

Reziduurile primare sunt produse din plante sau din produse forestiere.

Reziduurile terțiare rezultă în urma utilizării biomasei. Aici sunt incluse diferite deșeurile, (care diferă din punct de vedere al fracției organice conținute) precum: deșeurile menajere.

Industria alimentară produce o mare cantitate de reziduuri și produse secundare care pot fi folosite ca sursă energetică.

Multe dintre *deșeurile animale* pot fi de asemenea folosite în calitate de sursă de energie, cum ar fi dejecțiile de la porcine, păsări și vite.

Apele uzate sunt și ele o sursă de energie similară cu cea provenită din deșeurile animale, fiind deja analizată și aplicată în multe țări de mult timp. Energia poate fi extrasă din apele uzate folosind digestia anaerobă pentru a produce biogazul.

Dupa natura lor *deșeurile pot fi grupate în patru categorii* :

- Deșeuri menajere și asimilate;
- Deșeuri inerte;
- Deșeuri speciale;
- Deșeuri ultime.

Singurele valorificabile energetic sunt deșeurile menajere și asimilate. Aceste deșeuri cuprind atât deșeurile de menaj cât și deșeurile industriale banale (DIB) provenite de la întreprinderi. Acestea din urmă nu sunt toxice și prezintă caracteristici de fermentare.

Potențialul de biomasă lemnoasă și agricolă al României

România dispune de un bogat fond forestier însumând cca. 6367 mii ha de pădure, reprezentând cca. 27% din suprafața teritoriului național.

În Europa, după procentul din suprafața fondului forestier, România ocupă locul al 8-lea, având în față țări ca: Slovenia – 54,9%, Germania – 31%, Polonia – 29,4%, Franța – 28%, Bielorusia – 38%, Bulgaria – 32,9%.

Cota de pădure pe locuitor. În general se consideră că, pentru asigurarea unui echilibru între nevoile economiei unei țări și resursele forestiere ale acesteia, cota de pădure trebuie să fie minimum 0,3 ha/locuitor. În Europa cota este de (Rusia – 3,01 ha). România se situează cu 0,28 ha/locuitor sub media europeană.

Compoziție și proprietăți

Compoziția fizico-chimică a biomasei

Biomasa este constituită în proporție de 88 – 99,9 % din compuși organici. Dintre aceștia principalul este celuloza. Compoziția tipică a speciilor de bioamasă este prezentată în tabelul 5.2.6.

Celuloza, $(C_6H_{10}O_5)_n$, este un homopolimer linear cu un grad ridicat de polimerizare (aproximativ 10000), formată de o catenă de glucoză, caracterizată de legături de tip β . Legăturile de hidrogen, care stau la baza substanței, conferă celulozei o înaltă rezistență mecanică și reduce insolubilitatea în majoritatea solvenților.

În *Figura 5.2.38*. este prezentată structura moleculară a celulozei.

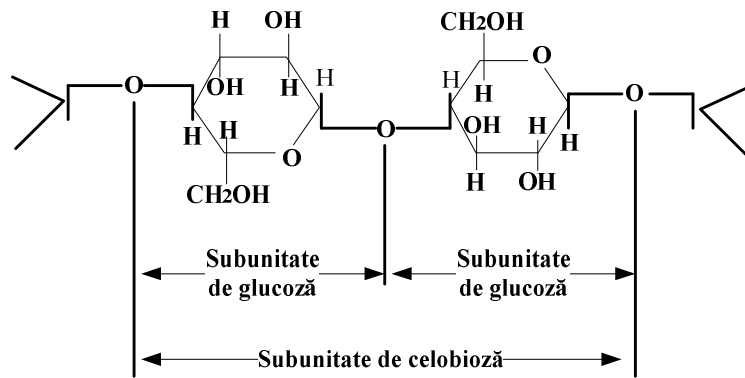


Fig. 5.2.38 Structura moleculara a celulozei

Semiceluloza este un eteropolimer cu un grad de polimerizare mai mic de 200, constituit din catene mici de zahăr, foarte ramificate. Iar celuloza este o componentă particulară.

Componentele anorganice reprezintă un procent modest din compoziția globală: între 0,1 % și 12 %. Ele pot fi întâlnite în cantități mari în biomasa de origine forestieră sau în biomasa de cultură: paie și cereale. După o combustie totală, partea anorganică a biomasei este transformată în cenușă. Dintre principalele componente, un rol important îl au alcalii K, Si și Mg, care influențează formarea cenușii, ce pot regăsiți în patul de combustie sub formă de aglomerații sau sub formă de emisie de particule volatile.

Tabelul 5.2.6

Analiza structurală a tipurilor de biomasă

BIOMASA	Celuloza	Semiceluloza	Lignina	Inert
Lemn	44.6	31.8	19	4.6
Paie de grâu	48.9	27.3	16.4	7.4
Sansa	44.8	18.5	28	8.7
Resturi de struguri	36.8	17.2	30.4	15.6
Resturi de orez	53.4	24.3	14.3	8

Principalele proprietăți luate în discuție atunci când se analizează cel mai potrivit tip de conversie pentru o anumită biomasă disponibilă, sunt:

- conținutul de umiditate
- puterea calorifică
- conținutul de substanțe volatile
- conținutul de cenușă
- conținutul de metale alcaline

Atunci când se au în vedere procedeele de conversie ale biomasei, sunt analizate toate cele cinci proprietăți ale biomasei, enumerate mai sus prin sa numita analiza primara.

Importanța altor proprietăți ale combustibililor (de exemplu conținutul diferitor elemente cum sunt azotul, sulful și clorul, alcalinele – K, Na – și a metalelor grele – Cd, Zn, Pb) depinde de condițiile specifice ale centralei în care acesta se folosește, de controlul emisiilor etc. Determinarea lor se face prin analiza elementară (spectroscopie de masă) și determinarea conținutului de metale grele (spectrofotometrie).

Masa specifică

Există două tipuri de “densități” relevante pentru biomasa:

Densitatea particulelor - reprezintă densitatea materialului relevantă pentru procesul de combustie (de exemplu densitatea de energie), unele probleme de alimentare (de exemplu pentru echipamentele pneumatice de transport și injectie în camera de combustie) și probleme legate de stocare. Densitatea particulelor poate fi variată numai prin producerea bio-combustibililor comprimați (pelete, brichete) și este folosită pentru a descrie calitatea acestor produse.

Densitatea volumică - este definită ca raportul materialului uscat la volum și este relevantă pentru volumul necesar pentru transport și stocare. Ea este de asemenea importantă pentru comerț și pentru livrare. Densitatea volumică poate varia foarte mult. De aceea umiditatea totală trebuie specificată atunci când combustibilul este cântărit. Biomasa este un produs omogen în ceea ce privește unele proprietăți în comparație cu cărbunele sau petrolul.

Umiditatea

Cea mai importantă proprietate a biomasei din punct de vedere al procesului de combustie și al proceselor de conversie termo-chimică este conținutul de umiditate, care influențează conținutul de energie (puterea calorifică) a combustibilului. Conținutul de umiditate al biomasei este dat de cantitatea de apă din produs, exprimată în procente masice. La momentul actual sunt folosite două metode (*uscată și umedă*) pentru a exprima *umiditatea totală*. Întotdeauna trebuie specificată metoda de măsurare a conținutului de umiditate.

Pentru majoritatea combustibililor umiditatea este măsurată „uscat”. Aceasta datorită faptului că diferite tipuri de biomasă au diferite conținuturi de umidități, deoarece umiditatea lemnului depinde de locul, de tipul și de durata de stocare și de preparare a combustibilului. Ea variază de la mai puțin de 10 % (produsele secundare din industria de prelucrare a lemnului) până la 50 % (reziduuri forestiere). Conținutul de umiditate este relevant nu numai pentru puterea calorifică dar și pentru condițiile de stocare, temperatura de combustie și pentru cantitatea de gaze de ardere.

Umiditatea relativă este reprezentată de conținutul de apă care se poate îndepărta prin evaporarea în aer liber la temperatura de 16-20 °C și cu o umiditate relativă a aerului de circa 50 %. Umiditatea higroscopică sau absolută, reprezintă conținutul de apă din deșeuri care nu poate fi îndepărtată decât prin uscarea în etuva de laborator la temperatura de 105 °C timp de 24 ore. Umiditatea totală a deșeurilor menajere variază între 25 – 60 %, fiind mai mare vara datorită procentului mare de vegetale. Umiditatea deșeurilor menajere românești este între 49 – 52 % față de 25 – 30 % cât se înregistrează în țările UE.

Compoziție elementară

Biomasa uscată are o compoziție chimică elementară, simplă. Se caracterizează printr-o concentrație neglijabilă de sulf, clor, fluor și brom. În Tabelele 5.2.7 și 5.2.8 se prezintă compoziția elementară pentru diferite tipuri de biomasă precum și pentru fracțiile componente ale deșeurilor menajere.

Tabelul 5.2.7

Analiza chimică a diferitelor tipuri de biomasă

BIOMASA	C	H	O	N	Cenușă
Lemn	46.4	5.9	47.6	0.08	0.45
Paie de grâu	43.6	6.2	49.9	0.3	5.5
Sansa	50.9	6.3	41.4	1.37	2.8
Resturi de struguri	47.9	6.2	43.8	2.11	5.1
Resturi orez	40.3	5.7	53.7	0.3	15.3

Se observă ponderea mai mare a cenușii în cazul biomasei agricole în special datorită fracției mai mari de lignină în structura acestor produse.

Tabelul 5.2.8

Compoziția elementară a deșeurilor menajere

Component	C	H	O	N	Cl	S	Umiditate	Cenușă	H _i
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	KJ/kg
Carton	36,79	5,08	35,41	0,11	0,12	0,23	20	2,26	26 000
Hârtie	32,93	4,64	32,85	0,11	0,13	0,21	16	13,13	22 850
Plastic	56,43	7,79	8,05	0,85	3	0,29	15	8,59	48 400
Cauciuc	43,09	5,37	11,57	1,34	4,97	1,17	10	22,49	32 250
Lemn	41,20	5,03	34,55	0,24	0,09	0,07	16	2,82	29 000
Textile	37,23	5,02	27,11	3,11	0,27	0,28	25	1,98	27 600
Deșeuri de grădină	23,29	2,93	17,54	0,89	0,13	0,15	45	10,07	16 750

Elemente fine	15,03	1,91	12,15	0,5	0,36	0,11	25	44,9	10 850
---------------	-------	------	-------	-----	------	------	----	------	--------

Continutul specific de energie (Puterea calorifică)

Puterea calorifică inferioară a biomasei și deșeurilor se poate determina printr-o serie de modalități experimentale sau prin calcul pe baza datelor din literatura de specialitate (excepție făcând tipurile noi de biomasă utilizate și unele deșeuri pentru care nu există date).

a) Determinarea directă a puterii calorifice

Prin calcul pe baza compoziției elementare

Pe baza compoziției elementare determinate experimental sau din literatură și utilizând diverse formule semi-empirice se pot determina atât puterea calorifică inferioară cât și cea superioară:

$$H_i = 2,336 \times [145 \times C + 610 \times (H_2 - \frac{1}{8} \times O_2) + 40 \times S + 10 \times N] \text{ [kJ/kg]} \quad (5.2-11)$$

unde :

C, H, O, S și N – reprezintă procentul gravimetric al acestor elemente chimice în compoziția produsului.

Puterea calorifică a biomasei lemnoase și agricole variază între 11000 kJ/kg și 17000 kJ/kg. Deșeurile menajere din România au o putere calorifică inferioară cuprinsă între 2500 – 9000 kJ/kg funcție de mediul urban sau rural precum și funcție de zonele urbane de colectare.

Prin măsurare directă cu ajutorul calorimetrului

Metoda se poate aplica produșilor omogeni ca structură și compoziție. Procedeu constă în arderea în bomba calorimetrică a unui eșantion reprezentativ de produs, prin care se obține puterea calorifică superioară (H_s). Puterea calorifică inferioară (H_i) se obține printr-un coeficient de corecție, calculat conform relației:

$$H_i = (H_s - 5,83 \times W) \times 4,18 \quad \text{[kJ/kg]}, \quad (5.2-12)$$

unde : H_i - puterea calorifică inferioară;

H_s - puterea calorifică superioară;

W - procentul de apă în greutatea materialului prelevat pentru probă.

Procentul de apă în greutatea materialului prelevat pentru probă se determină astfel:

$$W = W_t + 9 \times H \quad \text{[%]} \quad (5.2-13)$$

unde:

W_t - umiditatea totală (procentul masic al apei din combustibil) ;

H - procentul masic în hidrogen al combustibilului.

b) Metoda indirectă de determinare a puterii calorifice

Astfel de determinări se realizează în instalațiile de incinerare, pe baza căldurii recuperate și a pierderilor în instalație. Gradul de precizie este redus.

Formula de calcul este următoarea:

$$H_i = \frac{Q_r - Q_p}{G} \quad [\text{kJ/kg}] \quad (5.2-14)$$

unde : H_i - puterea calorifică inferioară, în kJ/kg ;

Q_r - cantitatea de căldură recuperată, în kJ ;

Q_p - cantitatea de căldură pierdută în proces, în kJ și cuprinde:

- căldura pierdută prin gazele de ardere evacuate la coș ;
- căldura pierdută în zgură și cenușă ;
- căldura pierdută prin pereții instalației.
- G - greutatea biomasei arse pe perioada efectuării măsurătorilor, în kg.

Această metodă are avantajul de a se aplica pe instalațiile existente și de a fi foarte aproape de condițiile de exploatare industrială. În schimb are dezavantajul de a necesita măsurători complexe [5.3].

Analiza primară (conținut volatile, carbon fix, inerte)

Analiza primară a unui combustibil solid, în special de tip biomasă, furnizează primele informații privind structura fizico-chimică a acestuia, puterea calorifică inferioară aproximativă și capacitatea de a fi valorificat energetic prin diferite procese adaptate particularităților sale.

Prin această analiză se determină conținutul (în fracții masice) de: apă, volatile, carbon fix și inerte.

Analiza este compusă din 4 secvențe experimentale corespunzătoare fracțiilor de determinat.

a) Umiditatea

Conținutul de apă de imbibație se determină prin menținerea eșantionului la 102°C - 105°C timp de 24 ore.

b) Conținutul de substanțe volatile

Se determină prin încălzire la 800°C timp de 40 min a eșantionului în atmosferă inertă (azot). În general biomasa are un conținut mare de substanțe volatile (pînă la 80%) în timp ce cărbunele are un conținut mic (mai puțin de 20%).

c) Conținutul de cenușă

Componentul anorganic (cenușa) poate fi exprimat în același fel ca și conținutul de apă: raportat la masa inițială, la masa uscată sau la suma substanțelor combustibile. În general, conținutul de cenușă este raportat la masa uscată.

Cantitatea de cenușă reprezintă mai puțin de 1,5% în lemn, 5-10% în diferite reziduuri agricole și 30-40% în cojile cerealiere.

Cantitatea totală de cenușă conținută în biomasă se determină prin oxidarea completă a produsului la 950°C.

d) Conținutul de carbon fix

Se determină prin diferența între masa uscată a produsului, conținutul de inerte și fracția de anorganic. Reprezintă carbonul rămas din matricea solidă a biomasei.

Procedee bio/fizico-chimice de conversie a biomasei. Biocombustibili.

Biocombustibili

Biocombustibilii, ca titlatură, reunesc totalitatea combustibililor derivați din biomasă și produse asimilate.

Bioetanolul este cel mai răspândit combustibil din clasa bio-combustibililor lichizi. Bioetanolul poate fi folosit în locul combustibililor bazați pe uleiuri minerale, sau amestecat cu benzina. În cele mai multe cazuri bioetanolul este amestecat cu izobutilena pentru a obține niște parametri mai buni pentru combustibil (producere de Etil-tertio-butil-eter – sau ETBE). ETBE este preferat pentru a crește cifra octanică, înlocuind convenționalul MTBE (metil-tertio-butil-eter). ETBE este un bio-combustibil în comparație cu MTBE care este fabricat din derivații ale uleiurilor minerale.

Biodieselul este similar cu motorina din petrol. El de obicei este produs din rapiță, floarea soarelui sau soia, în funcție de zona geografică. Aceste semințe conțin 44-50 % ulei, 85-92 % putând fi extras, restul regăsindu-se în reziduuri. Uleiul esterificat din rapiță se numește Metil Ester din Rapiță iar cel din soia Metil Ester din Soia. „Biodieselul verde” (uleiul vegetal purificat) este mai ieftin decât Metil Esterul din Rapiță și pe baza lui se pot produce mai multe feluri de diesel.

Biogazul (și într-o măsură mai mică gazul de la gropile de gunoi – un gaz bogat în metan) este foarte similar cu gazul natural, dar are un conținut mai mic de CH₄ și de aceea și o putere calorifică mai mică. Într-adevăr componentele principale ale biogazului sunt CH₄ 50-65% și CO₂ 25-40%, dar el conține de asemenea și sulfuri, CO și H₂. Puterea calorifică a biogazului depinde de elementele non-combustibile (N, CO₂). PCI mediu pentru biogaz este între 20-24 MJ/m³.

Deși gazul de sinteză este produsul rezultat în urma procesării termo-chimice a unui combustibil solid sau lichid el face parte tot din categoria biocombustibililor și îl amintim în această secțiune a capitolului. Conținutul **gazului de sinteză** (produs al gazeificării) depinde de tehnologia de gazeificare, compoziția

biomasei și de temperatura de proces. Gazul de sinteză de obicei conține CO, CO₂, azot (N₂), CH₄ și hidrogen (H₂). CO₂ și N₂ sunt componente dezavantajoase din punct de vedere al puterii calorifice deoarece ele nu ard. Puterea calorifică a gazului de sinteză depinde de compoziția lui. Puterea lui calorifică este de aproximativ 5-15 MJ/m³, mai mică decât cea a gazului natural.

Procese de fermentare

Fermentarea cu generare de etanol / metanol

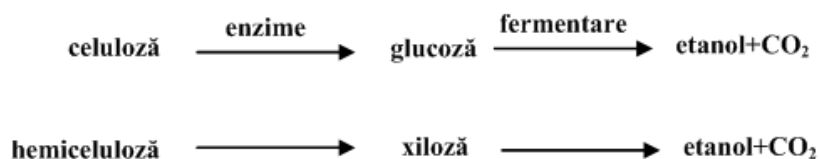
Fermentarea cu generarea de etanol reprezintă transformarea substanțelor vegetale care conțin o cantitate suficientă de polimeri de zahăr, cum sunt amidonul sau celuloza (porumbul, trestia de zahăr, sfecla de zahăr, porumbul energetic, etc.) sau a plantelor cu un conținut ridicat de celuloză. Pentru a extrage zahărul din polimerii de zahăr aceștia trebuie să treacă printr-un proces de hidroliză. Cu toate acestea, unele plante, cum sunt trestia de zahăr, sfecla de zahăr conțin zahăr sub formă de monomer, și atunci nu este nevoie de hidroliză.

Produsul fermentației, *etanolul* (de asemenea denumit etilglicol) este folosit drept combustibil sau combustibil secundar. În Europa principalele culturi pentru producerea bio-etanolului sunt culturile care conțin amidon (grâu) și sfecla de zahăr. Sfecla de zahăr se cultivă în majoritatea țărilor UE-25, și poate produce cu mult mai mult etanol la hectar decât grâu. Dezavantajul producerii de bio-etanol este acela că resursele primare sunt importante și pentru industria alimentară. Principalele etape de producere a bio-etanolului sunt următoarele:

- Măcinarea produselor agricole;
- Prelucrarea termică a amidonului sau a suspensiilor de zahăr;
- Fermentarea;
- Distilarea;
- Concentrarea alcoolului până la concentrație de până la 95%;
- Colectarea alcoolului de 95% prin dehidrare chimică sau prin filtrare cu membrane.

Bioetanolul este cel mai răspândit biocombustibil din ziua de azi. Peste 10 milioane m³ de etanol se adaugă în benzină, anual, în lume, pentru a îmbunătății performanțelor vehiculelor și a reduce poluarea aerului. În multe orașe se utilizează etanolul ca aditiv în benzină, pentru a putea respecta standardele de calitate a aerului. Vehiculele cu alimentare flexibilă, care pot folosi un amestec de benzină și etanol, denumit E85 (85% etanol și 15% benzină), se găsesc acum pe piața mondială, în număr de peste 4 milioane exemplare. Încă din anii 1980, în țările cu potențial mare de biomasă ca: Brazilia, Thailanda, India, Filipine, Suedia, Franța, Polonia și alte țări s-a manifestat o preocupare deosebită pentru cercetarea și industrializarea procedeelor privind fabricarea etanolului.

În reacțiile de mai jos este ilustrată transformarea prin hidroliză în glucoză a celulozei, urmată de fermentarea compușilor rezultați și transformarea acestora în etanol, și transformarea prin hidroliză în xiloză a hemicelulozei, urmată de fermentarea compușilor rezultați și transformarea acestora în etanol.



