

Energia solară (Tehnologie și Economie)

Pământul primește, în permanență, mai multă energie de la Soare în doar o oră decât folosește populația lumii într-un an.

Fluxul total de energie solară interceptată de pe pământ într-o zi este de $4,2 \times 10^{18}$ Wh sau $1,5 \times 10^{22}$ jouli (sau 6.26×10^{20} jouli / oră). Aceasta ar fi echivalentă cu arderea a 360 miliarde de tone de petrol pe zi sau 15 miliarde de tone pe oră.

De fapt, consumul mondial de energie totală a tuturor formelor în anul 2000 a fost de numai 4.24×10^{20} Jouli.

Radiația solară

Lumina solară ajunge pe Pământ într-un spectru larg, divers, combinând fotoni cu un nivel redus de energie fotoni din spectrul infraroșu (1.1 eV), cu fotoni de mare energie din spectrul ultravioletelor (3.5 eV) și cu fotonii ce formează lumina vizibilă.

Graficul de mai jos ne prezintă spectrul de energie solară captată pe un plan, în incidență directă față de soare, aflat în afara atmosferei Pământului la o distanță medie de la Pământ la Soare. Aria de sub curbă reprezintă totalul de energie cu întreg spectrul de frecvențe. Cunoscut sub numele de "*constantă solară*" – notată G_0 , și are o valoare egală cu 1.367 W pe metru pătrat (W / mp).

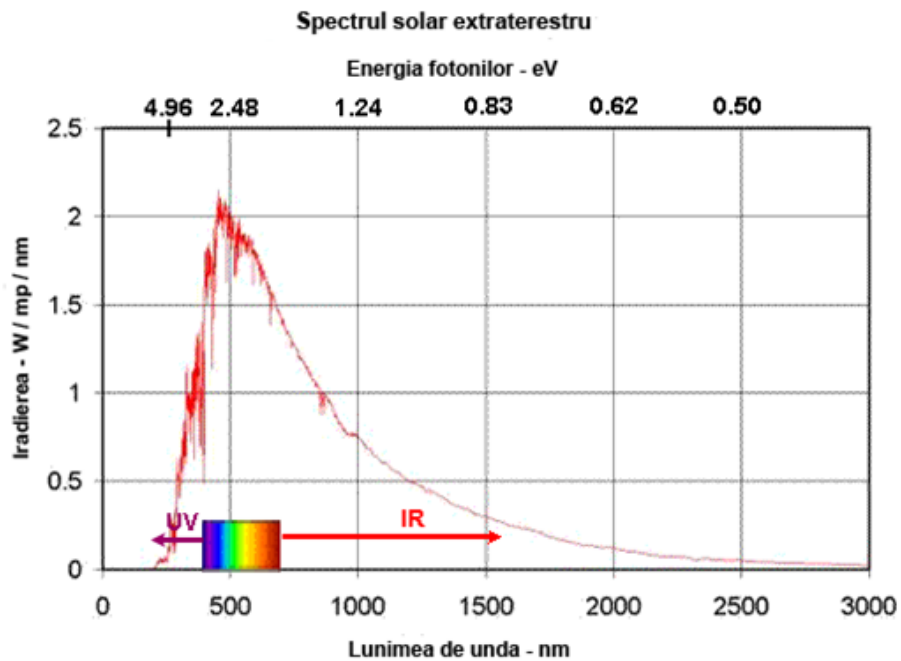


Fig. 1 Spectrul solar la nivel extraterestru (extra-atmosferic)

Energia radiantă care se încadrează în spectrul vizibil reprezintă aproximativ 43% din total, aproximativ 52% reprezintă spectrul infraroșu și 5% razele ultraviolete.

Graficul de mai jos prezintă nivelul de energie și spectrul la nivelul mării. A fost numită “energie directă” energia primită direct de la soare.

A fost numită “energie globală” cantitate totală de energie – energia directă, energia difuză, energia împrăștiată sau reflectată de nori și energia re-radiată (reflectată) de pământ.

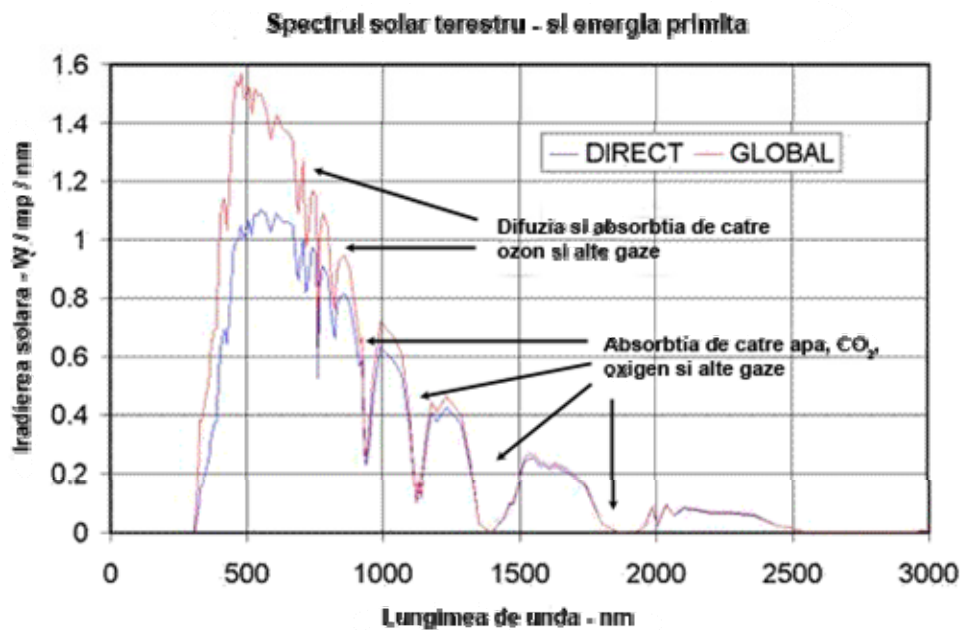


Fig. 2 Spectrul solar la nivelul mării

Cantitatea de energie primită de nivelul mării este de aproximativ 1 kW / mp la ora amiezii, la ecuator

Iradieră și insolație

Iradieră (solară totală) este definită ca fiind cantitatea de energie radiantă emisă de Soare în toate lungimile de undă - nu doar lumina vizibilă care se încadrează pe un plan perpendicular cu suprafața de un metru pătrat, în afara atmosferei terestre, la o anumită distanță față de Soare. Aceasta este aproximativ constantă, cu un caracter fluctuant de numai câteva părți la mie de la o zi la alta.

Pe suprafața exterioară a atmosferei Pământului iradierea este cunoscută sub numele de “**constanta solară**” și după cum de altfel a mai fost menționat, este egală cu aproximativ 1.367 W / mp.

Cantitatea de energie solară, care traversează atmosfera și ajunge pe o anumită zonă de pe Pământ într-o anumită oră variază în funcție de latitudine și

de anotimp, precum și de condițiile meteorologice și este cunoscută sub numele de “**expunere la soare**” (radiație solară incidentă).

Când Soarele este se află desupra unei zone de expunere, valoarea energiei incidente care ajunge pe o suprafață de pe sol, perpendiculară față de razele Soarelui, este de aproximativ 1000 wați pe metru pătrat. Acest lucru se datorează absorbției energiei Soarelui prin atmosfera Pământului, din care se disipă aproximativ 25% - 30% din energie.

Expunere la soare crește cu altitudinea.

În practică, termenii “**iradiere**” și “**expunere la soare**” sunt adesea folosiți alternativ, însemnând același lucru.

Energia solară disponibilă

Deoarece zona transversală a Pământului este 127,400,000 km², puterea totală a Soarelui interceptată de către Pământ este 1.740×10^{17} W, dar cum planeta se rotește, în timpul nopții nu primește energie. Energia Soarelui este distribuită pe întreaga suprafață a Pământului ca “insolație medie” fiind doar un sfert din constanta solară sau aproximativ 342 W/mp. Ținând cont și de sezoane și de condițiile climatice, puterea reală ajunge la sol, în general, la o medie de aproximativ 200 W / mp. Astfel, puterea medie interceptată în orice moment de suprafața pământului este în jurul valorii de $127.4 \times 10^6 \times 10^6 \times 200 = 25.4 \times 10^{15}$ W sau 25.400 TWh.

Raportând această putere asupra unui an, totalul de energie solară primită de pământ va fi:

$$\text{TWh } 25400 \times 24 \times 365 = 222,504,000 \text{ TWh}$$

Pentru a pune acest lucru în perspective utilizării, energia electrică totală anuală (nu energia totală), consumată în lume, din toate sursele, în 2004 a fost de 16,600 TWh. Astfel, energia solară disponibilă este de peste 13.000 de ori mai mare decât consumul mondial.

Energia solară trebuie să fie convertită în energie electrică, dar chiar și cu o eficiență de transformare de doar 8%, energia disponibilă va fi de 17.800.000 TWh sau de peste o mie de ori mai mare decât consumul. Folosind aceeași eficiență scăzută de conversie, necesarul de energie electrică în întreaga lume ar putea fi soluționat de la un panou solar de 118.000 kmp. Teoretic, acest necesar ar putea fi furnizat de șase centrale solare de 20.000 kmp fiecare, poziționate în deșerturile toride, continentale, în Australia, China, Orientul Mijlociu, Africa de Nord, America de Sud și Statele Unite ale Americii sau o mare centrală solară care să acopere 1% din deșertul Sahara.

Din păcate, “cadoul” oferit de Soare poate fi recoltat doar în timpul zilei, iar energia ar trebui să fie depozitată pentru a fi utilizată în timpul orelor de noapte, la care se adaugă și cerința de a distribui energia pe distanțe mari acolo unde este nevoie – toate acestea fac o astfel de propunere imposibilă. Exemplu servește doar pentru a ilustra abundența de energie a soarelui.

Ceea ce însă se poate realiza practic – pornind de la cele de mai sus, este să se construiască centrale solare de putere mai mică, mai eficiente, pentru a servi cererile de comunităților locale care utilizează energia solară gratuită atunci când aceasta este disponibilă, în combinație cu alte surse de energie sau cu variante de stocare a energiei la nivel local - acolo unde este posibil. În ciuda acestui fapt, mai puțin de 0,1% din cererea mondială de energie primară este furnizată de energia solară.

Ora echivalentă de soare plin (EHS)

Datorită variației în intensitate a radiațiilor Soarelui în timpul zilei și, de asemenea, variație ca durată a unei zile, este dificil să facem comparații asupra energiei Soarelui care ajunge pe Pământ în diferite locații.

Graficul de mai jos prezintă un exemplu asupra modului cum variază insolația (1000 W / mp) peste zi. O expunere la soare de 1000 W / mp este cunoscut sub numele de “soare plin”. De cele mai multe ori energia incidentă este sub această valoare, deoarece ea depinde de unghiul de incidență al razelor Soarelui cu solul, crescând în timpul zilei de la o valoare foarte scăzută în zori când Soarele se “ridică pe cer” către un vârf, la prânz și care scade din nou pe măsură ce soarele apune. (A se vedea și unghiul de incidență prezentat mai jos). În mod similar, expunerea la soare va fi redusă la latitudini mai mari, datorită efectului de “masă de aer” - (a se vedea mai jos).

