

## Încălzitor de apă cu circulație și schimbător de căldură

Principiul de bază al sistemului constă în faptul că un lichid purtător de căldură circulă în captator și transmite căldura sa apei din rezervor prin intermediul unui schimbător de căldură. Apa din rezervor și lichidul purtător de căldură sunt diferite și nu se amestecă, figura 3.24. Acest tip de încălzitor este recomandat

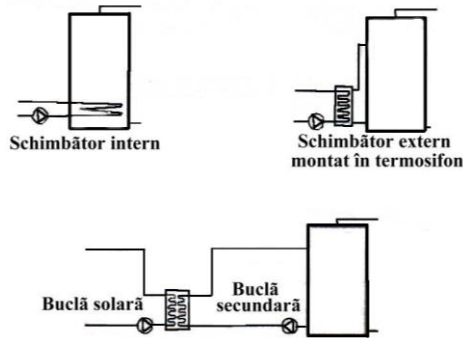


Figura 3.24. Schimbătoare de căldură cu buclă indirectă

pentru zonele în care există riscul de îngheț deoarece lichidul purtător de căldură poate fi un antigel care să permită menținerea lui în captator și în perioadele cu temperaturi scăzute. Schimbătorul de căldură poate fi plasat și în exteriorul rezervorului, o buclă de circulare independentă la nivelul rezervorului permițând mărirea transferului de căldură după necesități. Inconveniențele acestui tip de încălzitor de apă constau în:

- tehnologie mai complicată și mai scumpă decât la alte tipuri de încălzitoare
- pompa este fragilă și poate provoca întreruperi
- schimbătorul de căldură se poate deteriora și există riscul de contaminare a apei de către purtătorul de căldură
- schimbul indirect prin intermediul unui schimbător de căldură duce la scăderea randamentului de utilizare a insolației.

Ca antigel se recomandă utilizarea propileglicolului folosit în industria alimentară pentru calitățile sale de conservant, agent de îndulcire) și este interzisă cu desăvârșire utilizarea antigelului de motor pentru automobile care este extrem de toxic. O buclă închisă etanș poate fi folosită pentru obținerea de temperaturi mai mari de 100° ale fluidului purtător și a apei din rezervor, situație în care se recomandă adăugarea de agenți de stabilizare pentru antigel.

### Caracterizarea sistemelor de încălzire solară a apei

Inerția termică joacă un rol important în furnizarea energiei utile pentru diverse necesități. Două captatoare având același randament în condiții anumite pot avea inerții termice diferite. Aceasta înseamnă că la același randament, captatoarele se pot diferenția în privința răspunderii mai lente sau mai rapide la variațiile de insolare și deci la transferul energiei captate. Pentru a ține cont de

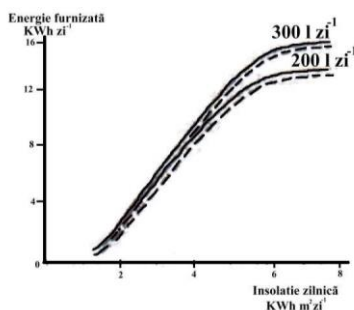


Figura 3.25. Randament energetic cotidian al unui încălzitor solar de apă în funcție de insolația zilnică și de temperatura exterioară.

aceste fenomene, se prezintă adesea curbele randamentului cotidian, figura 3.25, care reprezintă energia furnizată zilnic în funcție de insolația cotidiană. Aceasta reprezintă de fapt aprecierea performanțelor reale și totale a sistemelor de încălzire solară a apei (captator + conducte + stocare) pentru o unitate de apă caldă.

Un sistem solar de încălzire are randamentul cel mai bun când este capabil a face să funcționeze captatorii solari

la cele mai joase temperaturi posibile. Orice sistem de încălzire solar este caracterizat de următorii parametri de utilizare:

- încărcarea energetică zilnică de apă caldă
- repartiția acestei încărcări în timpul zilei
- insolare disponibilă
- disponibilitatea energiei de vârf

Plecând de la acești parametri și caracteristici tehnice ale captatorilor solari, se poate calcula suprafața optimă și volumul adecvat de stocare pentru a satisface necesitățile de apă caldă.

### **Calculul necesităților și dimensionarea încălzitoarelor solare de apă**

Un sistem solar de încălzire a apei trebuie să fie bine conceput în privința captatorului și a volumului de stocare în funcție de:

- insolarea disponibilă
- cantitatea de apă, volumul și temperatura
- repartiția necesităților zilnice

Ținând cont de condițiile reale se disting două tipuri de sisteme care se aplică în mod curent:

- Sisteme de încălzire solară cu sursă de energie de vârf. Pentru aceste sisteme se urmărește a se folosi maximum de energie solară la un cost minim al investițiilor. Dimensionarea sistemului de încălzire solar vizează evitarea pierderilor de energie solară. Pentru determinarea unui aport „maxim” se consideră, de obicei, acoperirea mai mult de 80% din necesități în timpul lunilor cele mai însorite ale anului.

- Sisteme 100% solare. Pentru aceste sisteme este necesar să se acopere nevoile minime în timpul perioadelor mai puțin însorite. Din această cauză este necesar a se determina o „cotă minimă” a sistemului de încălzire solar. Acest minim este considerat 30-40% din necesitățile nominalizate pentru a asigura un minim de confort în perioada lunilor mai puțin însorite. În climatul tropical, cu insolare constantă în tot timpul anului, acest minim se ridică la mai mult de 50% din necesități.