În Figura 5.2.39 sunt prezentate diferite filiere de producere a bioetanolului:

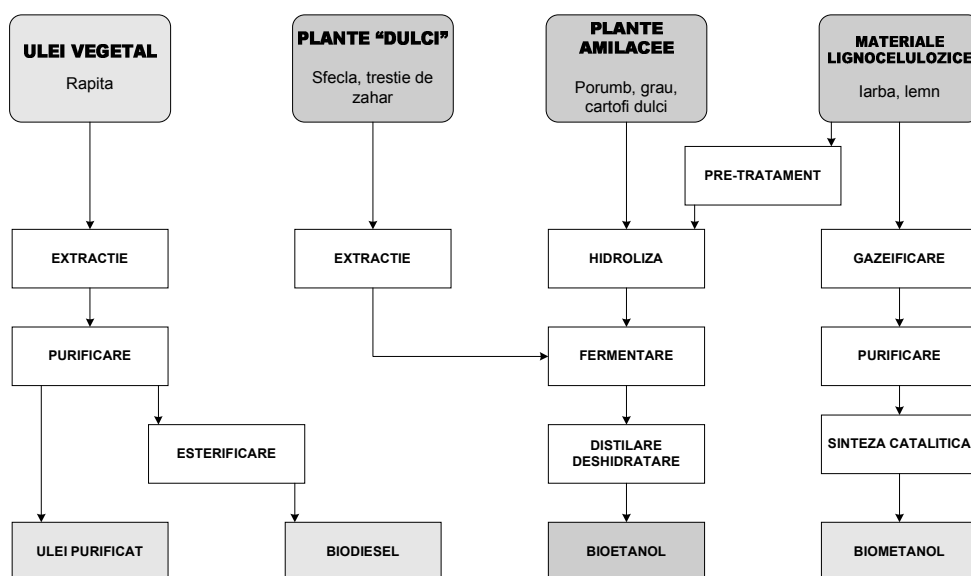


Fig. 5.2.39 Filiere de producere a bioetanolului

Utilizarea în motoare

Principalele direcții de valorificare a etanolului sunt următoarele:

- Materii prime în industria chimică și petrochimică în perspectivă și în etapa de tranziție (tehnologică).
- Carburanți de substituție sau adaos

Cercetările și aplicările industriale efectuate până în anul 2004 s-au făcut în următoarele variante:

- Adaos de etanol în benzină până la 20%;
- Etanol hidratat 94%;
- Etanol anhidru 99%;
- Adaos de ETBE (etilterțiar butileter obținut din etanol și izobutenă) în benzină;
- Adaos de etanol în motorină.

Adaosul de etanol anhidru în benzină neetilată este cunoscut comercial în SUA, Brazilia ș.a. sub denumirea de "gazohol". În anul 1980 peste 7 milioane de automobile circulau în Brazilia cu gazohol, iar în SUA în 1981 se utilizau peste 2 milioane m.c. etanol în același scop.

Adaosul de ETBE în benzină elimină de asemenea necesitatea etilării benzinei.

c) Utilizarea etanolului în industriile: alimentară, solvenți farmaceutici, medicamente, medicină

Emisii poluante

Utilizarea etanolului în amestec cu benzina permite reducerea emisiilor de CO, și de NO_x. Pentru un amestec ce conține 10 % etanol, s-a constatat o reducere cu 30% a procentului de CO. Problemele apar datorită faptului că utilizarea unui asemenea amestec crește foarte mult emisia de aldehide și cetone. Totuși acestea nu au un impact atât de ridicat asupra mediului.

La utilizarea unui amestec etanol-diesel, se observă de asemeni o reducere a emisiilor de CO, SO₂ și NO_x.

Pe lângă procedeele convenționale de producere, biometanolul poate fi obținut și prin gazificarea materiei lignocelulozice, urmată de o sinteză catalitică.

Metanolul. Proprietăți fizice

Biometanolul este o substanță ce se găsește în stare lichidă în condiții normale. Este incolor, și prezintă un ușor miros de alcool. Acesta este solubil în apă, dar nu și în uleiuri.

Utilizarea în motoare

Un amestec metanol - combustibil diesel, poate fi utilizat în motoarele diesel fără modificări notabile. Este totuși necesară utilizarea unui solvent pentru ca amestecul să fie stabil. De obicei se folosește C₄H₁₀O (între 1 și 2%) și C₁₈H₃₄O₂ (între 10 și 16%). În acest amestec se poate utiliza metanol în proporție de 9-18%.

Emisii poluante și probleme legate de utilizarea metanolului

Cantitatea de oxigen conținută de acest biocombustibil face ca emisiile poluante să scadă. Acestea sunt cam de același ordin de mărime ca și cele rezultate din valorificarea etanolului.

Amestecul metanol-diesel este de o calitate foarte slabă, și este necesară găsirea unui compus care să confere stabilitate amestecului. În plus, metanolul este coroziv față de plumb și aluminiu. În ceea ce privește efectele asupra corpului uman, înghițirea chiar și a unei mici cantități, poate cauza pierderea vederii și uneori chiar și decesul; ca efecte adverse se mai pot aminti durerile de cap, greața, durerile abdominale, etc. Inhalarea unei concentrații mari de metanol transportate de aer, poate irita mucoasa nazală, provoca dureri de cap, somnolență, confuzie, greață, pierderea cunoștinței, și uneori poate surveni chiar și decesul.

Procese de metanizare

Procesele de metanizare se pot desfășura controlat în reactoare sau natural în depozitele de deșuri.

Primele principii ale depozitării controlate au fost emise de doi ingineri din Anglia, I.C. DAWES și M. CALL, cu scopul eliminării tuturor inconvenientelor depozitării simple, fiind aplicată pentru prima dată în localitatea Bradford, după ce uzina de incinerare a deșeurilor din acest oraș a fost distrusă în timpul primului război mondial.

În funcție de tipul deșeurilor ce urmează a fi depozitate există 3 clasificări ale depozitelor:

- a) depozit de categoria III ; rezervat deșeurilor inerte. Substratul geologic al acestor depozite poate fi permeabil ;
- b) depozit de categoria II ; rezervat depozitării deșeurilor menajere cât și deșeurilor industriale banale. La acestea se adaugă deșuri din agricultură și subprodusele din cadrul filierei de incinerare a deșeurilor menajere, cum ar fi: zgura și nămolurile stațiilor de epurare urbane.
- c) depozit de categoria I ; rezervat depozitării deșeurilor speciale și a deșeurilor ultime stabilizate.
- d) În vederea preîntâmpinării poluării apelor subterane există în mai multe țări încercări de impermeabilizare a stratului de bază a rampei de depozitare controlată.

Factori ce afectează producția de biogaz

Compoziția deșeurilor. Cu cât proporția fracției organice este mai mare cu atât cantitatea de biogaz este mai ridicată.

Umiditatea. Este în general admis faptul că o creștere a conținutului de apă din deșeurile menajere conduce la o creștere a producției de biogaz obținute în urma procesului de fermentare anaerobă.

Timpul. Nivelul producției de biogaz variază în timp atât în ceea ce privește volumul cât și compoziția.

Temperatura. Temperatura intervine mai ales asupra vitezei de descompunere, influențând astfel activitatea bacteriană. Procesul de fermentare anaerobic necesită o temperatură minimală de 15°C pentru a se dezvolta.

pH-ul. Influența pH-ului asupra fermentației deșeurilor a fost bine studiată și conduce la următoarele concluzii:

- bacteriile de metanogeneză suportă bine un indice al pH-ului cuprins între 6 – 8 ;
- producția de metan este optimă la un indice al pH-ului apropiat de neutralitate.

Alți factori

- raportul carbon/azot optim este în jur de 30 (C/N = 30) ;

- oxigenul: acest element inhibitor procesului de metanogeneză poate interveni deasemenea în cursul procesului, atunci când are loc o pompare a biogazului, concomitent având loc și o pătrundere de aer în masa de deșeu ;
- poluanții chimici: metale grele, săruri și eventualele resturi de antibiotice prezente în structura deșeurilor, pot conduce la reducerea activității bacteriene în general, deci a procesului de metanogeneză ;
- presiunea: sub 4 bar nu are nici o consecință asupra metanizării. Dar presiunile parțiale ale diferitelor componente ale biogazului, cum ar fi: p_{CH_4} , p_{H_2} , p_{CO_2} , au un efect inhibitor asupra diferitelor reacții ce însoțesc procesul de metanizare.

Metode de previziune a producției de biogaz

Stabilirea producției de biogaz este importantă a fi determinată pentru a estima bilanțul energetic și economic al instalațiilor ce recuperează biogazul produs. Estimarea producției teoretice de biogaz dată de deșeurile menajere supuse procesului de metanizare se bazează pe conținutul de polimeri naturali prezentați în compoziția deșeurilor. S-a estimat cantitatea de biogaz, având drept componente principale: CH_4 și CO_2 , luându-se în calcul prezența: carboxidraților, lipidelor și proteinelor din deșeuri.

Modelele existente se bazează în principal pe ridicarea de curbe teoretice pe baza rezultatelor experimentale. Astfel, producția cumulată de biogaz pe unitatea de masă de deșeu menajer, este descrisă de relația:

$$G_t = G_e \times (1 - e^{-k \times t}), \quad [m^3] \quad (5.2- 15)$$

unde: G_t - producția totală de biogaz la timpul t , în m^3 ;

G_e - producția de biogaz maximală, în m^3 ;

t – timpul, în ani ;

k - constanta de degradare (este considerată ca fiind timpul necesar producerii a 50 % din cantitatea de biogaz ; în cazul deșeurilor menajere românești ea are valoarea de 5 ani).

Proprietăți fizice

Biogazul conține în principal metan și dioxid de carbon. Procentul conținut depinde de natura substanței, mai precis de proporția C-H-O-N din compoziția elementară a acesteia.

În ceea ce privește calitatea biogazului, pentru un gaz uscat acesta are următoarea componență:

CH_4	40 - 55% volum
CO_2	35 - 45% volum

O ₂	2 - 5% volum
H ₂ S	10 - 550 ppm
Diverse	1 - 3% volum

Diversele reprezintă: cicloalcani, hidrocarburi simple fără CH₄, hidrocarburi halogenate sau aromatice, alcooli, aldehyde și cetone.

În general biogazul trebuie tratat. Scopul acestui tratament este de a elimina diverșii constituienți, alții decât metanul, adică: CO₂, H₂S, H₂O, care sunt sursele principale de coroziune.

O biomasă bogată în C și H, va produce prin fermentare un biogaz cu un conținut de metan de până la 90%. Celuloza, mai puțin bogată în C și H, va produce prin fermentare un biogaz cu un conținut de metan de circa 55% și unul de CO₂ de circa 45% [5.3].

Caracteristicile motoarelor și problemele legate de utilizarea biogazului

Deoarece biogazul are capacități reduse de auto-aprindere, motoarele Diesel trebuie modificate semnificativ pentru a putea funcționa cu biogaz. De asemenea și vehiculele pe benzină trebuie adaptate corespunzător pentru funcționarea pe biogaz. În prezent există vehicule concepute inițial să funcționeze pe benzină sau pe combustibil diesel, adaptate la funcționarea pe biocarburant.

Emisii poluante

Deoarece biogazul este produs într-un digestor, este foarte ușor de recuperat și valorificat. Biogazul este un biocarburant curat, care în urma combustiei emite mult mai puțini poluanți atmosferici decât benzina sau motorina; de asemenea și cantitatea de nărcă este mult redusă, pe lângă cea de CO, NO_x, hidrocarburi aromatice și aldehyde.

Procese de extracție / esterificare (producere de biodiesel)

Biodieselul

Biodieselul este un biocarburant ce se poate fabrica din uleiuri vegetale și grăsimi animale. El poate fi folosit singur sau ca aditiv, pentru reducerea emisiilor poluante. În ultimii ani se folosesc, mai ales în țările din vestul Europei cantități tot mai mari de uleiuri vegetale crude presate la rece.

Biocombustibilul diesel se obține pe cale chimică prin reacția dintre alcooli cu diverse uleiuri vegetale, grăsimi animale sau reziduuri grase alimentare (uleiuri de gătit arse) sau nealimentare (de natură industrială). Datorită acestui fapt este folosit adesea în amestecuri de 2% sau 20% cu motorina. Aceste amestecuri poartă tot denumirea de „biodiesel”, fiind clasificate după conținutul procentual de ulei: B2 - amestec de motorină cu 2% biocombustibil diesel, B20 - amestec de motorină cu 20% biocombustibil diesel. Produsul B100 conține 100% biocombustibil diesel.

Biodieselul este acel amestec combustibil care conține o concentrație de minim 20% biocombustibil - denumit B20.

Biocombustibil diesel sau alchil esterii se pot obține din uleiuri și grăsimi pe trei căi:

- 1) transesterificarea catalitică a uleiurilor cu alcool;
- 2) esterificarea catalitică acidă directă a uleiurilor cu metanolul;
- 3) conversia uleiurilor la acizii grași și apoi la alchil-esterii cu ajutorul catalizatorilor acizi.

Majoritatea alchil-esterilor produși astăzi sunt produși pe baze catalitice, deoarece este procedeul cel mai economic.

Procesarea este prezentată mai jos: grăsimea sau uleiul reacționează cu un alcool, ca de exemplu cu metanolul, în prezența unui catalizator producându-se glicerina și metil-esteri -biocombustibilul diesel. Metanolul este încărcat în exces pentru a asigura conversia rapidă și recuperarea pentru reutilizare. Drept catalizator se folosește de obicei, hidroxidul de sodiu sau hidroxidul de potasiu, care se amestecă în prealabil cu metanolul.

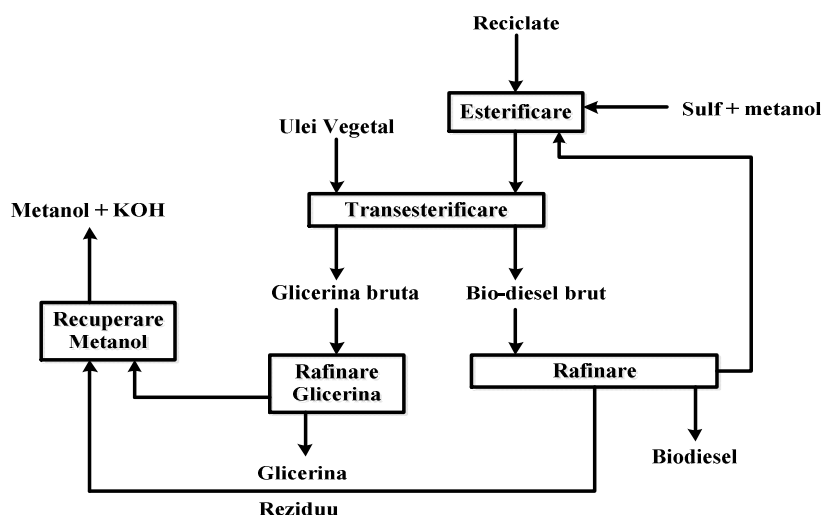


Fig. 5.2.40 Schema sintetică a procesului de producere a biodieselului

Cantitativ reacția de formare a acestuia se poate scrie:

1 tonă ulei vegetal + 100 kg metanol = 1 tonă biodiesel + 100 kg glicerină

O caracteristică importantă a uleiurilor vegetale și grăsimilor animale este aceea a lipsei sulfurii și compușilor acestuia. Costurile energetice sunt estimate la 50 kW pentru o tona de biodiesel.

Procedee termo-chimice de conversie a biomasei

Procedee de pretratare a biomasei în vederea îmbunătățirii caracteristicilor combustibile

Utilizate în sistemul termoenergetic, materialele biocombustibile trebuie să răspundă cerințelor din procesele de ardere, alimentare și întreținere flux, în condiții de eficiență energetică optime cu impact

minim asupra mediului. Biomasa prin componentele sale (agricole, forestiere) variate ca tip, formă și prezentare nu răspunde parametrilor de bază ai combustibililor. Se impun astfel prelucrări suplimentare de îmbunătățire a caracteristicilor termo-fizice ale biomasei cum sunt:

- creșterea puterii calorifice;
- creșterea masei specifice;
- realizarea de dimensiuni optime de transport și alimentare.

Pretratarea biomasei, procese specifice

Pretratarea materialului, bioenergetic, anterior compactării particulelor mărunte în brichete, pelete, cuprinde ansamblu de operațiuni necesare aducerii biomasei în starea optimă pentru aglomerare prin presare.

Aceasta cuprinde:

- mărunțirea, reducerea granulometrică a materialului biocombustibil;
- scăderea umidității particulelor mărunte, realizarea pragului eficient de presare;
- încălzirea materialului, atingerea temperaturii optime aglomerării;
- plastifierea lemnului, aducerea acestuia la starea de legătură stabilă a particulelor.

Compactarea materialului, a componentelor biomasei forestiere

Aglomerarea, compactarea particulelor mărunte (realizate mecanic) cuprinde un complex de operații, având presarea ca operație directoare pentru realizarea produselor compozite energetice, pelete, brichete, cu o gamă variată de forme și dimensiuni.

Scopul compactării este de concentrare la maximum a proprietatilor utile ale biomasei, într-un volum minim.

Produsele finale (brichete, palete) prezintă caracteristici noi:

- putere calorifică mare pe unitatea volumică;
- dimensiuni eficient transportabile de la producător la consumator și în sectorul de depozitare, alimentare flux termoenergetic (CT).

Densitatea realizată prin compactare – presare la anumite componente ale biomasei depășește 1000 kg/m^3 , funcție de specia dominantă supusă prelucrării.

Densitatea componentelor biomasei forestiere, prelucrată

Produsul	Densitatea kg / m³	Abaterea standard kg / m³
Brichete	800 ÷ 1300	40 ÷ 60
Pelete	700 ÷ 1100	30 ÷ 40
Coajă compactată	1100 ÷ 1300	50 ÷ 60
Rumeguș compactat	900 ÷ 1100	40 ÷ 50

Avantajele prelucrării superioare a biomasei forestiere

Prelucrarea mecanică, termică și de aglomerare a biomasei, aducerea acesteia la granulometria și umiditatea optimă densificării, în produse compozite de ardere – brichete, pelete - prezintă multiple avantaje:

- produse cu proprietati energetice superioare, comparativ cu biomasa forestieră;
- brichetele și peletele prezintă la ardere impurificatori minimi asupra factorilor de mediu aer, apă, sol, emisii, smoc de ardere și producție de cenușă redusă cantitativ, ce înregistrează o pondere de 1 ÷ 2 % din cantitatea materialului compozit supus arderii;
- lărgeste câmpul de utilizare, la gospodăriile particulare, centralele termice comunale, orășenești și administrative;
- solicită spații de depozitare sub cerințele de stocare ale biomasei, produsul natural (lemnul de foc, rămășițelor și rumegușului din fabricație);
- reduce parcul de transport, manipulare din procesul energetic cu minimum 50 %;
- optimizează procesul arderii;
- crește puterea calorică a biomasei cu 60 ÷ 70 %;

Prelucrarea biomasei lemnoase, apărută ca necesară la cerințele energetice, economice, ecologice și sociale, transformă produse cu valoare și utilizare redusă în produse noi cu valoare energetică ridicată.

Combustia

Procesul de ardere al biomasei reprezintă cel mai vechi proces de producere de energie. La nivel industrial combustia reprezintă soluția tehnologică cu cel mai avansat grad de maturitate fiind disponibilă și aplicată pe scară largă.

Totuși prin varietatea largă a produselor de tip biomasă, acest combustibil necesită instalații și parametri diferiți de cei utilizați la arderea combustibililor fosili. Pentru stabilirea fluxurilor specifice de proces este necesară cunoașterea fenomenelor și ecuațiilor fizico-chimice atât în condiții teoretice de desfășurare a procesului cât și în condiții reale. Astfel, se pot estima consumuri specifice de combustibili, emisii poluante, eficiențe de ardere, eficiențe energetice, toate aceste elemente fiind necesare în compararea diferitelor tehnologii din punct de vedere energetic și al impactului asupra mediului [5.9].

Arderea completă a combustibililor solizi

Pentru realizarea calculelor aferente procesului de ardere combustibilii solizi și lichizi sunt dați prin compoziția chimică gravimetrică în procente.

