

2.4. CALCULUL SARCINII TERMICE A CAPTATORILOR SOLARI

2.4.1. Caracterul variabil al radiației solare

Intensitatea radiației solare prezintă un caracter foarte variabil, atât în timpul anului, cât și zilnic, astfel încât este evident că și sarcina termică realizată de colectorii solari va fi la fel de variabilă.

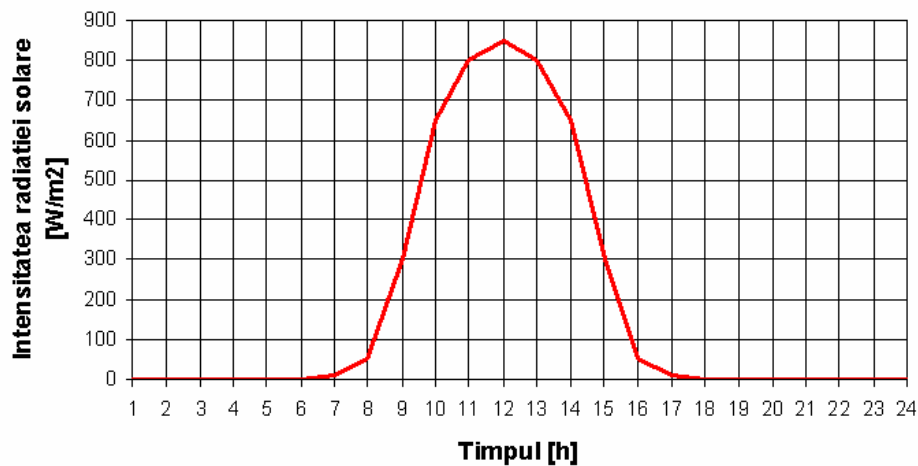


Fig. 2.25. Curbă tipică de variație a intensității radiației solare

În figura 2.25 este prezentată o variație tipică a intensității radiației solare, într-o zi foarte călduroasă de vară, în condiții de cer perfect senin, manifestată pe o suprafață unitară, plană și orizontală. Se observă că la ora 12, când intensitatea radiației solare este maximă, valoarea acesteia depășește 800W/m^2 , ceea ce reprezintă o valoare foarte ridicată, chiar și față de media din timpul verii, în timp ce pe durata nopții, valoarea intensității radiației solare este evident nulă. Dimineața și după-masa, intensitatea radiației solare, variază rapid între 0 și valoarea maximă, respectiv între valoarea maximă și 0. Pentru curba de variație a intensității radiației solare reprezentate în figura 1, valoarea medie a intensității radiației solare, pe durata zilei, este ușor superioară valorii de 500W/m^2 . În zilele anului, caracterizate prin radiație solară mai puțin intensă decât cea prezentată în figura 2.25, de exemplu primăvara sau toamna, valorile maxime și medii ale intensității radiației solare, chiar și în cele mai însorite zile din aceste perioade, pot să scadă mult sub valorile prezentate anterior.

Ca și radiația solară, *sarcina termică asigurată de colectorii solari, prezintă un caracter variabil*, astfel încât se poate vorbi despre valoarea maximă și medie a acestei mărimi. *Pentru calcule termice de dimensionare, prezintă importanță cunoașterea valorii medii a sarcinii termice a colectoarelor solari.*

Cu cât randamentul colectoarelor solari este mai ridicat, cu atât fiecare suprafață unitară de colector solar, va furniza o sarcină termică unitară medie, mai apropiată de valoarea medie a intensității radiației solare.

2.4.2. Calculul sarcinii termice a captatorilor solari

Având în vedere că *de regulă, producătorii panourilor solare nu indică valorile sarcinilor termice* asigurate de echipamentele pe care le comercializează, este interesant de realizat o evaluare a acestei mărimi, pentru că scopul acestor echipamente este tocmai de a asigura sarcina termică necesară diverselor aplicații.

În continuare, valoarea sarcinii termice unitare a colectoarelor solari, va fi determinată utilizând informațiile privind selecția acestor echipamente, furnizate de diverși producători.

