



A XVIII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
CLUJ NAPOCA, 2018

ÎMBUNĂȚIREA PERFORMANȚELOR TERMICE ALE COLECTORILOR SOLARI PLANI CU AER PRIN UTILIZAREA STRUCTURILOR TIP FAGURE

Maria-Costina AVĂDANEI, Constantin AVĂDANEI

IMPROVEMENT OF THERMAL PERFORMANCE OF FLAT PLATE SOLAR COLLECTORS WITH PLAIN AIR BY USING HONEYCOMB STRUCTURES

The paper presents methods to improve the efficiency of solar collectors planning which reduce the losses caused by the transfer of heat radiative and convective between absorbent surface and environment.

Keywords: solar collector, radiation transfer, convective transfer, stagnation point, calotte fluid, energy efficiency

Cuvinte cheie: colector solar, transfer radiativ, transfer convectiv, punct de stagnare, fluid caloportor, randament energetic

1. Introducere

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

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

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.

Un colector solar poate avea în structură elemente plane sau cilindrice și uneori o combinație dintre acestea.

Colectorul solar plan este un sistem fizic care realizează conversia energiei radiației solare în energie termică.

Un colector solar plan are în componență: una sau mai multe suprafețe transparente, o suprafață absorbantă (elementul activ), izolație termică și o carcasă.

Principiul de funcționare a colectorului solar plan se bazează pe utilizarea efectului de corp negru (realizat prin intermediul suprafeței absorbante), conjugat cu efectul de seră [1] (figura 1).

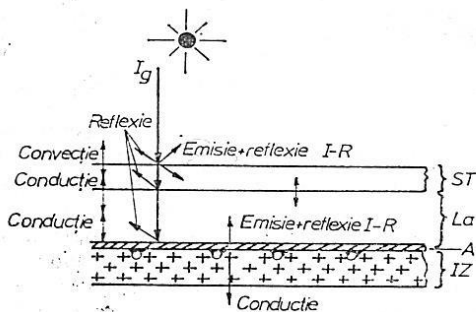


Fig.1 Schema principiului fizic de funcționare a unui colector solar plan

În esență, acesta constă în transmisia radiației solare din domeniul vizibil de către suprafața

transparentă (alcătuită de obicei din sticlă sau plastic transparent), care ajunge pe suprafața absorbantă (alcătuită, în mod uzual, dintr-o placă metalică înnegrită cu vopsea mată); placa metalică este aplicată pe un registru de țevi prin care circulă fluidul caloportor (figura 2).

Radiația din domeniul vizibil încălzește suprafața absorbantă, determinând o emisie a acesteia în infraroșu (2,5-10 μ). Această radiație este absorbită de fața interioară a componentei transparente și reflectată de către aceasta, conducând în ultimă instanță la o creștere a temperaturii suprafeței absorbante. Energia termică înmagazinată de suprafața absorbantă este transmisă prin intermediul registrului de țevi fluidului caloportor care, la ieșirea din colectorul solar poate atinge temperaturi cuprinse între 50 și 100 $^{\circ}\text{C}$ [1], [3].

Se remarcă existența a două categorii de pierderi de energie:

-pierderi optice (datorându-se reflexiei și absorbției radiației din vizibil de către suprafețele transparente, precum și reflexiei radiației din vizibil de către suprafața absorbantă); o metodă clasică de diminuare a acestor pierderi constă în utilizarea suprafețelor selective care, având o reflexie mică în vizibil și mare în infraroșu, conduc la micșorarea

emisivității în infraroșu, efectul constând în creșterea temperaturii suprafeței absorbante;

-pierderi termice(cele mai importante datorându-se convecției și radiației din domeniul infraroșu în lama de aer dintre suprafața transparentă și suprafața absorbantă, precum și conducției dintre suprafața absorbantă și izolația din partea inferioară a colectorului solar); o metodă de reducere a pierderilor termice prin convecție constă în utilizarea structurilor Francia(tip fagure).

Structura modelului fizic al colectorului solar plan este reprezentată în figura 2 [1], [2].

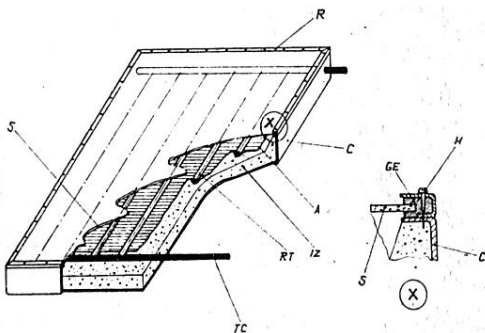


Fig. 2 Structura modelului fizic al unui colector solar cu apă

(R - ramă; S - suprafață transparentă; GB - garnitura de etanșare; Hp - șurub autofiletant; C - carcasa; A - suprafață absorbantă; RT - registru de țevi; TC - țevă colectoare; IZ - izolație termică)

În proiectarea captatorilor solari de acest tip se țin cont de proprietățile optice, termice și de selectivitate ale materialelor utilizate și de asemenea, de aspectele de ordin tehnologic.

