

Captatoare solare plane cu absorbtie. Aspecte energetice

Solar collectors flat absorption. Energy issues

Florin Iordache

Universitatea Tehnică de Construcții București – Facultatea de Inginerie a Instalațiilor
Bd-ul Pache Protopopescu Nr. 66, sector 2, București, Romania
E-mail: fliord@yahoo.com

Abstract: This paper presents the global thermal balance for flat solar collector absorber to establish temperatures the key components collector (absorber plate and transparent elements). It aims to establish the influence which the various elements of the physical parameters of the gas board and transparent and transparent elements have on capture efficiency and finally the absorption performance flat collectors. The results are presented both numerically and graphically.

Keywords: solar collector, thermal balance

Rezumat: In lucrare se prezinta bilanturile termice globale aferente captatoarelor solare plane cu absorbtie in vederea stabilirii temperaturilor componentelor reprezentative ale captatorului (placa absorbanta si elemente transparente). Se urmarestabilirea influentei pe care diversii parametrii fizici ai elementelor transparente si gazului dintre placa si elementele transparente o au asupra randamentului de captare si in final asupra performantelor captatoarelor plane cu absorbtie. Rezultatele obtinute sunt prezentate atat numeric cat si grafic.

Cuvinte cheie: captator solar, bilant termic

1. Introducere

Captatoarele solare plane cu absorbtie reprezinta componenta principala a instalatiilor neconventionale de preparare a apei calde de consum care utilizeaza

energia solară, ele fiind sursa de energie termică regenerabilă. Este important în consecința sa să se acorde o atenție sporită în vederea realizării unor randamente ridicate. Lucrarea noastră se axează pe cîteva aspecte de tehnologie aferente acestor echipamente, cum ar fi coeficientii de absorbtie și reflexie a suprafetelor placii captatorului și elementului transparent și importanța numărului de elemente transparente. Pe baza bilanțurilor termice în regim stational aferente elementelor constructive menționate se stabilesc temperaturile acestora și în continuare fluxurile termice incidente, utile și disipate în diferite variante constructiv-funcționale ale acestor echipamente. Pe baza bilanțurilor termice aferente elementelor componente s-a stabilit modelul matematic care permite prin rezolvarea să urmărească comportamentul termic aferent captatorului. S-au elaborat 3 programe de simulare a comportamentului termic aferent captatoarelor solare cu absorbtie, care permit și evaluarea indicatorilor energetici reprezentativi și s-au reprezentat grafic rezultatele obținute.

2. Procese de transfer termic aferente captatoarelor solare cu absorbtie

O prima structură de captator solar analizată a fost cea cu un singur element transparent. În prima fază s-a considerat că prin captatorul solar este vehiculat un debit de agent termic, fig. 2.1.