***Necesarul de apă caldă*** este prima etapă în dimensionarea sistemului de încălzire. Acest necesar este dat de relația :

$$C = 11,611 \cdot 10^{-4} \cdot V(T_c - T_r) \text{ kWh zi}^{-1} \text{ în care}$$

- $V$  = volumul de apă în  $l \text{ zi}^{-1}$
- $T_r$  = temperatura apei reci ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $T_c$  = temperatura apei calde ( $^{\circ}\text{C}$ )

Conform acestei relații, un consum de apă caldă de  $200 \text{ l zi}^{-1}$ , cu temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$ , care a fost încălzită de la  $20^{\circ}\text{C}$ , corespunde la  $9,3 \text{ kWh zi}^{-1}$ .

A doua etapă o reprezintă calcularea ***suprafeței captatorului***. Încălzitoarele solare de apă cele mai practice se utilizează rural sau urban unde există surse de curent electric și sunt prevăzute cu bucle directe și

pompare autonomă, cum ar fi termosifonul. Randamentul pentru un sistem tipic este de aproximativ 40% la încălzirea la vârf și 30% la încălzirea obișnuită. Suprafața (m<sup>2</sup>) necesară captatorului solar este dată de relația:

$$S = \frac{1}{\text{randamentul sistemului}} \cdot \text{fracțiunea} \cdot \frac{C}{E} \text{ în care}$$

- randamentul sistemului este între 25 și 50%

- E este insolația cotidiană kWh m<sup>2</sup>

Pentru un sistem de încălzire solară cu sursă de energie de vârf se ia valoarea anuală a insolației iar pentru sisteme 100% solare se ia valoarea pentru luna cea mai puțin însorită.

Să luăm un exemplu în care necesarul de apă caldă, C, este de 9,3 kWh zi<sup>-1</sup>. Insolația cotidiană E este de 6 kWh m<sup>2</sup> zi<sup>-1</sup> în timpul lunilor însorite și 3 kWh m<sup>2</sup> zi<sup>-1</sup> în timpul lunii cel mai puțin însorită.

Pentru sistemul de încălzire solară cu sursă de energie de vârf, cu un randament de 40% și o fracțiune de acoperire a necesităților de 80% în timpul lunilor însorite, suprafața captatorului va fi:

$$S = \frac{1}{40} \cdot 0,8 \cdot \frac{9,3}{6} = 3,1 \text{ m}^2$$

Pentru un sistem 100% solar, cu un randament de 30% și o fracțiune a necesităților acoperite de 50% în timpul lunii cel mai puțin însorită, confort minimal acceptat: apă caldă 40°C, se obține:

$$S = \frac{1}{30} \cdot 0,5 \cdot \frac{9,3}{3} = 5,1 \text{ m}^2$$

A treia etapă o constituie calculul *volumului de stocare*. Nu este tot timpul avantajos de a mări suprafața captatorilor atunci când consumul de apă caldă nu se face în perioada de insolație și dacă rezervorul de stocare este prea mic. Pus în funcțiune în timpul zilei, sistemul captează foarte repede căldură. Dacă rezervorul este prea voluminos se pierde căldură și este mare timpul de reîncălzire dacă nu se controlează stratificarea temperaturilor. Volumul de stocare, V în litri, se poate evalua pornind de la:

1. volumul de apă caldă recirculată în perioada neproductivă

2. volumul de apă cotidian de 60°C produs de captator cu un randament global de 40% și o insolare cotidiană echivalentă lunilor celor mai însorite ale anului

Acest volum se obține cu relația:  $V = \frac{350ES}{60 - T_r}$  în care:

- E este insolarea cotidiană a celor mai însorite luni (kWh m<sup>2</sup> zi<sup>-1</sup>)

- S suprafața captatorului solar, m<sup>2</sup>

- T<sub>r</sub> temperatura apei reci, °C

Dacă T<sub>r</sub> = 20 °C, 3,1 m<sup>2</sup> de captator și 6 kWh m<sup>2</sup> zi<sup>-1</sup> de insolare, se poate prevedea un rezervor de 160 L. Pentru un sistem 100% solar, cu un captator de 5,1 m<sup>2</sup>, rezervorul trebuie să fie de 270 L. În general sistemele 100% solare pot avea un stocaj mai mare pentru a asigura necesarul zilnic chiar și în zilele mai puțin însorite. Acest sistem poate asigura o bună stratificare a temperaturilor pentru a recupera rapid temperaturile cele mai ridicate.

Metoda aceasta asigură un debit mic ( $<0,5 \text{ L min}^{-1}$  de captator) de pompare în bucla solară sau de a face să revină returul de la bucla termosifonului mai sus de rezervor.

