

Utilizarea energiei solare pentru incalzirea spatiilor si prepararea apei calde de consum. Evaluarea performantelor energetice

Using solar energy for space heating and hot water consumption.
Assessment of energy performance

¹Prof. dr. ing. Florin Iordache, ²Drd. Ing. Mugurel Talpiga,
³Drd. Ing. Eugen Mandric

^{1, 2, 3} Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti
Facultatea de Inginerie a Instalatiilor
Bdul. Pache Protopopescu, 66, Romania
fliord@yahoo.com

Rezumat

In lucrare se prezinta schematic procedura de evaluare a performantelor energetice lunare si anuale ale instalatiilor de captare si utilizare a instalatiilor solare pentru incalzirea spatiilor si prepararea apei calde de consum.

Performantele energetice reflectate prin randamentul de captare al buclei solare si gradul de acoprire energetica oferit consumatorului deservit sunt cei doi indicatori de baza care sunt prezentati grafic lunar si pe intreg anul. Rezultatele constand in energiile incidente, captate si cerute de consumator sunt si ele prezentate grafic lunar.

Tot in cadrul lucrarii se face si o scurta analiza asupra parametrilor constructiv-functionali ai sistemului in asamblul sau, asupra celor 2 indicatori de performanta energetica ai sistemului.

Cuvinte cheie: performanta energetica, instalatii solare, energie incidenta

Abstract

The paper presents a procedure for assessing the monthly and annual energy performance of installations for the capture and use of solar installations for space heating and hot water consumption. The energy performance reflected by the solar loop yield and the energy coverage offered to the serviced customer are the two basic indicators that are presented monthly and on the whole year. The results of incident energy, captured and demanded by the consumer are also presented graphically on a monthly basis. Also in the paper is a brief analysis of the constructive-functional parameters of the system as a whole, on the two energy performance indicators of the system.

Key words: energy performance, solar installations, incidence energy

1. Introducere

Captarea si utilizarea energiei solare sub forma de energie termica, in deservirea cladirilor rezidentiale sau nerezidentiale pentru prepararea apei calde de consum sau de incalzire a spatiilor cladirii este de acum o o solutie la care se apeleaza din ce in ce mai des in ultimul timp.

Este oportuna in consecinta lamurirea unor aspecte teoretice care privesc energetica acestor sisteme neconventionale, aspecte referitoare la parametrii de temperatura din cadrul sistemului, la puterile termice captate, transferate si livrate consumatorului si bineinteles la energiile termice captate, consumate si livrate de sistemul clasic.

In final se urmareste evaluarea performantelor energetice ale sistemului neconventional de utilizare a energiei solare, performante reprezentate prin randamentul de captare si prin gradul de acoperire energetica oferit consumatorului deservit.

2. Descrierea schemelor de baza a sistemelor neconventionale pentru prepararea apei calde si pentru incalzirea spatiilor

In fig. 1 se prezinta schema de principiu a sistemului neconventional de prepararea a agentului termic pentru incalzirea spatiilor. Se remarca 3 sectiuni distincte in acesta schema : sectiunea de captare a energiei solare si livrare a energiei termice catre agentul incalzit al consumatorului, sectiunea clasica de preparare a agentului termic si livrare a energiei termice catre agentul incalzit al consumatorului si sectiunea consumatorului continand agentul termic incalzit (utilizat in instalatia de incalzire a consumatorului).