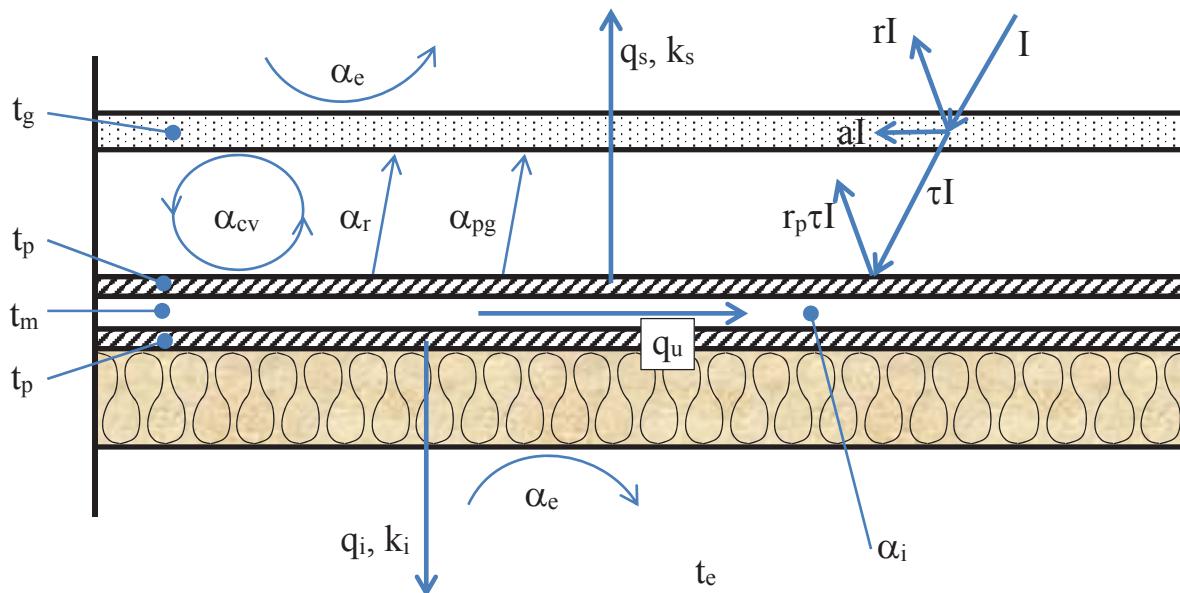


Fig. 2.1 - Schema fonomenologică a fluxurilor de caldura la un captator solar cu circulație de agent termic

Bilanturile termice in regim stationar aferente elementelor componente principale ale captatorului solar.

- Bilantul termic in regim stationar al elementului transparent :

$$\alpha_{pg} \cdot (t_p - t_g) + \alpha_e \cdot (t_e - t_g) + \alpha_{ag} \cdot I = 0 \quad (2.1)$$

- Bilantul termic in regim stationar al placii captatoare :

$$\alpha_{pg} \cdot (t_g - t_p) + k_i \cdot (t_e - t_p) + \alpha_i \cdot (t_m - t_p) + \alpha_{ap} \cdot \tau \cdot I = 0 \quad (2.2)$$

Temperatura medie a agentului termic in interiorul captatorului va fi in cazul de fata o valoare parametrica functie de care performantele captatorului depinde. In relatiile (2.1) si (2.2) este necesar sa precizam expresiile a doi coeficienti de transfer termic derivati si anume :

α_{pg} – coeficient de transfer termic global (convectie+radiatie) intre placa si geam ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$). Are expresia : $\alpha_{pg} = \frac{1}{2} \cdot \alpha_{cv} + \alpha_r$ (2.3)

k_i – coeficient global de transfer termic la partea inferioara a captatorului solar ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$). Are expresia : $k_i = \left(\frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{1}{\alpha_e} \right)^{-1}$ (2.4)

τ - coeficientul de transparenta al geamului (-). Are expresia :

$$\tau = 1 - \alpha_{ag} - \alpha_{rg} \quad (2.5)$$

Se observa ca relatiile (2.1) si (2.2) formeaza un sistem de ecuatii cu 2 necunoscute acestea fiind t_p si t_g . Prelucrand relatiile (2.1) si (2.2) se obtine sistemul de ecuatii algebrice :

$$\begin{aligned} -\alpha_{pg} \cdot t_p + (\alpha_{pg} + \alpha_e) \cdot t_g &= \alpha_e \cdot t_e + \alpha_{ag} \cdot I \\ (\alpha_{pg} + k_i + \alpha_i) \cdot t_p - \alpha_{pg} \cdot t_g &= k_i \cdot t_e + \alpha_i \cdot t_m + \alpha_{ap} \cdot \tau \cdot I \end{aligned} \quad (2.6)$$

Sau vectorial :

$$\begin{pmatrix} -\alpha_{pg} & (\alpha_{pg} + \alpha_e) \\ (\alpha_{pg} + k_i + \alpha_i) & -\alpha_{pg} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} t_p \\ t_g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_e \cdot t_e + \alpha_{ag} \cdot I \\ k_i \cdot t_e + \alpha_i \cdot t_m + \alpha_{ap} \cdot \tau \cdot I \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Rezulta :

$$\begin{pmatrix} t_p \\ t_g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\alpha_{pg} & (\alpha_{pg} + \alpha_e) \\ (\alpha_{pg} + k_i + \alpha_i) & -\alpha_{pg} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \alpha_e \cdot t_e + \alpha_{ag} \cdot I \\ k_i \cdot t_e + \alpha_i \cdot t_m + \alpha_{ap} \cdot \tau \cdot I \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

Tot in cadrul acestui tip constructiv de captator solar s-a mai analizat separat si situatia in care debitul de agent termic vehiculat prin captator este nul (nu circula agent termic prin captatorul solar). In aceasta situatie desigur si energia termica utila este nula si placa captatoare se va incalzi la o astfel de temperatura incat pierderile termice sa fie egale cu energia incidenta si absorbita pe placa. Nivelul temperaturii realizeate in aceasta situatie pe placa captatoare si coeficientul global de transfer termic sunt in aceasta situatie indicatorii de performanta energetica.