Calculul procesului de ardere se face pornind de la ecuațiile stoichiometrice de reacție ale elementelor combustibile componente:

Considerând compoziția volumetrică a aerului ca (21% O₂ și 79% N₂) sau gravimetric (23,2% O₂ și 76,8% N₂) atunci rezultă volumul și respectiv masa de aer uscat teoretic (V_a⁰ sau G_a⁰) necesar arderii unitații de volum sau de masă a combustibilului:

$$V_a^0 = \frac{100}{21} \left(1,867 \frac{C^i}{100} + 5,6 \frac{H^i}{100} + 0,7 \frac{S_c^i - O^i}{100} \right) (\text{Nm}^3/\text{kg}_{\text{comb}}) \quad (5.2-16)$$

Sau gravimetric:

$$G_a^0 = \frac{100}{23,2} \left(2,667 \frac{C^i}{100} + 8 \frac{H^i}{100} + \frac{S_c^i}{100} - \frac{O^i}{100} \right) (\text{Nm}^3/\text{kg}_{\text{comb}}) \quad (5.2-17)$$

Având în vedere umiditatea absolută a aerului de ardere x(g/kg aer uscat) rezultă masa de aer umed teoretic necesară arderii:

$$G_{aum}^0 = G_a^0 + \frac{x}{100} G_a^0 = G_a^0 \left(1 + \frac{x}{100} \right) (\text{kg} / \text{kg}_{\text{comb}}) \quad (5.2-18)$$

Pentru $x \approx 10 \text{ gr}/\text{kg}_{\text{aer uscat}}$

$$\Rightarrow G_{aum}^0 = 1.01 G_a^0 (\text{Kg} / \text{Kg}_{\text{comb}}) \quad (5.2-19)$$

Volumetric pentru $\rho_{aer} = 1.293 \text{ kg} / \text{Nm}^3$ și volumul specific al vaporilor de apă $1.244 \text{ Nm}^3 / \text{kg}$ rezultă

Volumul de aer umed teoretic V_{aum}^0 :

$$V_{aum}^o = V_a^0 + 1.244 \cdot \frac{x}{1000} \cdot 1.293 V_a^0 = (1 + 0.00161x) V_a^0$$

(5.2-20)

$(Nm^3 / Kg.comb)$

$$Pt.x = 10g / Kg \Rightarrow V_{aum}^o = 1.0161 V_a^0$$

Considerând excesul de aer α ca raport între volumul de aer real necesar arderii și acel teoretic:

$$\alpha = \frac{V_a}{V_a^0} = \frac{V_{aum}}{V_a^0} = \frac{G_a}{G_a^0} = \frac{G_{aum}}{G_{aum}^0}$$

(5.2-21)

$$rezulta : V_a = \alpha V_a^0 ; V_{aum} = \alpha V_{aum}^0 = (1 + 0.00161x)\alpha$$

Valorile excesului de aer la arzător depind de natura combustibilului:

- $\alpha=1.05...1.15$ -combustibili gazoși;
- $\alpha=1.01\div 1.1$ -combustibili lichizi;
- $\alpha=1.1...1.3$ -combustibili solizi fosili și biomasa;
- $\alpha=1.3...1.8$ – deșeuri greu divizabile, eterogene sau cu umiditate ridicată (peste 30%).

Volumul de gaze biatomice teoretic ($V_{RO_2}^0$):

$$V_{RO_2}^0 = V_{CO_2}^0 + V_{SO_2}^0$$

(5.2-22)

deci:

$$\begin{aligned} V_{RO_2}^0 &= 1,867 \frac{C^i}{100} + 0,7 S_c^i = 1,867 \left(\frac{C^i}{100} + 0,375 S_c^i \right) = \\ &= 1,867 \left(\frac{C^i + 0,375 S_c^i}{100} \right) = 1,867 \frac{K^i}{100} = \frac{K^i}{53,6} \left(\frac{Nm^3}{kg_{comb}} \right) \end{aligned}$$

(5.2-23)

Sau gravimetric:

$$G_{RO_2}^0 = 3,666 \frac{C^i}{100} + 2 \frac{S_c^i}{100} \left(\frac{Nm^3}{kg_{comb}} \right)$$

(5.2-24)

Volumul de oxid de carbon teoretic în cazul arderii incomplete:

$$V_{CO}^0 = 1,867 \frac{C^i}{100} (Nm^3 / kg_{comb})$$

(5.2-25)

sau:

$$G_{CO}^0 = 2,333 \frac{C^i}{100} (kg / kg_{comb})$$

(5.2-26)

Volumul de gaze biatomice (azot) $V^0_{N_2}$ teoretic:

$$V^0_{N_2} = \frac{79}{100} V_a^0 + \frac{22,4}{28} \frac{N^i}{100} = 0,79 V_a^0 + 0,8 \frac{N^i}{100}$$

(Nm³ / kg_{comb}) (5.2-27)

sau:

$$G^0_{N_2} = \frac{76,8}{100} G_a^0 + \frac{N^i}{100} = 0,768 G_a^0 + \frac{N^i}{100}$$

(Nm³ / kg_{comb}) (5.2-28)

Masa si volumul teoretic al vaporilor de apă:

$$G^0_{H_2O} = 9 \frac{H^i}{100} + \frac{W_t^i}{100} + \frac{x}{100} G_a^0 + W_{injectie}$$

(kg / kg_{comb}) (5.2-29)

sau:

$$V^0_{H_2O} = 1,2449 \cdot G^0_{H_2O} = 1,244 \left(\frac{9H^i + W_t^i + 100 W_{injectie}}{100} \right) + 1,244 \frac{x}{100} G_a^0 =$$

$$= 0,111 H^i + 0,01244 W_t^i + 1,244 W_{injectie} + \underbrace{1,244 \frac{x}{100} \cdot 1,293 V_a^0}_{0,00161xV_a^0}$$

(Nm³ / Kg_{comb}) (5.2-30)

$$\Rightarrow V^0_{H_2O} = 0,111 H^i + 0,244 W_t^i + 1,244 W_{injectie} + 0,00161xV_a^0$$

(Nm³ / kg_{comb}) (5.2-31)

Volumul teoretic al gazelor de ardere (V^0_{ga}):

$$V^0_{ga} = V^0_{gu} + V^0_{H_2O} = V^0_{RO_2} + V^0_{N_2} + V^0_{H_2O}$$
(5.2-32)

Volumul real al gazelor de ardere uscate V_{gu} :

$$V_{gu} = V^0_{gu} + (\alpha - 1)V_a^0 = V^0_{RO_2} + V^0_{NO_2} + (\alpha - 1)V_a^0$$

(Nm³ / kg_{comb}) (5.2-33)

Volumul real al gazelor de ardere V_{ga} :

$$V_{ga} = V^0_{ga} + (\alpha - 1)V_{a_{um}}^0 \quad (Nm^3 / kg_{comb})$$
(5.2-34)

Masa de gaze de ardere G_{ga} :

$$G_{ga} = 1 - \frac{A^i}{100} + W_{inj} + (1+x)G_a^0 = 1 - \frac{A^i}{100} + W_{inj} + 1.306\alpha V_a^0$$

(kg / kg_{comb})

(5.2-35)

Tipuri de sisteme de ardere

Condițiile deosebite pe care le impun caracteristicile termo-fizico-chimice proceselor de oxidare au generat o întreagă serie de procese și tehnologii de ardere.

Există patru mari tipuri de instalații care sunt utilizate în momentul de față pe plan mondial pentru procese de ardere:

- Ardere pulverizată (combustibili fosili);
- Ardere pe grătar (combustibili fosili și regenerabili)
- Ardere în strat fluidizat (combustibili fosili și regenerabili)
- Ardere în cuptoare rotative (combustibili regenerabili);

Piroliza

Piroliza reprezintă procedeul de descompunere termică a materiei organice în absența sau prezența în concentrație redusă a oxigenului (<2%).

Este primul stadiu de transformare termică după uscare a produsului tratat ce permite obținerea în proporții diferite a următoarelor componente:

- gaze de piroliză (CO₂, CO, H₂, hidrocarburi ușoare, vapori de apă);
- uleiuri (hidrocarburi grele);
- solide (coals, format din carbon fix și anorganice).

Astfel sub acțiunea căldurii și în absența oxigenului, compușii organici de masă moleculară ridicată, se fragmentează în molecule mai ușoare ce vor da naștere componentelor precizate mai sus, care sunt substanțe chimice mai simple. Trebuie precizat că:

- gazul de piroliză este combustibil având în general o putere calorifică inferioară cuprinsă între (7000 – 13000 kJ/Nm³), sărac în oxizi de azot;
- fracția uleioasă este combustibilă (20000 – 32000 kJ/kg); ea poate fi încărcată cu produse ce au în componența lor sulf și clor, fapt ce necesită o epurare înaintea combustiei;
- coalsul poate fi ars, devenind o sursă de energie (15000 – 32000 kJ/kg) dar în același timp partea minerală a sa se regăsește sub formă de zgură ce va fi eliminată și stocată într-un depozit controlat.

Principalele procedeele de piroliză sunt:

- piroliza de joasă temperatură (400-600 °C) și de medie temperatură (600-1000 °C);
- piroliza de foarte înaltă temperatură - flash (peste 2000 °C);
- piroliza în baie de săruri sau metale topite;
- piroliza sub vid;

Avantajele pirolizei

Principalele avantaje oferite de tehnologiile de piroliză sunt:

- nivelul de temperatură poate fi strict controlat și deplasat în limite largi;
- diminuarea volumului de efluenți gazoși: aproximativ 1/3 comparativ cu incinerarea;
- prin nivelul de temperaturi, prin controlul echilibrelor chimice și prin regimul gazodinamic se poate reduce substanțial emisia de noxe (praf, produse sulfurice, produse clorice, metale grele, etc.);
- obținerea de produse valorificabile energetic și tehnic: ulei, gaz și cocs de piroliza.
- neutralizarea a 99,99% din deșeurii;
- nevolatilizarea metalelor grele și fixarea acestora în cocs;
- inexistența emisiilor de NO_x.
- timp redus de reacție pentru piroliza de înaltă temperatură: 15-20 minute;
- omogenizarea deșeurilor multicomponente de tipul celor urbane. Se obține astfel un produs cu caracteristici termo-fizico-chimice quasi-constante.
- neutralizarea produselor cu impact olfactiv major și facilitarea depozitarii pe termen lung și a transportului la distanță. De exemplu deșeurile din industria zootehnică (resturi din prelucrarea cărnii, cu descompunere rapidă) pot fi pirolizate, obținându-se un cocs (carbon + inerte) ce poate fi stocat și transportat la distanță pentru a fi ars într-o centrală clasică pe combustibil convențional;
- răspuns bun la variații de sarcină: 25 – 125%;
- unități modulare în gama 10000 – 50000 t/an [5.20, 5.21]

Inconveniențele procesului de piroliza

Principala limitare a acestui procedeu este dată de caracterul de interfață între deșeurul brut și tehnologia de eliminare finală. Piroliza nu este un procedeu de eliminare a deșeurilor ci doar de preparare în vederea unei valorificări energetice superioare.

Principalele dezavantaje sunt generate de:

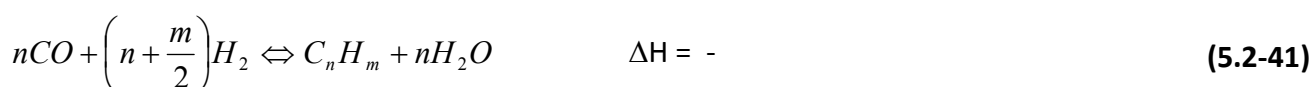
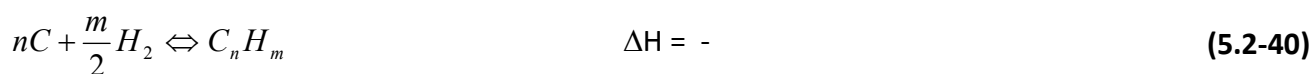
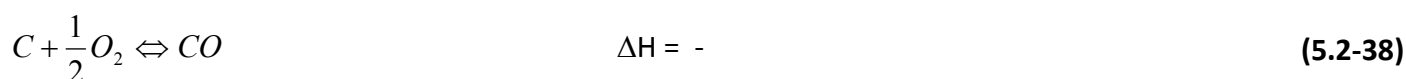
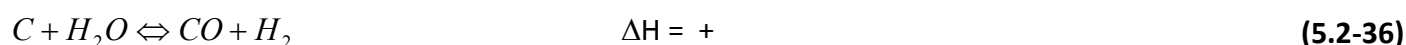
- caracterul de deșeu al cocsului produs. Deși este un combustibil omogen asimilabil cărbunilor de putere calorică medie, din punct de vedere juridic este un deșeu ce se supune legislației respective.
- conținutul de metale grele. Datorită temperaturilor joase (<650 °C) ale procesului, metalele grele nu sunt volatilizate și rămân fixate în cocs. Pentru o combustie ulterioară a acestui produs este necesară o „spălare-separare” intermediară pentru reținerea metalelor grele. Aceasta reduce eficiența globală a procesului de conversie energetică a deșeului.

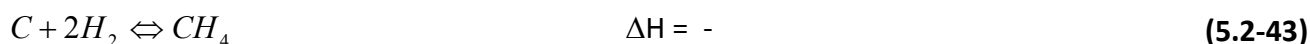
Gazeificarea

Procedeul de gazeificare transformă combustibilul solid sau lichid într-un gaz de sinteză combustibil care este utilizat în scopul producerii de energie electrică sau la fabricarea de produși chimici, hidrogen sau carburanți.

Gazeificarea produsului constă în principal într-un proces desfășurat în două etape, piroliza urmată de gazeificare. Etapa de piroliză, cunoscută și sub denumirea de devolatilizare, este endotermică și produce între 75 și 90 % materii volatile sub formă de hidrocarburi gazoase și lichide. Temperatura acestei etape nu depășește 600 °C. Produsul solid al pirolizei, cocsul, este constituit în principal din carbon fix și cenușă (inerte).

În cea de-a doua etapă, gazeificarea, carbonul reacționează cu vaporii de apă, oxigen sau aer, în funcție de tehnologia utilizată. Gazeificarea cu vapori de apă este cunoscută sub numele de « reformare » iar produșii rezultați sunt în principal hidrogenul și monoxidul de carbon.





În cea mai mare parte a aplicațiilor, reacțiile exoterme dintre carbon și oxigen furnizează energia (căldura) necesară derulării procesului de piroliză și a celui de gazeificare a cocsului rezultat. Această metodă este denumită piro-gazeificare integrată și posedă un randament energetic mai bun în comparație cu soluția de separare a pirolizei și a gazeificării cocsului în echipamente și locații diferite. Această alternativă este viabilă atunci când amplasarea surselor de deșeuri se află în locuri care nu oferă posibilitatea amplasării unei centrale de gazeificare integrate de mare capacitate.

În acest caz, piroliza se face în proximitatea sursei de deșeuri, iar sub-produsul (cocsul) este astfel transportat la unitatea de gazeificare minimizându-se astfel costurile de transport pe unitatea de masă de deșeu. În plus, dacă deșeul conține materiale reciclabile (aluminiu, fier etc.) această alternativă oferă posibilitatea recuperării materialelor după etapa de piroliză. Cota de recuperare crește sensibil (în cazul aluminiului de la 30% la 90%).

Gazeificarea directă a combustibilului sau piro-gazeificarea integrată se realizează într-un singur reactor care posedă mai multe zone. Fiecărei zone îi corespunde o reacție dominantă. Materialul este introdus pe la partea superioară și cade într-o mișcare contracurent în raport cu fluxul de gaz. Deșeul este imediat uscat iar pe măsura creșterii temperaturii este pirolizat. Ulterior cocsul este gazeificat cu ajutorul aerului, O₂, sau H₂O. Inertele rămase în urma consumării complete a carbonului fix sunt evacuate. Gazul de sinteza este colectat și evacuat spre secțiunea de epurare în vederea valorificării.

Există tehnologii ce folosesc combustia parțială. În acest caz, un aport calorific este obținut prin intermediul unor gaze oxidante fierbinți provenite fie dintr-o post-combustie, sau o încălzire cu plasmă sau de asemenea prin introducerea unui amestec metal-oxigen.

Această tehnologie permite o transformare a cenușii în lichid ce ulterior se solidifică, permițând vitrificarea continuă a reziduurilor finale.

Diferite tipuri de reactoare de gazeificare ce utilizează combustibili fosili sau regenerabili au fost dezvoltate pornind de la modelele de bază deja existente. Reactoarele pot fi clasate în patru grupuri principale: cu pat fix în contra curent, cu pat fix în co-curent, cu pat fluidizat dens și circulant și cu pat antrenant. Diferența este dată de sensul curgerii combustibilului și a oxidantului și de sursa ce furnizează căldura procesului.

Schema funcțională de principiu a unui reactor de gazeificare este prezentată în figura 5.2.41.

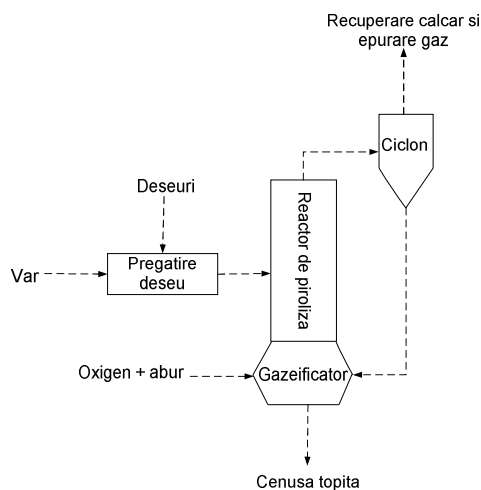


Fig. 5.2.41 Schemele funcționale de principiu a unui reactor de gazeificare

Avantajele gazeificării

În general avantajele pirolizei se regăsesc și în gazeificare. În ceea ce privește produsele ce pot fi transformate prin acest procedeu, se poate spune că toate produsele organice sunt tratabile prin gazeificare.

Tipurile de produse procesabile la scară comercială sunt: cărbuni, biomasă, deșeuri urbane și asimilate, deșeuri medicale, deșeuri industriale.

Posibilitatea atingerii unor temperaturi ridicate permite o bună eliminare a fracției organice. În plus, spre deosebire de piroliză, fracția de solide este minimizată.

Procedeele de piro-gazeificare au loc, în general, în cuptoare verticale. Împreună cu tipul reactorului, cinetica procesului de gazeificare prezintă avantajul minimizării reziduurilor solide, cu posibilitatea de fuziune completă sub formă de zgură. Această zgură nu reprezintă mai mult de 5 % din cantitatea de deșeuri tratate, dacă nu se ține cont de fracția de inerte.

Tratamentul efluenților este în general convențional exceptând necesitatea de tratare a unor volume superioare de gaze de ardere în raport cu piroliza.

De exemplu, volumele uzuale de gaze de ardere sunt de aproximativ 5000 Nm³/t deșeu, în comparație cu 2000 – 3000 Nm³/t produs din piroliză [5.22, 5.23, 5.24]. Aceste volume rămân totuși inferioare volumelor degajate din incinerarea clasică – 6000 Nm³/t produs.

Cantitățile de efluenți lichizi (răcire, epurare) variază între 0,4 și 2 m³ pe tonă.

Ținând cont de temperaturile atinse în procesele de pirofuziune este posibil ca cenușa să se topească și de a conduce la formarea de granule vitrificate puțin lixiviale, foarte dense (densitate între 2,8 - 3).

Dezavantaje ale gazeificării

Ținând cont de temperaturile atinse și de prezența aerului (în unele tehnologii), concentrațiile oxizilor de azot în gazele de ardere sunt comparabile cu incinerarea.

Cheltuielile de exploatare cresc datorită necesității echipamentelor rezistente la temperatură înaltă. Investițiile corespunzătoare sunt în general egale sau chiar mai mari decât în cazul incinerării clasice.

În sfârșit, complexitatea procesului de operare implică personal înalt calificat.

Aportul de combustibil suplimentar s-a dovedit a fi necesar pentru a menține temperatura procesului. Acest aport este în general furnizat prin arderea de gaz natural.

Pulberile (în medie $5\text{g}/\text{Nm}^3$) împreună cu temperatura înaltă a gazului la intrarea în cazanul recuperator, poate provoca colmataje importante la nivelul supraîncălzitorilor.

Aplicații energetice

În cadrul aplicațiilor generatoare de energie sau pentru efectuarea de lucru mecanic utilizând drept combustibil biomasa se uzual se utilizează trei cicluri termodinamice: cicluri cu abur de tip Rankine-Hirn, cicluri cu gaze de tip Brayton și cicluri de tip Diesel-Otto.

Instalații pentru ciclurile termice cu abur de tip Rankine-Hirn, din C(T)E și CET

În figura 5.2.41 este prezentată schema termică de principiu, simplificată, pentru un ciclu Rankine-Hirn. Această schemă stă la baza oricărei centrale termoelectrice ce funcționează pe combustibili fosili sau regenerabili.

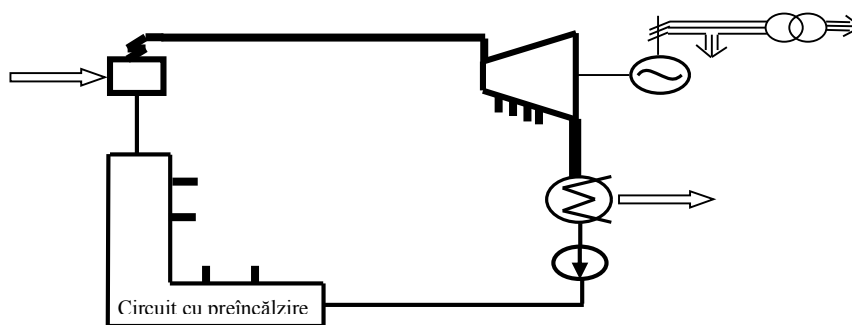


Fig. 5.2.41 Ciclul Rankine Hirn – schemă de principiu pentru ciclul fără supraîncălzire intermediară

Notațiile generale pentru mașinile termice motoare, cu aplicație la instalațiile de turbine cu abur (ITA) sunt prezentate în tabelul 5.2.9.

Notății generale pentru mașinile termice motoare, cu aplicație la ITA

P_{t1}	Putere termică primită de la sursa caldă (intrată în ciclu)
$P_{t2}=\Delta P_{srs_rece}$	Putere termică cedată la sursa rece (pierdută)
P_{int_dezv}	Putere mecanică "internă" dezvoltată de turbină
P_{int_cons}	Putere mecanică "internă" consumată de pompă (pompe)
$P_{int_netă}$	Putere mecanică "internă" netă
T_{ms}	Temperatura (termodinamică absolută) medie superioară (la sursa caldă)
T_{mi}	Temperatura (termodinamică absolută) medie inferioară (la sursa rece)

Randamentul de conversie a căldurii în lucru mecanic η_{termic} , este dat de formula:

$$\eta_{termic} = \frac{(P_{int\ dez} - P_{int\ cons})}{P_{t_1}} = \frac{P_{int\ neta}}{P_{t_1}} = 1 - \frac{\Delta P_{sursa\ rece}}{P_{t_1}} = 1 - \frac{T_{mi}}{T_{ms}} \quad (5.2-44)$$

Metode de creștere a T_{ms} :

- Creșterea presiunii aburului viu (implicit și a temperaturii aburului, la ciclul Rankine);
- Creșterea temperaturii aburului viu, peste cea de saturație (la ciclul Hirn);
- Preîncălzirea regenerativă a apei de alimentare;
- Supraîncălzirea intermediară, eventual repetată.

