



A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională.  
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",  
SEBEȘ, 2012

## **ENERGII ALTERNATIVE. CONSIDERAȚII PRIVIND UTILIZAREA COLECTORILOR SOLARI CU FOCALIZARE**

Elena-Bianca AVĂDANEI, Constantin AVĂDANEI

### **ALTERNATIVE ENERGIES. CONSIDERATIONS ON THE USE FOCUSING SOLAR COLLECTOR**

This paper presents some aspects of performance increase energy conversion systems of solar radiation into thermal energy and then electricity. Concentration of solar radiation is increased flow requirement imposed by solar radiation incident on the collector.

Cuvinte cheie: colector solar cu focalizare, radiație solară incidentă, reflector solar, receptor, factor de concentrare

Keywords: solar collector focusing incident solar radiation, solar reflector, receiver, concentration factor

### **1. Introducere**

Energia solară constituie una din alternativele majore de înlocuire a actualelor surse de energie bazate pe combustibili convenționali.

Utilizarea energiei solare este impusă de potențialul său energetic impresionant, disponibilitatea acesteia în orice punct al globului terestru, caracterului ei inepuizabil, „gratuit” și inepuizabil.

Una din principalele aplicații ale conversiei fototermice este realizarea centralelor solaro-termice și răspunsul la diferitele probleme legate de proiectarea echipamentelor specifice acestora.

Sistemele de colectare a energiei radiației solare și sistemele de stocare sunt o parte din componentele acestor centrale.

Efectul de concentrare constă în devierea printr-o metodă oarecare, a radiației solare captate pe o suprafață către o altă suprafață mai mică, unde se realizează conversia dorită.

În acest caz oglinda este de formă paraboloidală, aceasta va reflecta radiația solară incidentă pe aceasta, concentrând-o în focarul  $F$  al oglinzii unde este plasat receptorul (o suprafață absorbantă relativ mică), care determină conversia energiei radiației solare reflectate în energie termică.

Din punct de vedere constructiv un colector solar cu focalizare are trei părți principale: reflectorul solar, receptorul, dispozitivul de orientare-acționare după poziția Soarelui.

O problemă fizică importantă, care trebuie luată în considerație în aplicații, este asigurarea unui compromis între temperatură-selectivitate-concentrare, condiție pentru a obține un randament de utilizare ridicat.

## 2. Caracteristici geometrice ale colectoarelor cu focalizare

Din marea varietate constructivă a colectoarelor bazați pe principiul concentrării radiației solare prezintă un interes deosebit reflectorii parabolici, cu focalizare punctuală, cu receptori plani sau cilindrici.

Principalele caracteristici geometrice ale sistemelor optice ce realizează concentrarea radiației solare sunt [1], [2]:

- a) deschiderea unghiulară,  $\theta_{\max}$  (apertura);
- b) factorul de concentrare, definit ca raportul dintre aria deschiderii oglinzii ( $S_0$ ) și aria suprafeței receptorului ( $S_R$ ):

$$C = \frac{S_0}{S_R} \quad (1)$$

Relația (1) este un factor mediu de concentrare, deoarece, datorită distribuției neomogene a radiației concentrate la nivelul receptorului, există și un factor de concentrare local, dependent de poziția punctului față de originea focarului.

c) unghiul de acceptanță,  $\gamma_a$ , este unghiul de incidență maxim pentru care radiația concentrată se găsește în vecinătatea focarului, în limita unei erori admise. Pentru obținerea unor factori de concentrare ridicați, sunt necesare unghiuri de acceptanță mici.

Pentru concentratori bidimensionali vom avea o dependență de forma [2], [3]:

$$C \approx \frac{1}{\sin \gamma_a} \quad , \quad (2)$$

iar pentru concentratori tridimensionali:

$$C \approx \frac{1}{\sin^2 \gamma_a} \quad (3)$$

d) factorul constructiv R al concentratorului, este definit de relația:

$$R = \frac{S}{S_0} \quad (4)$$

în care S este aria totală a oglinzii.

### 3. Concentratori parabolici

În figura 1 este redată schema de principiu ale unui concentrator parabolic.

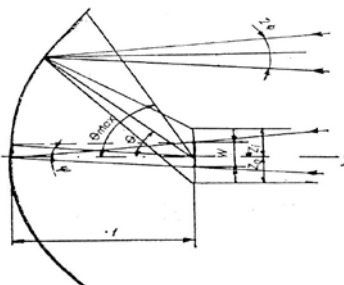


Fig.1 Elemente geometrice ale fasciculului reflectat

Curba generatoare este de tip parabolic, care are la bază ecuația parabolii în coordonate carteziene [1], [2]:

$$x^2 + 2(d-f)y + f^2 - d^2 = 0 \quad (5)$$

În cazul când originea curbei este în centrul sistemului de coordonate xOy, ecuația (5) are forma simplificată:

$$y = \frac{x^2}{4f} \quad (6)$$

unde, f este distanța focală a parabolii.