### Captatori solari plani cu purtător de căldură lichid și cu aer

La proiectarea unei instalații solare se urmărește obținerea energiei la un preț minim și fiabilitatea. Este posibil să fie preferat un captator cu un randament inferior, dacă el conduce la un preț de cost substanțial redus, este mai simplu și mai fiabil în exploatare. Captatoarele de tip placă-tub pot avea configurația în care în locul tuburilor paralele este folosit un singur tub serpentină. Pentru reducerea pierderilor prin convecție din captatoarele plane, a fost încercată folosirea unei structuri celulare de tip fagure în spațiile dintre geamuri și suprafața absorbantă, figura 3.11. În lacurile sărate, cu gradienti ridicați de concentrație a sării (concentrație mai mare la fundul lacului și mai mică la suprafață) a fost observat fenomenul de inversiune a temperaturilor. Acest fenomen a sugerat posibilitatea construirii unor mari captatoare solare orizontale, sub forma unor bazine cu apă sărată, figura 3.26. Radiația solară este absorbită de straturile inferioare de apă și de fundul bazinului.

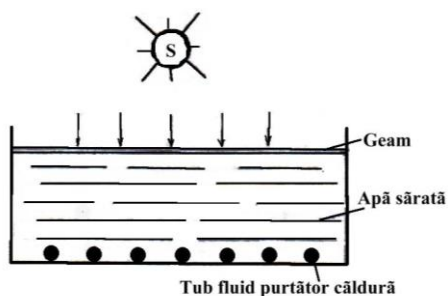


Figura 3.26. Captator solar de tip bazin folosind inversiunea temperaturilor.

fluid purtător de căldură care preia căldura din bazin. Bazinul este acoperit cu o sticlă pentru a împiedica evaporarea apei. O problemă importantă a acestor tipuri de încălzitoare o reprezintă materialul din care sunt confecționate pentru că este cunoscută acțiunea extrem de corosivă a ionilor clorură pe care îi conține sarea, motiv pentru care sunt și mai scumpe și cu o durată de viață mai mică.

În consecință apa de pe fundul bazinului se află la o temperatură mai mare decât cea de la suprafață. Apa de la fund având o concentrație mai mare în sare decât apa de la suprafață densitatea sa rămâne superioară densității apei de la suprafață și deci nu pot apare curenți, tip termosifon, care să omogenizeze temperaturile. Experimentând în bazinul de 1m, temperaturile la partea inferioară au atins valori de  $70-80^{\circ}\text{C}$  iar la suprafață de  $30^{\circ}\text{C}$ . Pe fundul bazinului se află tuburi prin care circulă un

### Captatoare solare cilindrice și semicilindrice

O îmbunătățire sensibilă a randamentului se obține înlocuind suprafața absorbantă plană cu una cilindrică, figura 3.27., sau cu una semicilindrică, figura 3.28. obținându-se captatoare cu același principiu de funcționare ca și captatoarele plane.

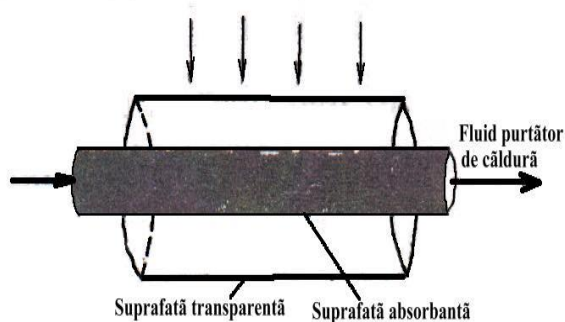


Figura 3.27. Captator solar cilindric

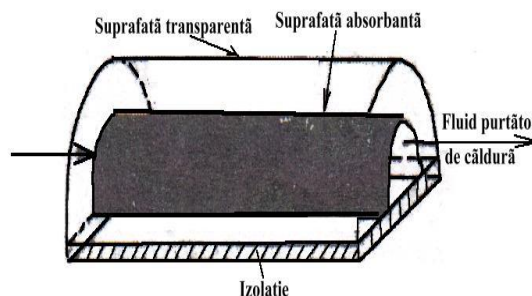


Figura 3.28. Captator solar semicilindric

## Captarea cu concentrarea radiației

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. Un captator cu focalizare poate fi considerat ca un caz special de captator 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 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 este pierdută pentru captare și în plus apar și alte pierderi optice suplimentare față de captatoarele plane. Pe lângă acestea, pierderile prin radiație la temperaturi mai mari decât cele din captatoarele plane devin din ce în ce mai importante.

Funcție de principiul de funcționare și construcție a concentratorului, se pot obține valori foarte diverse pentru densitatea fluxului de radiație pe suprafețele absorbante ale receptorului: de la valori relativ mici de  $1,5-2 \text{ kW m}^{-2}$  până la  $10.000 \text{ kW m}^{-2}$ . Odată cu creșterea densității fluxului de radiație crește și temperatura la care este preluată cantitatea de căldură utilă. Deoarece creșterea densității fluxului de radiație atrage după sine necesitatea îndeplinirii unor exigențe sporite în ceea ce privește precizia sistemelor optice folosite pentru concentrare, se ajunge până la urmă la creșterea costului captatorului în ansamblu (concentrator-receptor). Astfel, costul energiei furnizate de un sistem de captare cu focalizare este funcție directă de temperatura la care se livrează această energie. Este bine să reamintim din termodinamică faptul că energia termică este cu atât mai valoroasă cu cât nivelul de temperatură la care este livrată este mai ridicat deoarece, conform principiului al doilea, convertirea căldurii în lucru mecanic se face cu un randament ce depinde direct de temperatura sursei calde și a celei reci.