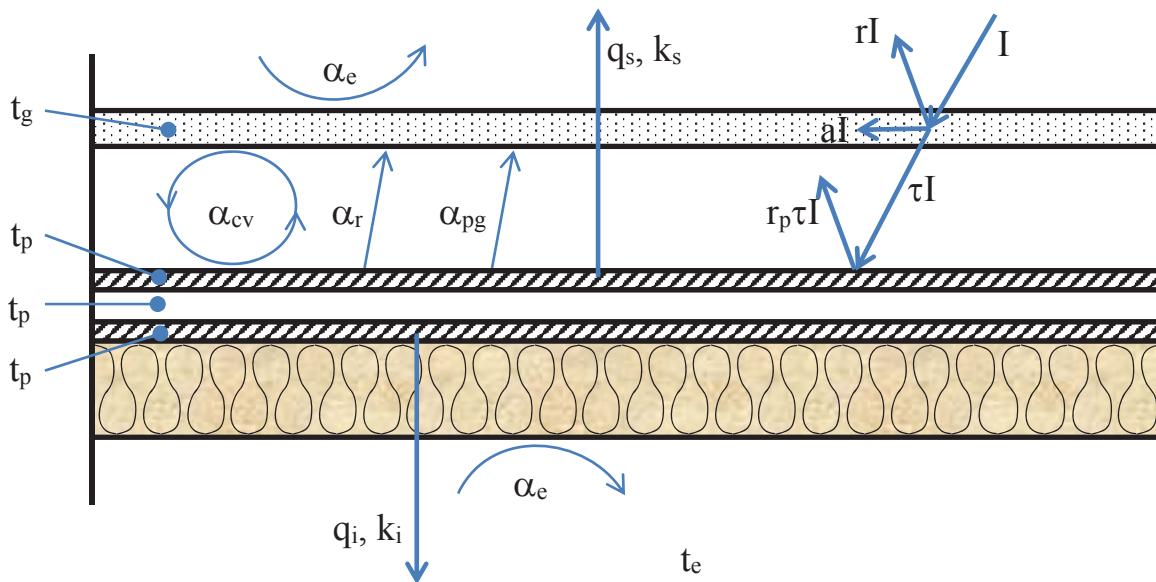


Fig. 2.2 - Schema fonomenologica a fluxurilor de caldura la un captator solar fara circulatie de agent termic

Ecuatiile de bilant termic ale celor doua componente componente sunt :

- Bilantul termic in regim stationar al elementului transparent :

$$\alpha_{pg} \cdot (t_p - t_g) + \alpha_e \cdot (t_e - t_g) + \alpha_{ag} \cdot I = 0 \quad (2.9)$$

- Bilantul termic in regim stationar al placii captatoare :

$$\alpha_{pg} \cdot (t_g - t_p) + k_i \cdot (t_e - t_p) + \alpha_{ap} \cdot \tau \cdot I = 0 \quad (2.10)$$

Prelucrand relatiile (2.9) si (2.10) se obtine sistemul de ecuatii algebrice :

$$\begin{aligned} -\alpha_{pg} \cdot t_p + (\alpha_{pg} + \alpha_e) \cdot t_g &= \alpha_e \cdot t_e + \alpha_{ag} \cdot I \\ (\alpha_{pg} + k_i) \cdot t_p - \alpha_{pg} \cdot t_g &= k_i \cdot t_e + \alpha_{ap} \cdot \tau \cdot I \end{aligned} \quad (2.11)$$

Sau vectorial :

$$\begin{pmatrix} -\alpha_{pg} & (\alpha_{pg} + \alpha_e) \\ (\alpha_{pg} + k_i) & -\alpha_{pg} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} t_p \\ t_g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_e \cdot t_e + \alpha_{ag} \cdot I \\ k_i \cdot t_e + \alpha_{ap} \cdot \tau \cdot I \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

Si ultimul caz analizat a fost cel al captatorului solar plan cu absorbtie cu doua elemente transparente