#### 4. Geometria fasciculusului reflectat

Cu ajutorul elementelor geometrice definite în figura 1, se pot determina elementele geometrice ale imaginii discului solar la nivelul planului focal. Deoarece discul se vede sub un unghi  $\alpha = 32'$ , imaginea acestuia în planul focal va fi o elipsă care prezintă o excentricitate e față de focar (central elipsei nu se găsește în focar).

Dimensiunile discului solar se pot determina cu relațiile [1]:

$$X_1 = \pm \frac{r \operatorname{tg} \alpha \sin \theta}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \theta} \quad (7)$$

$$X_2 = \pm \frac{r \operatorname{tg} \alpha \sec \theta}{1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \theta} \quad (8)$$

În relațiile (7) și (8) semnul “+” se referă la cazul când  $\theta < 90^\circ$ , iar semnul “-” se referă la cazul  $\theta > 90^\circ$ .

În practică interesează numai valoarea maximă a dimensiunii imaginii discului solar, deci este necesară calcularea axei mari a elipsei, adică [1], [4]:

$$a = X_1 + X_2 = \left| \frac{2r \operatorname{tg} \alpha \sec \theta}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \theta} \right| \quad (9)$$

Valoarea excentricității, e, va fi:

$$e = \left| \frac{2f \operatorname{tg}^2 \alpha \sec \theta \operatorname{tg} \theta}{(1 + \cos \theta)(1 - \operatorname{tg}^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \theta)} \right| \quad (10)$$

Dacă planul ce trece prin focar este înclinat cu un unghi  $\Phi$  față de axa parabolei, în relațiile de mai sus unghiul  $\theta$  se înlocuiește cu  $\theta' = \theta - \Phi$ .

Considerând că receptorul plasat în focar are o lățime finită X, se introduce noțiunea de “lățime redusă”, B, exprimată de relația:

$$B = \frac{X}{x_0} \quad (11)$$

unde,  $x = 2f \operatorname{tg} \alpha$ , reprezintă lățimea minimă a discului solar în planul focal (corespunzând razei reflectate de central oglinzii parabolice).

În tehnică devine interesant cazul când unghiul  $\theta$  are valori critice, în următoarele situații:

- unghiul critic  $\theta_1$ , pentru cazul când  $\max|X_1, X_2| = \frac{X}{2}$ ;
- unghiul critic  $\theta_2$ , pentru cazul când  $\min|X_1, X_2| = \frac{X}{2}$ .

Aceste mărimi reprezintă porțiunea din oglindă, de la care o parte din radiația reflectată nu mai este interceptată de receptor.

Legătura dintre lățimea redusă a receptorului și unghiurile critice este dată de relațiile [1], [5]:

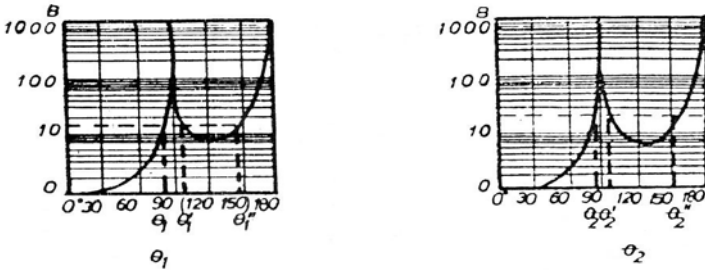


Fig. 2 Variația lățimii reduse în funcție de unghiurile critice  $\theta_1$  și  $\theta_2$

$$\begin{cases} B_1 = \pm \frac{2}{\cos \theta_1 (1 + \cos \theta_1) (1 \mp \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \theta_1)} \\ B_2 = \pm \frac{2}{\cos \theta_2 (1 + \cos \theta_2) (1 \mp \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \theta_2)} \end{cases} \quad (12)$$

Reprezentarea grafică a dependenței acestor mărimi este redată în figura 2. Se remarcă faptul că pentru aceeași lățime redusă, în unele cazuri unghiurile critice pot avea trei valori.

S-a împărțit parabola în cinci zone distincte, ca în figura 3

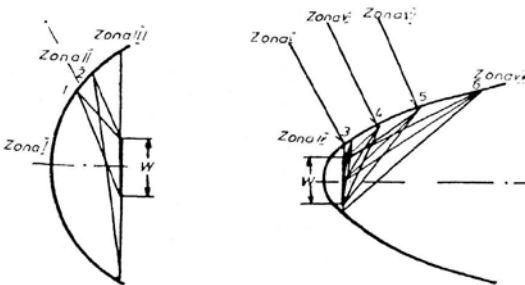


Fig.3

Zonarea concentratorului pentru colectorul de tip parabolic

- zonele 1 și 4 corespund porțiunilor din oglindă de la care radiația reflectată este în întregime interceptată de receptor;
- zonele 2, 3 și 5 corespund porțiunilor din oglindă de la care radiația reflectată este numai parțial interceptată de receptor.