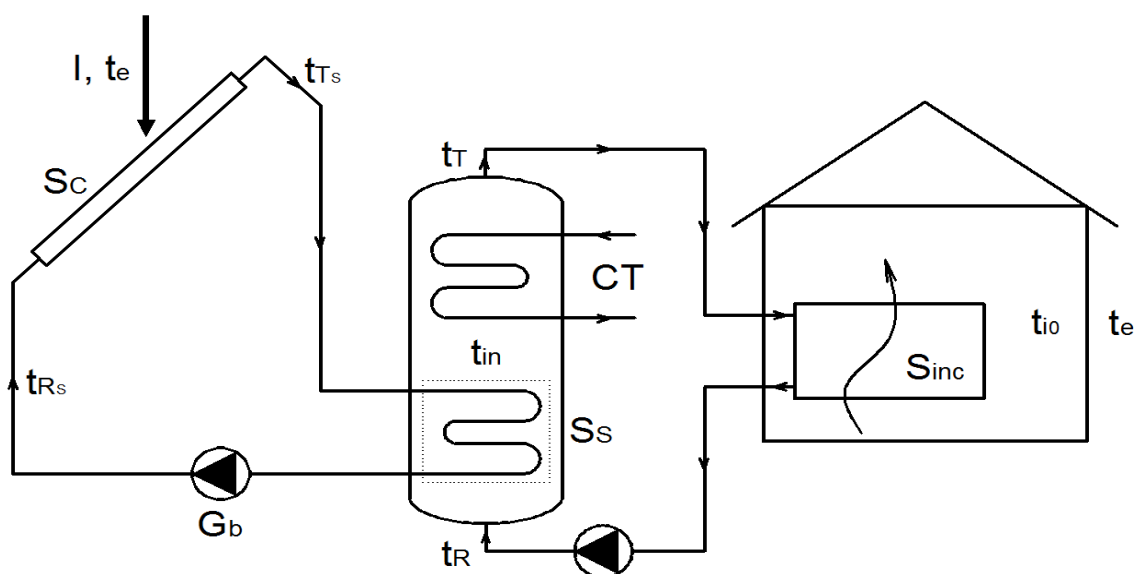


Fig.1

Schimbatoarele de caldura aferente sistemului solar si sistemului clasic sunt inseriate din punct de vedere al puterilor termice livrate, solarul reprezentand treapta 1-a, de temperatura joasa, iar clasicul, treapta 2-a, de temperatura ridicata. Apa rece isi ridica temperatura mai intai datorita schimbatorului de treapta 1, iar in continuare isi atinge temperatura de livrare catre consumator datorita schimbatorului de treapta 2-a la nivelul temperaturii de reglaj termic calitativ necesar conditiilor climatice existente.

In fig. 2 se prezinta schema de principiu a sistemului neconventional de preparare a agentului termic pentru prepararea apei calde de consum. Structural schema este asemanatoare. Sistemul solar realizeaza preincalzirea agentului termic al consumatorului prin schimbatorul de caldura de treapta 1, iar sistemul clasic realizeaza continuarea incalzirii agentului termic aferent consumatorului pana la atingerea temperaturii de livrare a apei calde de consum.

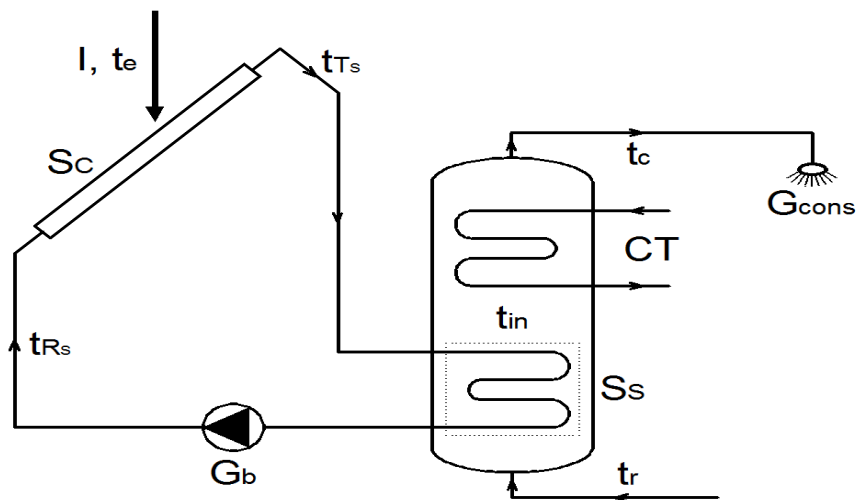


Fig. 2

Evident si aici se disting 3 sectiuni: sectiunea solara, sectiunea clasica si sectiunea consumatorului. Sectiunea solara asigura preincalzirea agentului termic din instalatia de incalzire a consumatorului, iar sectiunea clasica permite aducerea temperaturii agentul termic al consumatorului la valoarea necesara livrarii apei calde.