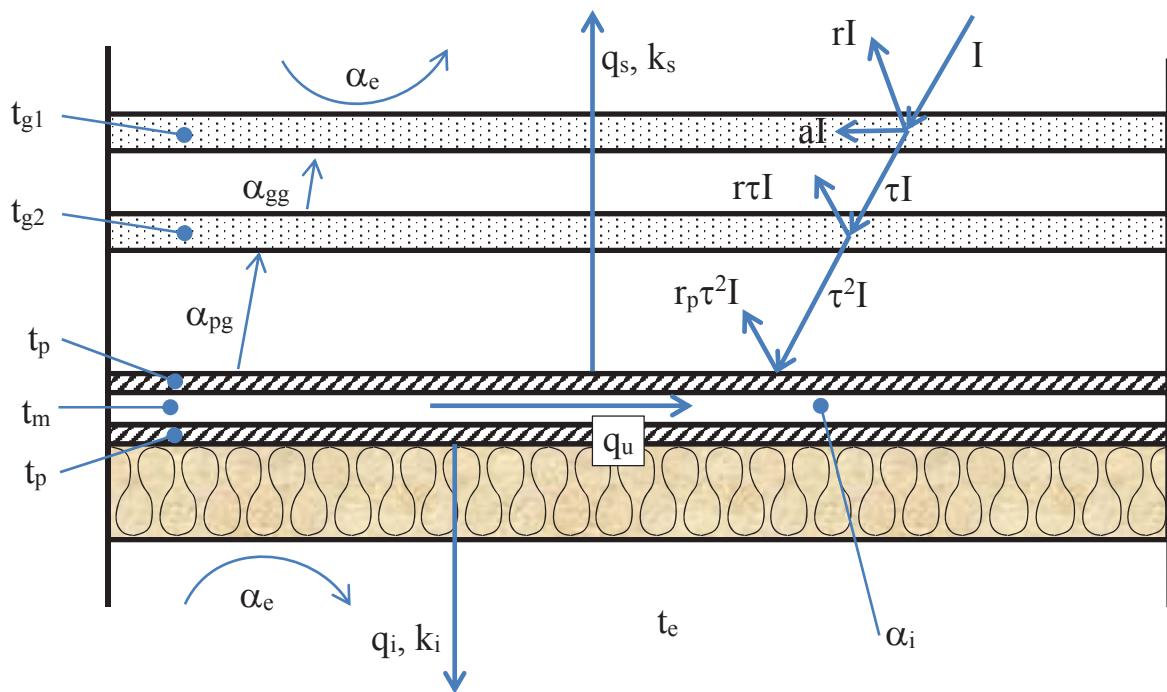


Fig. 2.3 - Schema fonomenologica a fluxurilor de caldura la un captator solar cu double glazing, cu circulatie de agent termic

La fel ca si in celelalte situatii se porneste de scrierea ecuatiilor de bilant termic in regim stationar pentru fiecare din cele 3 elemente caracterizate de temperaturi diferite ale acestui sistem : cele doua elemente transparente si placă absorbanta. Astfel :

Bilantul termic in regim stationar al geamului exterior :

$$\alpha_{gg} \cdot (t_{g2} - t_{g1}) + \alpha_e \cdot (t_e - t_{g1}) + \alpha_{ag1} \cdot I = 0 \quad (2.13)$$

Bilantul termic in regim stationar al geamului interior :

$$\alpha_{gg} \cdot (t_{g2} - t_{g2}) + \alpha_{pg} \cdot (t_p - t_{g2}) + \alpha_{ag2} \cdot \tau \cdot I = 0 \quad (2.14)$$

Bilantul termic in regim stationar al placii absorbante :

$$\alpha_{pg} \cdot (t_{g2} - t_p) + \alpha_i \cdot (t_m - t_p) + k_i \cdot (t_e - t_p) + \alpha_{ap} \cdot \tau^2 \cdot I = 0 \quad (2.15)$$