Graficul prezintă, de asemenea, faptul că, energia totală primită pentru peste 10 ore de lumină (pe parcursul zilei) va fi de 3,5 kWh.

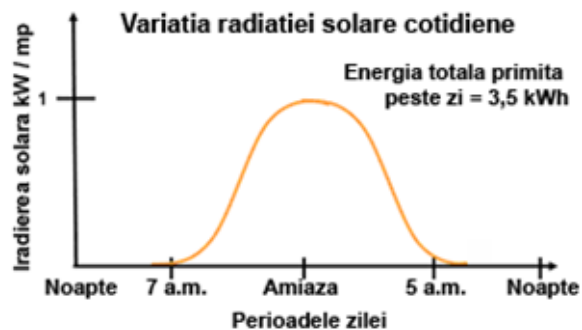


Fig. 3 Variatia radiației solare pe parcursul unei zile

Dacă expunerea la soare ar fi fost constantă de 1000 W / mp aceeași cantitate de energie ar fi fost primită de 3,5 ore. EHS - ora echivalentă de soare plin este o măsură de expunere medie la soare în diferite locații. În acest caz, EHS este de 3,5 ore.

Energia solară exprimată în ore echivalente de soare plin (EHS) depinde de asemenea, de condițiile atmosferice și de poluare. A se vedea energia disponibilă - sisteme practice de mai jos.

Conceptul de EHS este util pentru compararea potențialului unor sisteme solare atunci când sunt instalate în locații geografice diferite.

Captarea energiei solare

Energia solară poate fi captată în două forme - sub formă de căldură sau de energie electrică.

• Sisteme termice

Sistemele termice permit captare a energiei Soarelui în formă de căldură (radiațiile infra roșu) prin intermediul unui "colector solar" și utilizarea acesteia în cea mai mare parte pentru a furniza apă caldă sau pentru încălzirea spațiilor, dar căldura poate, de asemenea, fi folosită pentru a genera energie electrică - prin încălzirea unui fluid de lucru într-un motor pe bază de căldură care la rândul său, acționează un generator.

• Sisteme fotovoltaice

Sisteme fotovoltaice de captare a radiației soarelui cu o frecvență mai mare (vizibil și ultra violet), într-o matrice de semiconductoare, celule fotovoltaice, care convertesc energia radiantă direct în energie electrică.

Radiația de energie solară ce ajunge la un colector solar sau matrice de semiconductoare depinde de poziția acestuia pe Pământ, orientarea acesteia și de asemenea variază în mod continuu, cu timpul, precum și condițiile meteorologice.

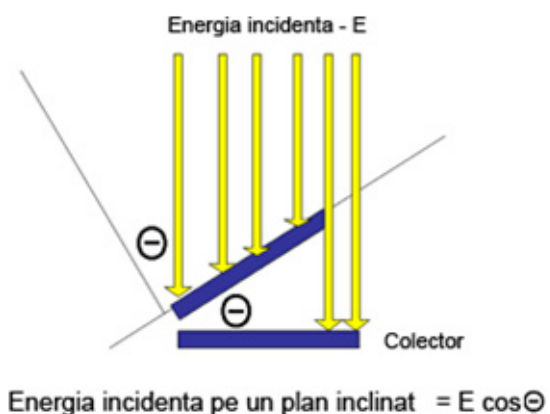
Cantitatea de energie captată este direct proporțională cu suprafața de expunere față de energia Soarelui interceptată de către colector.

Elemente de Geometrie

Orientarea colectorului solar sau matricei fotovoltaice față de poziția Soarelui este un factor determinant major în privința eficienței sistemului de energie solară.

• Planuri înclinate Unghiul de incidență

Cantitatea de energie cu un impact maxim asupra unui colector sau matrice este direct proporțională cu suprafața expusă - cu care aceasta interceptează radiațiile. Pentru o captare optimă de energie de către colector, acesta trebuie să fie perpendicular pe razele Soarelui - când unghiul de incidență este de 90° . Pentru o suprafață plană de teren acest lucru se întâmplă doar atunci când Soarele este direct deasupra capului. Din păcate, cu excepția cazului în care ne situăm la tropice, aceasta nu va fi cazul, iar matricea trebuie să fie înclinată spre Soare pentru a primi insolație maximă.



În cazul în care energia incidentă nu este perpendiculară pe colector, unghiul de incidență este $(90^\circ - \Phi)$ iar suprafața efectivă a colectorului este $A \cdot \cos \Phi$ în cazul în care A este aria colectorului și Φ este abaterea de la perpendiculara radiației.

Masa de aer

Masa de aer este o cantitate adimensională definită ca raportul dintre lungimea - calea parcursă efectiv de radiația solară prin atmosferă / înălțimea prin atmosferă până la nivelul mării.

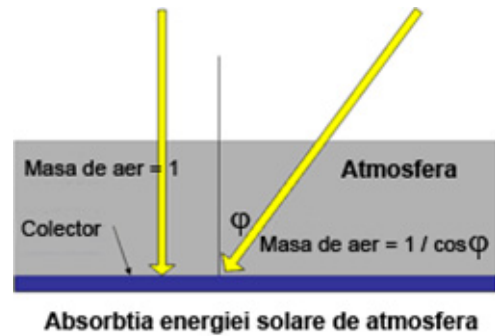
Dacă radiația solară nu este perpendiculară pe Pământ, calea de tranzit prin atmosfera Pământului va fi mai mare și prin urmare, energia absorbită pe această cale de colector sau matrice va fi mai mare.

Efectul lungimii traseului prin atmosferă este de creștere a absorbției de energie, cu un factor de $1/\cos \Phi$ unde " Φ " este abaterea de la perpendiculara de radiații, de asemenea, numit unghiul zenit.

Astfel, în regiunile polare Φ se apropie de 90° de grade ($\cos \Phi > 0$) expunerea la soare este redusă, chiar dacă colectorul este îndreptat direct spre Soare, datorită distanței lungi pe care o parcurge prin atmosferă.

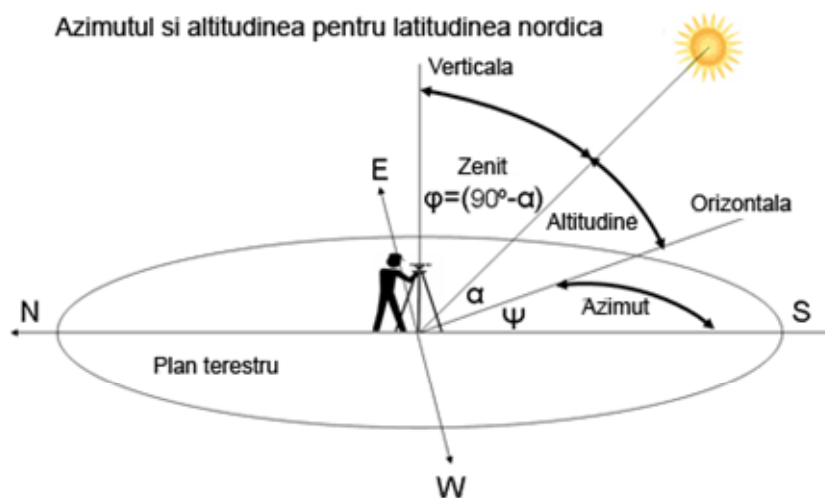
• Altitudinea

Expunere la soare crește cu altitudinea, cantitatea de radiații ce trece prin masa de aer mai mică, prin urmare, cantitatea de absorbție a energiei de către atmosferă este mai mică.



Elemente de Astronomie

Pentru a calcula cum variază insolația solară în funcție de timp și de poziția colectorului de pe suprafața Pământului, avem nevoie să cunoaștem un pic de astronomie.



Deși Pământul se mișcă în jurul Soarelui, pentru calculul energiei interceptate de către colectoarele noastre este adesea convenabil să presupunem că Pământul este staționar iar Soarele se deplasează în raport cu Pământul - în același fel ca și anticii, înainte de Copernic. Presupunând că Pământul nu se rotește, traiectoria aparentă a Soarelui urmează un plan bidimensional pe cer numit ecliptică.

- **Poziție**

Poziția Soarelui pe cer în raport cu un observator de pe Pământ este definită prin unghiul său de altitudine " α " (unghiul de elevație solară) și azimutul său de unghi " Ψ " (unghi față de axa polară).

- **Orbita Pământului**

Pământul orbitează în jurul Soarelui, realizând o revoluție pe an, pe o orbită eliptică având Soarele în unul dintre focarele elipsei. Orbitele celor două focare sunt foarte apropiate astfel încât orbita este aproape circulară, distanța la periheliu - punctul de pe orbită cel mai apropiat de Soare -, este doar cu circa 3% mai mică decât distanța la afeliu - cea mai mare distanță a față de Soare.

Deoarece orbita este aproape circulară, ca efect al orbitei privind iradierea solară rămâne în esență constantă pe tot parcursul anului, așa cum Pământul orbitează în jurul Soarelui. Cantitatea reală de energie primită de la orice distanță de la Soare este stabilită de legea pătratului invers. Astfel, o modificare de 3% din distanță dă naștere la o schimbare de 6% la iradiere.

- **Mișcarea de Rotație a Pământului**

Rotația Pământului definește perioadele de zi și de noapte. Deoarece Pământul se rotește expunerea la soare variază, astfel că în orice punct de pe suprafața acesteia iradierea crește la un maxim la mijlocul zile și scade la zero în timpul nopții, când Pământul prezintă o altă față spre Soare. Pentru o eficiență maximă este necesară orientarea colectorului după Soare, deoarece acesta parcurge bolta de la est la vest.

- **Latitudinea**

Un colector solar sau o matrice aflate la nivelul solului vor primi o iradiere maximă doar atunci când Soarele este direct deasupra sa – perpendicular pe poziția sa. Deoarece Pământul este o sferă, unghiul dintre planul de suprafață a Pământului și radiația solară incidentă va crește treptat de la 90 de grade cum ne vom muta mai departe de ecuator la latitudini superioară și inferioară cu un unghi " Θ ", egal cu latitudinea observatorului. În acest moment, altitudinea unghiul α față de Soare va fi ($90 - \Theta$) de grade. Datorită unghiului de înclinare crescut de la suprafața Pământului, iradierea primită de către un colector plasat pe suprafața terestră va scădea treptat.

Acest neajuns poate fi depășit prin înclinarea colectorului, astfel încât să se urmărească să fie tot timpul perpendicular pe razele Soarelui. Elevația față de orizontală (unghiul de înclinare) ar trebui să fie egal cu unghiul latitudinea Θ de la locul de colector.

Pentru un efect maxim axa de înclinare ar trebui să fie perpendiculară pe axa polară. În emisfera nordică direcția colectorului ar trebui să fie punctul ce indică polul Sud.