3. Bilanturi termice. Relatii teoretice de lucru.

S-a incercat in primul rand stabilirea unei relatii care sa permita evaluarea fluxului termic livrat de sectiunea solara, sectiune compusa din bucla continand suprafata de captare si schimbatorul de caldura care permite livrarea puterii termice catre agentul termic al consumatorului. In acest sens s-a cautat eliminarea temperaturilor agentului termic vehiculat in bucla solara. Utilizand relatiile prezentate in [1], in capitolele referitoare la captatoare solare ca echipamente si sisteme cu captatoare solare, si mai departe facand cuplajul cu instalatia consumatorului s-a obtinut pentru randamentul sistemului neconventional expresia:

$$\eta_{CC} = F_R^{BC} \cdot [(\alpha \cdot \tau) - k_C \cdot F_{INC} \cdot \beta_{REF}] \quad (1)$$

si s-a tinut seama ca doar o parte din acest consum este preparat cu ajutorul sistemului de utilizare a energiei solare. Astfel parametrii din relatia (1) au expresiile:

$$F_R^{BC} = \left(\frac{1}{F_R^B} + \frac{0.43 \cdot k_C \cdot S_C}{G_{CONS}} \right)^{-1}$$

unde:

$$F_R^B = \frac{a \cdot \rho \cdot c}{k_C} \cdot (1 - E_{CS}) \quad (2)$$

si :

$$a = G_C / S_C$$

$$E_{CS} = \frac{E_C \cdot (1 - E_S) + E_S \cdot (1 - E_C)}{1 - E_C \cdot E_S}$$

$$E_C = \exp\left(-\frac{F' \cdot k_C}{a \cdot \rho \cdot c}\right) \quad (3)$$

$$E_S = \exp\left(-\frac{k_S}{a \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{S_S}{S_C}\right)$$

In cazul utilitatii – incalzirea spatiilor :

$$F_{INC} = \frac{t_{R0} - t_{e0}}{t_{i0} - t_{e0}}$$

sau:

$$F_{INC} = 1 + \frac{H}{k_{INC} \cdot S_{INC}} - \frac{0.43 \cdot H}{G_{INC}} \quad (4)$$

si

$$\beta_{REF} = \frac{t_{i0} - t_e}{I} \quad (5)$$

In cazul utilitatii - prepararea a apei calde de consum :

$$F_{INC} = 1 \quad (6)$$

si :

$$\beta_{REF} = \frac{t_r - t_e}{I} \quad (7)$$

In acest fel prin bucla solara se face direct legatura intre parametrii climatici externi si o temperatura aferenta consumatorului, mai exact, temperature interioara

Utilizarea energiei solare pentru incalzirea spatiilor si prepararea apei calde de consum.
Evaluarea performantelor energetice

normata in cazul incalzirii spatiilor si temperatura de intrare a agentului termic al consumatorului in schimbatorul de caldura de treapta 1-a, corespunzatoare sectiunii solare, in cazul prepararii apei calde.

Se tine seama de importanta corelatiei dintre suprafata de captare si volumul de acumulare prin intermediul factorului de utilizare a energiei captate – fu, relatia (8) :

$$f_u = 0.35 + 0.71836 \cdot \exp \left[-0.1 / \left(\frac{V_a}{75 \cdot S_C} \right) \right] \quad (8)$$

Puterea termica livrata de bucla solara consumatorului se poate stabili acum cu :

$$P_C = S_C \cdot I \cdot \eta_{CC} \cdot f_u \quad (9)$$

In cazul utilitatii - incalzirea spatiilor cladirii trebuie sa se ia in considerare baza de dimensionare a instalatiei de incalzire a consumatorului. Se face referire la temperaturile nominale ale agentului termic luate in considerare la dimensionarea instalatiei de incalzire a consumatorului, adica parametrii nominali ai instalatiei de incalzire a consumatorului cum ar fi : t_{T0} , t_{R0} , t_{i0} , t_{e0} sau/si la elemente constructive pentru instalatia de incalzire si pentru cladire: S_{INC} , k_{INC} , G_{CONS} , H . Astfel puterea termica solicitata de consumator pentru incalzirea spatiilor se stabileste cu :

$$P_{CONS} = H \cdot (t_{i0} - t_e) \quad (10)$$

Unde H este transmitanta cladirii care, daca se cunoaste suprafata instalatiei de incalzire a consumatorului, S_{INC} , se poate stabili utilizand relatia :

$$H = k_{INC} \cdot S_{INC} \cdot \frac{t_{m0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \quad (11)$$