Prelucrand ecuatiile de bilant termic se obtine sistemul de 3 ecuatii algebrice cu 3 necunoscute :

$$\begin{aligned} (\alpha_e + \alpha_{gg}) \cdot t_{g1} - \alpha_{gg} \cdot t_{g2} &= \alpha_e \cdot t_e + \alpha_{ag1} \cdot I \\ -\alpha_{gg} \cdot t_{g1} + (\alpha_{gg} + \alpha_{pg}) \cdot t_{g2} - \alpha_{pg} \cdot t_p &= \alpha_{ag2} \cdot \tau \cdot I \\ -\alpha_{pg} \cdot t_{g2} + (\alpha_{pg} + \alpha_i + k_i) \cdot t_p &= k_i \cdot t_e + \alpha_i \cdot t_m + \alpha_{ap} \cdot \tau^2 \cdot I \end{aligned} \quad (2.16)$$

Care vectorial se scrie sub forma :

$$\begin{pmatrix} (\alpha_e + \alpha_{gg}) & -\alpha_{gg} & 0 \\ -\alpha_{gg} & (\alpha_{gg} + \alpha_{pg}) & -\alpha_{pg} \\ 0 & -\alpha_{pg} & (\alpha_{pg} + \alpha_i + k_i) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} t_{g1} \\ t_{g2} \\ t_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_e \cdot t_e + \alpha_{ag1} \cdot I \\ \alpha_{ag2} \cdot \tau \cdot I \\ k_i \cdot t_e + \alpha_i \cdot t_m + \alpha_{ap} \cdot \tau^2 \cdot I \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

Se poate si in acest caz analiza situatia regimului static (fara circulatie de agent termic prin captator) insa in aceasta faza nu s-a considerat necesar.

3. Randamente aferente captatoarelor solare cu absorbtie

Relatia (2.8) este relatia de baza pe care s-a construit primul instrument operativ de calcul care a permis si evaluarea performantelor energetice ale acestui tip de captator solar. S-au analizat urmatoarele variante constructive.

Varianta 1 :

Placa :

Coeficient absorbtie radiatie luminoasa : 0.6;

Coeficient emisivitate in infraroșu : 0.2;

Glazing :

Coeficient absorbtie radiatie luminoasa : 0.002;

Coeficient reflexie radiatie luminoasa : 0.22;

Coeficient emisivitate in infrarosu : 0.7;

Varianta 2 :

Placa :

Coeficient absorbtie radiatie luminoasa : 0.92;

Coeficient emisivitate in infrarosu : 0.2;

Glazing :

Coeficient absorbtie radiatie luminoasa : 0.002;

Coeficient reflexie radiatie luminoasa : 0.22;

Coeficient emisivitate in infrarosu : 0.7;

In ceea ce priveste tehnologia tinta, aceasta are cativa parametrii imbunatatiti, astfel :

Varianta 3 :

Placa :

Coeficient absorbtie radiatie luminoasa : 0.92;

Coeficient emisivitate in infrarosu : 0.1;

Glazing :

Coeficient absorbtie radiatie luminoasa : 0.002;

Coeficient reflexie radiatie luminoasa : 0.02;

Coeficient emisivitate in infrarosu : 0.1;

Rezultatele energetice asociate acestor variante descrise sunt prezentate in tabelul si figura de mai jos :

Tabel 3.1 : Randamente captator solar

Varianta Tehnologie	Placa	Agent termic		
		tm=30°C	tm=50°C	tm=70°C
V1	0,4668	0,4463	0,3554	0,2513
V2	0,7158	0,6922	0,6007	0,4961
V3	0,8998	0,8813	0,8136	0,7372