Trebuie reținut faptul că axa polară nu este aceeași cu cea indicată de busolă, deoarece polii magnetici nu sunt neapărat aliniați cu polii fizici / geografici. Unghiul dintre meridianele magnetice și geografice, în orice loc este numit declinația magnetică sau de modificare și poate ajunge la 20 de grade sau mai mult. Acesta este exprimat în grade est sau vest, pentru a indica direcția nordului magnetic față de nordul geografic.

Soarele nu pare să urmeze o cale constantă în planul ecuatorial al Pământului. Aparent se deplasează către Nord vara și către Sud iarna. De fapt, Soarele este staționar, iar efectul se datorează înclinației axei de rotație a Pământului.

- **Înclinația axei de rotație a Pământului**

Axa de rotație a Pământului este de aproximativ 23.45 grade de la planul orbitei sale. Aceasta este relativ constantă, menținută în această direcție datorită acțiunii giroscopice de rotație a pământului. Datorită acestui fapt întotdeauna prezintă aceleași zone în aceeași direcție relativ față de stele, astfel că punctele de la Polul Nord sunt orientate spre Steaua Nordului. Cu toate acestea, pe perioade de timp foarte lungi, măsurate în mii de ani, direcția axei Pământului suferă mici modificări ca urmare a fenomenelor giroscopice de precesie a periheliului.

Orientarea fixă în spațiu a axei Pământului și înclinația acesteia, prin mișcarea de rotație în jurul Soarelui determină lungimea zilei și creează sezoanele. La solstițiul de vară, cea mai lungă zi, jumătatea de nord a Pământului este orientată direct spre Soare creând condițiile de vară în emisfera nordică. Solstițiul de iarnă, cea mai scurtă zi din emisfera nordică are loc atunci când Pământul a parcurs 180 de grade pe orbita sa și emisfera nordică este departe de Soare.

De pe Pământ, se pare că axa de rotație a Pământului este pendulantă înainte și înapoi. Înclinarea aparentă a axei Pământului corespunde poziției unghiulare a Soarelui la cel mai înalt punct pe cer, raportat la un punct de observație și raportat la planul de ecuator și se numește declinație solară δ (A nu se confunda cu variațiile magnetice, de asemenea, numite declinație magnetică).

Echinoxurile de primăvară și de toamnă, în martie și septembrie, atunci când ziua și noaptea au aceeași durată, apar atunci când Pământul este la jumătatea drumului său - planul de înclinare este perpendicular pe direcția Soare - Pământ, astfel încât expunerea la soare este aceeași în ambele emisfere.

Ca urmare a înclinației axei Pământului, intensitatea expunerii la soare variază în timpul anului fapt care a dat naștere la anotimpuri. Aceasta nu se datorează faptului că înclinația determină că un punct de pe suprafața Pământului se mută mai aproape sau mai departe de Soare. Schimbarea în raport de distanță este neglijabilă. Este cauzată de trei factori:

- Pământul își schimbă aparent înclinația unghiului de incidență față de radiația solară, schimbând radiația sa pe unitate de suprafață - așa cum s-a menționat în diagrama de mai sus.
- În același timp, înclinația, modifică lungimea traiectoriei radiației prin atmosferă. Se schimbă cantitatea de energie solară absorbită de atmosferă de asemenea, după cum se arată în diagrama de mai sus.

- Înclinația schimbă, de asemenea, numărul de ore de zi în raport cu cele de noapte.

Toți acești factori concură la reducerea intensității și duratei zilnice de expunere la soare.

După cum se vede din emisfera nordică a Pământului, declinația în elevație față de Soare variază în cursul anului între minus 23.45 grade în timpul verii, și plus 23.45 grade în timpul iernii.

Luând în considerare declinația solară, unghiul de altitudine α al soarelui este de $(90 - \Theta \pm \delta)$ grade.

Prin urmare unghiul de înclinare a colectoarelor solare față de orizontală pentru o eficiență maximă ar trebui să fie $(\Theta \pm \delta)$ grade și colectorul ar trebui să poată să urmeze această variație în declinație pe tot parcursul anului.

• Timpul

Din fericire, ca și sursă de energie regenerabilă Soarele este mult mai previzibil decât vântul. Traectoria sa este constantă - apare în fiecare dimineață și dispare în fiecare noapte. Intensitatea vântului poate fi extrem de variabilă, dar poate fi disponibil 24 de ore pe zi – în anumite zone, în timp ce energia solară este disponibilă doar în timpul zilei. Chiar și în aceste condiții, energia solară este de încredere și este disponibilă atunci când este nevoie cel mai mult - în timpul orelor de vârf.

Deși radiația solară este supusă la două variații temporale, una diurnă (zilnică) datorită ciclului de rotație al Pământului și unui ciclu anual datorat înclinării axei Pământului, știm cu precizie amploarea acestor efecte în orice moment, astfel încât să putem concepe sisteme solare de putere, în funcție de aceste aspecte. Ceea ce este mai puțin previzibil este determinat de vreme.

Excepția cazului în care sistemele solare sunt conectate la o rețea, sisteme independente care trebuie să furnizeze energie la cerere au nevoie de o formă de stocare a energiei sau de o sursă alternativă de energie pentru orele de întuneric / perioadele cu condiții meteorologice defavorabile.

Elemente de Meteorologie

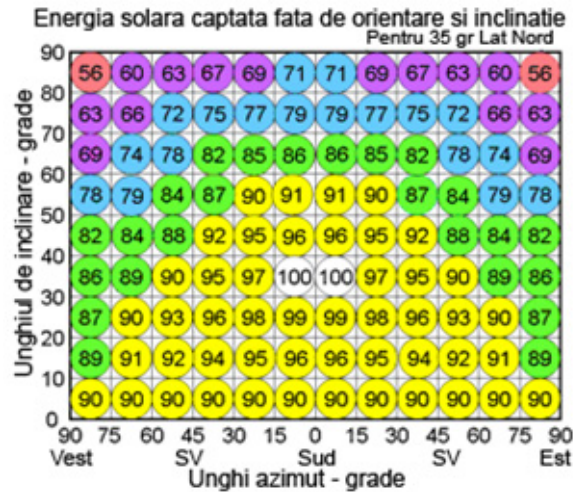
Din păcate nu avem nici un control asupra vremii. Cerul acoperit poate reduce drastic energia primită pe un teren. Evident, sistemele solare generatoare de putere cele mai bune sunt situate în regiuni cu minim nori, de praf și de poluare a aerului. Pentru aceasta avem statistici cu privire la condițiile meteorologice regionale, care ajută la alegerea locațiilor potrivite pentru centralele electrice solare.

Pentru dimensionarea unui sistem solar de generare a energiei, este esențial să se cunoască numărul de ore de lumină estimat pentru locația zonei. Acest lucru poate fi în mod normal obținut de la serviciile naționale de meteorologie și de la unitățile de cercetare de mediu, precum și de la instituții mondiale de profil. Acestea sunt în măsură să furnizeze tabele de estimare a energiei solare pentru o regiune dată.

Notă: Este important ca informațiile să se verifice în baza de date. Unele organizații indică o radiație solară pe o suprafață orizontală. Alte baze de date au informații cu privire la expunerea la soare a unui colector cu un unghi fix de înclinare corespunzătoare latitudinii locației.

Captarea energiei și Colectorul / Orientarea suprafeței de captare

Tabelul de mai jos arată modul în care eficacitatea unei matrice solare sau colectoare depinde de orientare și înclinare.



Exemplul arată că, pentru a capta energia solară maximă, cu o matrice situată la o latitudine de 35° Nord, orientarea optimă a matricei este spre Sud și înclinare optimă este aceeași ca și latitudinea, în acest caz 35°.

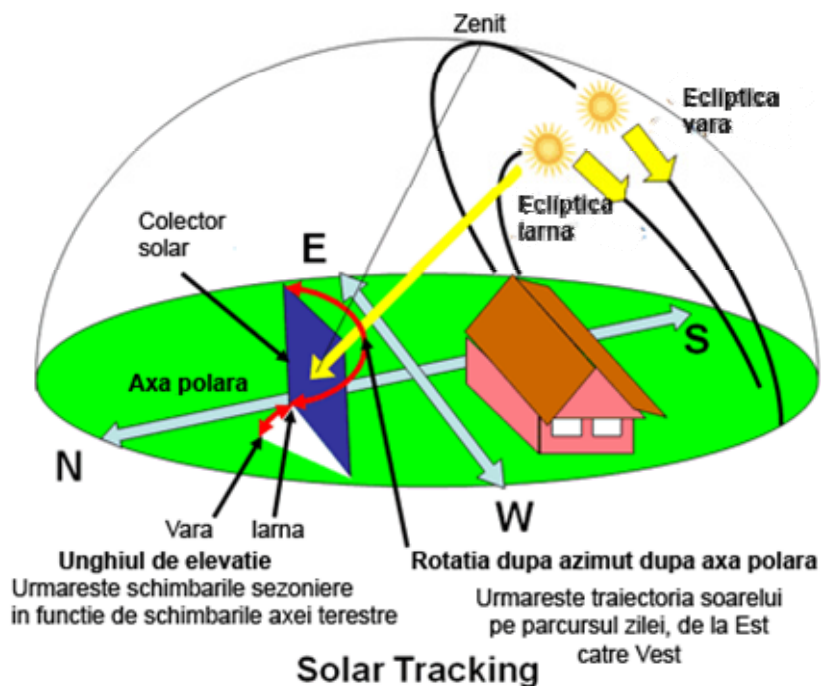
În cazul în care sistemul de matrice trebuie să fie montat pe un acoperiș cu un pas de 45° pe o clădire cu orientarea către Sud-Vest se va primi doar un maxim de aproximativ 90% din energia solară disponibilă.

Solar Tracking

După cum a fost menționat mai sus, cantitatea de energie captată de un sistem solar poate fi maximizată în cazul în care colectorul poate urma calea ecliptică urmată de Soare, astfel încât planul colectorului sau matricei să fie întotdeauna perpendicular pe direcția Soare.

Sistemele mecanice automate de urmărire fac posibilă urmărirea atât după azimut dar și după elevația poziției Soarelui, pentru a maximiza captarea de energie.

Notă: În perioada de iarnă zenitul este mic iar gama azimutului este redusă. Graficul-exemplu de mai jos arată că, în Marea Britanie, energia disponibilă de la Soare pe perioada de iarnă este între o șesime și 1 / 12 din energia de la Soare pe perioada de vară, în funcție de latitudine.



- **Urmărirea azimutului**

Urmărirea azimutului permite păstrarea colectorului orientat spre Soare atunci când Pământul se rotește.

Expunere la soare variază între zero și valoarea sa maximă pe perioada unei zile și rămâne în jurul valorii maxime pentru o perioadă relativ scurtă de timp. Urmărirea azimutului permite colectorului să urmeze Soarele de la est la vest pe parcursul zilei și aduce cele mai multe beneficii.

În prezent se lucrează cu sisteme pasive (mecanice și/sau hidraulice), care nu consumă energie din producția realizată, și cu sisteme active – controlul și poziționarea se realizează electronic, cu consum energetic din ceea ce produc.