Din puterea termica necesara consumatorului, bucla solara acopera numai o cota parte desemnata prin gradul de acoperire energetica:

$$G_{AE} = \frac{P_C}{P_{CONS}} \quad (12)$$

O metoda lunara ar trebui sa ia in considerare radiatia solara medie lunara, temperatura exterioara medie lunara. Astfel, in cazul incalzirii spatiilor:

- Se stabileste parametrul sintetic ce contine ansamblul temperaturilor si radiatiei solare, β_{REF} , relatia (5);

- Se stabileste randamentul buclei de captare utilizand relatia (1);
- Se stabileste puterea termica captata de bucla solara P_C , relatia (9);
- Se stabileste gradul de acoperire energetica solar, relatia (12) si in continuare consumurile energetice lunare si anuale mentionate;

In cazul utilitatii – prepararea apei calde de consum puterea ceruta de consumator se poate stabili cu :

$$P_{CONS} = G_{CONS} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_c - t_r) \quad (13)$$

Din puterea termica necesara consumatorului, bucla solara acopera numai o cota parte desemnata prin gradul de acoperire energetica, relatia (12). Se pot stabili efectiv: randamentul buclei solare de captare, gradul de acoperire energetica si energiile lunare sau anuale, incidente, captate, si consumate. O metoda lunara ar trebui sa ia in considerare radiatia solara medie lunara, temperatura exterioara medie lunara, temperatura apei reci medii lunare si temperatura apei calde considerate in reglementarile in vigoare. Astfel in cazul prepararii apei calde :

- Se stabileste parametrul sintetic ce contine ansamblul temperaturilor si radiatiei solare, β_{REF} , utilizand relatia (7);
- Se stabileste randamentul buclei de captare utilizand relatia (1);
- Se stabileste puterea termica captata de bucla solara P_C , relatia (9);
- Se stabileste gradul de acoperire energetica solar, relatia (12), tinand in seama ca puterea ceruta de consumator se stabileste de aceasta data cu relatia (13) si in continuare consumurile energetice lunare si anuale mentionate;

4. Evaluarea performantelor energetice. Aspecte practice

Pentru evaluarea performantelor energetice ale unei instalatii solare care deservește un consumator pentru prepararea apei calde sau pentru incalzirea spatiilor trebuie in primul rand prelevate o serie de date constructiv functionale ale instalatiei, cum ar fi :

- Suprafata captatoarelor solare;
- Coeficientul global de transfer termic al captatorului solar;
- Coeficientul de absorbtie al suprafetei placii captatoare;
- Coeficientul de transparenta al elementului vitrat al captatorului;
- Suprafata serpentinei aferente buclei de captare;
- Debitul de agent termic in bucla de captare solara;

o pentru utilitatea de incalzire a spatiilor :

- Suprafata de instalatie de incalzire;
- Temperaturile nominale de tur si retur ale agentului termic din instalatia de incalzire;

Utilizarea energiei solare pentru incalzirea spatiilor si prepararea apei calde de consum.
Evaluarea performantelor energetice

- Temperaturile nominale interioara si exterioara;

o pentru prepararea apei calde :

- Consumul zilnic de apa calda al consumatorului;
- Temperaturile de lucru ale apei calde si apei reci;

O a doua categorie de date necesara este cea a datelor privind temperaturile exterioare si intensitatiile radiatiei solare medii lunare.

Urmeaza o prima etapa de calcule privind evaluarea parametrilor de lucru intermediari aferenti diverselor sectiuni ale sistemului dupa care se trece efectiv la stabilirea randamentului sistemului de captare solara, a puterii termice captate, a puterii termice solicitate de consumator si a gradului de acoperire energetica oferit de sistemul neconventional utilizand energia solara pe fiecare luna din an.

In final se trece la evaluarea energiilor incidenta, captata si consumata pe fiecare din lunile anului si pe intreg anul in ansamblu.

Rezultatele obtinute pot fi prezentate grafic pentru a obtine o imagine sintetica de ansamblu a performantelor energetice ale sistemului neconventional de captare si utilizare a energiei solare pentru consumatori rezidentiali sau nerezidentiali.

Se prezinta cu titlul de exemplu cate 2 tipuri de diagrame pentru utilitatea incalzirea spatiilor si respectiv prepararea apei calde.

Pentru incalzirea spatiilor diagrama prezentata in fig. 3 contine o suita de 3 bare reprezentative pentru fiecare luna. Bara albastra reprezinta energia incidenta lunara pe suprafata de captare, bara rosie reprezinta energia captata si livrata lunar de sistemul solar, iar bara verde energia necesara lunar consumatorului.