Se vor considera cazurile în care panourile solare sunt utilizate pentru încălzirea apei calde menajere, respectiv a apei din piscine, acestea fiind cele mai importante aplicații pentru panourile solare. Încălzirea clădirilor cu ajutorul energiei solare este mai dificil de realizat, în primul rând pentru că în perioadele reci ale anului, când necesarul de sarcină termică pentru încălzire este important, intensitatea radiației solare prezintă valori foarte reduse și este dificil de captat și de utilizat în aceste condiții. Chiar dacă există și numeroase realizări interesante în care încălzirea clădirilor este realizată cu ajutorul energiei solare, aceste aplicații nu vor fi abordate în continuare, deoarece reprezintă situații speciale.

Încălzirea apei calde menajere

Sarcina termică necesară pentru încălzirea apei calde menajere \dot{Q}_{acm} , se poate calcula cu relația:

$$\dot{Q}_{acm} = \frac{n \cdot m \cdot c_w \cdot (t_b - t_r)}{\tau \cdot 3600} \quad [\text{kW}]$$

unde:

- n este numărul de persoane;
- m [kg] este cantitatea de apă caldă menajeră considerată ca și consum zilnic;
- c_w [kJ/kgK] este căldura specifică a apei, mărime care variază cu temperatura, dar pentru care se poate considera valoarea $c_w=4,186\text{kJ/kgK}$;
- t_b [°C] este temperatura apei din boiler;
- t_r [°C] este temperatura apei reci, la intrarea în boiler;
- τ [h] este durata perioadei de încălzire a apei calde considerate, având o importanță deosebită pentru valoarea sarcinii termice.

Se va considera $n=1$, deci se va calcula sarcina termică necesară pentru încălzirea apei calde menajere necesare unei persoane, $m=50\text{kg}$ - valoare medie recomandată de literatura de specialitate, $t_b=45^\circ\text{C}$ - valoare recomandată pentru temperatura apei calde din boiler; $t_r=10^\circ\text{C}$ - valoare medie a apei reci, care vara este ceva mai caldă, dar iarna ceva mai rece și $\tau=8\text{h}$ - valoare care coincide aproximativ și cu durata medie în care se manifestă radiația solară, deci cu durata medie în care poate fi captată aceasta.

Înlocuind valorile numerice considerate, se obține pentru sarcina termică necesară în vederea preparării apei calde menajere necesare zilnic pentru o persoană:

$$\dot{Q}_{acm} = \frac{1 \cdot 50 \cdot 4,186 \cdot (45 - 10)}{8 \cdot 3600} = 0,254 \text{ kW} \approx 0,25 \text{ kW} = 250 \text{ W}$$

Pentru prepararea apei calde menajere, firmele producătoare recomandă utilizarea unor suprafețe diferite ale colectoarelor solari în funcție de tipul colectoarelor și de procentul din necesarul anual de căldură care urmează să fie asigurat de acei colectoare solari, ca în tabelul 1.

Tabelul 1. Suprafața necesară de colectoare solari, pentru prepararea a.c.m. [$\text{m}^2/\text{pers.}$]

Procent de asigurare a.c.m. cu energie solară 60% (primăvară - vară - toamnă)		Procent de asigurare a.c.m. cu energie solară 40...50% (vara - sezonul cald)	
Colectori plani	Col. cu tuburi vidate și cu tuburi termice	Colectori plani	Col. cu tuburi vidate și cu tuburi termice
1,2...1,5 $\text{m}^2/\text{pers.}$	0,8...1 $\text{m}^2/\text{pers.}$	1...1,2 $\text{m}^2/\text{pers.}$	0,6...0,8 $\text{m}^2/\text{pers.}$

Se observă că *suprafețele de colectori solari, recomandate ca necesare, sunt aceleași în cazul colectoarelor cu tuburi vidate, respectiv cu tuburi termice*, chiar dacă performanțele colectoarelor solari cu tuburi termice sunt ceva mai ridicate decât cele ale colectoarelor solari cu tuburi vidate. Acest fapt poate fi explicat prin faptul că diferențele de performanță sunt totuși reduse, iar avantajul colectoarelor solari cu tuburi termice, față de cei cu tuburi vidate nu se va concretiza printr-o suprafață mai redusă de colectori solari, ci printr-un procent ceva mai ridicat de asigurare a apei calde menajere cu ajutorul energiei solare, decât în cazul colectoarelor cu tuburi vidate.