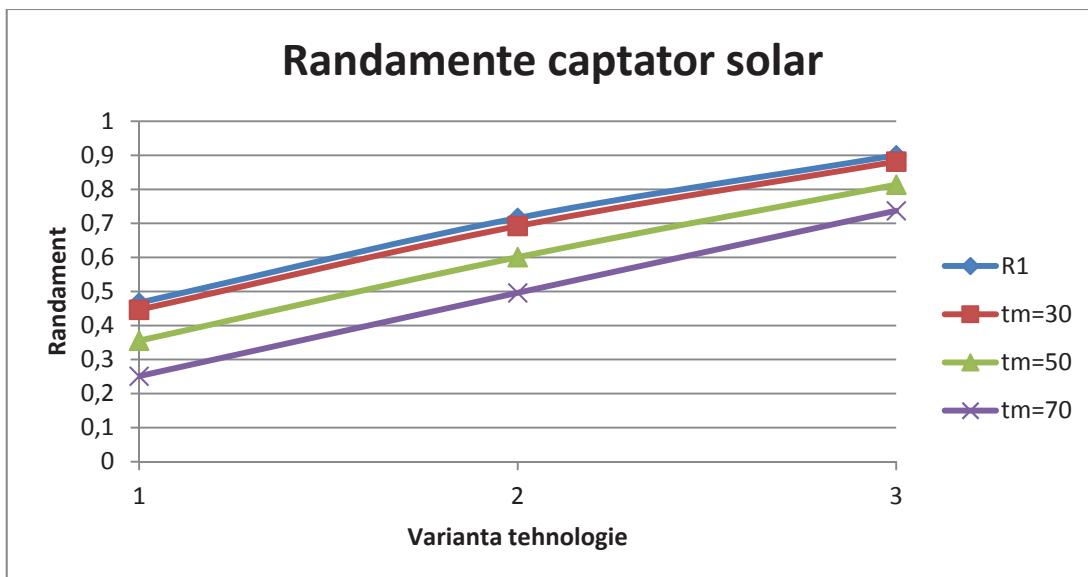


Fig. 3.1

Cum trebuie citit tabelul si figura de mai sus. De exemplu in cazul variantei tehnologice 1 se va retine 47% din energia luminoasa incidenta placa absorbanta a captatorului solar si se transforma in energie termica (restul de 53% reintorcandu-se in mediul exterior tot sub forma de energie luminoasa). In continuare, se observa ca daca temperatura medie a agentului termic este de 30 °C, 2% se pierde catre mediul exterior sub forma de energie termica si 45% se capteaza la nivelul agentului termic. Daca temperatura medie a agentului termic este de 50 °C, 11% se pierde catre mediul exterior sub forma de energie termica si 36% se capteaza la nivelul agentului termic, iar daca temperatura medie a agentului termic este de 70 °C, 22% se pierde catre mediul exterior sub forma de energie termica si 25% se capteaza la nivelul agentului termic. Se observa ca in cazul variantei 3 se va retine 90% din energia luminoasa incidenta pe placa absorbanta a captatorului solar si se transforma in energie termica (restul de 10% reintorcandu-se in mediul exterior tot sub forma de energie luminoasa). In continuare, se observa ca daca temperatura medie a agentului termic este de 30 °C, 2% se pierde catre mediul exterior sub forma de energie termica si 88% se capteaza la nivelul agentului termic. Daca temperatura medie a agentului termic este de 50 °C, 9% se pierde catre mediul exterior sub forma de energie termica si 81% se capteaza la nivelul agentului termic, iar daca temperatura medie a agentului termic este de 70 °C, 16% se pierde catre mediul exterior sub forma de energie termica si 74% se capteaza la nivelul agentului termic. Concluzia este ca o tehnologie performanta de realizare se justifica prin performantele energetice obtinute.

In situatia captatorului solar cu un element transparent insa fara circulatie de agent termic rezultatele obtinute in cele 3 variante prezentate sunt :

Tabelul 3.2 : Performantele captatorului solar in regim static

Parametru	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
epsp (-)	0,2	0,2	0,1
aap (-)	0,6	0,92	0,92
epsg (-)	0,7	0,7	0,1
aag (-)	0,002	0,002	0,002
arg (-)	0,22	0,22	0,02
tE (oC)	115	145,9	219,8
kc (W/mp.K)	3,27	3,58	2,78
q (W/mp)	280	429	539

Se observa ca varianta 1 este cea mai slaba ei corespunzandu-i temperatura echivalenta cea mai scazuta, o valoare a coeficientului global de transfer de caldura ceva mai ridicat si un flux termic disipat corespunzator, mai scazut, in timp ce in cazul variantei 3, temperatura echivalenta are o valoare ridicata, coeficientul global de transfer de caldura mai scazut si un flux termic disipat ridicat.