Din punct de vedere al realizării practice (proiectare, tehnologie, exploatare) captatoarele cu concentrator prezintă câteva probleme suplimentare față de 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 anotimpuale 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 pentru întreținerea sistemelor optice, în special pentru păstrarea calității suprafețelor de reflexie sau refracție împotriva murdăririi, oxidării, deteriorării sau deformării. Toate acestea contribuie la creșterea complexității sistemelor respective precum și la creșterea cheltuielilor de fabricație și exploatare, comparativ cu captatoarele plane. Orice captator solar termic are în general randamentul de captare funcție de temperatura de lucru și de temperatura mediului ambiant. Puterea termică captată depinde de următorii factori:

- densitatea de putere a radiației solare care la rândul ei depinde de raportul de concentrare
- geometria captatorului care permite orientarea acestuia spre soare
- eficiența optică, legată de fracțiunea din radiația solară interceptată de captator și care ajunge la suprafețele absorbante ale receptorului

- eficiența absorbției și a transformării din energia radiantă optică în energie termică de către suprafețele absorbante ale receptorului.

Puterea termică utilă va fi puterea termică absorbită din care se scad pierderile termice în receptor (prin conducție, convecție și radiație).

Se constată că odată cu creșterea factorului geometric de concentrare a radiației, se reduce raportul între puterea termică pierdută și puterea termică absorbită, în schimb eficiența absorbției scade iar complexitatea sistemului crește (din cauza geometriei pretențioase ale concentratorilor și din cauza sistemelor de mișcare și urmărire a soarelui). Odată cu creșterea complexității sistemului, evident crește și costul instalației de captare. Totuși alegerea unui sistem de captare nu se poate face numai după cost, deoarece factorul cel mai important într-o instalație termică este temperatura agentului de lucru, însă această temperatură nu poate fi atinsă în orice sistem de captare. Foarte important pentru captatoare este raportul de concentrare,  $C$ , care se definește ca raport între valoarea medie a densității fluxului de radiații colectate de către receptor și densitatea fluxului de radiații care cade pe concentrator.

Raportul de concentrare poate varia de la 1, pentru captatoarele plane fixe, până la maxim 2 în cazul folosirii unor oglinzi laterale plane, și până la aproximativ 3 pentru captatoarele plane prevăzute cu concentratoare parabolice compuse. Toate acestea nu necesită o urmărire a soarelui, ceea ce oferă ca avantaj simplitatea constructivă și funcțională. În schimb ele pot acoperii doar domenii de temperaturi joase, adică până la aproximativ 100°C.

O a doua clasă de captatoare este cea a captatoarelor cu concentrator (până la  $C=10$ ), de tip est-vest, care în timpul câtorva ore în timpul amiezi nu necesită nici o urmărire a soarelui. Totuși datorită variației declinației acestuia, ele necesită o ajustare a unghiului de poziționare față de planul orizontal, prin rotire în jurul axei est-vest (zilnic, săptămânal sau lunar). Este posibil ca acești concentratori să devină, în viitorul apropiat, eficienți, din punct de vedere al costului, pentru obținerea aburului industrial, deoarece cu ei se pot atinge temperaturi de lucru până la 200 °C.

Clasa următoare este cea a captatoarelor cu concentrator (cu  $C_{\text{maxim}}=100$ ) de tipul, cu focalizare liniară. Ele necesită o urmărire diurnă a soarelui, cu o mișcare în jurul unei singure axe, care poate avea diverse orientări, și pot atinge temperaturi de lucru de 350 °C.

Ultima clasă de captatoare este cea care poate atinge și chiar depăși rapoarte de concentrare de 1000. Astfel de concentratoare sunt fie oglinzi având forma unor paraboloizi de revoluție, cu mișcări în jurul a două axe, pentru urmărirea continuă și precisă a soarelui, fie sisteme de captare mai complexe, formate dintr-un câmp de oglinzi plane (sau ușor curbate), cu o mișcare dirijată de un calculator de proces, astfel încât toate să dirijeze radiația solară incidentă asupra unui receptor plasat în vârful unui turn. Aceste sisteme pot produce temperaturi de lucru de peste 550 °C, din care motiv se vor folosi cu siguranță în viitoarele centrale termo-electrice solare.

În figurile 3.29-3.35 se prezintă câteva captatoare și caracteristici ale acestora.

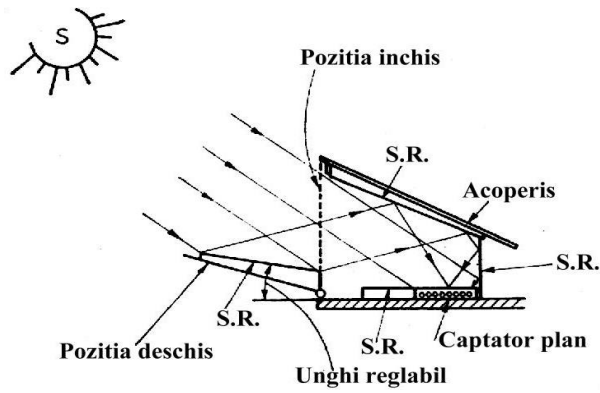


Figura 3.29 Concentrator piramidal (SR - suprafață reflectantă).