Având în vedere că suprafețele de colectori solari, recomandate în tabelul 1, au ca scop tocmai asigurarea sarcinii termice calculate anterior, valoarea sarcinii termice unitare a colectoarelor solari \dot{Q}_{acm1} , în regim de preparare a apei calde menajere, este:

$$\dot{Q}_{acm1} = \frac{\dot{Q}_{acm}}{S_1} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

unde:

- S_1 reprezintă suprafața colectoarelor solari recomandată în tabelul 1.
- Rezultatele acestui calcul sunt prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2. Sarcina termică unitară a colectoarelor solari, pentru prepararea a.c.m. [W/m^2]

Procent de asigurare a.c.m. cu energie solară 60% (primăvară - vară - toamnă)		Procent de asigurare a.c.m. cu energie solară 40...50% (vara - sezonul cald)	
Colectori plani	Col. cu tuburi vidate si cu tuburi termice	Colectori plani	Col. cu tuburi vidate si cu tuburi termice
208...166 W/m^2 colector	312...250 W/m^2 colector	250...208 W/m^2 colector	416...312 W/m^2 colector

Analizând valorile din tabelul 2, se constată că sarcina termică unitară a colectoarelor solari este mai mare în cazul în care procentul de asigurare a apei calde menajere cu ajutorul energiei solare este mai redus, ceea ce reprezintă un fapt normal, deoarece acești colectori sunt prevăzuți să funcționeze mai ales în perioada de vară, când intensitatea radiației solare este mai mare.

În tabelul 3 sunt prezentate valori particulare ale sarcinilor termice unitare, mai ușor de utilizat pentru calcule rapide de predimensionare, determinate pentru anumite valori ale suprațelor de colectori solari, destinați preparării apei calde menajere.

Tabelul 3. Sarcini termice unitare particulare ale colectoarelor solari pentru prepararea a.c.m.

Tip colectori	Procent de asigurare a.c.m. cu energie solară 60% (primăvară - vară - toamnă)		Procent de asigurare a.c.m. cu energie solară 40...50% (vara - sezonul cald)	
	plani	tuburi vidate si tuburi termice	plani	tuburi vidate si tuburi termice
Suprafața necesară [$m^2/pers$]	1,25	1	1	0,7
Sarcina termică unitară [W/m^2]	200	250	250	350

Este evident că dacă panourile solare sunt utilizate doar vara, sarcina termică unitară medie a acestora poate fi considerată mai mare decât dacă sunt utilizate din primăvară până în toamnă, caz în care valoarea medie a sarcinii termice unitare este mai redusă, pentru că și valoarea medie a intensității radiației solare este mai redusă. Din acest motiv și suprafața necesară a colectoarelor solari care sunt utilizați doar vara, este mai redusă decât cea necesară pentru o utilizare din primăvară până în toamnă, dar și procentul de asigurare a apei calde menajere cu ajutorul energiei solare este mai redus, dacă aceste panouri sunt dimensionate pentru a funcționa doar pe durata sezonului cald.

Considerând valorile particulare ale sarcinilor termice unitare \dot{Q}_{acm1} , prezentate în tabelul 3, se pot efectua calcule rapide pentru predimensionarea colectoarelor solari utilizați pentru prepararea apei calde menajere.

$$S = \frac{\dot{Q}_{acm}}{\dot{Q}_{acm1}} \quad [m^2]$$

Cu ajutorul acestei relații pot fi calculate suprafețele necesare de colectori solari, pentru orice tip de aplicație în care este necesară prepararea apei calde menajere cu ajutorul energiei solare. Exemple de asemenea situații pot fi reprezentate de: restaurante, hoteluri, moteluri, vile pentru agroturism, sisteme industriale de preparare a apei calde, etc.:

Suprafețele colectoarelor solari adoptate prin rotunjirea valorilor determinate în această manieră trebuie să verifice și valorile recomandate în tabelul 1.

Încălzirea apei din piscine

Sarcina termică necesară pentru încălzirea apei din piscine, necesită un calcul complex, care să țină seama de temperatura apei din piscină și de o serie de pierderi de căldură, între care o importanță deosebită este reprezentată de următoarele pierderi: evaporarea apei, transferul termic prin convecție de la suprafața apei la mediul ambiant, stropirea cu apă în afara piscinei, reîmprospătarea apei, etc.,.

Cu toate acestea, *producătorii captatoarelor solari, dimensionează sistemul solar de încălzire a apei din piscine, pe baza unui algoritm de calcul aproximativ, mult simplificat, considerând doar, că toate tipurile de pierderi de căldură care se manifestă în condiții reale în piscine, duc la răcirea apei, iar această răcire trebuie compensată de sistemul de încălzire.*

În acest paragraf, în vederea determinării sarcinii termice unitare a colectoarelor solari pentru încălzirea piscinelor, se va considera algoritmul simplificat de dimensionare, pentru a se putea valorifica recomandările producătorilor privind utilizarea diferitelor tipuri de colectori solari.