În practică metodele de mai sus se aplică simultan și corelat, în funcție și de limitările specifice:

- La ciclul Rankine creșterea p_0 înseamnă și creșterea t_0 . Când sursa caldă are $T_{max} < T_{critic}$, ciclul cel mai apropiat de Carnot este cel Rankine. La creșterea p_0 :
 - forma ciclului Rankine se îndepărtează de cea a ciclului Carnot;
 - umiditatea finală a aburului crește inadmisibil.
- La ciclul Hirn fără S.Î.I. t_0 poate să crească peste cea de saturație și peste cea critică. Pe lângă creșterea T_{ms} și a randamentului termic teoretic se mai obțin efecte pozitive prin reducerea umidității creșterea volumelor specifice și a lucrului mecanic specific. Pe de altă parte:
 - temperatura maximă este limitată de material;
 - se îndepărtează forma reală a ciclului Rankine de cea ideală; creșterea T_{ms} este mult mai lentă decât creșterea T_0 ;

- creșterea p_0 și creșterea t_0 se corelează în funcție de umiditatea finală.
- La ciclul cu S.Î.I. se poate mări p_0 fără a mai crește t_0 . Pe lângă creșterea de randament termic teoretic se obțin și în acest caz efecte pozitive prin creșterea volumelor specifice și a lucrului mecanic specific și prin reducerea efectelor umidității. Presiunea de supraîncălzire intermediară trebuie corelată cu cea a aburului viu și cu schema de preîncălzire regenerativă.
- Temperatura apei de alimentare și numărul de trepte de preîncălzire regenerativă se corelează cu parametrii aburului viu și cu destinderea aburului în turbină.

Instalații pentru ciclurile termice cu ardere internă de tip Brayton

Ciclul Brayton teoretic, ce caracterizează instalațiile de turbine cu gaze este prezentat în figura 5.2.42, mai jos sunt de asemenea prezentate componentele instalației de turbine cu gaze, rolul lor și procesul specific.

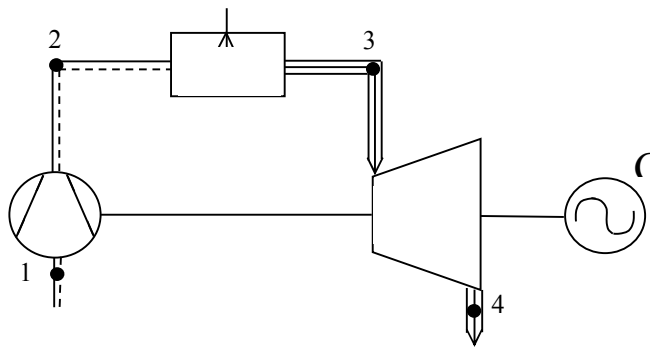


Fig. 5.2.42 Schema de principiu a ITG

Componenta	Rolul	Procesul termodinamic
$K \Rightarrow$ compresor	Mașină mecanoenergetică "generatoare" (consumatoare de lucru mecanic)	1-2 \Rightarrow compresie adiabată izentropă
CA \Rightarrow cameră de ardere	Sursă caldă	2-3 \Rightarrow încălzire izobară
TG \Rightarrow turbina cu gaze propriuzisă	Mașină mecanoenergetică "motoare" (producătoare de lucru mecanic)	3-4 \Rightarrow destindere adiabată izentropă
atmosfera	Sursă rece	4-1 \Rightarrow răcire izobară

Mărimile caracteristice dimensionale și adimensionale care intervin în cazul instalațiilor moderne sunt prezentate în tabelul 5.2.10.

Mărimi caracteristice dimensionale și adimensionale, notații și relații

T⇒temperaturi termodinamice absolute, K	
p⇒presiuni absolute, kPa	
ε ⇒raportul presiunilor extreme (de compresie - destindere, deoarece $p_3 = p_2$ și $p_4 = p_1$), $\varepsilon = p_2 / p_1 = p_3 / p_4$	
θ ⇒raportul temperaturilor extreme $\theta = T_3 / T_1$, adimensional	
Relația între T la intrarea și ieșirea din compresor	$T_{2t} = T_1 * \varepsilon^{(k-1)/k}$
Relația între T la intrarea și ieșirea din turbină	$T_{4t} = T_3 / \varepsilon^{(k-1)/k}$
$l_{K,t}$ ⇒lucrul mecanic teoretic de compresie (în modul)	$l_{K,t} = c_p * (T_{2t} - T_1)$
$l_{T,t}$ ⇒lucrul mecanic teoretic de destindere	$l_{T,t} = c_p * (T_3 - T_{4t})$
$l_{net,t}$ ⇒lucrul mecanic net teoretic	$l_{net,t} = l_{T,t} - l_{K,t}$
$q_{1,t}$ ⇒căldură intrată în ciclu	$q_{1,t} = c_p * (T_3 - T_{2t})$
$q_{2,t}$ ⇒căldură evacuată din ciclu (în modul)	$q_{2,t} = c_p * (T_{4t} - T_1)$
$\eta_{termic,t}$ ⇒randamentul termic teoretic	$\eta_{termic,t} = l_{net,t} / q_{1,t} =$ $1 - q_{2,t} / q_{1,t} = 1 - 1 / \varepsilon^{(k-1)/k}$

Unde:

- T_1 este dat de mediul ambiant iar T_3 este limitat de material și de tehnologia de răcire a pieselor de înaltă temperatură. Aceasta limitează raportul temperaturilor extreme θ .
- În condițiile unui raport θ impus se poate încerca optimizarea în funcție de raportul de compresie ε .
- Când $\varepsilon \rightarrow 1$ atât randamentul cât și lucrul mecanic net teoretic tind spre zero.
- Relația $\eta_{termic,t} = 1 - 1 / \varepsilon^{(k-1)/k}$ creează impresia că $\eta_{termic,t}$ crește continuu cu ε , depășind η_{Carnot} .
- În realitate când ε crește T_2 la ieșirea din compresor crește continuu apropiindu-se de T_3 maximă în ciclu. Randamentul termic teoretic poate să tindă către η_{Carnot} , la $\varepsilon_{max(\theta)}$, când $T_2 \rightarrow T_3$.
- Lucrul mecanic de compresie l_{Kt} crește continuu după o curbă cu concavitatea în sus în timp ce lucrul mecanic de destindere l_{Tt} crește după o curbă cu concavitatea în jos. Cele două curbe se intersectează pentru $\varepsilon_{max(\theta)}$, când $T_2 \rightarrow T_3$. Aceasta înseamnă că pentru $\eta_{termic,t} \text{ maxim} = \eta_{Carnot}$ avem $l_{net,t} \rightarrow 0$.
- Lucrul mecanic net, scris ca diferența dintre l_{Tt} și l_{Kt} evoluează după o curbă cu maxim.

- În realitate aerul și gazele de ardere nu sunt gaze perfecte, nu au căldură specifică izobară constantă și nici coeficient adiabatic constant, nu au aceleași proprietăți termodinamice și nici nu au același debite.

Tipuri de ITG folosite în energetică:

- ITG staționare, heavy-duty, realizate folosind tehnologii derivate din construcția TA;
- ITG energetice aeroderivative, clasificate la rândul lor în:
 - aeroderivative provenite din mașini turbopropulsoare (toată puterea la elice);
 - aeroderivative provenite din turboreactoare (toată puterea în jet supersonic de gaze de ardere);
 - aeroderivative provenite din mașini mixte, turbopropulsoare și turboreactoare (o parte din putere în elice și o parte din putere în jet subsonic de gaze de ardere);
 - aeroderivative provenite din motoare turbofan (toată puterea în jet sonic de aer și gaze de ardere).
- micro ITG, realizate folosind tehnologii derivate din construcția turbosufletelor de la MP.

Domeniile uzuale de puteri unitare și rapoartele de compresie ale ITG sunt prezentate în tabelul 5.2.11 iar domeniile uzuale de utilizare în tabelul 5.2.12.

Tabelul 5.2.11

Domeniile uzuale de puteri unitare și rapoarte de compresie

ITG heavy-duty	$P \in (25 \div 250)$ MW; ε de $l_{net\ max}$; o linie de arbori
ITG aeroderivative turbopropulsoare	$P \in (2 \div 12)$ MW; ε de $l_{net\ max}$; o linie de arbori de turaj mare
ITG aeroderivative turboreactoare	$P \in (20 \div 40)$ MW; ε de $\eta_{termic\ max}$; două linii de arbori
ITG aeroderivative turbofan	$P \in (25 \div 50)$ MW; ε de $\eta_{termic\ max}$; trei linii de arbori
Micro ITG	$P \in (0,25 \div 2)$ MW; ε de $\eta_{termic\ max}$; o linie de arbori de turaj

Tabelul 5.2.12

Domeniile uzuale de utilizare

ITG heavy-duty	CTE de vârf și CTE cu cicluri combinate gaze-abur
ITG aeroderivative turbopropulsoare	CTE de siguranță și vârf, CTE și CET de medie putere cu cicluri combinate gaze-abur, CET de medie și mică putere, cu cazane recuperatoare, fără sau cu post-combustie.
ITG aeroderivative turboreactoare	
ITG aeroderivative turbofan	
micro ITG	aplicații speciale (CET de mică putere)

Instalații specifice ciclurilor cu motoare cu ardere internă cu piston (MP)

Utilizate în principal în transporturi, motoarele cu ardere internă reprezintă cel mai răspândit echipament pentru conversia energiei primare (combustibil) în lucru mecanic. Trecerea în sectorul energetic, la fel ca în cazul turbinelor cu gaze s-a realizat în momentul creșterii capacității acestor echipamente, utilizându-se fie pentru producerea descentralizată de energie fie pentru aplatizarea curbei de sarcină zilnică. De asemenea motoarele cu ardere internă se utilizează pentru valorificarea anumitor combustibili gazoși (biogaz – captat din depozitele de deșeuri urbane sau gaz de sinteză) a căror compoziție nu permite arderea în tubinele cu gaz (în special conținutul de alcali).

Tipuri de MP energetice. Caracteristici funcționale. Criterii de bază de clasificare.

După numărul de rotații pe ciclu "a", deosebim MP	<u>În 2 timpi</u> \Rightarrow efectuează la fiecare rotație a arborelui motor un ciclu ($a = 1\text{rot}/\text{ciclu}$). La MP în 2 timpi aspirația aerului și evacuarea gazelor de ardere se suprapun pe anumite intervale de timp. Legătura dintre spațiul de lucru din cilindru și galeriile de admisie a aerului, respectiv de evacuare a gazelor de ardere se realizează prin ferestre (fante) de baleiaj, a căror deschidere și închidere se face în funcție de poziția pistonului.
	<u>În 4 timpi</u> \Rightarrow efectuează un ciclu la două rotații ($a = 2\text{rot}/\text{ciclu}$). La MP în 4 timpi aspirația aerului și evacuarea gazelor de ardere se realizează în intervale de timp distincte. Legătura dintre spațiul de lucru din cilindru și galeriile de admisie a aerului, respectiv de evacuare a gazelor de ardere se realizează prin supape comandate.
După modul de aprindere a combustibilului deosebim MP	<u>Motoare cu aprindere prin scânteie</u> (MAS sau motoare Otto). MAS aspiră un amestec format din aer și combustibil (vapori sau micropicături de combustibil lichid sau un gaz combustibil). În aplicațiile energetice se utilizează MAS pe gaz natural. La sfârșitul compresiei aprinderea este realizată cu scânteie electrică, iar arderea este aproape instantanee - cvasiizocoră. MAS are pericol de autoaprindere și impune limitarea raportului de compresie în funcție de proprietățile combustibilului.
	Motoare cu aprindere prin compresie (MAC sau motoare Diesel). M.D. aspiră aer fără combustibil. La sfârșitul compresiei se injectează combustibil lichid sub presiune iar aprinderea este realizată ca urmare a temperaturii mari a aerului comprimat. Aceasta impune rapoarte mari de compresie, elimină pericolul de autoaprindere și permite folosirea unor combustibili greu inflamabili. În aplicațiile energetice se utilizează MD pe motorină, CLU sau păcurină. Arderea continuă pe durata injecției și în cursul destinderii – ardere cvasiizobară.
	Motoare Diesel-Gaz (sau dual fuel). Acestea aspiră un amestec de aer și gaz combustibil. La sfârșitul compresiei se injectează combustibil lichid sub presiune care se autoaprinde. Arderea are loc întâi cvasiizocor (cât timp arde gazul) și continuă cvasiizobar pe durata injecției și în cursul destinderii. Raportul de compresie trebuie ales astfel încât gazul să nu detoneze în cilindru, dar combustibilul lichid să se autoaprindă la sfârșitul compresiei. În aplicațiile energetice se utilizează MDG pe gaz natural + motorină, CLU sau păcurină.

Pentru creșterea puterii unitare trebuie să se mărească debitul volumic și/sau masic de gaz aspirat.

Metodele "extensive" se bazează pe creșterea cilindreei, prin:

- creșterea dimensiunilor cilindrilor, respectiv a diametrului și lungimii cursei;
- mărirea numărului de cilindri ai motoarelor.

După raportul între lungimea cursei și diametrul cilindrilor MP pot fi:

- "Hiperpătrate" (cu $l_{\text{cursă}}/D_{\text{cilindru}} < 1$);
- "Pătrate" (cu $l_{\text{cursă}}/D_{\text{cilindru}} \cong 1$);
- Cu cursă mai lungă decât diametrul ((cu $l_{\text{cursă}}/D_{\text{cilindru}} > 1$).

Pentru același volum pe un cilindru, creșterea raportului $l_{\text{cursă}}/D_{\text{cilindru}}$:

- îmbunătățește posibilitățile de răcire a cilindrilor MP (mărind suprafața de răcire);
- permite creșterea raportului geometric de compresie $V_{\text{maxim}}/V_{\text{minim}}$;
- mărește viteza medie a pistonului și accelerația sa instantanee, amplifică forțele inerțiale și reduce posibilitățile de ridicare a turației.

După numărul de cilindri și modul de amplasare MP pot fi clasificate în:

- Motoare "în linie", de obicei cu număr par de cilindri $z \in (4 \div 16)$.
- Motoare "boxer", cu cilindri opuși, obligatoriu cu număr par de cilindri.
- Motoare "în H" (alcătuite din două sau 4 "linii" cu arbori separați).
- Motoare "în V", alcătuite din două "linii" cu arbore cotit comun, au z cilindri par, $z \in (6, 8, 10, 12 \div 24)$.
- Motoare "în W", (alcătuite din 4 "linii" cu 2 arbori).
- Motoare "în stea", (fiecare stea e alcătuită dintr-un număr impar de cilindri și toate stelele sunt cuplate la același arbore).

După turațiile de lucru MP (în general) pot fi:

- "Lente", $n < 300$ rot/min;
- "Semirapide" $n \in (300 \div 600)$ rot/min;
- "Rapide" $n > 600$ rot/min.

Alegerea tipului de MP energetice dintre cele lente, semirapide și rapide se face corelat cu alți parametri extensivi și intensivi. Astfel:

- Motoarele energetice “lente” și “semirapide” sunt derivate din motoarele navale. Ca sistem de aprindere ele sunt MD (pot arde inclusiv păcurină), iar ca tip de ciclu în 2 timpi (fapt ce crește frecvența ciclurilor fără a mări turația). Gradul de supraalimentare este redus sau cel mult mediu. Creșterea puterii se face prin mărirea diametrului cilindrului, a lungimii cursei și a numărului de cilindri.
- Motoarele energetice “rapide” sunt derivate din motoarele industriale. Ca sistem de aprindere ele pot fi atât MD (când ard CLU sau motorină), cât și MAS (când ard gaz natural). Ca tip de ciclu pot fi în 2 timpi (cu supraalimentare slabă sau medie), cât și în 4 timpi (varianele în 4 timpi permit supraalimentarea puternică). Mărirea puterii (în condițiile diametrului cilindrului și lungimii cursei mai mici), se face prin creșterea numărului de cilindri.
- MP energetice nu depășesc în general 1500 (1800) rot/min.

Prin supraalimentare se măresc simultan atât producția de lucru mecanic cât și consumul de combustibil. Ca urmare se poate considera că randamentul indicat al unui motor supraalimentat este comparabil cu cel al motorului atmosferic din care provine. Chiar și în acest caz supraalimentarea ridică performanțele motorului atât tehnic (prin creșterea randamentului mecanic, deoarece aceleași pierderi în valoare absolută se vor raporta la o putere internă mai mare) cât și economic (prin reducerea investiției specifice).

Indiferent de ciclul termodinamic utilizat pentru conversia directă în energie a biomasei sau a combustibililor derivați obținuți prin procese termo, fizico sau bio-chimice soluțiile tehnologice trebuie adaptate particularităților combustibililor și condițiilor specifice de amplasament. Factorul de scară prezintă o influență majoră în alegerea soluțiilor energetice datorită fluxurilor de biomasă, de obicei reduse (exceptând importurile) și disponibilității sezoniere (în cazul biomasei agricole). În general unitățile energetice utilizează combinații de combustibili verzi pentru creșterea puterilor unitare și a disponibilității anuale a centralelor.

D. Geotermal

Considerații generale privind energia geotermală

Etimologic, cuvântul geotermal provine din combinarea cuvintelor grecești „geo” (pământ) și "therme" (căldură). Energia geotermală provine din: căldura generată de dezintegrarea radioactivă, în principal, a izotopilor de uraniu (U^{238} , U^{235}), toriu (Th^{232}) și potasiu (K^{40}), precum și din căldura provenită de la formarea pământului, din reacțiile chimice exoterme, frecări, energia solară, etc..

Litosfera este formată din mai multe plăci (*Figura 5.2.43*) (în figură, săgețile subțiri indică direcția de mișcare a plăcilor spre zonele de subducție), aflate într-o mișcare permanentă, cu o viteză de deplasare

foarte mică (de circa 1÷13 cm/an). În urma mișcării relative a plăcilor tectonice una față de cealaltă, acestea intră în interacțiune unele cu altele, generând forțe de compresie sau întindere. De asemenea, plăcile pot glisa unele peste altele. Prin fisurile apărute, ca urmare a interacțiunilor dintre plăci, magma pătrunde în zonele superioare ale scoarței terestre, putând apărea erupțiile vulcanice. Aceste zone se află, de altfel, la originea resurselor geotermale de înaltă temperatură. În figură s-au indicat cele mai importante capacitățile instalate (exprimate în MW_{el.}), existente la începutul anului 2005, ce utilizează energia geotermală.

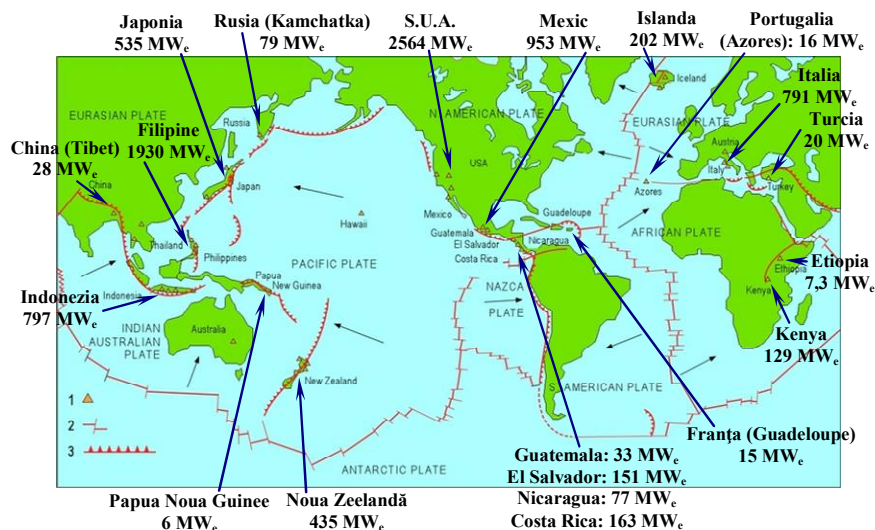


Fig. 5.2.43 Plăcile tectonice

(1) zone de extragere a energiei geotermale; (2) fracturi pe direcție transversală; (3) zone de subducție, în care placa de subducție se îndoaie în jos și se topește în astenosferă. Capacități instalate (exprimate în MW_{electrice}), existente la începutul anului 2005, ce utilizează energia geotermală

Transferul de căldură în interiorul pământului se face preponderent conductiv. Gradientul mediu de temperatură este de circa $\Delta t = 25 \div 30 \text{ }^\circ\text{C/km}$. Totuși, creșterea de temperatură cu adâncimea variază mult în funcție de structura geologică locală.