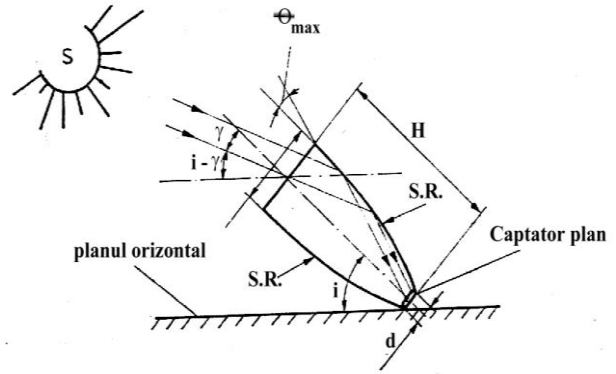
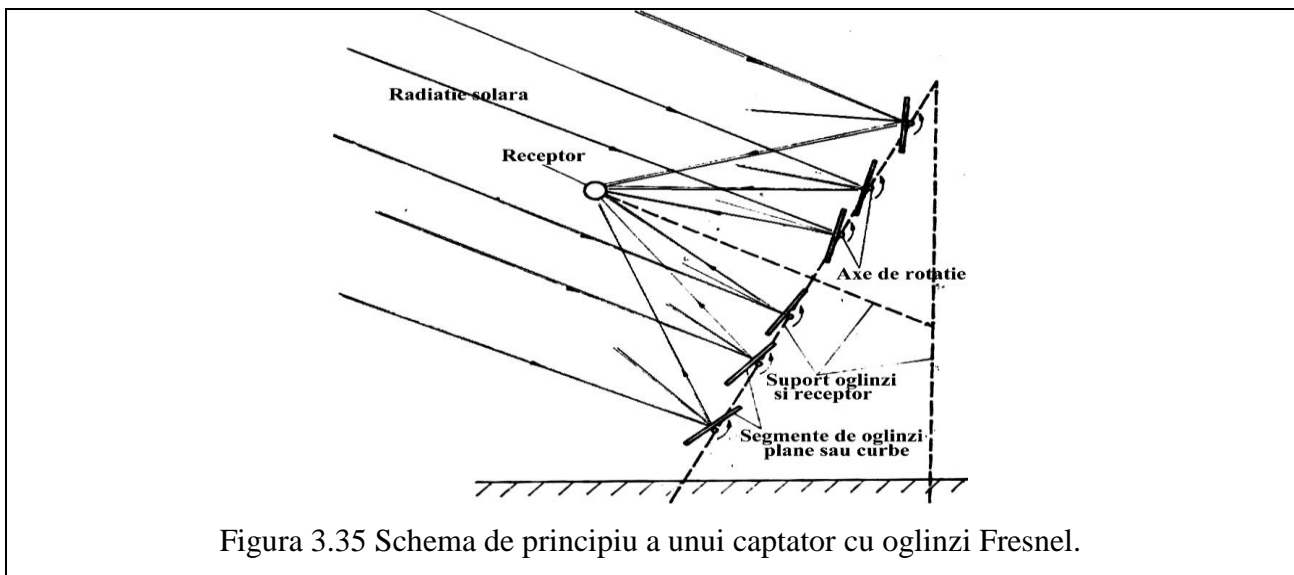


Figura 3.30 Caracteristicile geometrice ale concentratorului parabolic (SR - suprafață reflectantă).

<p>a</p> <p>b</p>	
<p>Figura 3.31. Captator plan prevăzut cu concentratori dublu-parabolici: a - detaliu, b - plasarea receptoarelor și a suprafețelor reflectante ale concentratorilor.</p>	<p>Figura 3.32 Concentrator sferic fix cu receptor mobil.</p>
<p>a</p> <p>b</p> <p>c</p>	
<p>Figura 3.33 Mișcarea receptorului în cazul concentratorului sferic fix: a - poziția de dimineață; b - poziția de amiază; c - poziția de după-amiază.</p>	<p>Figura 3.44 Caracteristicile geometrice ale concentratorului sferic.</p>



### Stocarea energiei solare

Datorită mișcării Pământului și a unor factori meteorologici, energia solară la nivelul scoarței terestre este o sursă energetică dependentă de timp. În general, necesitățile de energie pentru cele mai multe domenii de aplicații sunt de asemenea dependente de timp, însă într-o manieră diferită față de modul în care are loc furnizarea energiei solare. În consecință, dacă se urmărește ca anumite necesități de energie să fie asigurate folosind energia solară, este necesar ca instalațiile solare respective să fie prevăzute cu elemente corespunzătoare de stocare (acumulare) a energiei.

Capacitatea de stocare trebuie să aibă o anumită valoare de stocare a energiei solare. Capacitatea optimă de stocare a energiei solare dintr-o anumită instalație depinde de mai mulți factori ca: disponibilitatea în timp a radiației solare în locul respectiv, natura sarcinii energetice a instalației, modul în care este furnizată eventuala energie auxiliară și anumite criterii economice care determină ponderea din sarcina totală anuală care trebuie acoperită cu energie solară și implicit ponderea de energie auxiliară. Stocarea energiei solare se poate face în diverse moduri printre care cele mai importante sunt:

- căldura sensibilă a unui mediu lichid sau solid,
- căldură latentă la schimbarea de fază a unor compuși sau sisteme chimice,
- energie chimică a produselor rezultate dintr-o reacție chimică reversibilă
- energia potențială hidrolică (a unui fluid ridicat la o anumită înălțime)

Alegerea modului de stocare a energiei solare depinde de natura procesului care se urmărește în instalația solară. De exemplu, pentru încălzirea apei este practică folosirea stocării energiei solare prin căldura sensibilă a apei. Dacă se folosesc captatoare solare cu încălzirea aerului, se poate utiliza pentru stocarea energiei solare căldura sensibilă a unui pat de pietre în schimbătoare de căldură de tip regenerativ. Dacă în instalația solară se folosesc celule fotovoltaice sau fotochimice, cea mai indicată formă de stocare a energiei este, în acest caz, energia chimică.