- **Altitudinea / Urmărirea după elevație (înălțime)**

Sistemul de urmărire după altitudine permite colectorului să urmeze variațiile sezoniere în altitudine a Soarelui, cu beneficii economice mai mici decât în cazul sistemelor pentru urmărirea pe azimut.

Comparativ cu variații zilnice de radiație, variațiile sezoniere sunt foarte lente, iar gama de variație, ca urmare a declinației solare este mult mai restrânsă. Din acest motiv, câștiguri rezonabile de eficiență pot fi obținute prin simpla ajustarea manuală a cotei colectoarelor la fiecare două luni.

- **Axa dublă de urmărire**

Combinând sistemele de urmărire după azimut și elevație este posibilă captarea energiei maxime, dar sistemele colectoare sunt complexe. Din punct de vedere economic, sistemele de urmărire după azimut asigură rezultate suficiente pentru exploatare.

Colectoare solare

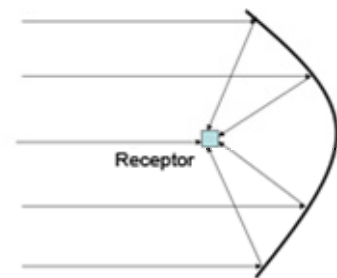
Un colector solar este pur și simplu o suprafață de colectare a energie termice, care interceptează energia radiată de Soare și încălzește un lichid termic de lucru. În practică este mai convenabil ca sistemele termice să-și concentreze energia termică pe un receptor mic, în scopul de a obține o creștere a temperaturii mai mare a fluidului de lucru. Aceste colectoare sunt numite concentratoare.

Concentratoare

Concentratoarele tipice sunt construite din oglinzi parabolice care reflectă razele Soarelui pe o singură zonă din centrul oglinzii.

- **Discul parabolic**

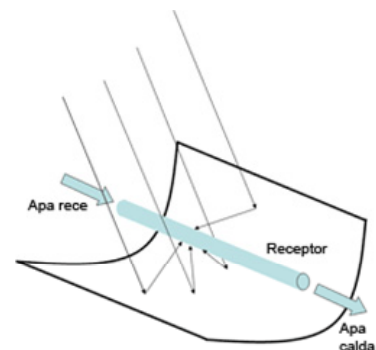
O antena parabolică va capta energia interceptată de oglinda discului și o va concentra pe un absorbant de căldură adecvat, situat la focalizare. Cantitatea de energie captată și prin urmare, creșterea temperaturii de absorbție va fi proporțională cu suprafața discului. Limitări de dimensiune la nivelul platanului impune o limită de aplicare a acestor sisteme de la 10kW la 50kW.



Disc parabolic concentrator solar

- **Jgheab parabolic**

Sisteme cu rețele mai mari de utilizare a oglinzilor parabolice în formă de jgheab, orientate nord-sud, pentru a concentra radiația solară. Acestea includ, de asemenea, un sistem de urmărire pentru a urmări traseul Soarelui pe tot parcursul zilei.

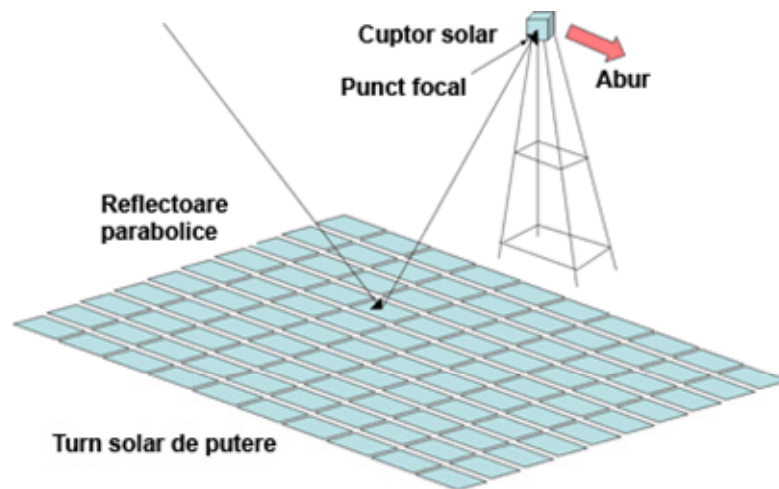


Jgheab parabolic concentrator solar

Pentru absorbția termică, se utilizează un tub situat la de-a lungul liniei focal al oglinzii și care conține mediul de lucru, care este încălzit de către radiația solară la o temperatură înaltă și folosit pentru a conduce un motor termic.

- **Turnul de putere**

Un aranjament concentrator alternativ este Turnul concentrator solar de putere care folosește un număr mare de oglinzi parabolice concentrate pe un cuptor solar montat pe partea de sus a unui turn. Din cauza lungimii focale mari, oglinzile retrovizoare par aproape plate.



Ca și în cazul sistemelor cu concentratoare, cuptorul solar este folosit pentru a produce abur care ajunge la turbina unui generator electric.

- **Suns** - Reprezintă o unitate utilizată de către comunitatea tehnică ce folosesc concentratoare solare pentru a exprima gradul de concentrare realizat de către sistemul de oglinzi, similar cu factorul de mărire a unui obiectiv. Unitatea nu este definită precis - standardizată.

Energia disponibilă - Sisteme practice

Tabelul de mai jos prezintă energia solară disponibilă la două extreme de latitudine și oferă o indicație a limitelor superioare și inferioare a energiei solare care ajunge pe Pământ. Expunerea la soare (kWh / mp / zi) este energia medie lunară incidentă care ajunge pe o suprafață orizontală la o locație dată. De asemenea, a fost definită și "Ora echivalentă de soare plin" sau EHS (a se vedea definiția prezentată).

Energia solară disponibilă la diferite latitudini					
Locație	Latitudine Grade	Altitudine Metri	Urmărire	Insolație kWh / mp / zi	
				Iunie	Decembrie
Anchorage, Alaska	61.17 ° N	35	Nici unul	4.5	0.6
			Axa 2	6.8	0.7
Quito, Equador	0.47 ° S	2851	Nici unul	4.38	4.81
			Axa 2	6.09	6.62

Tab. 1 Nivele energetice disponibile în două puncte cu latitudini diferite pe glob

Din cauza norilor și a poluării, EHS sunt substanțial mai puține decât numărul efectiv de ore de lumină. În zonele cu climă mai însorită, o medie de

33% din radiația solară vine de la lumina difuză, dar pentru majoritatea locațiilor aceasta reprezintă de obicei mai mult de 50%. Numărul de ore echivalente de soare plin ia în considerare factorii meteorologici ce pot afecta nivelul energetic – cer acoperit de nori sau cer parțial noros.

Dimensionarea sistemelor - captarea energiei

Este nevoie de o atenție deosebită pentru alegerea / specificarea dimensiunilor matricei solare pentru a îndeplini cerințele legate de puterea sistemului. Utilizarea cifrelor ce estimează media anuală de insolație pentru locația aleasă poate fi acceptabilă dacă se aplică pentru un sistem în rețea pentru evaluarea unei capacități medii anuale de generare, dar toate acestea nu sunt aproape niciodată sigure în cazul în care se aplică sistemelor off-grid (în afara rețelelor).

Condițiile meteo și factorii de mediu pot fi foarte înșelătoare, chiar și pe parcursul aceleiași luni.

În cazul în care capacitatea sistemului a fost estimată pe baza mediilor energetice anuale, de cele mai multe ori, în practică, se poate obține un surplus de energie în timpul verii și un deficit în timpul iernii. Un sistem off-grid / independent trebuie să fie dimensionat pentru a putea furniza energia necesară după estimările din timpul lunilor de iarnă, în caz contrar este necesară o sursă auxiliară de putere pentru a furniza diferența necesară. Sistemul este în aceste condiții la o capacitate peste specificațiile necesare pentru lunile de vară și este necesară formă de reducere a capacității de dumping sau a excesului de energie. Se recomandă, în aceste situații un "sistem hibrid" - sistem care combină energia eoliană și solară, deși, în anumite zone nici combinarea cu sisteme eoliene nu oferă o garanție energetică.

În cadrul proiectelor dezvoltate, sistemul de evaluare a necesarului energetic pe baza sistemelor fotovoltaice și/sau sistemele de tip hibrid sunt prezentate detaliat.

Stocarea energiei

Deoarece prin natura funcțională sistemele fotovoltaice nu pot asigura energia necesară în timpul orelor de întuneric, sistemele independente trebuie să genereze și stocheze suficientă energie pe perioada zilei pentru a satisface necesarul pentru activitățile preconizate pe întreaga perioadă. Stocarea energiei este de preferat să se facă pentru a acoperi necesarul pentru mai multe zile atunci când lumina soarelui poate că nu este disponibilă. În mod normal sunt folosite bateriile ca un sistem "tampon" pentru a oferi mediul de stocare necesar și pentru a garanta continuitatea pe termen scurt a aprovizionării - prin stocarea surplusului de energie din timpul zilei pentru a fi utilizată în timpul nopții și în perioadele de cer acoperit. Din păcate, stocarea surplusului de energie vara pentru a fi utilizată în timpul iernii nu este o soluție practică.

Sisteme solare de generare a puterii (energie termică)

Producția de energie electrică într-o instalație termică solară are loc în două etape. În primul rând energia termică de la Soare este captată și folosită pentru a încălzi un lichid de lucru, care este apoi utilizat într-o a doua etapă de transformare a energiei pentru a genera energie electrică. Trebuie reținut faptul că energia termică provine din radiația Soarelui și nu din aer a căror temperatură va fi, de obicei mult mai mică decât temperatura fluidului de lucru. Temperatura de funcționare reală la care ajunge fluidul de lucru va depinde de rata la care energia termică este extrasă cu ajutorul fluidului de lucru (debitul acestuia la nivelul instalației), și furnizată către sistemul de generare a energiei electrice.

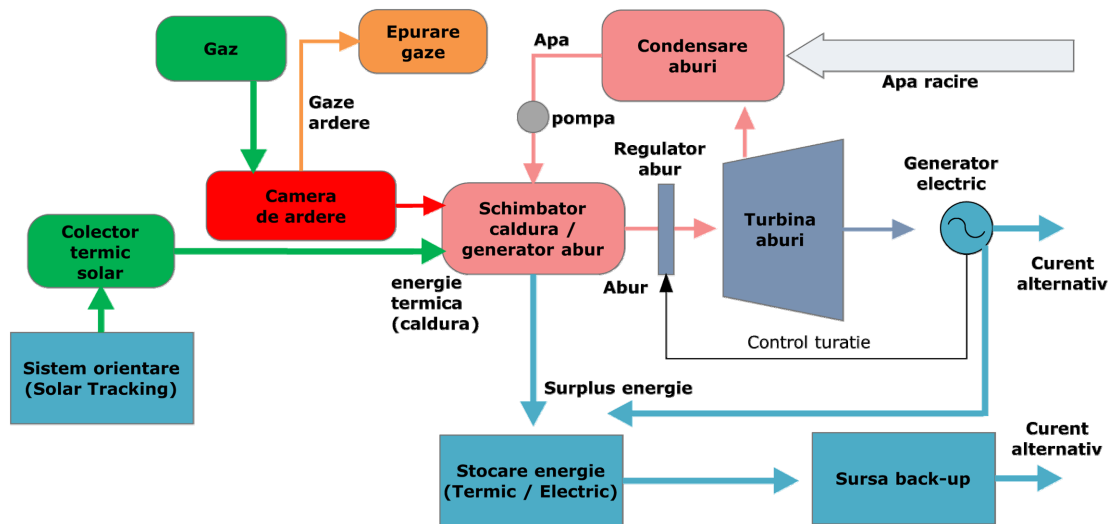
O instalație solară pe bază de energie termică are de obicei un sistem de oglinzi pentru a concentra lumina soarelui pe un sistem absorbant, energia absorbită fiind apoi folosită pentru a alimenta un motor termic care, la rândul său, conduce un generator rotativ. În sistemele de scară largă, motorul termic este de obicei o turbină acționată de aburi sau alte fluide de lucru în formă de vapori. În sistemele la scară mică a motorului termic poate fi un motor Stirling.