Sarcina termică necesară pentru încălzirea apei din piscine \dot{Q}_p , se poate calcula cu relația:

$$\dot{Q}_p = \frac{m \cdot c_w \cdot \Delta t}{\tau \cdot 3600} \quad [kW]$$

unde:

- m [kg] este cantitatea de apă din piscină;
- c_w [kJ/kgK] este căldura specifică a apei, mărime care variază cu temperatura, dar pentru care se poate considera valoarea $c_w=4,186$ kJ/kgK;
- Δt [°C] este variația temperaturii apei din piscină în 24h, datorată diverselor pierderi de căldură;
- τ [h] este durata perioadei de încălzire a apei calde considerate, având o importanță deosebită pentru valoarea sarcinii termice.

Observație: Producătorii de panouri solare recomandă valori diferite pentru suprafețele colectoarelor solari, destinați încălzirii apei din piscine, pentru diferite condiții de exploatare a piscinelor, indicând aceste suprafețe, dar nu precizează adâncimea considerată a apei din piscine. Lipsa acestui element în tabelele de alegere a colectoarelor solari, reprezintă o deficiență importantă a sistemului de dimensionare propus de producători, care a fost eliminată în continuare, prin considerarea unei valori medii a adâncimii apei din piscine, de 1,3m. În urma finalizării calculelor efectuate cu ajutorul algoritmului prezentat în continuare și în urma comparării valorilor sarcinilor termice unitare, rezultate pentru diferitele tipuri de colectori solari, cu valorile sarcinilor termice unitare ale aceluiași colector, utilizați la prepararea apei calde menajere, s-a dovedit că această ipoteză este corectă și că probabil aceeași valoare medie a adâncimii apei din piscine a fost considerată și de producătorii panourilor solare, la întocmirea tabelelor de selecție a colectoarelor.

Cantitatea de apă din piscine se determină cu relația:

$$m = S_p \cdot H \cdot \rho \quad [\text{kg}]$$

unde:

- S_p [m^2] este suprafața piscinei;
- H [m] este adâncimea medie a apei din piscină;
- ρ [kg/m^3] este densitatea apei, mărime care depinde de temperatură, dar pentru care se poate considera valoarea $\rho=1000\text{kg}/\text{m}^3$.

În continuare, calculele se vor efectua pentru suprafața unitară a piscinei, deci se va considera $S_p=1\text{m}^2$.

$$m = 1 \cdot 1,3 \cdot 1000 = 1300 \text{ kg}$$

Valoarea sarcinii termice necesare pentru încălzirea suprafeței unitare a piscinei, considerând că datorită pierderilor de căldură, temperatura apei scade într-o zi cu 1°C și că durata perioadei de încălzire a apei este de 8h, rezultă:

$$\dot{Q}_{p1} = \frac{1300 \cdot 4,186 \cdot 1}{8 \cdot 3600} = 0,189 \text{ kW} / \text{m}^2 \approx 0,190 \text{ kW} / \text{m}^2 = 190 \text{ W} / \text{m}^2$$

În cazul în care variația temperaturii apei datorită pierderilor de căldură ar fi de $0,5^\circ\text{C}$, situație posibilă în cazul piscinelor realizate în spații închise, sarcina termică unitară pentru încălzirea apei, s-ar reduce și aceasta la jumătate.

Acoperirea suprafeței apei din piscine, în perioadele de neutilizare, atât în cazul celor închise cât și în cazul celor aflate în aer liber, pe lângă faptul că previne producerea accidentelor, permite și reducerea substanțială a pierderilor de căldură prin convecție și prin evaporarea apei, ceea ce contribuie la reducerea considerabilă a sarcinii termice necesare pentru încălzirea apei. Pentru calcule rapide de predimensionare, se poate considera că acoperirea suprafeței apei, în perioadele de neutilizare, reduce cu cca. 20% valoarea sarcinii termice necesare pentru încălzirea apei.

În tabelul 4, au fost prezentate valori orientative ale sarcinilor termice, necesare pentru încălzirea apei din piscine, raportate la unitatea de suprafață a piscinei, pentru diferite condiții de lucru, considerând adâncimea medie a apei, de 1,3m.