Proiectorul unei instalații termoenergetice solare are la dispoziție diverse alternative în ceea ce privește locul de plasare a unității de stocare a energiei în ansamblul instalației. Spre exemplu în figura 3.46 se consideră o instalație în care o mașină termică transformă energia solară în energie electrică.

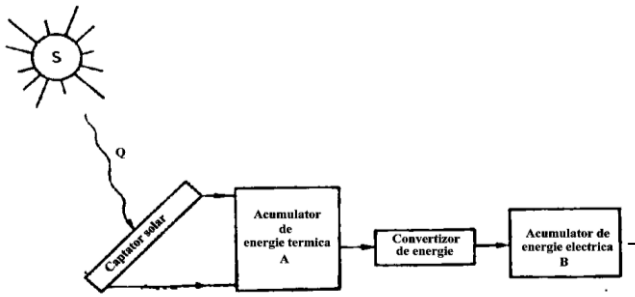


Figura 3.36 Locul de plasare a unității de stocare în instalația solară.

sistem

- distribuția temperaturii în sistemul de stocare,
- containerele, rezervoarele și celelalte elemente componente ale sistemului de stocare
- mijloacele de control al pierderilor termice
- costul sistemului de stocare.

Energia utilă captată de un colector solar descrește odată cu creșterea temperaturii medii a fluidului purtător de căldură.

Temperatura captatorului solar, care determină energia utilă captată în el, este întotdeauna mai mare decât temperatura la care este folosită căldura în final.

De cele mai multe ori o instalație termică utilizează energie în timp ce se captează, adică procesul de utilizare a energiei este simultan cu cel de captare și stocare a energiei, sau alternează cu acesta la intervale scurte. De exemplu, în timpul unei înnorări utilizatorul consumă energie din sistemul de stocare fără ca acesta să poată primi energie. Același lucru se întâmplă și în timpul ploios sau noaptea.

Există situații în care fluidul din captator (sau din utilizator) nu poate fi același cu cel din rezervorul de stocare a energiei. De exemplu, în regiunile cu climă rece este necesar a se circula prin captator un fluid cu punct scăzut de înghețare pentru evitarea înghețului în zilele geroase de iarnă. În figura 3.37 se prezintă un rezervor de stocare mixt, cu schimbătoare de căldură în rezervor.

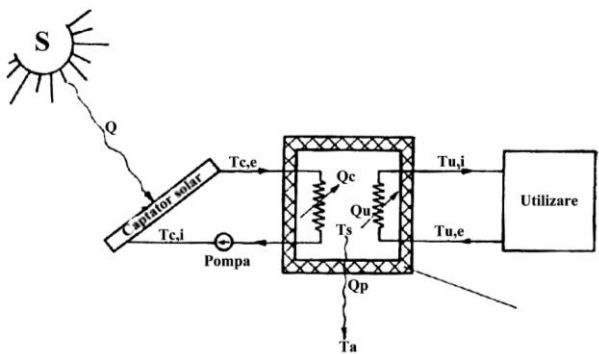


Figura 3.37.

Rezervor de stocare mixt cu schimbătoare de căldură în rezervor.

### Stocarea energiei termice în apă

Deoarece apa este inepuizabilă și ușor de procurat iar căldura sa specifică este relativ mare, ea poate fi folosită la stocarea energiei termice prin variația entalpiei sale. În sistemele de stocare a energiei termice în apă, energia este introdusă în sistem și preluată din sistem prin curgerea însăși a

mediului de stocare, eliminând astfel diferența de temperatură  $\Delta T$  între fluidul de transport și mediul de stocare.

În figura 3.48 este prezentat un sistem de stocare prevăzut cu circulația forțată a apei între captator și rezervor.

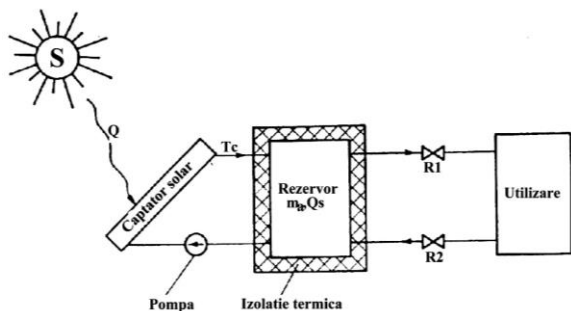


Figura 3.48. Un astfel de sistem se presupune că Sistem de funcționează în modul următor. În timpul stocare prevăzut captării și stocării energiei solare sub formă de cu circulația apă caldă, utilizatorul nu consumă energie, forțată a apei deci apă caldă. Aceasta înseamnă că între captator și temperatura apei din rezervorul de stocare rezervor. crește de la o anumită valoare inițială  $T_1$  până

la o valoare finală  $T_2$ , în timp ce robinetele  $R_1$

și  $R_2$  sunt închise. După ce s-a atins temperatura  $T_2$  se pot deschide robinetele  $R_1$  și  $R_2$  pentru a alimenta utilizatorul cu apă caldă. Astfel temperatura apei din rezervorul de stocare începe să scadă treptat, până la limita inferioară  $T_1$ .