O serie de proiecte de anvergură declară ca intenție utilizarea unor sisteme Stirling modificate pentru putere mare, care să acționeze în final generatoare electrice de mare putere

Sisteme de generare de energie electrică

Centrale termice la scară mare

Sistemul de mai jos este conceput pentru a capta energia termică radiată de la soare.



Sistem generator energie electrica cu turbina de aburi pe baza energiei termice solare

Energia termică de la Soare este preluată de către un concentrator, care concentrează energia pe un sistem absorbant de căldură care conține fluidul de lucru, de obicei, un ulei sintetic, care este încălzit de către radiația solară la o temperatură înaltă de obicei, 400° C. Sistemul poate folosi un ciclu binar în care mediul de lucru încălzit este trecut printr-un schimbător de căldură pentru a

produce abur, care este utilizat pentru a acționa o turbină și un generator convențional - într-un circuit termic separat.

Pentru a menține randamentul termic al turbinei, la ieșirea fluidului de lucru din schimbătorul de căldură nu ar trebui să se permită răcirea acestuia. Instalațiile solare sunt, prin urmare, completate de cazane pe bază de gaz – sisteme care generează aproximativ un sfert din puterea necesară globală și care mențin temperatura peste noapte – sau perioadele în care condițiile nu permit funcționarea optimă.

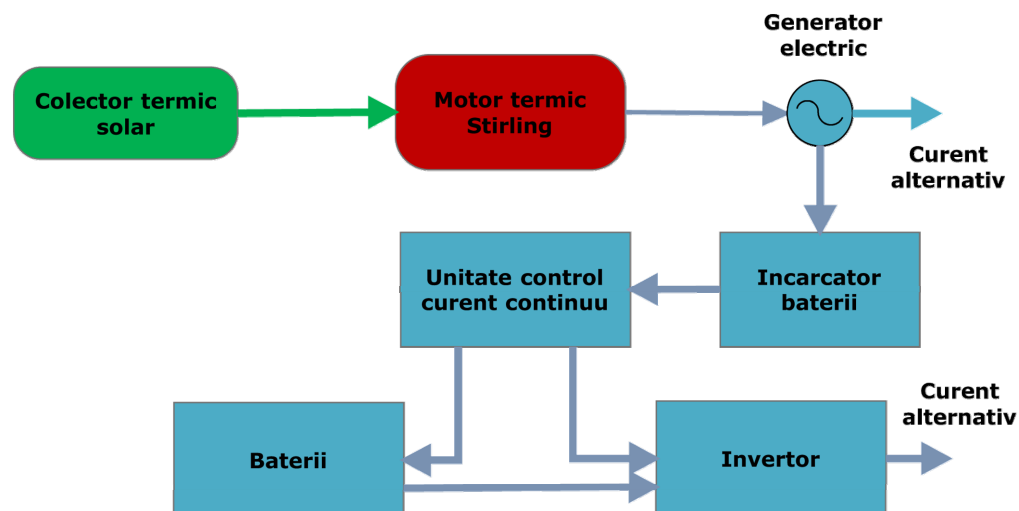
Au fost realizate mai multe astfel de instalații în module de 80 MW care sunt acum în faza de operare cu o eficiență de conversie a energiei solare cuprinsă între 15% și 23%. Fiecare modul are nevoie de aproximativ 50 de hectare de teren și are nevoie de sisteme foarte precise de control și asistență în exploatare. Costurile energiei obținute sunt de două sau trei ori mai mici decât cele ale surselor convenționale.

Centrale termice la scară mică

Turbine cu abur sunt practice doar pentru instalații foarte mari. Motoarele termice de tip Stirling sunt adesea folosite în sistemele de dimensiuni medii sau reduse de a acționa generatorul electric – vezi descrierea sistemelor Stirling și proiectele proprii referitoare la generatoarele pe bază de motoare termice Stirling.

Sistemul energetic solar pe bază de motoare termice Stirling

În mod normal – tradițional centralele termice mici folosesc pentru generare o serie de panouri umplute cu apă sau o gamă mică de parabolice pentru concentrare, pentru a capta energia termică a Soarelui. Sisteme foarte mici, cum ar fi cele utilizate în aplicațiile spațiale pot folosi pur și simplu un fel de disc parabolic pentru a capta energia.



Sistem generator energie electrică pe baza energiei termice solare cu motor termic Stirling

Fluidul de lucru este apoi utilizat ca sursă de căldură externă pentru alimentarea motorului Stirling, care la rândul său, conduce un generator rotativ.

La un sistem de sine stătător, de tip off-grid (independent de rețea) sistemul solar electric trebuie să dispună de baterii și o serie de componente - încărcătoare, invertoare și controlere pentru a gestiona fluxurile de energie, cu scopul de a oferi puterea necesară la cerere. Acest lucru face ca un sistem să fie scump.

La un sistem aflat în rețea, de tip on-grid, este nevoie de asemenea de condiționarea și controlul puterii pentru cazul în care există surplus de energie care este apoi disponibil pentru a fi vândut către rețea – către compania furnizoare.

Eficiența obținută cu sisteme la scară mică variază de la 18% la 23%.

Aplicații casnice - încălzirea apei - O scurtă prezentare

Multe sisteme casnice solare termice mici sunt folosite doar pentru încălzirea apei și nu pentru generarea de electricitate.

• **Sisteme practice**

Se utilizează apa ca și fluid de lucru, circulă printr-un ansamblu-acoperiș de panouri solare montat și alimentat direct în sistemul de apă caldă menajeră. Ca o alternativă funcțională și constructivă, se utilizează fluid de lucru altul decât apa și este trecut printr-un schimbător de căldură constând dintr-o țeavă încolăcită în rezervorul de stocare a apei calde pentru încălzirea apei în mod indirect. În acest caz se utilizează un fluid de lucru cu performanțe termice mai bune decât apa.

Pe suprafața frontală a panoului solar se utilizează un geam dublu, permițând trecerea radiației Soarelui care încălzește apa care curge prin tubulatura panoului, în același timp sticlă prevenind pierderile de căldură din apa încălzită la nivelul panoului, pierderi datorate convecției – conducerea căldurii în direcția opusă (de la panoul de la mai rece atmosfera). Suprafața din spatele panoului este, de asemenea, izolată pentru a preveni pierderea de căldură în această direcție.

Sistemul funcționează și pe vreme rece, deoarece apa este încălzită de către radiația Soarelui, nu de către aerul înconjurător din care este izolat. Performanțele sistemelor pe vreme rece sunt mai mari în cazul panourilor vidate și care utilizează mediu de lucru cu proprietăți termice mai bune decât apa.

▪ **Temperatura apei**

O soluție elegantă, de auto reglare pentru menținerea temperaturii apei este asigurată prin încorporarea un mic panou fotovoltaic, anexă (prezentat mai jos) care generează energia electrică necesară pentru alimentarea pompelor de circulație a apei din panoul termic de încălzire, în loc de a folosi rețeaua de energie electrică.

La răsărit, pompa rămâne oprită până când apa ajunge la temperatura de funcționare moment în care pompa poate fi pornită. Deoarece radiația Soarelui crește în cursul dimineții, temperatura apei va crește, în același timp pompa solară va rula mai rapid, crescând fluxul de apă și de transfer de căldură de la panou la rezervorul de stocare a apei calde. Prin dimensionarea

corespunzătoare a pompei și panoului fotovoltaic, rata de transfer de căldură de la panoul poate fi corelată cu rata de absorbție de căldură de la Soare, menținând astfel o temperatură constantă a apei. Pe măsură ce energia primită de la Soare scade - după-amiaza - procesul devine mai lent, pompa funcționează mai lent – corelat cu reducerea ratei la care căldura este extrasă de pe panoul termic, menținând astfel temperatura predefinită. Fiind complet independent de rețeaua de energie electrică, aceste sistem oferă beneficii economice și de mediu.

- **Limite de temperatură**

Cu apa ca fluid de lucru, sistemul este predispus la îngheț și la fierbere excepția cazului în care se iau măsuri speciale.

Sistemele de tip low-cost, care utilizează apa și fără schimbător de căldură pot să înghețe în medii foarte reci și întunecate. Ca urmare, prin construcție se utilizează materiale flexibile – țevi din cauciuc siliconic – care se pot adapta dacă apa îngheață.

Volumul de apă utilizată în panouri termice solare este foarte mic, de obicei în jurul valorii de 2 sau 3 litri și se întinde pe o suprafață foarte mare (prin intermediul tubulaturii panoului) pentru a capta la maxim radiația solară. Radiația ridicată primită acționează asupra unui volum redus de apă și permite apei să se încălzească foarte repede, dar pentru același motiv o face susceptibilă la fierbere. Se previne acest fenomen asigurând un debit constant de apă față de un rezervor de stocare - apa încălzită de la panou fiind înlocuită permanent cu apa rece din rezervor, apa ajungând astfel la temperaturi mari. Pentru acest motiv, pompele de apă trebuie să funcționeze continuu. Chiar și așa, există în continuare posibilitatea de fierbere, chiar și cu pompe ce funcționează permanent, în cazul în care sistemul este incorect dimensionat. Temperatura de echilibru va depinde de echilibrul dintre energia solară captată de panou și energie termică absorbită în rezervorul de stocare, rata cu care apa din rezervor este utilizată și pierderile de căldură. Folosind un panou foarte mic cuplat la un rezervor foarte mare, la care se adaugă și utilizare frecventă a apei calde va duce la o temperatură scăzută a apei din rezervor. În schimb folosind un panou foarte mare, cu un rezervor foarte mic ar putea duce apa la punctul de fierbere, mai ales în cazul în care utilizarea apei calde este foarte scăzută. Acest lucru nu trebuie să fie un dezastru, deoarece conținutul de apă în panoul este foarte scăzut iar sistemul ar putea fi conceput pentru a permite aburului să fie evacuat, în caz de fierbere.