În tehnică se mai utilizează o mărime  $\Gamma$ , denumită caracteristică a fiecărui punct de pe oglinda parabolică și se exprimă ca raportul dintre radiația reflectată de punct și radiația totală reflectată de punct [1]:

$$\Gamma = \pm \frac{B}{2} \cos \theta (1 + \cos \theta) (1 \mp \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \theta) \quad (13)$$

Pentru calculul performanțelor termice ale colectoarelor de tip parabolic cu focalizare este necesară evaluarea factorului de concentrare în funcție de deschiderea unghiulară a oglinzii ( $\theta_{\max}$ ). Pentru aceasta, ținând cont de relația dintre deschiderea oglinzii (D) și deschiderea unghiulară ( $\theta_{\max}$ ),

$$D = \frac{4f \sin \theta_{\max}}{1 + \cos \theta_{\max}} \quad (14)$$

și de relația (1) a factorului de concentrare, se pot obține expresiile factorilor de concentrare pentru concentratori de interes practic.

### 5. Calculul distribuției de intensitate în focarul concentratorilor de tip parabolic

Pentru calculul intensității maxime a radiației solare reflectate, în planul focal al concentratorului, se consideră un inel diferențial cuprins între  $\theta$  și  $\theta + d\theta$ , ce va forma o imagine în focar având suprafața:

$$S_{\theta} = \frac{\pi (\alpha^*)^2 r^2}{4 \cos \theta} \quad (15)$$

unde  $\alpha^*$  este unghiul sub care se vede Soarele.

Puterea radiației solare recepționate în focar este [4], [5]:

$$Q_{\theta} = 2 \rho l \pi r^2 \sin \theta d\theta \quad (16)$$

unde  $\rho$  este reflectanța oglinzii.

Intensitatea radiației solare recepționate în focar este în acest

caz:

$$I_{\theta} = \frac{Q_{\theta}}{S_{\theta}} = \frac{S \rho l}{(\alpha^*)^2} \sin \theta \cos \theta d\theta \quad (17)$$

În urma integrării relației (17) se obține valoarea maximă a intensității din focar:

$$I_{\max} = \frac{4\rho l}{(\alpha^*)^2} \sin^2 \theta_{\max} \quad (18)$$

Factorul de concentrare maxim este :

$$C_{\max} = \frac{I_{\max}}{I} = \frac{4\rho}{(\alpha^*)^2} \sin^2 \theta_{\max} \quad (19)$$

În cazul când oglinda are deschiderea  $D$ , iar  $f$  este distanța focală și introducând o mărime  $m$ , rezultă:

$$m \equiv \frac{D}{f} = 4 \sqrt{\frac{1 - \cos \theta_{\max}}{1 + \cos \theta_{\max}}}, \quad (20)$$

Iar relația (19) devine:

$$C_{\max} = \frac{4\rho}{(\alpha^*)^2} \left( 1 - \left[ \frac{16 - m^2}{16 + m^2} \right]^2 \right) \quad (21)$$

Temperatura maximă la nivelul focarului se calculează cu expresia [2], [3]:

$$T_{\max} = \left[ \frac{4\rho l}{\sigma(\alpha^*)^2} (1 - \cos^3 \theta_{\max}) \right]^{\frac{1}{4}} = \left\{ \frac{4\rho l}{\sigma(\alpha^*)^2} \left( 1 - \left[ \frac{16 - m^2}{16 + m^2} \right] \right) \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (22)$$

în ipoteza unei străluciri uniforme a discului solar.

În realitate discul solar are o strălucire neuniformă, scăzând către margine.

Deci valoarea maximă reală a factorului de concentrare în cazul oglinzilor de tip parabolic poate crește cu până la 18 % față de valoarea calculată teoretic.

## 5. Concluzii

Din expresia (21) rezultă că valoarea lui  $C_{\max}$  nu depinde de punct ci numai de valoarea lui  $\theta_{\max}$ .

În cazul în care  $\theta_{\max} > \theta_1$ , în afara zonei centrale intensitatea radiației solare reflectate depinde de punct, deoarece o parte din ea nu mai este interceptată de receptor.

În urma măsurărilor efectuate de IMH, România dispune de un potențial energetic solar mediu apreciabil, de aproximativ 1365,08 kWh/m<sup>2</sup> an.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Fara, V.I., Grigorescu, R., *Conversia energiei solare în energie termică*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1982.
- [2] Luminosu, I., Fara, L., *Thermodynamic analysis of an air solar collector*, în International Journal of Exergy, 2, 2005, 4 pag. 385-408.
- [3] Nitu, V.I., *Bazele teoretice ale energeticii*, Editura Academiei RSR, București, 1977.
- [4] Paulescu, M., *Algoritmi de estimare a energiei solare*, Matrixrom, București, 2005.
- [5] Popa, B., Vintilă, C., *Transfer de căldură în procesele industriale*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1975.

Informatician Elena-Bianca AVĂDANEI,  
Cluj-Napoca  
Lector Univ. Dr.Ing. Constantin AVĂDANEI,  
membru AGIR  
E-mail: costi\_av\_2003@yahoo.com