Pentru a extrage căldura din scoarța terestră trebuie să existe, cel puțin, următoarele elemente:

- un rezervor permeabil sau care să conțină roci fracturate;
- un fluid (apa) în rezervor;
- canal(e) (puț de extracție) între suprafața pământului și rezervor;
- strat impermeabil situat deasupra rezervorului (și sub acesta).

Fluidul din rezervor înmagazinează căldura provenită din pământ. Puțul transportă fluidul din rezervor către suprafața pământului, pentru a putea valorifica căldura geotermală. Stratul impermeabil de rocă de deasupra rezervorului are rolul de a împiedica apa (și căldura) să se disipeze. Rezervorul se poate alimenta natural cu apă prin straturi permeabile adiacente acestuia și prin fisuri, în scoarță, către rezervor (Figura

5.244). Alimentarea naturală a rezervorului se realizează cu ajutorul apelor pluviale și/sau din acumulări mari de apă adiacente rezervorului (lacuri, mări, oceane, etc.).

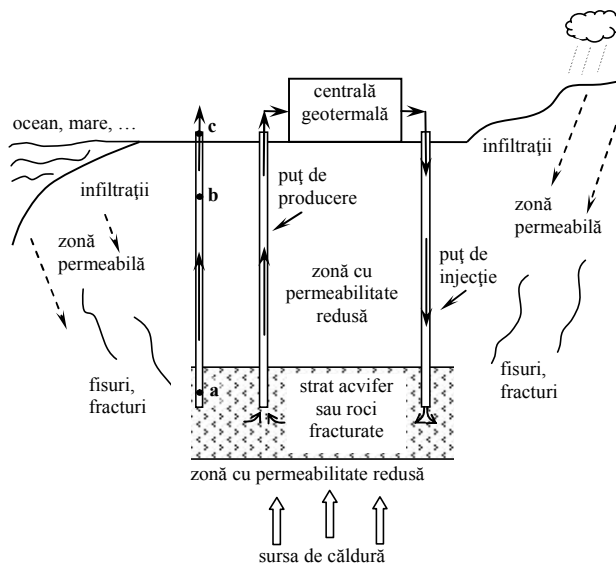


Fig. 5.2.44 Schemă simplificată de extracție a căldurii dintr-un sistem geotermal hidrotermal

Una din condițiile necesare pentru asigurarea viabilității valorificării resurselor geotermale este aceea că *alimentarea naturală cu apă a rezervorului* să facă față exploatării acestuia pentru o perioadă suficient de îndelungată. Dacă această condiție nu este îndeplinită, inițial sau la un moment dat, sau dacă rezervorul nu conține apă, trebuie ca alimentarea acestuia să se facă în mod artificial. Alimentarea artificială a rezervorului se realizează cu ajutorul unor *puțuri de injecție a apei*, forate către rezervor. Locul de injecție a apei în rezervor trebuie să fie la o distanță suficientă de locul de extracție a apei pentru a putea asigura încălzirea acesteia. Apa de injecție provine, uzual, din apa extrasă, după ce s-a cedat căldură sistemului de valorificare a energiei geotermale.

Crearea rezervorului și permeabilitatea acestuia poate fi realizată de către om. Procedeu de realizare artificială a rezervorului și a permeabilității se aplică la noile metode de extragere a căldurii din rocile uscate fierbinți. Acesta constă în injecția de apă sub presiune pentru a fractura rocile. Pentru ca acest procedeu să fie cât mai eficient, atât din punct de vedere tehnic, cât și economic, se încearcă găsirea unor fracturi naturale în roci și stimularea hidrolică a acestora. Astfel, prin mărirea fracturilor existente și crearea altora, se asigură traseele de circulație a apei între locul de injecție și cel de extracție al apei din rezervor (Figura 5.2.45). Este evident faptul, că pentru acest procedeu, avem nevoie în zonă de o cantitate foarte mare de apă.

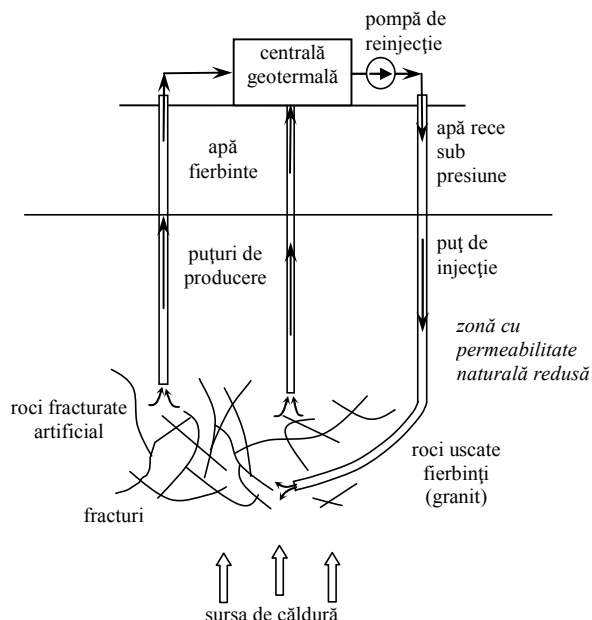


Fig. 5.2.45 Schemă simplificată de extracție a căldurii dintr-un sistem de roci uscate fierbinți

Valorificarea energiei geotermale de potențial termic mediu - ridicat cu cicluri motoare

a) Centrale geotermale – electrice (C.G.T.E.) cu abur

Cele mai simple C.G.T.E. cu abur sunt cele în care, după destinderea în turbină, fluidul de lucru geotermal este evacuat în direct atmosferă. C.G.T.E. cu abur și turbină cu abur (T.A.) cu evacuarea aburului în atmosferă pot fi, în funcție de starea de agregare a fluidului geotermal, cu: abur uscat (Figura 5.2.46) sau cu abur umed.

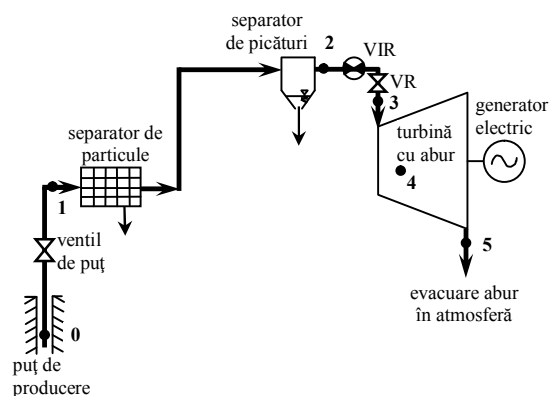


Fig. 5.2.46 C.G.T.E. cu abur uscat și T.A. cu evacuarea aburului în atmosferă

În cazul C.G.T.E., aburul rezultat din puțul de producere poate fi aproape de saturație sau chiar supraîncălzit. Înainte de a se destinde în turbină el trece printr-un separator de particule, pentru a nu permite impurităților de natură mecanică să intre în turbină. Astfel se protejează paletelile turbinei împotriva eroziunii. La intrarea în turbină există două tipuri de ventile: VIR – ventil(e) de închidere rapidă și VR – ventile de reglare. VIR în funcționare normală e complet deschis, iar la avarii pentru izolarea/ocolirea turbinei se închide. Ansamblul VR reglează debitul de abur la intrarea în turbină, în funcție de gradul de încărcare dorit. Amortizorul are rolul de a reduce nivelul de zgomot la evacuarea aburului direct în

atmosferă.

Pentru a crește puterea electrică produsă se poate mări destinderea în turbină prin coborârea presiunii de ieșire din aceasta. Scăderea presiunii de evacuare sub cea atmosferică se realizează prin adăugarea unui condensator la ieșirea din turbină (Figura 5.2.47). Pentru realizarea unei presiuni cât mai mici la condensator și menținerea vidului în acesta este necesară eliminarea aerului pătruns în condensator din mediul ambiant (prin neetanșeități) și a gazelor necondensabile din fluidul geotermal. Acest lucru se realizează uzual cu un ejector) care folosește ca agent motor abur de la intrarea în turbină.

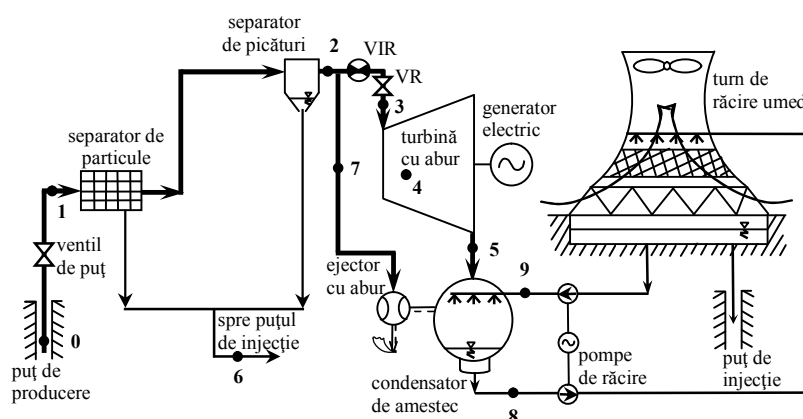


Fig. 5.2.47 C.G.T.E. cu abur uscat și T.A. cu condensare

b) Centrale geotermale – electrice cu fluide organice

C.G.T.E. cu fluide organice funcționează după ciclul Rankine. Agentul de lucru primește căldura de la fluidul geotermal, aflat în stare lichidă, prin intermediul unor schimbătoare de căldură. Schema se folosește în special când fluidul geotermal, în stare lichidă, preluat cu o pompă submersibilă, are temperaturi de circa $100 \div 160 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ceea ce limitează valorificarea lui într-o C.G.T.E. cu abur. Faptul că fluidul geotermal evoluează doar în stare lichidă, menține constantă concentrația de minerale în apă și reduce pericolul de depuneri a substanțelor minerale ce au curbă de solubilitate normală (SiO_2 în stare amorfă).

Utilizarea ca agent motor a fluidelor organice (propan, butan, izobutan, pentan, izopentan sau a amoniacului) este recomandată datorită temperaturii reduse de vaporizare a acestora. În plus, acești agenți au presiunea la condensator mai mare decât cea atmosferică. Reglementările recente de mediu elimină anumite substanțele (agenții frigorifici fluorurați, etc.), acceptabile din punct de vedere al proprietăților termodinamice, dar care nu sunt „prietenoase” cu mediul.

În Figura 5.2.48 se prezintă schema simplificată a unei C.G.T.E. cu un singur nivel de producere a vaporilor de fluid organic (ciclu de bază).

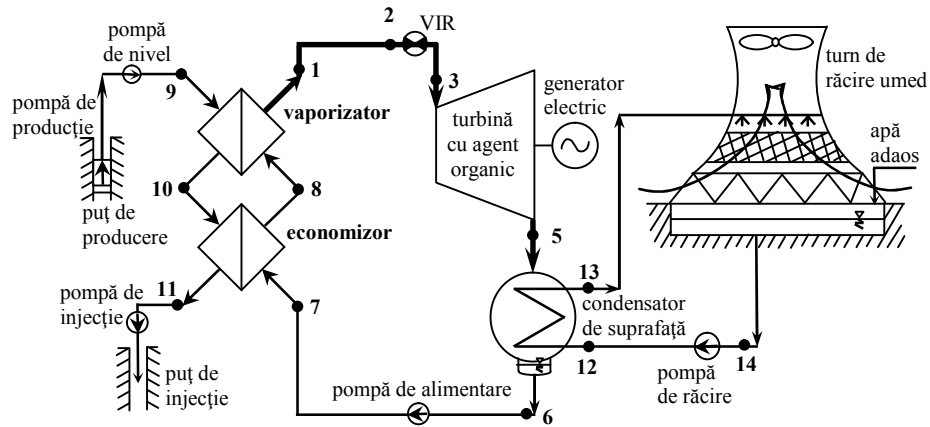


Fig. 5.2.48 C.G.T.E. cu agent organic având un singur nivel de producere a vaporilor de fluid organic, la saturație, ciclu de bază

Înainte de a intra în turbină, fluidul organic este preîncălzit în economizor până se obține lichid la saturație ($x=0$), iar apoi este vaporizat în vaporizator până se obțin vapori la saturație ($x=1$).

C.G.T.E. cu fluide organice au randamente termice mici, de circa $9 \div 10 \%$, prin urmare, la sursa rece este evacuată o cantitate mare de căldură. Acest fapt duce la folosirea unor suprafețe mari de schimb de căldură la sursa rece (mai ales în cazul răcirii directe cu aer) și a multor turnuri de răcire. Pentru a reduce din acest efect negativ, în cazul fluidelor organice la care ieșirea din turbină se află în zona vaporilor supraîncălziți, se poate introduce un recuperator de căldură între ieșirea din turbină și intrarea în condensator (Figura 5.2.49). Acesta are rolul de a recupera o parte din căldura care altfel ar fi fost aruncată în mediul ambiant prin intermediul condensatorului. Astfel, recuperatorul, prin desupraîncălzirea parțială a vaporilor de la ieșirea din turbină (zona 5-15), preîncălzește fluidul organic (zona 16-7) între ieșirea din pompa de alimentare (punctul 16) și intrarea în economizor (punctul 7). Un efect secundar este dat de faptul că agentul organic intră mai cald în economizor și astfel fluidul geotermal se va răci mai puțin și va intra mai cald în puțul de injecție.

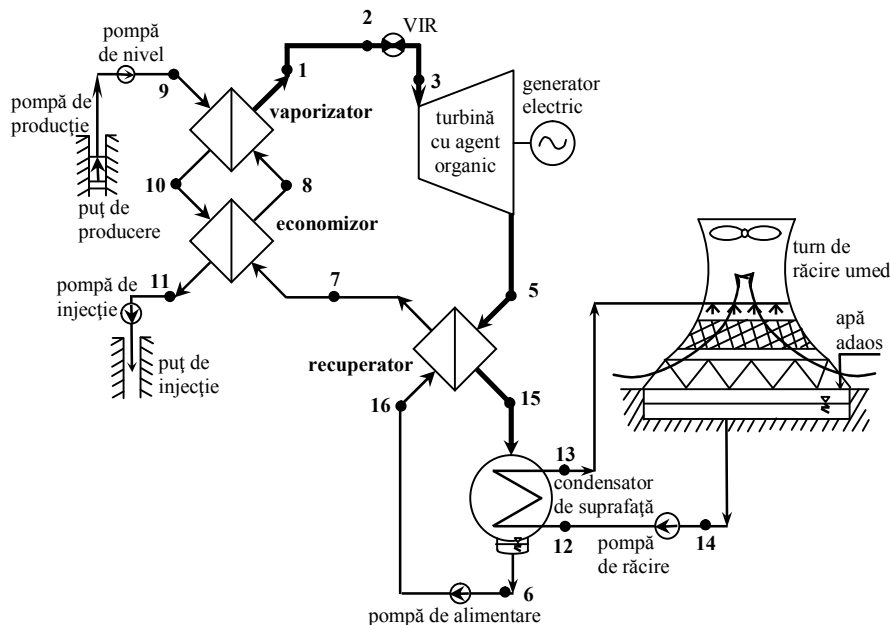


Fig. 5.2.49 C.G.T.E. cu un singur nivel de producere a vaporilor de fluid organic la saturație și recuperator de căldură la ieșirea din turbină

c) Centrale geotermale – electrice cu ciclu combinat, apă - agent organic

Din paragraful anterior se observă că ciclurile cu fluide organice pot funcționa la temperaturi reduse ale fluidului de lucru, astfel, se poate crește puterea C.G.T.E. cu abur menținând aceleași caracteristici la sursa geotermală, prin realizarea de C.G.T.E. cu ciclu combinat apă - agent organic.

C.G.T.E. cu ciclu combinat pot fi realizate în două variante:

- cu cascadă termodinamică și utilizarea în trepte a căldurii;
- cu recuperarea căldurii apei de la expandor în ciclul organic.

C.G.T.E. cu ciclu combinat cu cascadă termodinamică (Figura 5.2.50) utilizează în prima treaptă o turbină cu abur cu contrapresiune, în care destinderea este întreruptă uzual la o presiune superioară celei atmosferice pentru:

- a asigura o temperatură adecvată funcționării ciclului organic din aval;
- eliminarea instalațiilor de menținere a vidului din ciclul cu abur; gazele nedizolvate pot fi evacuate în mod natural în atmosferă; iar dacă se dorește reținerea acestor gaze, din considerente ecologice, sau pentru valorificare economică, se poate folosi un compresor pentru trimiterea la puțul de injecție, respectiv la cumpărătorul gazelor.

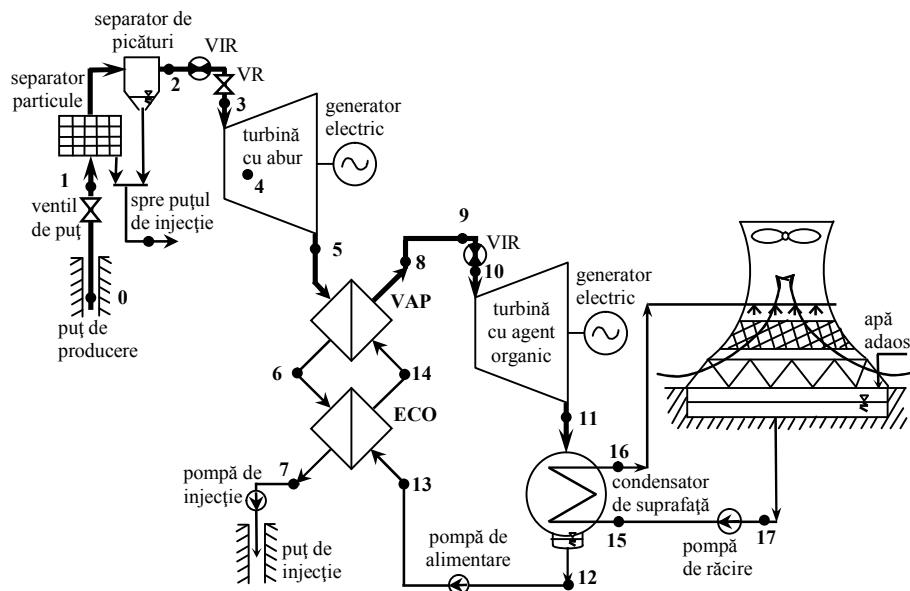


Fig. 5.2.50 C.G.T.E. cu ciclu combinat abur - agent organic, cu cascadă termodinamică

Acest tip de ciclu se folosește în special la scheme fără expandoare, cu turbine ce funcționează cu abur uscat, în care nu există posibilități de recuperare a căldurii. Puterea produsă în turbina cu abur cu contrapresiune este comparabilă cu cea din cazul prezentat în *Figura 5.2.47* (T.A. cu evacuarea aburului în atmosferă), dar mai mică decât cea din schema prezentată în *Figura 5.2.48* (T.A. cu condensare). Dezavantajul este suplinit prin producția suplimentară de putere în turbina din ciclul cu fluid organic, astfel încât ciclul combinat se justifică dacă produce o putere electrică totală mai mare decât cea dată de ciclul simplu cu abur.

Unul din avantajele principale ale ciclului combinat din *Figura 5.2.50* față de cel simplu cu abur prezentat în *Figurile 5.2.47 și 5.2.48* este dat de utilizarea ca sursă rece, pentru ciclul cu abur, a ciclului cu fluid organic. Astfel, se reduce cantitatea de căldură evacuată în mediul ambiant la cea evacuată din condensatorul ciclului cu fluid organic și implicit se reduce atât investiția în turnurile de răcire cât și impactul termic asupra mediului. În plus, dacă răcirea este „uscată”, cu aer, dispar efectele negative date de umiditatea crescută în zona centralei și de efectul vizual al panașului turnului de răcire. Pentru micșorarea investiției se recomandă folosirea unei singure linii de arbori, cele două turbine antrenând un generator electric comun.

În cea de-a doua variantă, cu recuperarea căldurii apei de la expandor în ciclul organic, ciclul organic este recuperativ în raport cu cel cu fluid geotermal (*Figura 5.2.51*). Apa la saturație rezultată de la separatorul de apă-abur (expandor) (punctul 9) este trimisă cu ajutorul unei pompe de nivel într-un schimbător de căldură (ECO+VAP) pentru a preîncălzi (zona 11-12, respectiv 20-21) și vaporiza (zona 10-11, respectiv 21-13) un fluid organic. Acest schimbător de căldură (zona 20-21-13) reprezintă, astfel, sursa caldă pentru ciclul cu fluid organic, ce va produce suplimentar putere (zona 15-16), față de turbina cu abur (zona 3-5). La ieșirea din ECO (punctul 12) fluidul geotermal este trimis cu ajutorul unei pompe de injecție în puțul de injecție pentru a realimenta rezervorul geotermal.