- **Eficiența**

Eficiența (de conversiei pur termică a energiei) obținută în aceste aplicații poate fi de trei sau patru ori mai mare decât a celulelor / panourilor fotovoltaice.

- **Economie**

La latitudini mai mari energia solară disponibilă captată de instalații casnice poate fi suficientă pentru a asigura apa caldă pentru necesitățile cotidiene, dar nu este suficientă pentru a acoperi cerințele de încălzire în timpul lunilor mai reci. Prin urmare vor fi necesare sisteme de încălzire de back-up pentru a răspunde acestor cerințe. Deoarece energia solară are un caracter intermitent, sistemul de

Încălzire convențional trebuie să umple golurile și există puține șanse ca toate acestea să reducă semnificativ costurile. Prin urmare beneficiarul, cel mai probabil trebuie să plătească costurile unui sistem de încălzire capabil să furnizeze nivelul de încălzire de bază, precum și sistemul de încălzire solară, chiar dacă sistemul de încălzire convențional nu va trebui să lucreze la capacitate maximă cele mai multe ori.

La nivel teritorial, în ansamblu, sistemele termice solare nu pot genera electricitate în mod direct, dar ele pot contribui la o reducere a utilizării de energie electrică și a costurilor asociate acesteia.

▪ Exemplu
Energie utilă captată

Niveluri zilnică de expunere la soare (kWh / mp / zi), locație exemplu															
Locație	Lat	Long	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Medie
X	51 '32 "N	0 '5 "W	0.67	1.26	2.22	3.48	4.54	4.51	4.74	4.01	2.86	1.65	0.89	s0.52	2.61

În exemplul de mai sus se arată că, radiația solară medie primită este de aproximativ 2,5 kWh / mp / zi. Un singur panou solar cu o suprafață de 3 mp va capta, prin urmare, $2,5 \times 3 \times 365 = 2.737$ kWh de energie pe an. Dacă însă luăm în considerare o eficiență de transformare la nivelul sistemului de aproximativ 40% sau chiar și mai puțin, de orientarea optimă a unui acoperiș tipic pe care este montat panoul solar, energia maximă utilizabilă, captată printr-un panou va fi în jur de 1000 kWh. Aceasta este aproximativ echivalentă cu energia furnizată de o sursă de încălzire 3 kW utilizată timp de o oră pe zi. Cu toate acestea factorii meteo și de mediu pot fi înșelători. Pe timp de vară, panoul solar ar putea capta o "medie" de aproximativ 5 kWh de energie termică pe zi, dar pe perioada de iarnă aceasta ar putea fi scăzută până la 0.4 kWh pe zi. Energia captată poate fi, desigur, întotdeauna crescută prin creșterea numărului de panouri solare utilizate în sistem.

Reducerea costurilor

Economia realizată va depinde dacă sistemul solar cu o putere de 1.000 kWh de energie termică înlocuiește un sistem de încălzire pe bază de gaze sau un sistem electric de încălzire a apei, respectiv de tarifele asociate celor două surse de energie.

“Amprenta de Carbon”

Ca și în cazul energiei eoliene, în cazul în care investiția nu trece testele economice convenționale, noțiunea de “amprenta de carbon” este deseori utilizată pentru a justifica cheltuielile, bazate pe potențialul de reducere a cantității de gaze cu efect de seră emise prin metode alternative de generare a energiei electrice.

Terminologia și semnificația “Amprentei de carbon” va fi tratată / analizată într-un capitol aparte.

A se vedea, de asemenea, capitolul **Sisteme solare fotovoltaice casnice** de mai jos.

Sisteme solare de generare a puterii (energie electrică)

Generarea de energie solară fotovoltaică constă din transformarea directă a energiei solare în energie electrică.

Lumina Soarelui constă dintr-un spectru larg de fotoni, cu diferite nivele energetice – se combină fotoni cu un nivel redus de energie (1,1 electron-volți (eV)) din spectrul infraroșu, cu fotoni cu energie înaltă (3,5 eV) ce formează ultraviolete și fotoni ce formează lumina. Celule solare fotovoltaice sau PV, sunt dispozitive semiconductoare concepute pentru a capta acești fotoni și pentru a converti energia lor direct în energie electrică.

Modul cum lucrează celulele solare

Atunci când un foton cu suficientă energie ajunge pe un semiconductor poate transfera suficientă energie către un electron pentru a-l elibera din legăturile de valență. Condiția este dată de existența unui nivel energetic suficient de mare pentru a elibera electronul și pentru ca acesta să poată depăși bariera joncțiunii P-N de la nivelul diodei fotovoltaice – mai mulți electroni astfel eliberați constituind un curent electric într-un circuit exterior.

O explicație mai detaliată a modului de lucru al celulelor solare este prezentată în secțiunea privind diodele fotovoltaice.

Tensiunea de ieșire tipică a unei celule fotovoltaice este între 0,5 și 0,6 volți, iar randamentul de eficiență energetică este de 10% - 20%. O matrice de celule poate genera, prin urmare, aproximativ 200 de wați de energie electrică pe metru pătrat atunci când sunt iluminate de radiații solare de 1000 W / mp. Intensitatea curentului corespunzătoare va fi de aproximativ 400 amperi / mp. Din cauza condițiilor climatice intensitatea de iradiere atinge rar 1000 W / mp.

Practic, celulele sunt mult mai mici de un metru pătrat, dimensiunile reale ale celulelor disponibile în varianta comercială variind, pornind de la aproximativ 15 centimetri pătrați. Puterea de ieșire corespunzătoare pentru aceste celule variază de la 20 de mW la aproximativ 4 W.

Celulele PV și etalonarea unui modul fotovoltaic

• Condiții de testare standard (STC)

În scopul de a putea compara diferite modele de celule solare pe baza unui set de condiții standard de testare (STC) – condiții universale. Condițiile stabilite sunt: iluminare normală de 1.000 W / mp, temperatura celulei 25°C și masă de aer = 1,5.

• Masa de aer

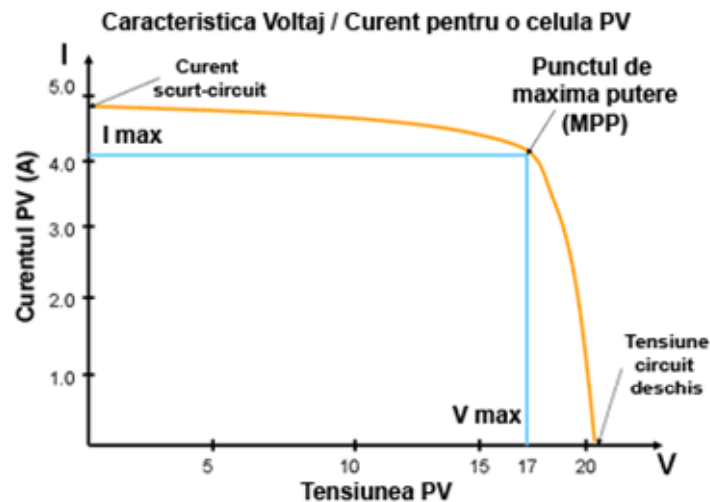
Suprafața de primire corespunzătoare la AM 1.5 este definită ca un plan înclinat la un unghi de 37° (corespunzător mediei latitudinii în Statele Unite ale Americii) față de ecuator, cu care se confruntă la soare.

• Evaluarea puterii

Evaluarea puterii este definită ca puterea maximă (Wp sau kWp) generată de celulă sau modul, în condiții standard de testare.

Caracteristici de operare a celulelor solare

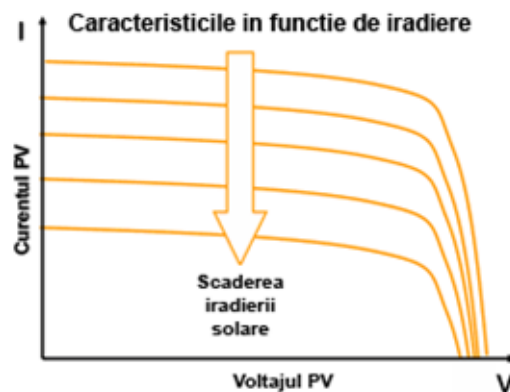
Graficul de mai jos arată caracteristicile tensiunii și curentului unei celule fotovoltaice. Se poate vedea faptul că, în condițiile unei iradierii constante, tensiunea de ieșire a unei celule în condițiile unui circuit deschis poate fi mare, dar ea scade atunci când trebuie să furnizeze curent.



Puterea maximă apare atunci când tensiunea este la aproximativ 80% din tensiunea în condiții de circuit deschis, într-o zonă definită ca "punct de maximă putere" (MPP).

De asemenea, se definește "factorul de umplere" (FF) ca fiind raportul dintre puterea de la punctul de maximă putere și produsul dintre tensiunea de circuit deschis și curentul de scurt-circuit. Acesta (FF) trebuie să reprezinte, de obicei, mai bine de 75% pentru celulele solare de bună calitate.

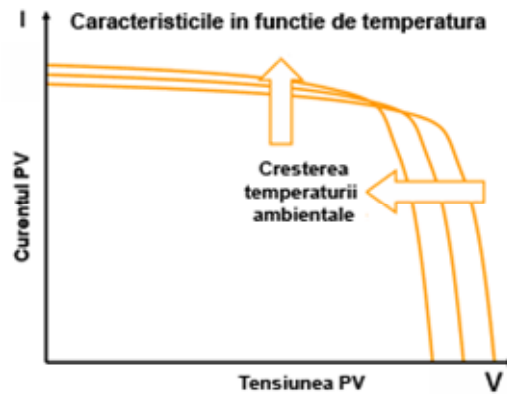
Curentul de scurt circuit (SC) este direct legat de numărul / cantitatea de fotoni absorbiți de materialul semiconductor și este astfel proporțional cu intensitatea luminii.



Eficiența de conversie și, prin urmare, puterea de ieșire este proporțională cu gradul de iradiere - cu toate acestea, eficiența este redusă în cazul în care temperatura celulei crește extrem.

Tensiunea de circuit deschis (OC) variază puțin odată cu variația intensității luminii.

În ceea ce privește caracteristica funcțională condiționată de temperatură, dacă aceasta crește banda specifică semiconductorului se reduce, iar tensiunea de circuit deschis (COV) scade.