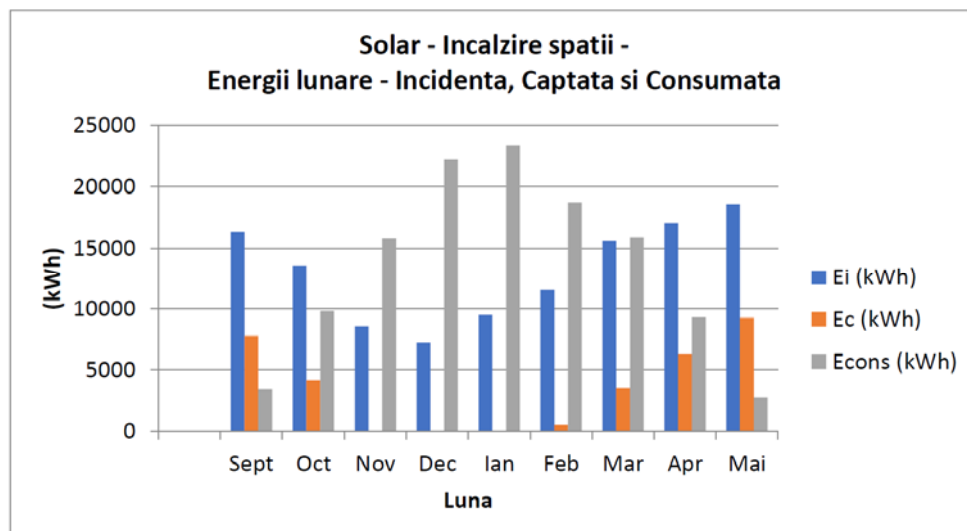


Fig. 3

În fig. 4 se prezintă o suită de 2 bare reprezentative pentru fiecare din lunile sezonului rece. Bara albastră reprezintă randamentul sistemului de captare și livrare iar bara roșie reprezintă gradul de acoperire energetică oferit consumatorului. Ultima zonă din suită corespunde întregului sezon rece. În lunile noiembrie, decembrie și ianuarie instalația solară nu a deservit consumatorul.

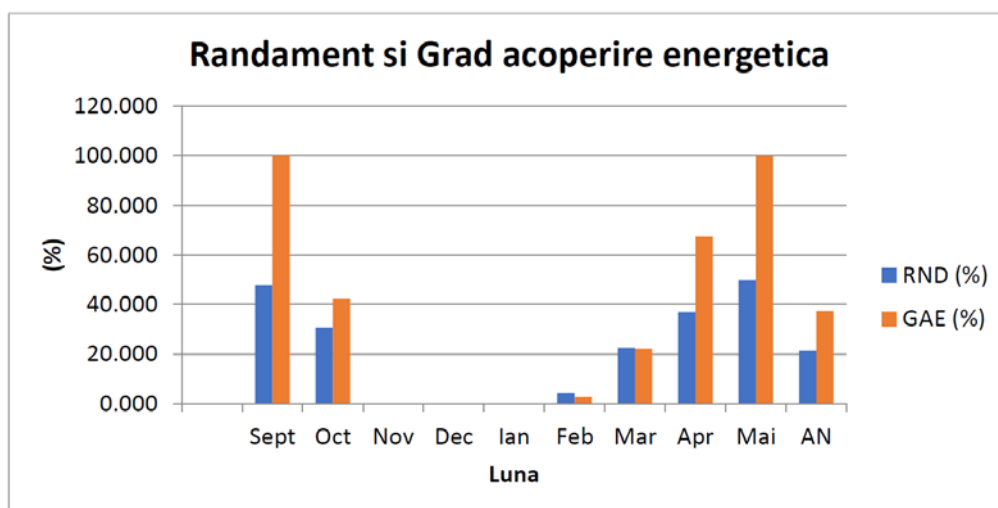


Fig. 4

În ceea ce privește prepararea apei calde diagramele din figurile 3 și 4 capătă aspectul din figurile 5 și 6 :