2. Ecuațiile de bilanț energetic. Ecuația fundamentală a colectorilor solari plani

Se consideră un colector solar plan alcătuit din „n” suprafețe transparente și o suprafață absorbantă.

În stabilirea ecuațiilor de bilanț energetic se fac următoarele ipoteze simplificatoare:

- regimul este staționar;
- suprafețele sunt plane și paralele între ele;
- efectele de margine sunt neglijate;
- coeficienții globali de transfer termic sunt constanți în orice punct al suprafeței considerate;
- suprafețele absorbante și plăcile transparente sunt izoterme;
- temperatura fluidului caloportor este aceeași cu a suprafeței absorbante;

se obține expresia:

$$\eta_c = \left[\frac{k_{s1,a}a_2 + k_{sc,1}(a_1 + a_2)}{k_{s1,a} + k_{sc,1}} \right] - \left[\frac{k_{sc,1}k_{s1,a} + k_{sc,1}k_{siz,a} + k_{siz,a}k_{s1,a}}{k_{s1,a} + k_{sc,1}} \right] \frac{T_c - T_a}{I_g} \quad (5)$$

Ecuția (,,,) se poate scrie sub formă compactă:

$$\eta_c = \Phi_1 - \Phi_2 \frac{T_c - T_a}{I_g} \quad (6)$$

Care reprezintă ecuația fundamentală a colectoarelor solari plani, care corelează caracteristicile consumatorului (T_c) cu: parametrul de intrare (I_g), caracteristicile mediului ambiant, parametrii structurali ai colectorului (proprietățile fizice ale materialelor, și caracteristicile constructive).

În cazul general, ecuația fundamentală a colectorului solar plan este de forma [1]:

$$\eta_c = \Phi_1(k_{s,a}, k_{s,c}, a_j, \alpha_c) - \Phi_2(k_{s,a}, k_{s,c}, k_{s,j,j-1}) \frac{T_c - T_a}{I_c} \quad (7)$$

Ținând cont că aceste ecuații corelează o multitudine de parametri, calculul eficienței colectoarelor solari plani depinde de evaluarea cât mai precisă a valorilor funcțiilor Φ_1 și Φ_2 . Acest lucru necesită particularizarea celor două funcții pentru cazurile de interes practic, depinzând în esență de modul de extracție al căldurii utile, q_u , în ultimă instanță de natura fluidului caloportor (lichide sau gaze).

3. Îmbunătățirea performanțelor termice ale colectoarelor solari plani cu aer cu ajutorul structurilor tip fagure

Cauza principală a pierderilor colectoarelor solari plani o constituie transferul convectiv și radiativ între suprafața absorbantă și mediul ambiant prin intermediul sistemului de suprafețe transparente.

Reducerea acestora conduce atât la ridicarea temperaturii suprafeței absorbante, cât și la creșterea eficienței globale a colectoarelor. O soluție constructivă deosebit de eficace o constituie asocierea unor suprafețe cu structuri tip fagure (tip Francia).

În figura 3 sunt prezentate mai multe soluții constructive de realizare a unor astfel de structuri.

Celulele de tip fagure favorizează absorbția radiației solare incidente, dând naștere la reflexii multiple, oferind suprafeței absorbante o comportare echivalentă ca a unui corp negru.

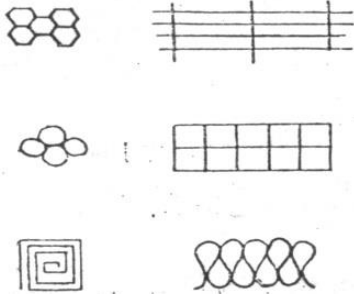


Fig. 3 Tipuri de structuri fagure

În figura 4 este prezentată distribuția de temperatură în peretele celulei de tip fagure.

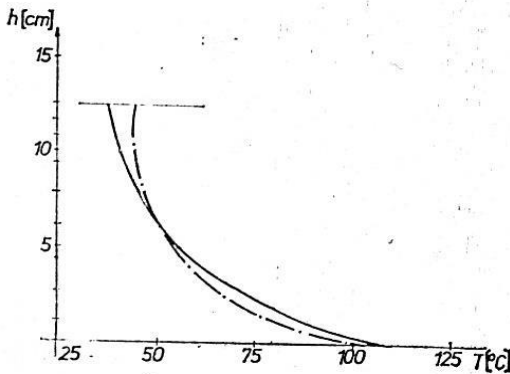


Fig.3.2. Variația temperaturii în lungul pereților unei celule de tip fagure (--- -la presiuni atmosferice; -.-.-.celulă vidată)

Buchberg a stabilit raportul optim între dimensiunile L, W, d ale celulei pentru

un randament de absorbție maxim: $W/d = 3,4$ și $L/d = 7,11$. Totodată acesta a stabilit și un factor de utilizabilitate a celulei, de forma:

$$\beta_c = \eta_c \left(1 - \frac{T_a}{T_c}\right) \quad (8)$$

care permite compararea diferitelor structuri între ele.