Trecand in continuare la cel de al treilea model analizat si anume la captatorul solar cu doua elemente transparente, aici s-au analizat numai rezultatele variantelor 1 si 3, rezultate care sunt prezentate in tabelul de mai jos :

Tabelul 3.3 – Performantele captatorului solar doubleglazing

Param	u.m.	V1	V1	V1	V3	V3	V3
tm	(°C)	30	50	70	30	50	70
t _E	(°C)	145,6	133	125,5	413	368	348
k _c	(W/m ² .K)	1,82	2,04	2,19	1,15	1,3	1,38
t _p	(°C)	30,21	50,2	70,12	30,44	50,41	70,38
t _{g2}	(°C)	27,75	35,8	44,5	28,92	39,25	49,94
t _{g1}	(°C)	26,41	28,2	30,3	26,23	27	27,94
q _u	(W/m ²)	210,6	169	121,8	441	414	384
q _p	(W/m ²)	7,7	49,4	96,6	5	31,8	61,3
q _a	(W/m ²)	218,3	218,3	218,3	446	446	446
q _s	(W/m ²)	4,47	31,06	63,1	1,73	13,25	27,6
q _i	(W/m ²)	3,2	18,35	33,5	3,37	18,54	33,71
R ₁	(-)	0,36	0,36	0,36	0,74	0,74	0,74
R ₂	(-)	0,97	0,77	0,56	0,99	0,93	0,86
R ₃	(-)	0,35	0,28	0,20	0,73	0,69	0,64

Se observa in mod clar aportul calitatii parametrilor aferenti placii captatoare si al elementelor transparente

4. Importanta coeficientilor de reflexie ai radiatiei luminoase ale glazingului si ale placii

Trebuie sa facem mentiunea ca in ceea ce priveste suprafata transparenta se pot evidenția doi coeficienți de reflexie ai radiatiei luminoase și anume unul aferent suprafetei superioare (exterioare), r_{gs} , și unul aferent suprafetei inferioare, r_{gi} . Coeficientul superior r_{gs} (în care putem îngloaga și absorbtia radiatiei solare) determină transparenta glazingului, și anume :

$$\tau = 1 - r_{gs} \quad (4.1)$$

Iar coeficientul de reflexie al placii absorbante determină coeficientul de absorbtie al acesteia, a_p .

Fluxul termic unitar captat la nivelul placii absorbante este dacă tinem seama de reflexiile multiple între placa absorbantă și glazing :

$$\begin{aligned} q_a &= a_p \cdot \tau \cdot I + r_p \cdot r_{gi} \cdot a_p \cdot \tau \cdot I + r_p^2 \cdot r_{gi}^2 \cdot a_p \cdot \tau \cdot I + \dots = \\ &= (1 + r_p \cdot r_{gi} + r_p^2 \cdot r_{gi}^2 + \dots) \cdot a_p \cdot \tau \cdot I = \frac{1}{1 - r_p \cdot r_{gi}} \cdot a_p \cdot \tau \cdot I = \\ &= \frac{1}{1 - (1 - a_p) \cdot r_{gi}} \cdot a_p \cdot \tau \cdot I \end{aligned} \quad (4.2)$$

O tratare mai simplă conduce la evaluarea fluxului termic unitar captat la nivelul placii absorbante, ca fiind :

$$q_{ar} = a_p \cdot \tau \cdot I \quad (4.3)$$

Rezulta că între cele două valori relația de legătură este :

$$q_a = \frac{1}{1 - (1 - a_p) \cdot r_{gi}} \cdot q_{ar} \quad (4.4)$$

Din forma relației (4.4) se observă că cu cat raportul din relația (4.4) are o valoare mai mare cu atât tratarea simplă (redusa), aproximează mai slab valoarea reală a fluxului absorbit. Raportul din relația (4.4) are o valoare mai mare cu cat numitorul sau este mai subunitar adică cu cat coeficientul de absorbtie al placii captatoare (a_p) are

o valoare mai mica si cu cat coeficientul de reflexie al fetei inferioare a glazingului (r_{gi}) are o valoare mai mare. Daca, invers, absorbtia suprafetei placii absorbante este mare si reflexia fetei inferioare a glazingului este mica atunci aplicarea relatiei reduse pentru evaluarea fluxului termic unitar este pe deplin acceptabila.