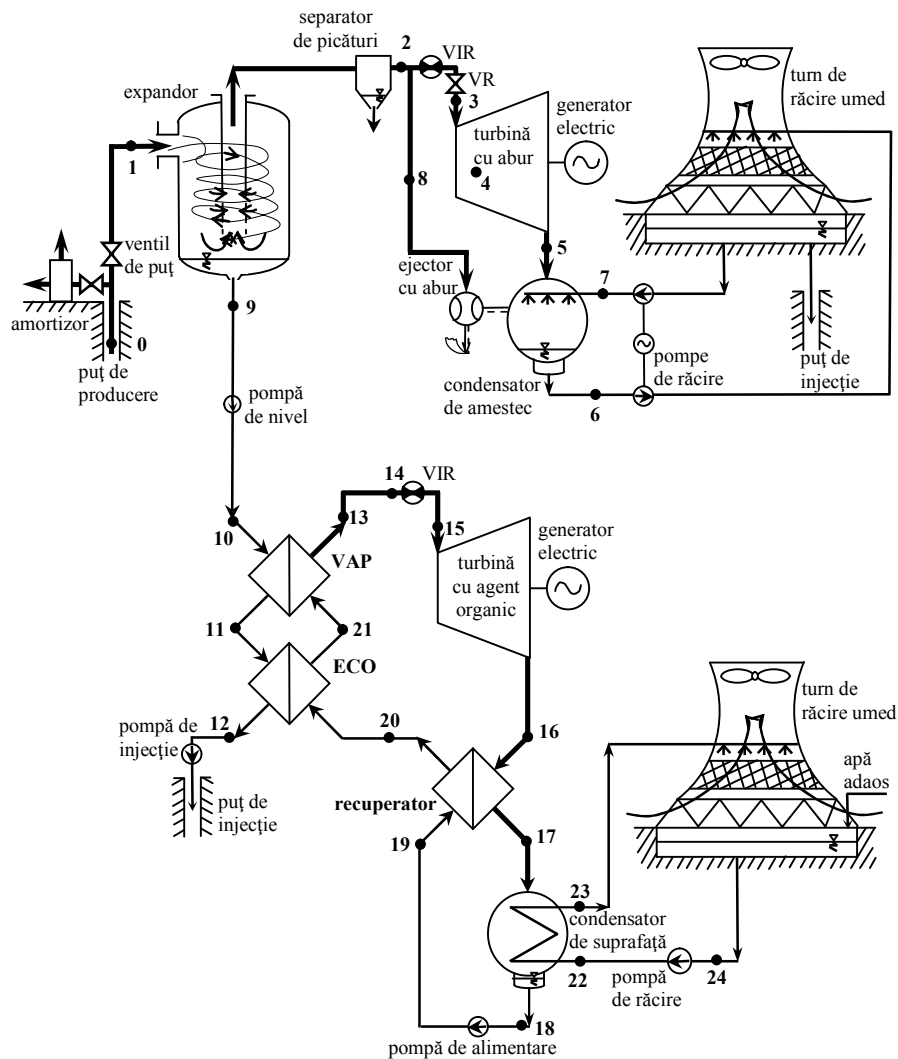


Fig. 5.2.51 C.G.T.E. cu ciclu combinat recuperativ abur – agent organic, în care ciclul organic are recuperator intern de căldură

d) Centrale geotermale cu ciclu combinat integrat

Combinând avantajele celor două tipuri de cicluri combinate geotermal-organic, prezentate anterior, se pot realiza scheme de C.G.T.E. ce recuperează, pe lângă căldura apei de la ieșirea din expander, și pe cea de la contrapresiunea turbinei cu abur. Putem obține, astfel, scheme de C.G.T.E. cu ciclu combinat „integrat” abur – agent organic:

- cu un singur ciclu de fluid organic, *Figura 5.2.52*;
- cu două cicluri cu fluid organic.

Analizând schema din *Figura 5.2.52* se observă următoarele:

- există două cicluri: unul de bază cu abur (ciclul 1) și altul cu fluid organic (ciclul 2);
- ciclul cu fluid organic este atât integrat (cascadă termodinamică) cât și recuperativ, în raport cu ciclul cu fluid geotermal;

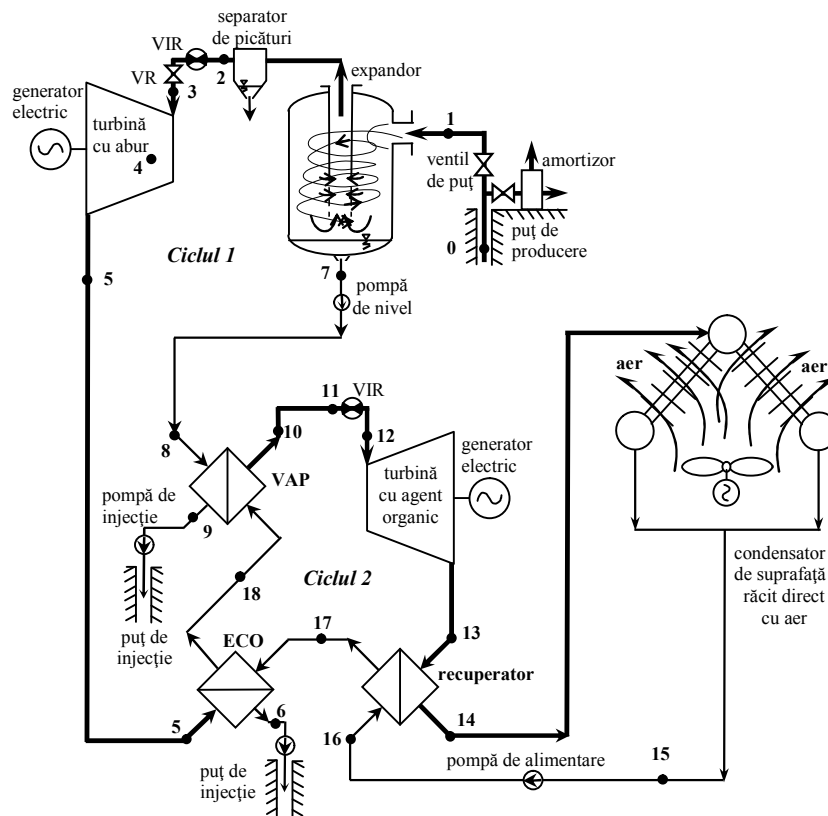


Fig. 5.2.52 C.G.T.E. cu ciclu integrat geotermal-organic, cu un ciclu de fluid organic

- integrarea ciclului 2 în ciclul 1 se face prin utilizarea unei părți din căldura de la contrapresiunea turbinei cu abur (zona 5-6) pentru preîncălzirea agentului organic în ECO (zona 17-18);
- recuperarea de căldură din ciclul 1, de către ciclul 2, se face prin preluarea unei părți din căldura apei de la ieșirea din expandor (zona 8-9) pentru a vaporiza agentul organic în VAP (zona 18-10);
- temperatura aburului de la ieșirea din turbină (punctul 5) este mai mică decât temperatura apei de la ieșirea din expandor (punctul 7), prin urmare, recuperarea de joasă temperatură (pentru preîncălzirea agentului organic) se va face din contrapresiunea turbinei cu abur, iar vaporizarea fluidului organic se va realiza folosind nivelul de temperatură superior (ieșirea din expandor);
- răcirea ciclului 2 se poate face atât cu apă, cât și prin răcirea directă a condensatorului cu aer;
- ciclul cu fluid organic poate avea recuperator de căldură (zona 13-14, respectiv 16-17) la ieșirea din turbină (punctul 13);
- atât condensul provenit de la contrapresiunea turbinei cu abur (punctul 6), cât și apa provenită de la expandor, după ce a cedat căldură la VAP (punctul 9), sunt trimise, cu ajutorul unei pompe de injecție, către puțul de injecție.

Schema C.G.T.E. cu ciclu integrat geotermal-organic cu două cicluri cu fluid organic, față de schema precedentă mai are un ciclu cu fluid organic (ciclul 3) recuperativ față de ciclul 1. Integrarea ciclului 3 în ciclul 1 se face prin utilizarea unei părți din căldura de la contrapresiunea turbinei cu abur pentru preîncălzirea și vaporizarea agentului organic.

e) Centrale geotermale de cogenerare

C.G.T.E. pot fi construite sau adaptate pentru a produce și căldură, pe lângă energie electrică. De asemenea, căldura poate fi utilizată ca atare, sau pentru a produce frig. Astfel, C.G.T.E. pot deveni centrale de bi-generare, dacă instalația de conversie a energiei geotermale în energie electrică generează simultan electricitate și căldură utilă sau electricitate și frig, sau centrale de tri-generare, dacă produc simultan toate cele trei forme de energie: electricitate, căldură și frig. Căldura mai poate fi produsă separat sau parțial în cogenerare și parțial separat, în funcție de importanța unei anume forme de energie la un moment dat (dată în special de prețul energiei și de cerințele consumatorilor termici) și implicit de tipul de reglaj folosit.

Producția de căldură la C.G.T.E. poate fi: integrată în ciclul motor, în cascadă termodinamică (Figura 5.2.53), recuperativă (Figura 5.2.54), sau atât recuperativă cât și integrată în ciclul termodinamic [x.14] (Figura 5.2.55).

C.G.T.E. de producție combinată recuperativă (Figura 5.2.54) utilizează căldura fluidului geotermal înainte ca acesta să fie evacuat în mediul ambiant sau să fie trimis către puțul de evacuare, fără a influența performanțele termodinamice ale turbinei. Căldura pentru consumatorul termic, poate fi preluată, funcție de schema utilizată, de la apa evacuată din expandor sau de la fluidul geotermal evacuat din preîncălzitor (economizor).

C.G.T.E. de cogenerare integrate în ciclul termodinamic influențează performanțele energetice ale turbinei. Acestea pot utiliza căldura fluidului geotermal: de la ieșirea din turbina cu abur (contrapresiune) (Figurile 5.2.53 a și b), de la contrapresiune și expandor, de la o priză de abur din turbina - C.G.T.E. cu abur umed (parțial Figura 5.2.55), de la contrapresiunea turbinei cu fluide organice, etc..

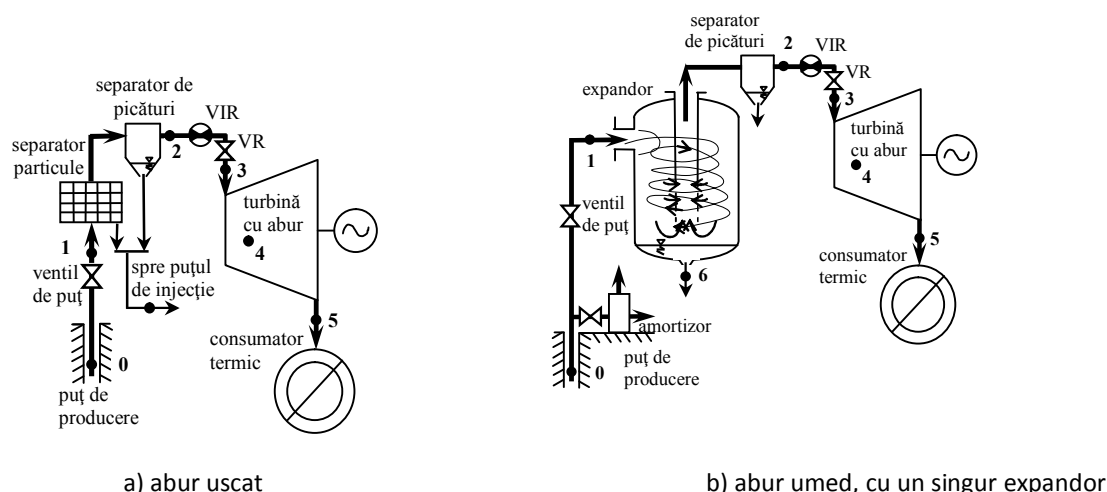


Fig. 5.2.53 C.G.T.E. de cogenerare integrată în ciclul cu abur, cu turbină cu abur cu contrapresiune, funcționând cu: a) abur uscat și b) cu abur umed, cu un singur expandor

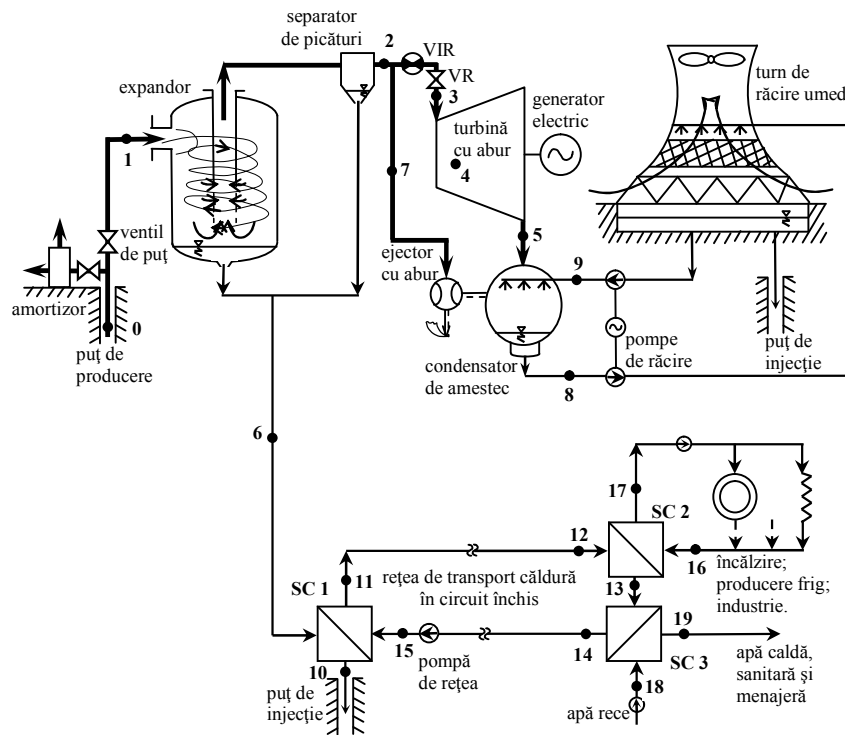


Fig. 5.2.54 C.G.T.E. cu abur umed de cogenerare recuperativă, cu turbină cu abur umed și un singur expander; rețea de transport căldură în circuit închis

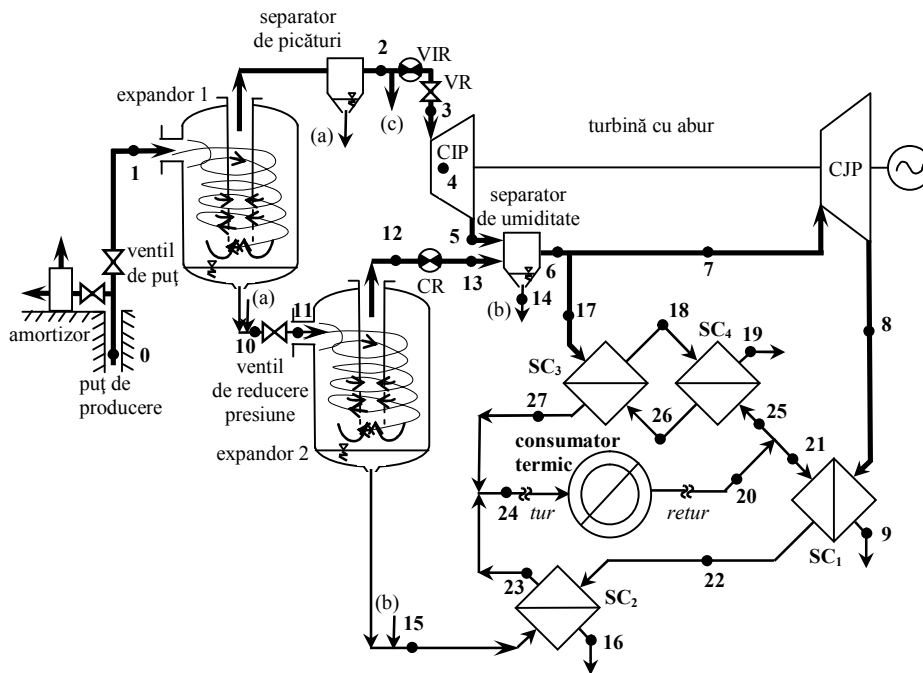


Fig. 5.2.55 C.G.T.E. cu abur umed de cogenerare recuperativă și integrată în ciclul cu abur, cu două expandoare, separator intermediar de umiditate; rețea de transport căldură în circuit închis

C.G.T.E. de cogenerare, pot avea o multitudine de scheme de conversie a energiei. În alegerea fluidului/fluidelor de lucru și a ciclului de conversie a energiei, în cadrul C.G.T.E. de cogenerare, trebuie să se țină seama de:

- potențialul termic, curba de productivitate a puțurilor și compoziția chimică a fluidului geotermal;
- modul de valorificare a energiei termice utile și distanța până la consumatorul termic;

- nivelul termic cerut de consumator și curbele de sarcină electrică și termică ale acestuia;
- potențialul de apă din zonă pentru răcire și eventual pentru cogenerare și modul de răcire a centralei: în circuit deschis, cu turnuri de răcire umede sau cu condensator răcit cu aer;
- randamentele de conversie a energiei;
- ponderea consumatorilor de energie electrică din centrală (servicii proprii electrice și alți consumatori);
- costurile de investiții;
- spațiul aferent centralei;
- elemente de legislație (în special ecologică).

Valorificarea directă a energiei geotermale sub formă de căldură

Utilizarea directă a căldurii este cea mai veche, versatilă și comună formă de utilizare a energiei geotermale. Din cele mai vechi timpuri, oamenii au utilizat izvoarele termale pentru scăldat, gătirea alimentelor sau relaxare. În zilele noastre, sursele de ape geotermale mai sunt încă folosite pentru baie și relaxare, însă au fost dezvoltate și multe alte forme de exploatare.

În sistemele moderne de utilizare directă, se forează un puț până la rezervorul geotermal, prin care se va asigura un flux continuu de apă/abur fierbinte. Fluidul este adus către suprafață, unde un sistem mecanic – conducte, schimbător de căldură și dispozitive de control – livrează energie termică în mod direct pentru utilizare. După extragerea căldurii, apa este fie reinjectată în sol, fie dispersată la suprafață (dacă reglementările ecologice permit această operație).

La nivel mondial, capacitatea instalată pentru utilizare directă a energiei geotermale este de 28 268 MWt iar energia utilizată este de 273 372 TJ/an (75 943 GWh/an), distribuită între 72 de țări. Valorile menționate reprezintă o economie de 25,4 milioane tone echivalent petrol (tep) pe an. Țările cu cea mai mare contribuție sunt prezentate în *Tabelul 5.2.11*.

Tabelul 5.2.11

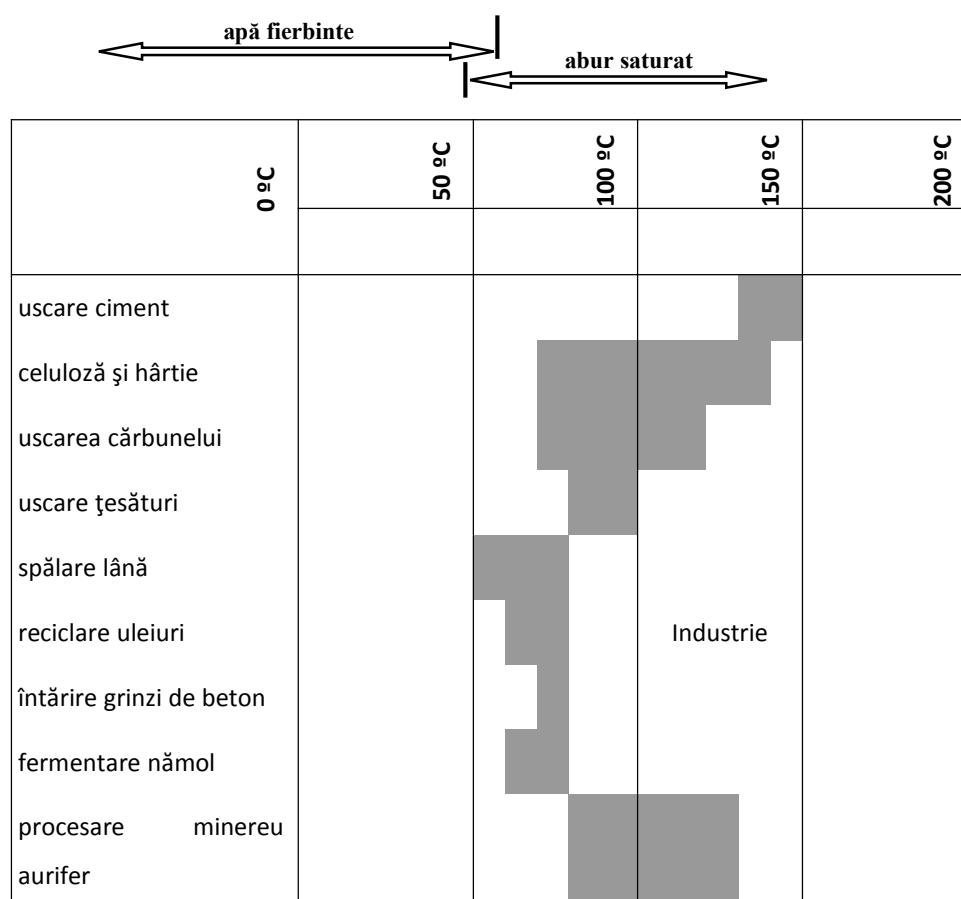
Țările cu aportul cel mai mare la utilizarea directă a energiei geotermale

Țara	Utilizare		Capacitate instalată [MWt]	Factor de utilizare [%]	Utilizare principală
	TJ/an	GWh/an			
China	45 373	12 605	3 687	39	Băi termale
Suedia	36 000	10 000	3 840	30	Pompe de căldură
S.U.A.	31 239	8 678	7 817	13	Pompe de căldură

Turcia	24 840	6 900	1 495	53	Băi termale / Încălzire
Islanda	24 500	6 806	1 844	42	Termoficare
Japonia	10 301	2 862	822	40	Băi termale
Italia	7 554	2 098	607	39	Băi termale / Balneoterapie
Ungaria	7 940	2 206	694	36	Băi termale / Balneoterapie
Noua Zeelandă	7 086	1 968	308	73	Industrial
Brazilia	6 622	1 840	360	58	Băi termale / Balneoterapie

În ceea ce privește contribuția utilizării directe a energiei geotermale la consumul energetic național, Islanda și Turcia sunt de departe țările cu ponderea cea mai importantă. În Islanda, energia geotermală acoperă 89 % din necesitățile țării privind încălzirea spațiilor, ceea ce este important, având în vedere că în această țară încălzirea este necesară aproape tot timpul anului.