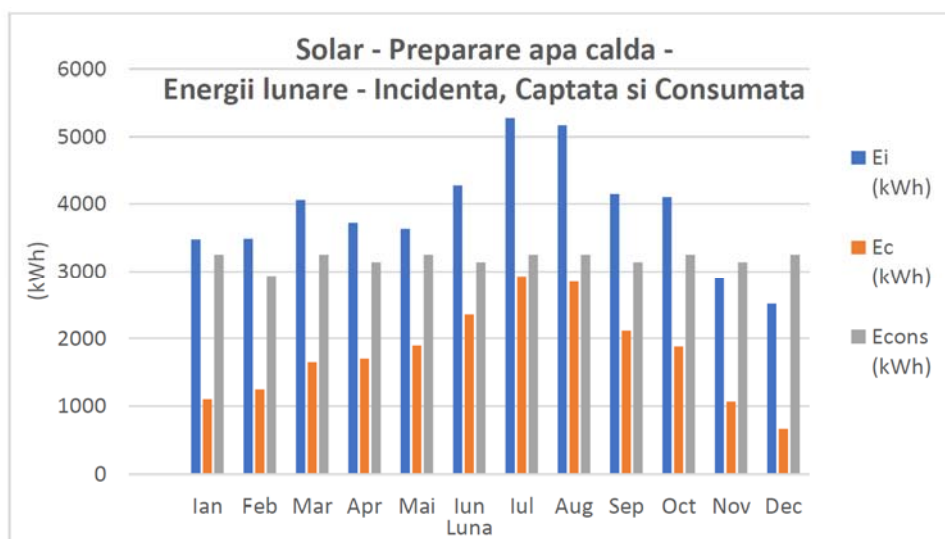


Fig. 5

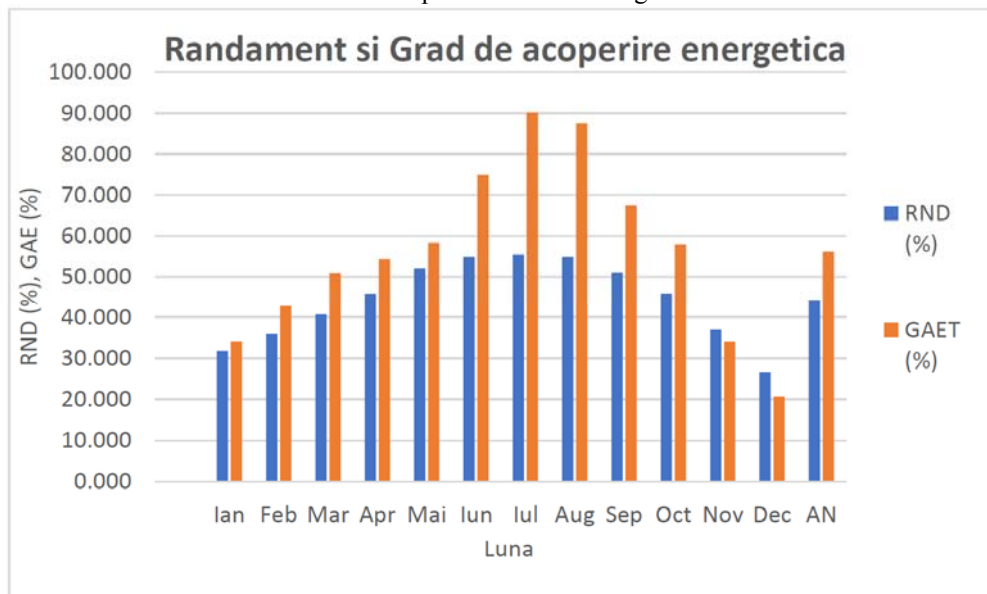


Fig. 6

5. Analiza a parametrilor constructiv-functionali

Procedura pusa la punct si prezentata in lucrare, permite efectuarea unei analize asupra influentei pe care diversii parametrii constructivi-functionali ai sistemului o au asupra performantelor energetice aferente acestora. Parametrii considerati importanti in acest sens pentru utilitatea de incalzire a spatiilor :

- coeficientul global de transfer termic al captatorilor solari – k_C ;
- setul temperaturilor de nominale pentru dimensionarea instalatiei de incalzire centrala – t_{T0}/t_{R0} ;
- ponderea suprafetei de captare solara fata de suprafata instalatiei de incalzire a consumatorului – S_{INC}/S_C ;
- ponderea suprafetei serpentinei buclei solare fata de suprafata de captare – S_C/S_S ;