4. Evaluarea eficienței colectoarelor solari plani cu structuri tip fagure

a) Evaluarea eficienței zilnice

În calculul eficienței colectoarelor solari se definește randamentul instantaneu:

$$\eta_{ci} = \frac{\dot{m} c_p \Delta T}{I(i) + I_d(\psi)} \frac{1}{s_c} \quad (9)$$

Randamentul pentru un interval de timp oarecare considerat se exprimă cu relația:

$$\eta_c = \frac{\int Q_u \cdot dt}{S_c \cdot \int [I(t) + I_d(\psi)] dt} \quad (10)$$

unde: Q_u – este căldura utilă la momentul t , iar $I(i)$ și $I_d(\psi)$ reprezintă intensitățile radiației solare directe, respectiv difuze, ce cad pe suprafața colectorului înclinat cu unghiul ψ față de orizontală, considerate la momentul t (i fiind unghiul de incidență al radiației solare directe cu normala la suprafața colectorului).

Datorită caracterului aleator al radiației solare incidente în timpul zilei, este necesară împărțirea zilei în n intervale cu durata Δt , iar relația (10) devine:

$$\eta_{czi} = \frac{\sum_{j=1}^n \xi_j Q_{uj}}{\Delta t S_c \sum_{j=1}^n [I_j(i) + I_{dj}(\psi)]} \quad (11)$$

unde ξ_j introduce condițiile de prag, pentru funcționarea colectorului solar:

$$\xi_j = \begin{cases} 0, & \text{pentru } I_j(i) + I_{dj}(\psi) \ll \Phi_2 \Delta T \\ 1, & \text{pentru } I_j(i) + I_{dj}(\psi) > \Phi_2 \Delta T \end{cases} \quad (12)$$

Energia furnizată zilnic de un colector solar plan va fi:

$$E_{uzi} = \Delta t \sum_{j=1}^n \xi_j Q_{uj} \quad (13)$$

b) Analiza energetică a eficienței colectoarelor solari plani

Utilizând analiza energetică se poate determina temperatura de intrare în colectorul solar, pentru care acesta pune la dispoziție o energie maximă convertibilă.

Exergia reprezintă cantitatea de energie ce poate fi cedată de un fluid din starea sa inițială până la starea finală de echilibru cu mediul înconjurător, fiind exprimată prin relația [1], [4]:

$$e = (i_i - i_f) - T_a (s_i - s_f) \quad (14)$$

unde i_i și i_f reprezintă entalpia specifică a fluidului în starea inițială, respectiv finală, iar s_i și s_f semnifică entropia specifică corespunzătoare acestor stări.

Debitul de energie transportat de fluidul caloportor va fi:

$$Q_{ex} = \dot{m} e \quad (15)$$

Câștigul de energie al fluidului caloportor în colectorul solar va fi [1] [4]:

$$Q_{ex} = \dot{m} [(i_2 - i_1) - T_a (s_2 - s_1)] \quad (16)$$

Cu ajutorul relațiilor (15), (16) se poate determina randamentul energetic al colectorului solar:

$$\eta_{ex} = \frac{Q_{ex}}{S_c I_c} \quad (17)$$

unde S_c reprezintă suprafața activă a colectorului.

În cazul când fluidul caloportor în colectorul solar se află în stare lichidă, la nivelele termice scăzute, se pot face următoarele aproximații [4], [5]:

$$i_2 - i_1 = c_p(T_2 - T_1) \quad (18)$$

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (19)$$

În aceste condiții randamentul exergetic devine [1], [4]:

$$\eta_{ex} = \dot{m} c_p \frac{(T_2 - T_1) - T_a \ln \frac{T_2}{T_1}}{S_c I_g} \quad (20)$$

În urma experimentelor și a analizei datelor statistice obținute din exploatarea captatorilor solari, s-a constatat că există o valoare a temperaturii de intrare T_1 a fluidului în colector, pentru care randamentul exergetic este maxim [5].

5. Concluzii

1. Structurile fagure mențin o temperatură ridicată a suprafeței absorbante, limitând pierderile termice ale acesteia. Utilizarea lor este indicată numai în cazul în care este necesară obținerea unor temperaturi mari la ieșirea din colector.

2. În urma măsurărilor efectuate de IMH, România dispune de un potențial energetic solar mediu apreciabil, de aproximativ 1365,08 kWh/m² an.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Fara, Vl., 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 energieticii*, 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 Maria-Costina AVĂDANEI, Cluj-Napoca
Lector Univ. Dr.Ing. Constantin AVĂDANEI, membru AGIR
E-mail: costi_av_2003@yahoo.com