Valorificarea directă (sau non-electrică) a energiei geotermale presupune utilizarea imediată a acesteia, în locul conversiei în altă formă de energie - cum ar fi de exemplu cea electrică. În general, temperaturile fluidului geotermal utilizat direct sunt mai mici decât cele ale fluidului utilizat pentru producerea energiei electrice. *Figura 5.2.56* ilustrează o adaptare a *diagramei Lindal*, care prezintă intervalele de temperaturi corespunzătoare diferitelor utilizări directe ale energiei geotermale.



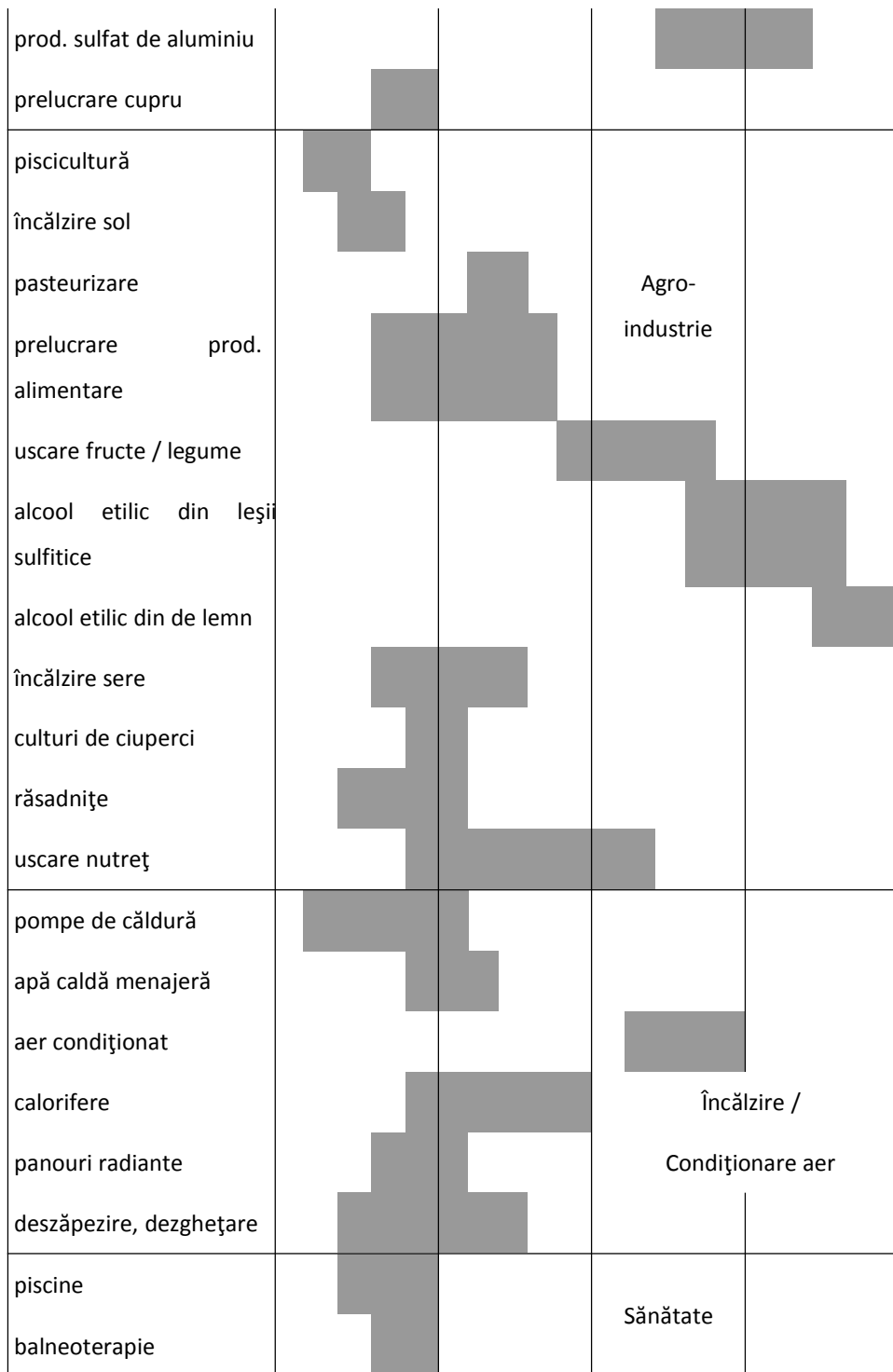


Fig. 5.2.56 Aplicații ale utilizării directe a energiei geotermale (adaptare *diagrama Lindal*)

Energia geotermală poate fi utilizată în multe aplicații care necesită o sursă de căldură. Utilizările sale actuale includ încălzirea și răcirea spațiilor, balneoterapie, agricultură (încălzirea serelor, uscarea legumelor și fructelor), piscicultură, precum și diverse procese industriale. În *Figura 5.2.57* este prezentată distribuția capacității instalate (MWt) și a utilizării anuale a energiei geotermale (TJ/an) pe principalele aplicații, la nivel mondial.

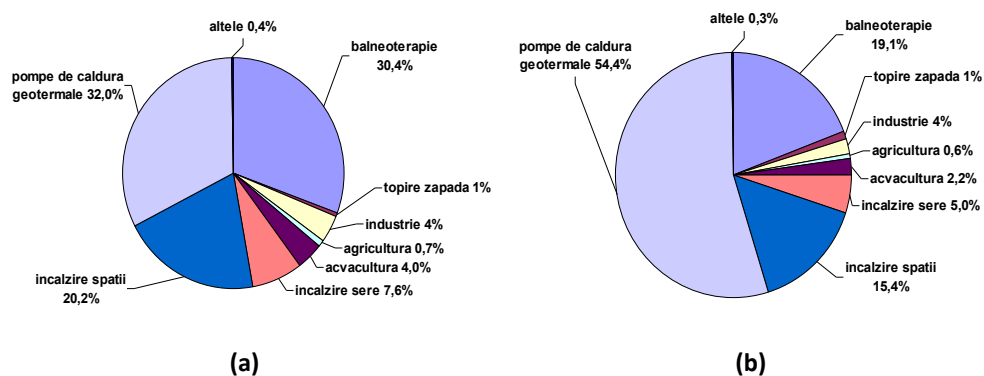


Fig. 5.2.57 Distribuția capacității instalate (a) și a utilizării anuale a energiei geotermale (b) pe principalele aplicații, la nivel mondial (2005)

După cum se poate observa în *Figura 5.2.57*, aplicația cu cea mai mare pondere o constituie valorificarea directă a energiei geotermale cu ajutorul pompelor de căldură. Din acest motiv, în cadrul acestei lucrări, pompelor de căldură geotermale li se va dedica un paragraf aparte.

Situația utilizării directe a energiei geotermale în România

România, ca multe țări ale Europei Centrale și de Est, dispune de importante resurse geotermale de joasă entalpie (50-120 °C) potrivite exploatării directe. Țara noastră dispune de un potențial de circa 167 mii tep/an resurse geotermale de joasă entalpie, din care în prezent se valorifică circa 30 mii tep/an.

Principalele utilizări directe ale energiei geotermale sunt: încălzirea spațiilor (39,7 %), băi și balneoterapie (32,2 %), încălzirea serelor (17,1 %), căldură pentru procese industriale (8,7 %), piscicultură și creșterea animalelor (2,3 %), factorul de utilizare (măsură a perioadei de timp în care este folosită o instalație) fiind 62 %. La nivelul sfârșitului anului 2004, situația utilizării directe a energiei geotermale în România este cea prezentată în *Tabelul 5.2.12*.

Tabelul 5.2.12

Situația utilizării directe a energiei geotermale în România (31 decembrie 2004)

Utilizare	Capacitate instalată [MWt]	Utilizare anuală [TJ/an]	Factor de utilizare [%]
Încălzire spații	57,2	1129	62
Încălzire sere	28,3	486	54
Piscicultură și creștere animale	3,1	65	66
Căldură pentru procese industriale	14,1	246	55
Băi și balneoterapie	42,2	915	68
TOTAL	144,9	2841	62

Primul puț geotermal din România, aflat încă în funcțiune, a fost forat în 1885 la Băile Felix, având o adâncime de 51 m, un debit de 195 l/s și o temperatură a apei de 49 °C. A fost urmat în 1893 de puțul de la Căciulata (37 °C), apoi 1897 la Oradea (29 °C) și în 1902 la Timișoara (31 °C).

Majoritatea operațiunilor în domeniul geotermal au fost realizate între anii 1975 și 1990, în special pentru băi și balneoterapie, încălzirea serelor, încălzirea spațiilor și a apei menajere și pentru unele aplicații industriale.

În prezent, gradul de valorificare a surselor de energie de origine geotermală este redus, cauza principală fiind determinată de lipsa unui suport financiar corespunzător, care nu favorizează dezvoltarea acestui sector energetic cu efecte economico-financiare superioare.

Valorificarea energiei geotermale de potențial termic mediu – coborât, cu ajutorul ciclurilor termodinamice inversate (pompe de căldură)

Aspecte generale

Pompele de căldură (PC) reprezintă una dintre soluțiile cele mai eficiente din punct de vedere energetic pentru alimentarea consumatorilor cu energie termică sub forma de căldură și/sau frig în multe aplicații, deoarece utilizează recuperarea căldurii surselor de potențial coborât reziduale sau regenerabile din împrejurimi. Chiar și la temperaturi joase, aerul, solul sau apa conțin o cantitate suficient de mare de căldură, ce este regenerată permanent de Soare.

În *Figura 5.2.58* este prezentată schema de principiu a unei pompe de căldură cu compresie mecanică de vapori, având următoarele componente: vaporizatorul (V), condensatorul (C), compresorul (K) și ventilul de laminare (VL). Componentele sunt conectate între ele și formează un circuit închis prin care circulă fluidul de lucru sau agentul frigorific.

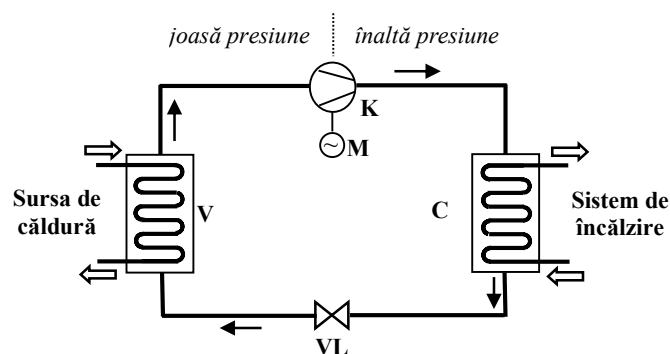


Fig. 5.2.58 Schema de principiu a unei pompe de căldură cu compresie mecanică de vapori

În vaporizator, temperatura fluidului de lucru lichid este păstrată la o valoare mai mică decât temperatura sursei de căldură, determinând transferul căldurii de la sursă către lichid, iar fluidul de lucru se evaporă. Vaporii produși în vaporizator sunt comprimați în compresor, la nivele de presiune și temperatură mai ridicate. Vaporii supraîncălziți intră apoi în condensator, unde condensează și degajă căldura utilă. În final,

fluidul de lucru de presiune înaltă se destinde în ventilul de laminare până la presiunea și temperatura vaporizatorului. Fluidul de lucru este readus astfel la stadiul inițial și se reia ciclul de la nivelul vaporizatorului.

Pompele de căldură cu compresie mecanică de vapori în circuit închis necesită un fluid de lucru din categoria agenților frigorifici. Fluidul ideal trebuie să asigure o eficiență excelentă și să nu prezinte nici un risc asupra mediului înconjurător local sau global. Aceasta înseamnă că nu trebuie să fie inflamabil, toxic și să aibă potențial de distrugere a stratului de ozon (ODP) nul și potențial de încălzire globală (GWP) nul. Datorită efectului negativ al clorului conținut în prima categorie de freoni utilizată (CFC - cloroflourocarburi) s-a interzis utilizarea lor începând cu anul 1995. Ca alternativă, în prezent se utilizează fluidele de tip HCFC, care au un ODP și GWP mult mai mici decât CFC-urile. Totuși, la ultima revizuire a Protocolului de la Montreal, HCFC-urile au fost incluse pe lista substanțelor controlate și s-a decis eliminarea lor treptată până în anul 2020, și eliminarea completă până în anul 2030. HFC-urile sunt alternative pe termen lung. Nu conțin clor și indicele ODP este nul. Totuși, unele HFC-uri prezintă un indice GWP mare și este posibil ca din acest motiv să fie supuse unor reglementări ulterioare.

Pompele de căldură sunt clasificate în general după natura „izvorului de căldură”, respectiv „sursei reci”. Astfel, pentru încălzirea/răcirea clădirilor rezidențiale și comerciale există trei tipuri principale: pompe de căldură cu sursă termică aerul, pompe de căldură cu sursă termică solul și pompe de căldură cu sursă termică apa.

Eficiența energetică a sistemelor de condiționare a aerului ce funcționează pe principiul ciclului termodinamic de răcire este evaluată prin *coeficientul de performanță* (COP), care reprezintă raportul dintre capacitatea de încălzire și puterea consumată din exterior. Pompele de căldură moderne, dimensionate și proiectate conform cerințelor, au valori ale COP cuprinse între 2,5 și 5.

Eficiența energetică pe o perioadă mai lungă de timp este caracterizată prin *factorul de performanță sezonieră la încălzire* (SPF sau HSPF) în cazul încălzirii și prin *factorul de eficiență energetică sezonieră* (SEER) în cazul răcirii.

Pentru calculul HSPF se măsoară atât consumul de energie electrică, cât și producția de căldură, pe durata unui an. Pe lângă consumul de energie electrică al compresorului, se iau în calcul și consumurile tuturor dispozitivelor periferice (pompe de circulație, aparate de măsură și control etc.). În timp ce COP se determină pentru valori instantanee sau medii pe o anumită perioadă ale mărimilor de calcul, SPF urmărește evoluția acestora pe întreaga perioadă de studiu. În modul de răcire, funcționarea unei pompe de căldură este identică cu cea a unei instalații de condiționare a aerului, SEER fiind o mărime analoagă HSPF.

Standardele în vigoare impun valori minime de 6,8 pentru HSPF și de 10 pentru SEER. Pompele de căldură avansate au HSPF de minimum 9 și SEER de cel puțin 15.

Pompe de căldură geotermale

Pompele de căldură geotermale transferă căldura din pământ în imobile, pentru încălzire și în unele cazuri pentru preîncălzirea apei calde menajere. Ele pot fi utilizate și pentru condiționarea aerului, caz în care solul este utilizat pentru disiparea căldurii extrase din spațiul supus climatizării. Acest tip de instalații reprezintă una dintre aplicațiile energiei regenerabile cu cea mai accelerată dezvoltare în lume, cu o creștere anuală de 10 % în aproximativ 30 de țări în ultimii ani [x.18]. Principalul său avantaj constă în utilizarea energiei solului sau a apelor freatice, ce se află la temperaturi cuprinse între aproximativ 5 și 30 °C, disponibilă pe întreg globul pământesc. Această creștere importantă a fost înregistrată în S.U.A. și Europa, însă există un interes din ce în ce mai mare în Japonia și Turcia.

Elemente componente ale sistemelor de pompe de căldură geotermale

Sistemele de pompe de căldură geotermale se compun din trei elemente importante (*Figura 5.2.59*):

- **colectorul geotermal**, format în cele mai multe cazuri din conducte de polietilenă așezate într-un circuit închis sau deschis, îngropate în pământ. Prin colector circulă apă sau un amestec de apă cu antigel, care preia căldura stocată în sol;
- **pompa de căldură**, a cărei funcționare a fost prezentată în paragraful anterior;
- **sistemul de distribuție a căldurii**, format din serpentine pentru încălzirea prin podea sau radiatoare pentru încălzirea spațiilor și în unele cazuri echipamente pentru stocarea apei calde.

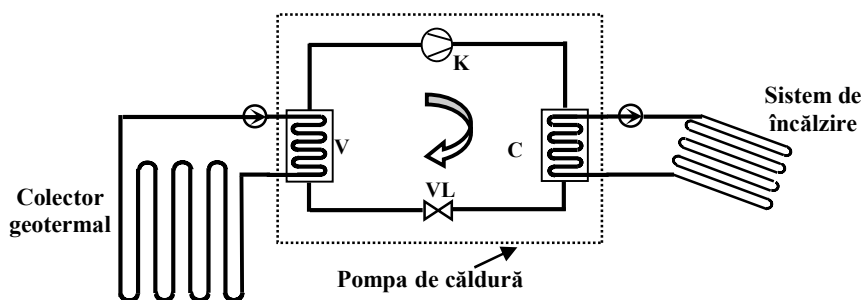


Fig. 5.2.59 Sistem de pompă de căldură geotermală

Cele trei circuite sunt conectate între ele prin intermediul vaporizatorului respectiv condensatorului pompei de căldură.

Clasificarea colectorilor geotermali

Există patru tipuri principale de colectori geotermali. Trei dintre acestea – orizontale, verticale, imersate – sunt în buclă închisă. Al patrulea tip îl reprezintă colectorul în buclă deschisă.

În sistemele închise, colectorii sunt montați în sol (dispunere orizontală, verticală sau oblică) iar prin interiorul lor circulă un fluid colector care transportă căldura din pământ către pompa de căldură, sau invers. Acest fluid este separat de sol și apa freatică prin perețele colectorului, obținându-se astfel un sistem „închis”.

Sistemele deschise utilizează apa freatică pe post de fluid colector fiind adusă direct către pompa de căldură. Deoarece între sol, apa freatică și vaporizatorul pompei de căldură nu există o barieră, acest sistem se numește „deschis”.

Colectorii sunt realizați din materiale care trebuie să asigure o durabilitate mare dar în același timp și o eficiență bună a transferului termic. Cel mai utilizat material este polietilena de înaltă densitate care asigură o rezistență mecanică și chimică foarte bună în timp (garantată cel puțin 50 de ani), având o conductivitate termică ridicată. Un alt tip de colector, utilizat direct pentru încălzire sau răcire, utilizează o buclă din țevi de cupru îngropate în pământ. În acest caz, colectorul reprezintă chiar vaporizatorul pompei de căldură.

Lungimea colectorului depinde de foarte mulți factori, dintre care cei mai importanți sunt: tipul configurației alese pentru buclă, sarcina termică deservită, tipul solului, condițiile climatice locale. Tipurile de colectori prezentate anterior vor fi detaliate în cele ce urmează.

Sistem închis – colector orizontal

Din categoria sistemelor închise, configurația cu instalarea cea mai simplă este cea în buclă orizontală. În plus, această așezare asigură cea mai mare eficiență raportată la investiția efectuată, acolo unde spațiul este suficient iar șanțurile sunt ușor de săpat.

Colectorul în buclă orizontală este format dintr-o serie de țevi paralele așezate în șanțuri de 1-2 metri adâncime. Uzual, țevile sunt realizate din polietilenă de înaltă densitate, cu diametre cuprinse între $\frac{3}{4}$ " (19 mm) și $1\frac{1}{2}$ " (38 mm) și o lungime a buclei de 35-60 m per kW.

Ca urmare a suprafețelor de pământ disponibile limitate, în vestul și centrul Europei țevile sunt dispuse la distanță mică între ele, în configurație serie sau paralel (*Figurile 5.2.60 a și b*). La montarea colectoarelor cu țevi dese, stratul superior de pământ este scos complet, se așează colectorul pe fundul gropii, după care se acoperă cu pământ.

În țările din nordul Europei și în America de Nord, unde prețul pământului este mic, se preferă utilizarea unei bucle formate dintr-o singură țeavă, îngropată într-un șanț (*Figura 5.2.60 c*).

Pentru a reduce suprafața ocupată de colectoare, au fost puse la punct schimbătoare de căldură geotermale de construcție specială. Utilizând o suprafață mai mică pentru același volum, aceste tipuri de colectoare sunt fezabile în cazul pompelor de căldură utilizate în zonele unde refacerea temperaturii

naturale a pământului nu este vitală. Un tip particular – colector multiplu îngropat într-un șanț (*Figura 5.2.60 d*) a început să aibă o răspândire tot mai mare în Europa, în special în Austria și sudul Germaniei.