Capacitatea de stocare  $Q_s$  a unui astfel de sistem de stocare a energiei solare, funcționând într-un domeniu finit de temperaturi, este dată de variația de entalpie a apei din rezervorul de stocare:

$$Q_s = m_a \cdot c_{pa} (T_2 - T_1)$$

în care  $Q_s$  este capacitatea calorică totală a sistemului care conține  $m_a$  kg apă, pentru un ciclu de încălzire a apei de la temperatura  $T_1$  la  $T_2$ .

De cele mai multe ori o instalație termică utilizează energie în timp ce se captează, adică procesul de utilizare a energiei, este simultan cu cel de captare și stocare a energiei sau alternează cu acestea la intervale scurte. De exemplu, în timpul unei înnorări de mici proporții utilizatorul consumă energie din sistemul de stocare, fără ca acesta să primească energie. După trecerea norului sistemul reintră în faza de funcționare în care se captează energie solară, se stochează o parte din ea și o altă parte, simultan, se consumă de către utilizator. În aceste sisteme temperatura  $T_s$  din rezervorul de stocare este variabilă în timp. Uneori, dacă rezervorul este foarte mare, temperatura apei (sau a lichidului de stocare) este neuniform distribuită în interiorul acestuia, apărând o stratificare, cu temperaturi mari la partea superioară și temperaturi mici la partea inferioară.

### Stocarea energiei termice în strat de pietre

Una din metodele utilizate de multă vreme de stocare a energiei termice este stocarea în strat de pietre, figura 3.49. Sistemele de stocare cu strat de pietre au fost folosite și se mai folosesc încă în casele solare din Denver (S.U.A). Sistemul de stocare cu strat de pietre funcționează pe principiul circulației prin stratul de pietre al unui fluid, de obicei aer, care aduce sau preia căldura de la unitatea de stocare. În timpul funcționării sistemului de stocare, se menține același sens de curgere al fluidului prin stratul de pietre în tot timpul stocării energiei și un alt sens în timpul preluării căldurii.

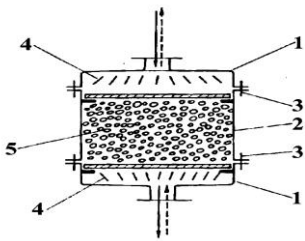
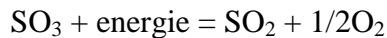


Figura 3.49. Sistem de stocare cu strat de pietre. 1-capac; 2-carcasă; 3-șuruburi; 4-aripioare de dirijare a aerului; 5-pietre.

Acest sistem este de fapt un schimbător de căldură cu strat de pietre care prezintă un bun transfer de căldură între fluid și materialul solid din strat care sunt de obicei pietre.

### **Stocarea energiei solare prin descompunere termochimică**

Una din posibilitățile de stocare a energiei solare este prin desfacerea legăturilor chimice care determină descompunerea unor compuși și care se efectuează la temperaturi ridicate prin absorbție de energie termică provenită din concentrarea radiațiilor solare.



Echilibrul se deplasează spre dreapta dacă se consumă energie termică la temperaturi de 800°C și se deplasează spre stânga cu degajare de căldură dacă temperatura din sistem scade sub 500°C. Energia termică necesară descompunerii compușilor chimici poate fi asigurată de un ansamblu solar în focarul căruia se află un reactor chimic. În aceste reactoare energia termică solară este transformată în energie chimică. Principiul de funcționare a sistemului este următorul: în reactorul chimic plasat în focarul concentratorului se introduce SO<sub>3</sub> sub presiune la temperatura de 90°C. Reactorul este confecționat din plăci plane ceramice cu canale spirale. Gazul pătrunde de la exterior către interior și se încălzește până la 700°C. Curgând în continuare către camera de reacție, care se află sub acțiunea radiației solare concentrate, gazul ajunge la temperatura de 800°C și trecând peste un catalizator, se descompune cu absorbție de căldură. Produsele de descompunere chimică de la toate captatoarele sunt livrate către o stație centrală unde se recombina cu degajare de căldură.

În stația centrală de stocare, în urma reacției de descompunere, se degajă căldura care este stocată sub formă de căldură latentă de topire a unui amestec eutectic de săruri topite dispuse în cutii metalice ermetic închise. Căldura poate fi valorificată în continuare pentru producerea energiei electrice care folosește un ciclu clasic cu vapori de apă produși prin trecerea apei peste cutiile care conțin sarea topită care, prin solidificare cedează căldura. Pe acest principiu funcționează sistemul american de stocare a energiei termice numit SOLCHEM.