Se prezinta in figurile 7 si 8, doar influenta parametrilor: t_{T0}/t_{R0} si S_{INC}/S_C asupra performantelor sistemului :

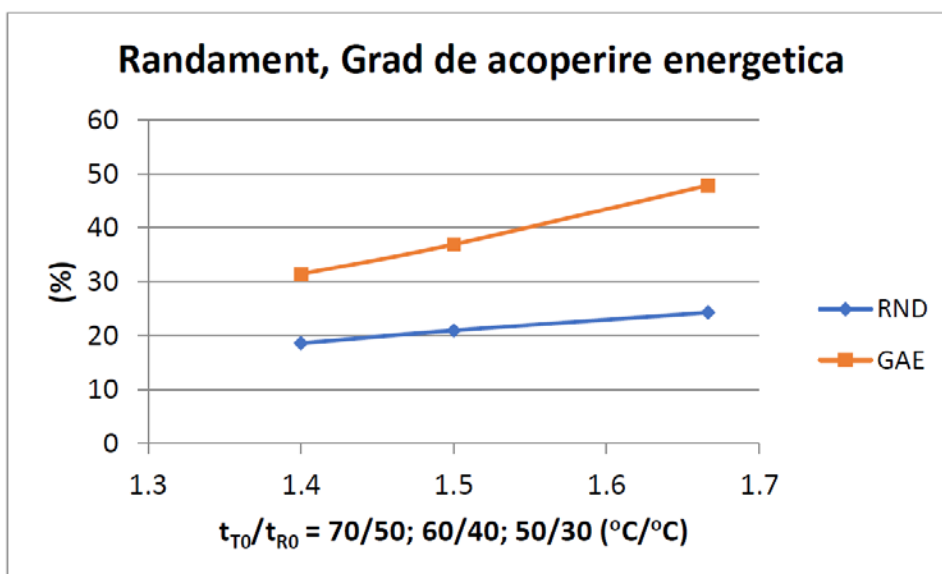


Fig. 7

Din fig. 7 se observa ca diminuarea temperaturilor nominale de dimensionare a instalatiei de incalzire centrala are drept consecinta cresterea atat a randamentului instalatiei solare cat si a gradului de acoperire energetica pe care aceasta poate sa o ofere consumatorului. Din fig. 8 se observa ca diminuarea suprafetei de captare are drept consecinta, dupa cum este de asteptat, scaderea gradului de acoperire energetica insa si o usoara crestere a randamentului de captare.

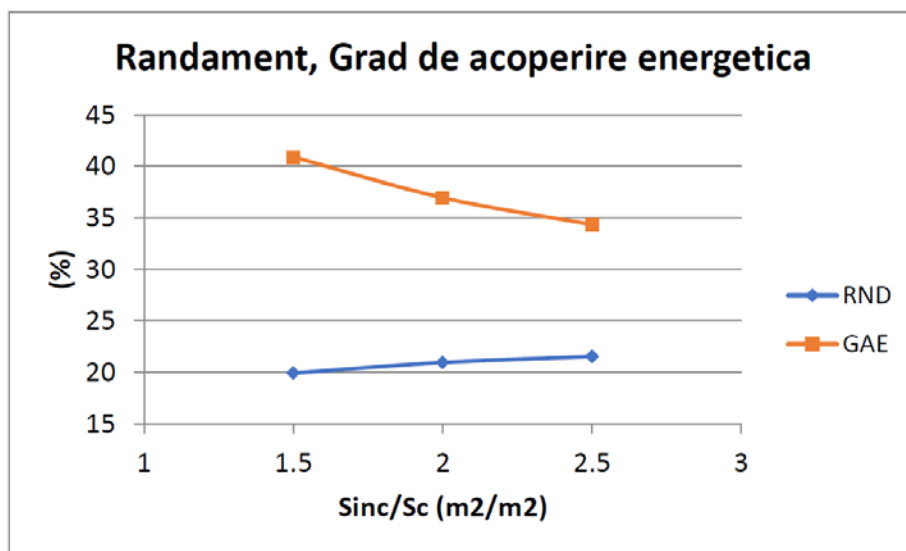


Fig. 8

Pentru utilitatea de preparare a apei calde de consum parametrii importanti sunt:

- coeficientul global de transfer termic al captatorilor solari – k_C ;
- consumul zilnic pe persoana de apa calda;