Tabelul 4. Valori orientative ale sarcinilor termice pentru încălzirea apei din piscine, considerând adâncimea medie a apei de 1,3m [W/m^2 piscină]

Tip piscină	Sarcina termică
Piscină închisă	
cu acoperire	75 W/m^2 piscină
fara acoperire	95 W/m^2 piscină
Piscină în aer liber	
cu acoperire	150 W/m^2 piscină
fara acoperire	190 W/m^2 piscină

Pentru încălzirea apei din piscine, firmele producătoare recomandă utilizarea unor suprafețe diferite de colectori solari, în funcție de tipul piscinelor, de tipul colectoarelor și de perioada prevăzută pentru funcționarea sistemului de încălzire cu energie solară, așa cum se observă în tabelul 5.

Tabelul 5. Suprafața necesară de colectori solari, pentru încălzirea apei din piscine [m^2/m^2 piscină]

Tip piscină	Perioada de încălzire cu energie solară aprilie - septembrie		Perioada de încălzire cu energie solară iunie - iulie
	Colectori plani	Col. cu tuburi vidate și cu tuburi termice	Toate tipurile de colectori
Piscină închisă			
cu acoperire	0,4 m^2/m^2	0,3 m^2/m^2	0,25 m^2/m^2
fara acoperire	0,5 m^2/m^2	0,4 m^2/m^2	0,3 m^2/m^2
Piscină în aer liber			
cu acoperire	0,7 m^2/m^2	0,5 m^2/m^2	0,4 m^2/m^2
fara acoperire	0,9 m^2/m^2	0,7 m^2/m^2	0,5 m^2/m^2

În cazul piscinelor închise s-a considerat că temperatura apei este de 24°C și gradul de răcire a apei datorită pierderilor de căldură este de 0,5°C/24h, iar în cazul piscinelor în aer liber, s-a consideră temperatura apei este de 22°C și gradul de răcire a apei datorită pierderilor de căldură este de 1°C/24h.

Se observă că pentru încălzirea piscinei pe timp de vară, este recomandată aceeași suprafață de colectori solari, indiferent de tipul acestora. Acest fapt este posibil, deoarece în condițiile în care intensitatea radiației solare este mare, performanțele tuturor tipurilor de colectori sunt relativ apropiate.

Având în vedere că suprafețele de colectori solari recomandate în tabelul 5, au ca scop tocmai asigurarea sarcinii termice calculate anterior, valoarea sarcinii termice unitare a colectoarelor solari \dot{Q}_{p1} , în regim de încălzire a apei din piscine, este:

$$\dot{Q}_{p1} = \frac{\dot{Q}_p}{S_1} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

unde:

- S_1 reprezintă suprafața colectoarelor solari recomandată în tabelul 5.

Rezultatele acestui calcul sunt prezentate în tabelul 6, considerându-se pentru sarcinile termice necesare încălzirii apei din piscină, valorile indicate în tabelul 4. Faptul că valorile obținute pentru sarcinile termice unitare, sunt foarte apropiate pentru aceleași condiții de lucru, confirmă că ipotezele considerate sunt corecte și în nici un caz nu introduc erori semnificative.

Tabelul 6. Sarcinile termice unitare ale colectoarelor solari, pentru încălzirea apei din piscine [W/m² colector]

Tip piscină	Perioada de încălzire cu energie solară aprilie – septembrie		Perioada de încălzire cu energie solară iunie – iulie
	Colectori plani	Colectori cu tuburi vidate și cu tuburi termice	Toate tipurile de colectori
Piscină închisă			
cu acoperire	190 W/m ²	250 W/m ²	305 W/m ²
fara acoperire	190 W/m ²	240 W/m ²	315 W/m ²
Piscină în aer liber			
cu acoperire	215 W/m ²	300 W/m ²	380 W/m ²
fara acoperire	210 W/m ²	270 W/m ²	380 W/m ²
Piscine (în general)			
valori medii	200 W/m ²	265 W/m ²	345 W/m ²

Considerând valorile particulare ale sarcinilor termice unitare \dot{Q}_{p1} , prezentate în tabelul 6, se pot efectua calcule rapide pentru predimensionarea colectoarelor solari utilizați pentru prepararea apei calde menajere.

$$S = \frac{\dot{Q}_p}{\dot{Q}_{p1}} \left[m^2 \right]$$

Suprafețele colectoarelor solari adoptate prin rotunjirea valorilor determinate în această manieră trebuie să verifice și valorile recomandate în tabelul 5.