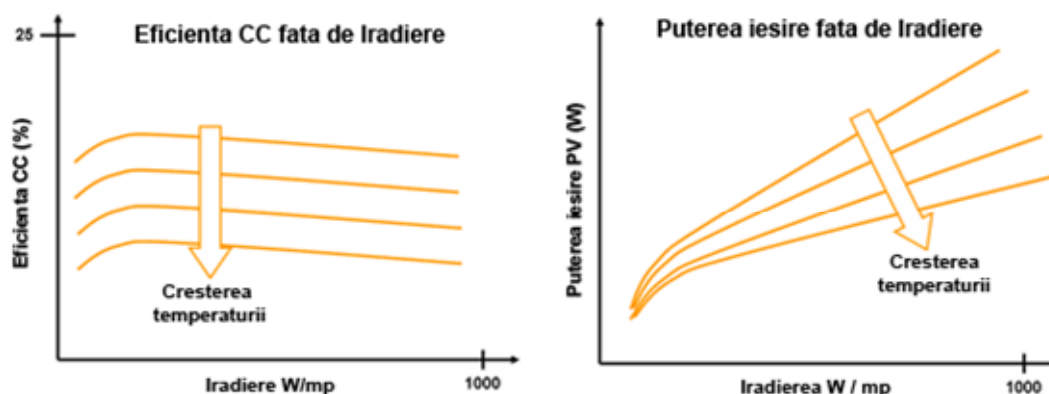


În același timp, banda inferioară permite mai multă energie incidentă disponibilă pentru a fi absorbită, iar o cantitate mai mare de lumină incidentă înseamnă suficientă energie pentru a ridica numărul purtătorilor de sarcină de la banda de valență la banda de conducție. Rezultă un nivel ridicat al fotocurentului obținut.

Creșterea curentului dată de o creștere a temperaturii este proporțional mai mică decât valoarea scăderii de tensiune, ceea ce face ca eficiența celulei să fie redusă, compromisă.

Eficiența celulelor solare

Graficele următoare arată modul în care creșterea temperaturii reduce eficiența - comparativ.



În condițiile reale în aer liber, puterea nominală W_p - de vârf - este rareori atinsă, deoarece temperatura variază pe o plajă largă, în afara limitelor determinate prin STC – cel mai adesea fiind mai crescută. Eficiența – prin urmare – poate fi îmbunătățită prin răcirea celulelor iar unele sisteme au fost proiectate pentru a utiliza căldura absorbită către un lichid de răcire, folosit ulterior în aplicații de încălzire solară.

Tipuri de celule solare

De-a lungul timpului au fost elaborate mai multe tipuri de celule solare în tendința de a reduce costurile și îmbunătățirea eficienței.

Modelele de celule solare vor fi analizate detaliat într-un capitol aparte.

• celule solare cu cristale de siliciu

Beneficiind de experiența de fabricație din industria semiconductorilor, siliciu cristalin este materialul semiconductor de bază pentru celule solare, deși este încă relativ scump. Celulele monocristaline sunt tăiate din cristale de siliciu (electronic) cu înalt grad de puritate. Aceste celule au un grad de eficiență de aproximativ 25 % - în cel mai bun. Este mai ușoară fabricarea și utilizarea de siliciu policristalin tăiat dintr-un bloc de cristale – cu puritate mai mică, așa-numitul siliciu "solar", cu o eficiență doar de aprox. 15% - 16%, datorită efectului dat de impurități, dar acestea costă o fracțiune dintr-un singur cristal electronic – cu înalt grad de puritate.

• Celule solare cu siliciu amorf

Siliciu amorf a fost utilizat de mai mulți ani la fabricarea celulelor solare utilizate pentru alimentarea calculatoare electronice și ceasuri de mână – mici consumatori - și promite posibilitatea de obținere de celulele de putere mai mare la costuri reduse. Materialul amorf apare ca fiind solid dar nu are o structură de rețea cristalină regulată, fiind cunoscută prezența unor cantități controlate din anumite "impurități", elemente (cum ar fi hidrogenul) ce concură aleatoriu la formarea rețelei cristaline, sporind eficiența de conversie, de fapt, altfel foarte scăzută. Eficiența tipică a acestor celule variază de la 5% la 10%.

Randamentul de fabricație este încă o problemă iar celulele suferă o degradare când sunt expuse la soare.

• Celule solare pe bază de siliciu pe film subțire

Celulele pe film subțire sunt realizate prin depunerea materialului fotovoltaic activ, cum ar fi siliciu amorf sau alte semiconductoare pe un substrat de sticlă sau alți suporturi. Construcția celulei este mult mai puțin costisitoare decât folosirea plachetelor de semiconductori iar procesul de producție este, de asemenea, simplificat. Sunt cel mai potrivite pentru a face celule cu o suprafață mult mai mare și, prin urmare, crește capacitatea de transport a curentului electric. Eficiența este de 11% la 14%.

Au fost de asemenea realizate sisteme fotovoltaice pe substraturi flexibile de polimer, utilizând un amestec de indiu galiu seleniură de cupru (CIGS), material activ cu o eficiență de 10%.

- **Celule solare multistrat (tandem)**

O eficiență mai bună de conversie este posibilă prin folosirea mai multor straturi de materiale semiconductoare diferite, optimizate pentru lungimi de undă diferite, într-un singur dispozitiv. Acest lucru poate ridica limita de eficiență teoretică, în prezent, la aproximativ 30% pentru un dispozitiv cu o singură joncțiune, la aproximativ 45% pentru o celulă cu trei joncțiuni.

Au fost deja realizate dispozitive cu randamente practice de peste 33%.

- **Celule solare cu materiale exotice**

Materiale, cum ar fi compușii de Arsenic cu Galiu, compușii Cupru-Indiu-Seleniu, compușii de Cadmiu cu Telluriu și nitruri cu Indiu au fost folosite datorită caracteristicilor lor speciale pentru a optimiza celule solare pentru aplicații specifice.

Celulele cu compuși de Arsenic și Gallium (GaAs – arseniură de Ga) în asociere cu alte elemente sunt utilizate pentru aplicații militare și aerospațiale, într-o varietate constructivă de celule, deoarece pot capta fotoni cu nivele mari de energie (radiații ultraviolete), cu un randament ridicat de conversie, având și capacitatea de a rezista la temperaturi ridicate. Cu toate acestea, este mai dificilă fabricarea de celule folosind Arsenic și Gallium costurile fiind extrem de ridicate față de celulele pe bază de Siliciu.

Celulele cu compuși Cupru-Indiu-Seleniu și compuși Cadmiu-Teluriu (compuși ai Teluriului cu un element electropozitiv) sunt utilizate în celule policristaline cu costuri reduse prin fixarea pe o peliculă subțire datorită ușurinței de fabricație și a randamentelor de conversie rezonabile. Randamente sunt totuși scăzute, variind de la 8% la 14%

Celulele cu compuși Nitruri-Indiu sunt utile pentru captarea fotonilor cu un nivel redus de energie (radiații infra roșii) făcându-le potrivite pentru realizarea modelelor de panouri pentru spectru complet atunci când compusul este folosit în celule solare multistrat, în combinație cu alte materiale, cum ar fi compușii GaAs care au capacitatea de captare a fotonilor cu nivel mare energie.

- **Celule solare electrochimice – (celule solare fotoelectrochimice regenerative sau celule Grätzel)**

Relativ nou, aceste celule sunt dispozitive care implică costuri relative reduse și care utilizează colorantul sensibilizat dioxid de Titan în combinație cu un electrolit lichid pentru a genera curent. Până în prezent acestea sunt disponibile numai în dimensiuni mici cu o eficiență între 7 și 10%.

Celulele solare Grätzel asigură conversia energiei solare în curentul electric, iar din punct de vedere funcțional ele depind de o reacție chimică non-galvanică în care, în mod constant substanțele active sunt regenerare.

Celulele se comportă într-un mod similar fotosintezei în care moleculele de clorofilă reflectă lumina verde dar absorb părți ale spectrului de lumină corespunzătoare culorilor roșu și albastru. Energia absorbită este suficientă pentru clorofilă pentru a activa un electron.

Pentru a genera curent, celula Grätzel utilizează o vopsea și nano particule din material semiconductor de dioxid de titan (TiO_2) sensibilizat, un material ieftin și disponibile pe scară largă.

Particule de dioxid de titan, sunt acoperite cu vopsea care permite absorbția unei game largi de lungimi de undă din lumina soarelui, sunt plasate între doi electrozi într-o soluție de electrolit care conțin ioni de iod. Din radiația UV sau cea vizibilă, fotonii sunt absorbiți de TiO_2 sensibilizat, care face ca un electron să treacă în banda de conducție a semiconductorului și să difuzeze spre unul dintre electrozi. În același timp ionii de iod activează electroni din ceilalți electrozi generând un curent electric – procesul având un caracter regenerativ.

Avantajele sistemului: utilizează materiale cu costuri reduse, sunt ușor de produs.

Dezavantaje: randamentul maxim atins este de 16%, nu absorb întreg spectrul luminos, sunt relative sensibile pentru că utilizează un electrolit lichid.

Pentru a ridica randamentul sistemului în ansamblu (modelele actuale sunt încă în faza de cercetare), se intenționează combinarea cu celule fotovoltaice pe bază de Siliciu.

Colectoare solare fotovoltaice

Celulele solare sunt de obicei vândute în module construit dintr-un număr de celule aranjate în serie și / sau în paralel pentru a furniza tensiuni convenabile.

Sistemele solare

Modulele pot fi interconectate pentru a crea suprafețe mari de captare, ceea ce permite obținerea unor tensiuni mari (în CC) cu utilizări diverse – on-grid sau off-grid.

Concentratoarele solare

Ca și în cazul colectoarelor termice, este posibilă concentrarea energiei incidente pe o suprafață mai mică. Pentru aplicații foarte mici, sunt folosite oglinzi cu lentile optice.

Urmărirea punctului maxim de putere (MPPT)

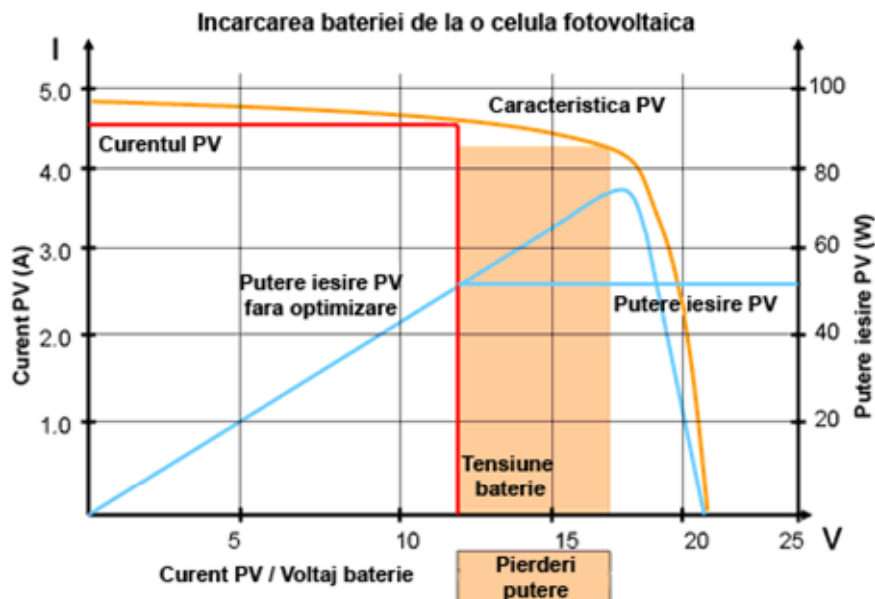
O sursă fotovoltaică de energie va funcționa la puterea sa maximă față de o sarcină atunci când sarcina are o impedanță asemănătoare cu impedanța internă a sursei de alimentare. Din nefericire, bateriile la încărcare sunt departe de a fi sarcina ideală pentru o matrice solară, rezultând nepotriviri, pierderi majore și scăderea eficienței.