### **Stocarea electrochimică a energiei solare**

Producerea energiei electrice din energie solară, fie pe cale fotovoltaică, fie prin ciclu clasic termodinamic cu turbina și generator electric, ridică o problemă foarte importantă care, încă nu este rezolvată satisfăcător. Aceasta se datorează faptului că necesarul de energie electrică are de obicei două vârfuri de consum, dimineața și seara adică tocmai la ore când energia solară nu este disponibilă. Prin urmare oricare ar fi calea de producere a energiei electrice din energia solară, se impune cu strictă necesitate existența unui sistem de stocare a energiei. În cazul al doilea, al producerii energiei electrice din energie termică, de proveniență solară, prin ciclu termodinamic clasic, există însă varianta stocării termice a energiei înainte de a fi convertită în lucru mecanic, prin sistem cu săruri topite. Pentru producerea energiei electrice pe cale fotovoltaică, evident că nu există

această posibilitate (lumina nu se poate stoca) și deci este strict necesară utilizarea instalației respective cu un sistem de stocare a energiei electrice.

În centralele termoelectrice cu combustibil fosil această problemă nu apare deoarece aburul se poate furniza la turbine la debite variabile ceea ce atrage după sine un consum variabil de combustibil. În centralele atomoelectrice nu este însă rentabilă o modificare a sarcinii termice din reactorul nuclear, funcție de cerințele de energie electrică ale consumatorului, din care motiv problema acumulării energiei electrice a apărut în aceste centrale înainte de a fi pusă în energetica solară.

Problema stocării energiei electrice s-a pus în ultimii 20 de ani și în domeniul vehiculelor de tipul automobilului electric cu baterii electrochimice. Toate aceste trei domenii ridică o problemă comună: stocarea energiei electrice care se poate realiza în baterii electrice. În momentul de față singura baterie larg disponibilă cu Pb/acid nu satisface din punct de vedere economic, decât în cel mai bun caz la limită, cerințele unui sistem de stocare. În tabelul 3.5 se prezintă câteva tipuri de baterii.

Sistemul	Electrolitul	Temp °C	Wh/K g	W/K g	Ciclu de viață	Cost \$/KWh
Pb/acid	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> sol apoasă	Ambiantă	22	50	1000	80
Zn/Cl <sub>2</sub>	ZnCl <sub>2</sub> sol apoasă	Ambiantă	66	60	100	2000
Li/sulfura de metal	LiCl-KCl eutectic	400-450	100	120	250	2000
Na/S	β Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	300-350	90	100	200	2000
Na/SbCl <sub>3</sub>	βAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Na[AlCl <sub>4</sub> ]	200	-	-	5000	2000
Redox	Sol apoasă de clorură Ti/Fe	Ambiantă	22	-	50	-

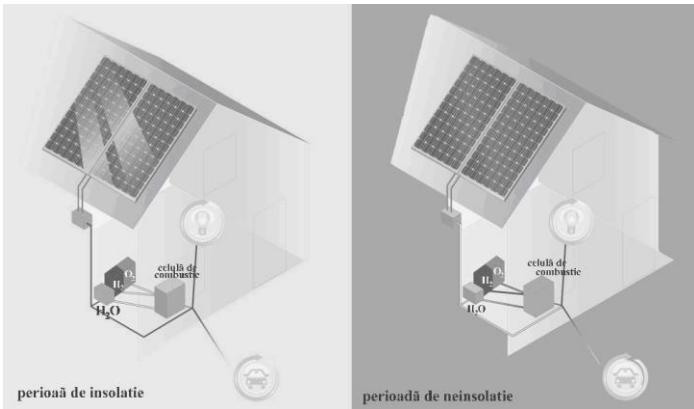
Tabelul 3.5 Baterii care au perspective de aplicare în domeniul stocării energiei solare fotovoltaice.

În tabelul 3.6 cerințele pe care trebuie să le îndeplinească o baterie pentru a putea fi utilizată în domeniul stocării energiei și câteva din domeniile de aplicare.

Caracteristici	O casă pentru o familie	Minicentrală pentru centru comercial de 25000 m <sup>2</sup>	Centrală fotovoltaică solară 200 MW
Energie stocată (KWh)	5-10	6000	600000
-Tensiune (V)	220	240	1500
- Capacitate (Kah)	0,03-0,05	25	400
Ciclu de sarcină zilnic: nr.de ore de descărcare	3-5	10-14	3-5
Putere de vârf la descărcare (KW)	1,7-2,7	1000	200000
Nr. ore de încărcare	6-7	8-9	8-10
Putere de vârf la încărcare (KW)	1,7-1,8	2000	100000-150000
Randament (%)	75	80	75
Nr. de cicluri total de funcționare	2500	2500	3000
Cost (\$/KWh)			30-35

Tabelul 3.6 Cerințe pentru bateriile electrochimice destinate stocării energiei solare fotovoltaice și domenii de aplicare.

O metodă de stocare și utilizare a energiei solare extrem de ingenioasă a fost avansată de profesorul Daniel G. Nocera de la MIT. Bazându-se pe procesul de fotosinteză au descoperit un proces foarte simplu de a folosi energia solară pentru a descompune apa în hidrogen și oxigen, iar apoi cu o celulă de combustie să genereze energie electrică zi și noapte, figura 3. 50.



Energia electrică folosită la descompunerea apei putând fi produsă de panouri fotovoltaice. În perioadele de neinsolație, cum ar fi noaptea, stocul de hidrogen și oxigen poate fi recombinat prin intermediul unei celule de combustie cu producerea de energie electrică. Noutatea acestei descoperii

constă în simplitatea instalației care lucrează la temperatura camerei și pH neutru. Electrozii sunt confecționați din cobalt acoperiți cu fosfat de cobalt iar celălalt din platină.