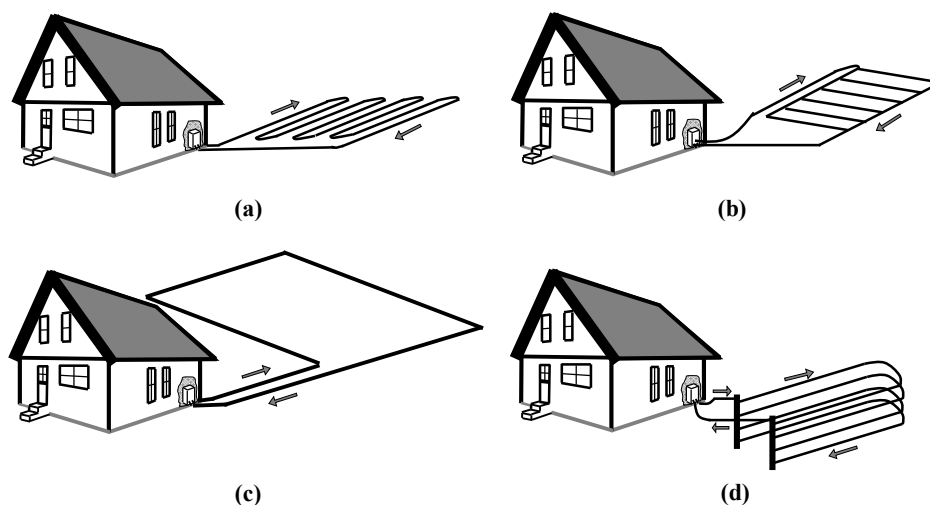


Fig. 5.2.60 Configurații de bucle pentru colectori geotermali orizontali

a) serie; b) paralel; c) șanț pentru o țevă; d) șanț pentru colector multiplu

Sistemul cel mai răspândit pentru condiții climatice ca cele din România este cel cu conducte de polietilenă așezate într-un circuit închis în bucle orizontale îngropate la o adâncime de 1,5-2 metri în pământ. Prin aceste conducte circulă un amestec de apă cu antigel. Dimensionarea acestora se face după suprafața de încălzit: suprafața ocupată de conductele îngropate în pământ este de 1,5-2 ori mai mare decât suprafața încălzită, prin urmare pentru o locuință de 150 m² este necesară o suprafață de 225-300 m² de teren în care să fie îngropată conducta.

În cazul colectoarelor orizontale, principala sursă de energie pentru refacerea potențialului termic al solului o constituie radiația solară captată de pământ. De aceea, este important ca suprafața de pământ sub care sunt îngropate colectoarele să nu fie acoperită.

O variantă a pompelor de căldură geotermale cu colectori orizontali o constituie detenta directă. În acest caz, agentul frigorific al pompei de căldură circulă direct prin colectorul îngropat în pământ, colectorul devenind astfel vaporizatorul pompei de căldură.

Sistem închis – colector spiralat

O variantă particulară de colector orizontal îl constituie colectorul în buclă spiralată. Acest tip de buclă se obține prin dispunerea în plan orizontal sub formă de inele suprapuse a furtunului colector (*Figura 5.2.61 a*). O altă variantă a colectorului în buclă spiralată presupune plasarea buclelor în plan vertical în șanțuri de lățime mică (*Figura 5.2.61 b*).

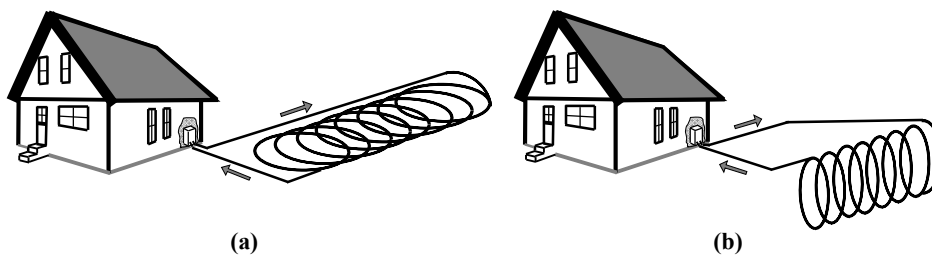


Fig. 5.2.61 Colector geotermal dispus în buclă spiralată

a) orizontal; b) vertical

Configurația în buclă spiralată necesită mai mult furtun colector, dar șanțuri mai mici decât oricare din buclele orizontale prezentate anterior. Spiralele orizontale se plasează în șanțuri cu lățimea cuprinsă între 0,9 și 1,8 m. În cazul mai multor șanțuri, acestea se sapă la o distanță de aproximativ 4 m între ele. Șanțurile în care se plasează spiralele verticale au lățimi de circa 15 cm.

În cazurile în care costul pentru săparea șanțurilor reprezintă o componentă importantă a investiției totale în instalație, utilizarea colectorilor în buclă spiralată conduce la scăderea semnificativă a costurilor.

Sistem închis – colector vertical

Deoarece temperatura solului de sub „zona neutră” (cca. 10-20 m adâncime) rămâne constantă în decursul anului [x.20] și datorită nevoii instalării unui colector de capacitate mare într-o zonă cu suprafață disponibilă mică, sistemele în buclă verticală reprezintă soluția potrivită.

Colectorii verticali sunt plasați în puțuri cu adâncimi cuprinse între 25 și 150 m. Necesarul de lungime a colectorului variază între 17 și 52 m/kW, funcție de tipul solului și condițiile climatice. Spațiul liber dintre colector și peretele puțului este umplut cu un material special care asigură un contact termic bun cu solul înconjurător și îmbunătățește transferul de căldură. Foarte mult utilizată este pasta de bentonită.

Dacă sunt necesare mai multe puțuri, conductele colectoarelor trebuie conectate în așa fel încât să se asigure o distribuție uniformă a debitului de fluid colector prin toate canalele. Conexiunea poate fi făcută în interiorul (Figura 5.2.62 a) sau exteriorul (Figura 5.2.62 b) clădirii deservite. Distanțele dintre puțuri se recomandă a fi de minimum 4,5 metri în țările cu climă rece și de minimum 6 metri în țările cu climă caldă, pentru satisfacerea cerințelor de transfer termic.

Un caz particular al colectorilor verticali în sistem închis îl constituie pilonii de energie („energy piles”). Aceștia sunt de fapt stâlpi de beton din fundația clădirii, în interiorul cărora sunt încastrate conductele în formă de „U” prin care circulă fluidul colector. Pilonii pot fi prefabricați sau construiți in-situ și au diametre cuprinse între 40 cm și peste un metru.

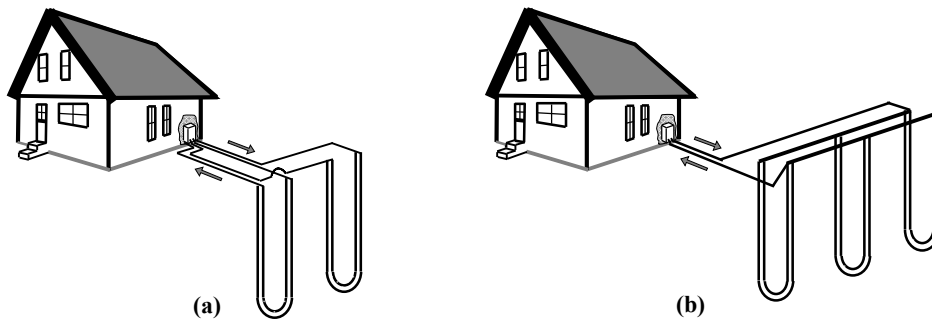


Fig. 5.2.62 Colector geotermal dispus în buclă verticală

a) conectare în interior; b) conectare în exterior

Sistem închis – colector imersat

Colectorul geotermal în buclă imersată poate fi utilizat când în apropierea imobilului deservit de pompa de căldură există ape de suprafață (lac, iaz etc.) disponibile. Există cazuri în care companiile au amenajat lacuri artificiale în vederea utilizării lor ca sursă termică pentru pompele de căldură, lacurile servind de asemenea pentru îmbunătățirea esteticii. Proiectarea și montarea acestui tip de colectori cere o pregătire specială, de aceea se recomandă consultarea specialiștilor în domeniu.

Țevile din polietilenă care formează colectorul pot fi dispuse în buclă spiralată sau sub formă de bobine grupate, așa cum este prezentat în *Figura 5.2.63*.



Fig. 5.2.63 Colector geotermal dispus în buclă imersată

a) spirală; b) bobine grupate

Instalațiile obișnuite necesită colectoare cu lungimi ale țevii de circa 26 m/kW și întinderi de apă cu suprafețe de circa 80 m²/kW, cu o suprafață totală minimă recomandată de 2000 m².

Pentru a rămâne fixat sub suprafața liberă a apei, colectorul trebuie ancorat, de cele mai multe ori folosindu-se stâlpi de beton. Acești stâlpi asigură pe lângă imobilizarea colectorului și o poziționare a sa la circa 20-45 cm deasupra fundului apei, asigurându-se astfel un bun transfer termic convectiv în jurul tubulaturii. Se recomandă de asemenea ca buclele colectorului să fie poziționate la o distanță de 1,8-2,4 metri sub suprafața apei. Această distanță permite menținerea unui volum suficient de apă în jurul colectorului, chiar și în perioadele secetoase sau alte condiții care pot conduce la scăderea nivelului apei.

Sistem deschis

Acest sistem a dominat piața pompelor de căldură geotermale între anii 1946 și 1980, când colectoarele orizontale și cele verticale au devenit accesibile.

Sistemele deschise utilizează apa freatică sau apele de suprafață (lacuri, iazuri etc.) ca mediu de transfer direct a căldurii, în locul fluidului intermediar utilizat în sistemele închise. După ce este circulată prin vaporizatorul pompei de căldură, apa se întoarce în pământ prin puțuri de re-injectare sau este deversată la suprafață.

În cazul utilizării sistemului cu două puțuri (*Figura 5.2.64 a*), acestea vor fi dimensionate și executate după un calcul prealabil de către un specialist. Cel de absorbție trebuie să asigure debitul de apă necesar pompei de căldură, iar cel de deversare trebuie să poată prelua aceeași cantitate. Zonele de alimentare și refulare trebuie să fie dispuse la o distanță suficient de mare pentru a asigura o regenerare termică a sursei.

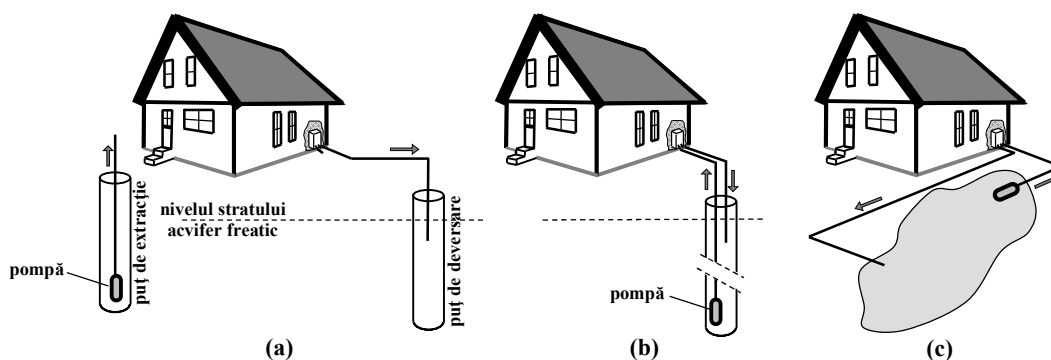


Fig. 5.2.64 Colector geotermal în sistem deschis

a) cu două puțuri; b) cu un singur puț; c) cu extracție/deversare în ape de suprafață

O variantă a sistemului cu puț de extracție este utilizarea aceluiași puț atât pentru extracție cât și pentru deversare (*Figura 5.2.64 b*). Acest sistem se aplică în special în zonele cu sol stâncos, evitându-se solurile argiloase sau nisipoase. Apa este extrasă de la partea inferioară a puțului forat în stâncă, circulată prin pompa de căldură și apoi deversată la partea superioară a puțului. De aici, apa curge către zona de extracție (fundul puțului) încălzindu-se de la stratul de rocă.

Există de asemenea posibilitatea utilizării apelor de suprafață în sistem deschis (*Figura 5.2.64 c*). În această configurație, punctele de extracție și refulare ale apei trebuie să fie poziționate la o distanță corespunzătoare, pentru a nu se influența din punct de vedere termic. Utilizarea unui astfel de sistem trebuie să se supună normelor ecologice în vigoare.

În funcție de configurația puțului, sistemul deschis poate avea cel mai mare consum de energie de pompare dintre toate colectoarele geotermale. Totuși, în condiții ideale, un sistem deschis poate fi cel mai economic dintre toate configurațiile prezentate.

Din păcate, în țara noastră în majoritatea regiunilor calitatea apei freatică (duritate mare) nu permite folosirea acestui sistem.

Impactul asupra mediului al tehnologiilor de utilizare a energiei geotermale

Până în prezent nu s-a descoperit nicio cale de producere sau transformare a energiei într-o formă care poate fi utilizată de către om, fără a avea un impact direct sau indirect asupra mediului. Chiar și cea mai veche și mai simplă formă de obținere a energiei termice, cum ar fi de exemplu arderea lemnului, are un efect negativ; defrișarea pădurilor, una din marile probleme ale zilelor noastre, a început când strămoșii noștri au început să taie copacii pentru a-și prepara hrana și încălzi locuințele. Deși sunt considerate regenerabile și „verzi”, resursele geotermale au de asemenea un impact asupra mediului, însă fără îndoială reprezintă forma de energie cu gradul de poluare cel mai mic. Impactul asupra mediului este dat în principal de emisiile de gaze nocive, poluarea fonică, influențarea calității apei și a solului, precum și de impactul asupra fenomenelor naturale, faunei și vegetației.

În majoritatea cazurilor, gradul în care exploatarea geotermală afectează mediul înconjurător este proporțional cu scara de exploatare a resursei respective.

Tabelul 5.2.13 rezumă probabilitatea și gravitatea relativă a efectelor asupra mediului a dezvoltării proiectelor de utilizare directă a energiei geotermale. Producerea energiei electrice în centralele cu cicluri binare afectează mediul în aceeași măsură ca și utilizarea directă. Efectele sunt potențial mai mari în cazul centralelor cu contrapresiune sau în condensatie, în special în ceea ce privește calitatea aerului, dar pot fi menținute în limite acceptabile.

Tabelul 5.2.13

Probabilitatea și gravitatea efectelor asupra mediului a utilizării directe a energiei geotermale [x.1]

Impact	Probabilitate de apariție	Gravitatea efectelor
Poluarea aerului	S	M
Poluarea apelor de suprafață	M	M
Poluarea solului	S	M
Cufundarea (tasarea) solului	S	S → M
Nivel crescut de zgomot	R	S → M
Refularea puțurilor	S	S → M
Conflicte culturale și arheologice	S → M	M → R
Probleme socio-economice	S	S
Poluare termică și chimică	S	M → R

Eliminarea deșeurilor solide	M	M → R
------------------------------	---	-------

S – scăzută; M – moderată; R – ridicată

Orice acțiune efectuată asupra mediului înconjurător trebuie să fie evaluată cu atenție, pentru a respecta legile și reglementările în vigoare (care în unele țări sunt foarte severe), dar și pentru că o modificare aparent nesemnificativă ar putea declanșa un lanț de evenimente al căror impact este dificil de evaluat complet în prealabil.

Energia geotermală are un factor de utilizare mai mare comparativ cu multe alte surse de energie. Spre deosebire de vânt și de resursele solare, care sunt dependente de fluctuațiile meteorologice, resursele geotermale sunt disponibile 24 ore pe zi, 7 zile pe săptămână. Atâta timp cât mediul de transport al energiei geotermale (apa) este gestionat în mod corect, sursa de energie geotermală, căldura Pământului, va fi disponibilă, pentru cele mai multe aplicații, pe termen nelimitat.

E. Surse combinate

Programatorii și fabricanții de DER caută căi de a combina tehnologii pentru a îmbunătăți funcționarea și eficiența instalațiilor de generare distribuită. Câteva exemple de sisteme hibride includ:

- Pila cu combustibil cu oxid solid (SOFC) combinată cu o turbină cu gaze sau o microturbină;
- Motor stirling combinat cu un panou solar;
- Turbine de vânt cu baterii de stocare și generatoare de rezervă tip motor diesel;
- Motoare (și alte mașini de forță) combinate cu dispozitive de stocare de energie ca de exemplu volante.

Sistemul de hibrid de turbină cu gaze cu pila cu combustibil cu oxid solid (SOFC) poate să furnizeze eficiențe de conversie electrică de 60 la 70%. Conceptul de pila de combustie cu oxid /solid, turbina cu gaze se bazează pe principiul că eficiența pilei de combustie și viteza de reacție vor crește când mulțimea de pile de combustie funcționează peste presiunea atmosferică.

Funcționând cu mulțimea de pile cu combustibil la 4 atmosfere sau mai mult, este posibil de a reuni pila cu combustibil cu o turbină cu gaze. În această aranjare hibridă, compresorul turbinei cu gaze se întrebuițează pentru a mări presiunea în pila cu combustibil, după aceea căldura este evacuată din mulțimea de pile cu combustibil, care încă conține 50% din energia combustibilului (ca și combustibil nereacționat și căldură pierdută), este trimisă înapoi în turbină, arsă și dezvoltată să extragă mai multă energie. Energia recuperată cu un recuperator se întrebuițează la încălzirea aerului proaspăt aspirat de mulțimea de pile cu combustibil și compresor.

Câteva companii lucrează să dezvolte sistemele hibride de motor stirling/panou solar. Aceste tipuri de sisteme hibride sunt mici, cu rezultate reprezentative în domeniu de la 5 la 25 kW. Această dimensiune face hibridii motor stirling/panou solar ideali pentru poziție-izolată sau alte aplicații descentralizate, ca de exemplu înlocuitor pentru generatoarele motorului Diesel.

Instalații mai mari de tip stirling/panou solar cu puteri de 1 la 20 MW pot fi dezvoltate să întâmpine pe scară moderată cererile de conectare la rețea. Hibridii de tip panou solar/motor stirling pot de asemenea să fie proiectați să funcționeze pe combustibili fosili pentru exploatarea când nu există lumina soarelui.

Turbinele eoliene pot să se întrebuițeze în combinație cu acumularea de energie și alte tipuri de generare de rezervă (motor cu piston, turbină sau pilă de combustie) pentru a asigura alimentarea stabilă de putere pentru locurile îndepărtate neconectate la rețea.

Dispozitivele acumulării de energie ca de exemplu volantele sunt combinate cu motoarele cu combustie internă și microturbinele pentru a furniza o alimentare de putere de rezervă.

Dispozitivul acumulării de energie permite să pornească alimentarea de rezervă de la rețea. În acest caz, utilizatorii de electricitate pot avea o sursă de alimentare de rezervă neîntreruptibilă.

Sistem hibrid eolian-fotovoltaic pentru producerea energiei electrice

Sistemele hibride pentru producerea energiei electrice sunt alcătuite din turbine eoliene și panouri fotovoltaice. (pentru siguranță și rezervă, se mai poate adăuga un generator diesel sau pe benzină). Sistemele hibride funcționează la fel ca un sistem fotovoltaic sau eolian: energia electrică (CC) produsă de turbina eoliană sau de panourile fotovoltaice cu ajutorul regulatorului este înmagazinată în acumulatori, de unde cu invertorul curentul continuu este transformat în curent alternativ (230V, 50Hz) și energia poate fi utilizată de consumatorii electronici din locuință.

Sistemele hibride reprezintă o alternativă reală, fezabilă și fiabilă de alimentare cu energie electrică, nu numai pentru casele aflate departe de rețea comună ci și cei care doresc să facă o economisire din costurile de energie.

Turbina eoliană și panourile fotovoltaice sunt generatoare complementare: în multe locații, viteza vântului este mică vara, iar atunci soarele are cea mai mare putere. În schimb vântul este mult mai puternic iarna, când soarele are o mai mică putere. Deoarece perioadele de maximă eficiență pentru cele două sisteme sunt complementare, un sistem hibrid poate produce energie mai multă atunci când aveți nevoie de ea.

Principale componente ale sistemelor hibride

- turbina eoliană cu regulator de încărcare - stalp pentru turbina eoliană - baterii solare - inversor - sistem de schimbare a sursei de energie (dacă este necesar sistemul conectează la rețea electrică comună sau

porneste un generator) - panouri fotovoltaice - baza de prindere pentru panouri- regulator de incarcare solara - alte accesorii pentru instalarea sistemului

Schema sistemului eolian-fotovoltaic

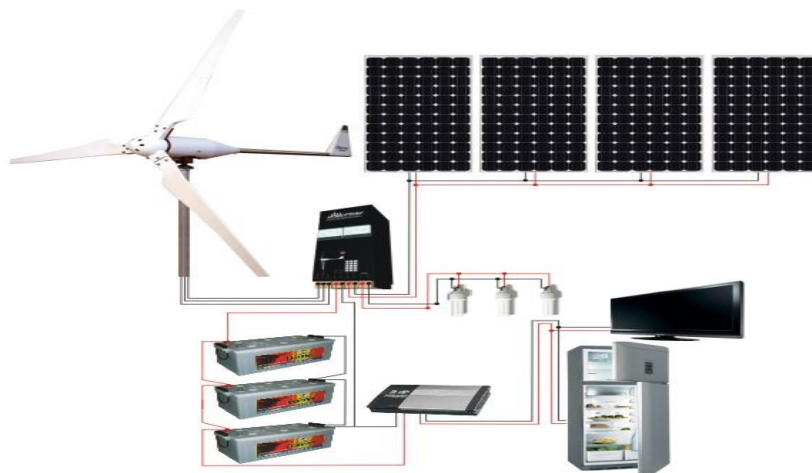


Fig. 5.2.62 Principale componente ale sistemelor hibride