5. Concluzii

Obiectivul urmarit a fost legat de componentelete de captare a energiei solare : placa absorbanta, glazing. S-au definit doua categorii de randamente de captare si s-a urmarit dependenta acestora de : coeficientul de absorbtie al radiatiei solare de catre placa absorbanta, coeficientul de emisie al radiatiei infrarosii al placii absorbante, de coeficientul de reflexie al radiatiei solare al glazing-ului si de coeficientul de emisie al radiatiei infrarosii al fetei interioare a glazing-ului. Rezultatele sunt concretizate in tabelul 3.1 si figura 3.1. Rezolvarea s-a facut pe baza scrierii bilanturilor termice pentru placa captatoare si pentru glazing, astfel incat evaluare celor doua categorii de randamente s-a facut numeric. Tendintele ce trebuie urmarite sunt :

- valoare cat mai ridicata a coeficientului de absorbtie a radiatiei solare;
- valori cat mai scazute a coeficientilor de emisie a radiatiei in infrarosu a placii si glazing-ului;

Mai concret, aici s-au analizat doua situatii distincte si anume :

- situatia in care captatorul solar se gaseste in regim de captare (de functionare);
- situatia in care captatorul solar este oprit si placa captatoare se incalzeste excesiv fiind doar expusa radiatiei solare si neracite de agentu termic;

In prima situatie mentionata s-au putut defini doua categorii de randamente : randamentul de captare la nivelul placii captatoare care este de fapt factorul optic al captatorului si randamentul de captare la nivelul agentului termic vehiculat. Cel de al doilea randament este de fapt cel esential insa el depinde direct de primul. Valorile celor doua categorii de randamente sunt indicatorii energetici care permit analiza parametrilor mentionati.

In a doua situatie indicatorii energetici sunt reprezentati de temperatura echivalenta si coeficientul global de transfer termic al captatorului. Primul indicator trebuie sa fie cat mai mare iar al doilea cat mai mic. Din aceasta insa a doua situatie nu se poate pune in evidenta randamentul de captare propriu-zis.

In capitolul 4 se analizeaza structura relatiei de evaluare a fluxului termic captat la nivelul placii absorbante. Se remarcă faptul că cu cat coeficientul de absorbtie al placii captatoare (a_p) are o valoare mai mica si cu cat coeficientul de reflexie al fetei inferioare a glazingului (r_{gi}) are o valoare mai mare. Daca, invers, absorbtia suprafetei placii absorbante este mare si reflexia fetei inferioare a glazingului este mica atunci aplicarea relatiei reduse pentru evaluarea fluxului termic unitar este acceptabila.

Lista de notatii

t_m – temperatura medie a agentului termic pe captator, °C;

t_e – temperatura exterioara, °C;

I – intensitatea globala a radiatiei soare, W/mp;

α, a_p - coeficient de absorbtie in vizibil al placii absorbante, -;

τ - transparenta glazingului, -;

α_i – coeficient de transfer termic convectiv la curgerea fortata a agentului termic prin teava, W/mp.K;

α_e – coeficientul de transfer termic convectiv la exteriorul captatorului solar, W/mp.K;

k_i – coeficientul global de transfer termic inferior al captatorului, W/mp.K;

k_s - coeficientul global de transfer termic superior al captatorului, W/mp.K;

q_s – fluxul termic unitar disipat la partea superioara a captatorului, W/m²;

q_i – fluxul termic unitar disipat la partea inferioara a captatorului, W/m²;

r, r_{gs} – coeficientul de reflexie la fata superioara a glazingului, -;

r_{gi} – coeficientul de reflexie la fata inferioara a glazingului, -;

t_g – temperatura glazing, °C;

t_p – temperatura placa absorbanta, °C;

t_{g1} – temperatura glazing exterior, °C;

t_{g2} – temperatura glazing intermediar, °C;

α_{cv} – coeficient de transfer termic convectiv intre placa si geam, W/m².K;

α_r – coeficient de transfer termic radiant intre placa si geam, W/m².K;

α_{pg} – coeficient de transfer termic convectiv-radiant intre placa si geam, W/m².K;

q_a, q_{ar} – fluxul termic unitar captat la nivelul placii absorbante, W/m²;

Bibliografie

1. Florin Iordache – Energetica echipamentelor si sistemelor termice din instalatii – ed. Conspres – 2010;
2. Florin Iordache – Termotehnica Constructiilor - ed. Matrix Rom, editia III-a – 2010;
3. Frank Kreith, et al. - Heat and mass transfer – ed. Frank Kreith, 1999;
4. Holman J.P. – Heat Transfer – McGraw-Hill – 2010;
5. John A. Duffie, William A. Beckman – Solar Engineering of Thermal Processes – John Wiley & Sons, 1980;
6. Yunus A. Cengel – Heat Transfer – 2nd edition;