Un exemplu tipic poate fi reprezentat de o matrice PV concepută pentru a încărca bateria de 12 Volt, matrice ce oferă o putere maximă la o tensiune de lucru în jurul valorii de 17 volți. Baterii plumb-acid (și în general bateriile uzuale pe piață) în mod normal utilizează tensiuni de până la 14 volți, deși tensiunea scade rapid până la 12 volți în momentul în care acestea încep să și furnizeze curent și chiar mai mici pe măsură ce crește gradul de descărcare.

În forma sa cea mai simplă, încărcarea se realizează prin conectarea matricei PV direct la acumulatori. Bateria este însă și o sursă de alimentare în sine și prezintă o tensiune care se opune matricei PV. În consecință, bateria va

lua energie de la matrice până la echilibrul cu tensiunea de alimentare a bateriei descărcate, aspect care este departe de punctul de funcționare optimă a matricei fotovoltaice.

Diagrama de mai jos arată performanțele unei matrice fotovoltaice de 17 Volți, 4.4 A - 75 W, folosite pentru a alimenta o baterie de 12 Volt. În cazul în care tensiunea reală a bateriei este de 12 volți, curentul rezultat va fi doar aproximativ 2,5 amperi iar puterea furnizată de matrice va fi doar de 50 de wați, față de 75 W – puterea reală. Aceasta înseamnă o pierdere de eficiență de peste 30%. Sistemul de urmărire a punctului maxim de putere este conceput tocmai pentru a depăși această problemă.



Modulul de urmărire după putere este o formă de regulator de tensiune care este plasat între matricea fotovoltaică și baterie. Acesta prezintă o sarcină ideală pentru matricea fotovoltaică și îi permite să funcționeze la tensiunea optimă, în acest caz 17 volți, ceea ce permite să se obțină cei 75 W, indiferent de tensiunea bateriei. O variabilă convertor DC / DC din modul reglează automat curentul continuu de ieșire astfel încât acesta să se potrivească cu tensiunea bateriei de 12 volți.

Deoarece tensiunea este adaptată permanent în convertorul DC / DC după necesarul bateriei, curentul va fi intensificat în același raport. Astfel, curentul de încărcare va fi $17/12 \times 4.4 = 6.2$ A și, presupunând că nu sunt pierderi în modul, puterea livrată la bateria va fi de $12 \times 6.23 = 75$ W, similară cu cea generată de matricea fotovoltaică.

În practică, pierderile de conversie ar putea de până la 10%. Cu toate acestea, este posibilă o îmbunătățire substanțială a eficienței.

Nu este suficient însă să se urmărească și să se stabilizeze tensiunea la punctul de putere maximă (MPP) din matricea fotovoltaică în funcție de variația tensiunii bateriei atunci când acesta variază în funcție de încărcarea sau

consumul bateriei. Datorită schimbărilor în intensitatea radiației care ajunge pe matricea fotovoltaică în timpul zilei, precum și la schimbările de temperatură ambientală, caracteristica de funcționare a matricei fotovoltaice este într-o continuă schimbare și odată cu ea se schimbă și caracteristicile MPP. În aceste condiții putem spune că avem un punct de referință aflat în mișcare și o țintă în mișcare. Pentru un transfer de putere optim, sistemul are nevoie să urmărească PPM și după schimbările de intensitate solară și de temperatură ambientală, cu scopul de a oferi în permanență un punct de referință dinamică către regulatorul de tensiune.

Modulele MPPT de înaltă performanță pot încorpora algoritmi software pentru a ține seama de variațiile de iradiere și de temperatură. O variantă de optimizare poate fi realizată hardware (prin construcția aplicației) prin intermediul unui semnal de perturbare generat într-o buclă de feedback care conduce sistemul de operare la punctul de referință reprezentat de PPM.

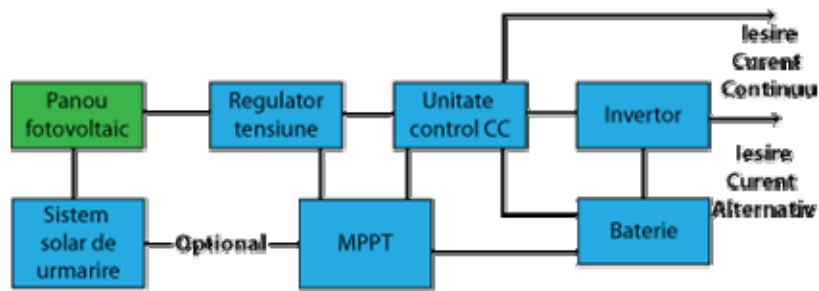
O tensiune mică bine determinată este suprapusă pe tensiunea de la matrice și afectează curentul de ieșire de la nivelul regulatorului de tensiune care alimentează bateria. În cazul în care curentul absorbit de baterie crește atunci când crește tensiunea inițială suprapusă, atunci punctul de funcționare a mutat spre PPM și, prin urmare, tensiunea de operare trebuie să crească și ea. Pe de altă parte, în cazul în care curentul la baterie scade, iar punctul de funcționare a mutat departe de PPM și tensiunea de operare trebuie să fie redusă pentru a regulariza curentul către baterie.

Rețele fotovoltaice de mare putere

Câteva mari rețele fotovoltaice – similar centralelor electrice - au fost construite în întreaga lume, cea mai mare parte de la 300 kW la 500 kW, dar unele chiar până la 10MW. Până în prezent, desfășurarea de plante la scară largă a fost limitată la instalațiile experimentale datorită costului ridicat al panourilor solare. Cu eficiență tipică de 10% sau mai puțin, o instalație de 500 kW va avea nevoie de peste 5.000 mp de panouri fotovoltaice – cu costurile pe care le implică -, precum și de invertoare la scară largă capabile să suporte în totalitate puterea convertită de sistem.

Rețele fotovoltaice mici - aplicații casnice

În schema de mai jos am prezentat construcția de bază a unui mic sistem off-grid, pe bază de panouri fotovoltaice. Un sistem conectat la rețeaua furnizoare de energie – on-grid - nu ar avea nevoie de baterie și MPPT de urmărire a sistemului de putere. Sistemele off-grid au nevoie de toate acestea, capacitatea de stocare alternativă fiind necesară pentru fluxurile de sarcină din timpul orelor de întuneric. De asemenea – a se vedea proiectele de sisteme propuse – și la nivelul sistemelor on-grid (conectate la rețeaua furnizoare de energie electrică) se poate opera cu echipamentele specifice – MPPT și baterie, în cadrul unui sistem hibrid – fotovoltaic cu back-up din rețea. În această configurație, majoritatea necesarului energetic este asigurat din sursa fotovoltaică, sistemul apelând la energia din rețeaua de distribuție doar atunci când condițiile meteorologice sunt total nefavorabile pe perioade lungi de timp.



Sistem fotovoltaic generator electric

Dimensionarea sistemului fotovoltaic

Dimensionarea ariei pentru un sistem fotovoltaic

Prin exemplul următor vom prezenta modul de calcul / estimare pentru suprafața necesară pentru a obține o energie de 10 kWh, în condițiile unei iradiere medii zilnice de 2 kWh/mp/zi. Trebuie specificat faptul că rezultatele practice trebuie să țină cont și de alți factori care nu sunt luați în seamă în mod obligatoriu în exemplul nostru.

În exemplul nostru, vom calcula energia pe unitatea de suprafață („Es”) ca fiind valoarea de iradiere („Eir”) înmulțită cu coeficientul / randamentul de conversie al energiei radiante solare în energie electrică (randamentul celulei / matricei fotovoltaice = „η”).

$$Es = Eir * \eta \text{ sau } Es = 2 * 0,15 = 0,3 \text{ kWh}$$

Am luat în calcul un randament „bun” pentru panouri fotovoltaice, de 15% - de regulă și mai scumpe.

În continuare, suprafața necesară („Snec”) va fi dată de raportul dintre energia necesară („Enec” = 10 kWh) și energia pe unitatea de suprafață (mai sus calculată).

$$Snec = Enec/Es = Enec / (Eir * \eta) \text{ sau } Snec = 10 / (2 * 0,15) = 33,33 \text{ mp}$$

Suprafața necesară este deci dependentă în mare măsură de randamentul panourilor fotovoltaice prevăzute pentru conversia energetică.

În continuare trebuie să ținem cont de faptul că nivelul energetic calculat este pentru radiația care cade într-un unghi de incidență față de sol. Dacă orientăm panourile după unghiul corespunzător pentru latitudinea locației putem obține un câștig de 10% al randamentul de conversie – ceea ce presupune o reducere cu 10% a suprafeței necesare.

Pe de altă parte, dacă sistemul fotovoltaic este instalat pe un dispozitiv de urmărire solară (solar tracker), randamentul poate crește cu până la 30%, ceea ce ne reduce suprafața necesară la 21 mp.

Pentru evaluarea suprafeței necesare trebuie ținut cont de faptul că energia obținută este în formă de curent continuu, care, pentru a putea fi utilizat trebuie convertit în curent alternativ. Procesele de stocare și conversie pot însă să se realizeze cu pierderi de 10-20% din energia obținută – toate aceste pierderi trebuie evaluate și luate în considerare în calcularea capacității de producție, ca și surplus necesar.

Prin urmare, în continuare trebuie să evaluăm suprafața necesară în funcție de puterea necesară după tipul sistemului energetic:

Pentru sisteme „on-grid” (și cu conectare la rețeaua de distribuție): putem lua în calcul pierderi de aproximativ 20% prin urmare suprafața necesară va fi de până la 36 mp, respectiv dacă se utilizează un sistem de urmărire, suprafața va fi de aprox 25 mp.

Pentru sisteme „off-grid” (independente, fără conectarea la rețea sau altă sursă energetică) este indicat să luăm în calcul un coeficient de pierderi mai mari, și datorită pierderilor la nivelul bateriilor – pierderi de până la 30%. În acest caz, suprafața necesară poate ajunge la 47 mp, respectiv până la 33 mp atunci când se utilizează un sistem de urmărire.

Consumul de energie electrică în multe gospodării din Europa și SUA este de 2 sau de 3 ori mai mare de 10 kWh pe zi. (a se vedea și capitolul Cererea de energie / Estimări). Acest lucru implică faptul că sunt necesare matrici fotovoltaice foarte mari, pe suprafețe de până la 150 mp sau chiar mai mari, de cele mai multe ori probabil mai mari decât suprafețele disponibile (de ex suprafața acoperișului), pentru a satisface cererile de energie.

Toate estimările de mai sus se bazează pe o iradiere medie de 2 kWh / mp / zi, dar în zonele temperate nordice expunerea la soare pe perioada de iarnă este probabil să fie mai puțin de un sfert din media pentru o locație. Astfel, pentru aceeași energie, în lunile de iarnă, sistemele ar trebui să fie de patru ori mai mari pentru a furniza aceiași 10 kWh / zi de energie electrică.