2.4.3. Concluzii

În tabelul 7 sunt prezentate valorile comparative ale sarcinilor termice unitare obținute pentru diverse tipuri de colectoare solare, considerând funcționarea acestora în regim de preparare a apei calde menajere, respectiv în regim de încălzire a apei din piscine situate în aer liber fără acoperire, ca și valorile medii obținute pentru sarcina termică unitară a colectoarelor solari utilizați pentru încălzirea piscinelor.

Tabelul 7. Valori comparative ale sarcinilor termice unitare ale colectoarelor solari, utilizați în diferite regimuri de lucru [W/m^2 colector]

Regim de utilizare	Perioada de exploatare primăvară – toamnă (aprilie – septembrie)		Perioada de exploatare vară (iunie – iulie)	
	Colectori plani	Colectori cu tub. vidate si cu tuburi termice	Colectori plani	Colectori cu tub. vidate si cu tuburi termice
a.c.m.	200	250	250	350
piscine în aer liber fără acoperire	210	270	380	380
piscine (valoare medie)	200	265	345	345

Valorile obținute pentru sarcina termică unitară a colectoarelor plani, utilizați la încălzirea piscinelor în aer liber fără acoperire, respectiv valoarea medie, pentru utilizarea numai în lunile iunie-iulie este semnificativ mai mare decât în cazul preparării apei calde menajere. Acest lucru poate fi explicat prin faptul că la prepararea apei calde menajere nu s-a considerat o perioadă atât de scurtă de funcționare, ci una care să asigure totuși acoperirea a 40...50% din necesarul anual de apă caldă, cu ajutorul energiei solare, ceea ce reprezintă mult mai mult decât doar două luni de funcționare. În cele două luni, intensitatea radiației solare este maximă și atunci se pot atinge valori mai ridicate pentru sarcina termică unitară a colectoarelor.

În afara acestei situații, se observă că așa cum era normal, indiferent de tipul aplicației, preparare apă caldă menajeră sau încălzirea apei din piscine, fiecare tip de colector solar asigură aproximativ aceleași valori ale sarcinilor termice unitare medii pe care le realizează.

În consecință pot fi recomandate valori medii pentru sarcinile termice unitare ale colectoarelor solari, indiferent de tipul de aplicație, preparare apă caldă menajeră sau încălzirea apei din piscine, iar aceste valori sunt indicate în tabelul 8.

Tabelul 8. Valori medii ale sarcinilor termice unitare ale colectoarelor solari, în funcție de perioada de exploatare [W/m^2 colector]

Perioada de exploatare	Colectori plani	Colectori cu tuburi vidate si cu tuburi termice
aprilie - septembrie	200	250
iunie - august	250	350
iunie - iulie	300	380

Acste valori ale sarcinilor termice unitare medii, pot fi utilizate cu ușurință în calcule orientative de predimensionare rapidă a diverselor tipuri de colectori solari, fiind cu atât mai utile cu cât, de regulă, asemenea valori nu sunt indicate de firmele producătoare.

Considerând pentru perioada iunie – iulie, o valoare medie zilnică a intensității radiației solare, de 500W/m^2 , cea ce reprezintă o valoare de vârf pentru cele mai calde zile ale anului și nu o medie, nici măcar pentru cele mai calde luni ale anului, cel puțin raportat la condițiile climatice din România, se obțin următoarele valori ale randamentelor medii zilnice ale diferitelor tipuri de colectori solari:

- $\eta=60\%$ pentru colectori plani;
- $\eta=76\%$ pentru colectori cu tuburi vidate și pentru colectori cu tuburi termice.

Considerând tot pentru perioada iunie – iulie, o valoare medie zilnică a intensității radiației solare de 450W/m^2 , ceea ce reprezintă o valoare mai apropiată de condițiile medii din România, se obțin următoarele valori ale randamentelor medii zilnice ale diferitelor tipuri de colectori solari:

- $\eta=67\%$ pentru colectori plani;
- $\eta=84\%$ pentru colectori cu tuburi vidate și pentru colectori cu tuburi termice.

Valorile conforme cu realitatea, ale acestor randamente, confirmă încă odată în plus, că ipotezele considerate în calculele prezentate, ca și valorile obținute pentru sarcinile termice unitare medii ale diverselor tipuri de colectori solari sunt corecte.