Utilizarea energiei solare pentru incalzirea spatiilor si prepararea apei calde de consum.
Evaluarea performantelor energetice

- suprafata de captare solara ce revine pe persoana – S_C/N_{PERS} ;
- ponderea suprafetei serpentinei buclei solare fata de suprafata de captare– S_C/S_S ;

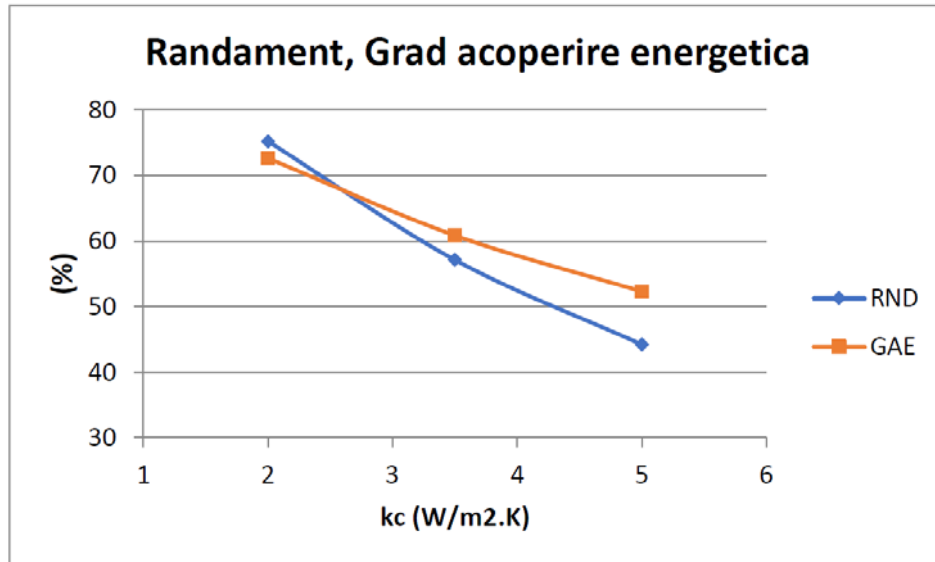


Fig. 9

Din fig. 9 se observa importanta calitatii tehnologiei de realizare a captatorilor solari atat asupra randamentului acestora cat si a gradului de acoperire energetica.

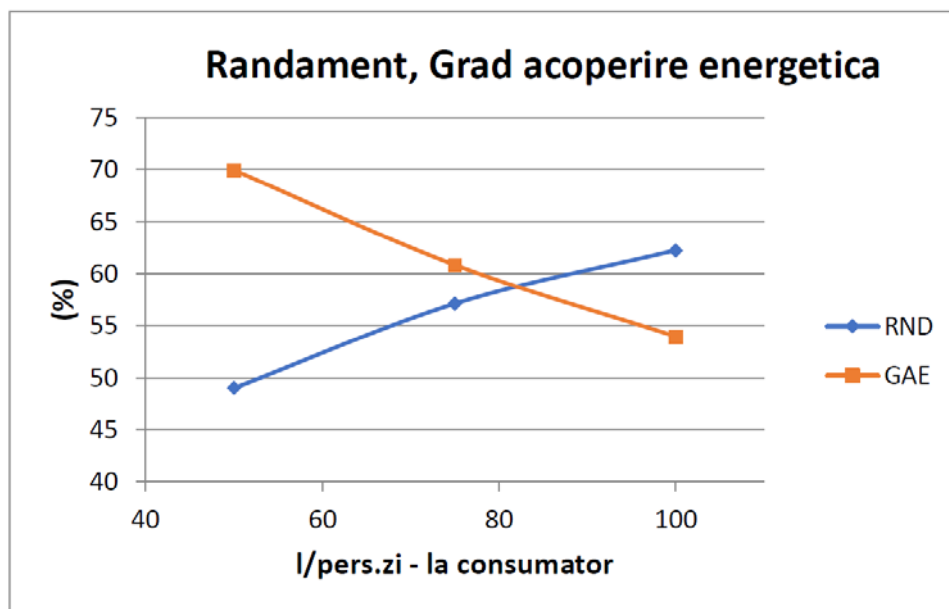


Fig. 10

Din fig.10 se observa cum cresterea necesarului de energie la consumator are drept consecinta scaderea gradului de acoperire energetica insa asociata cu cresterea randamentului buclei de captare

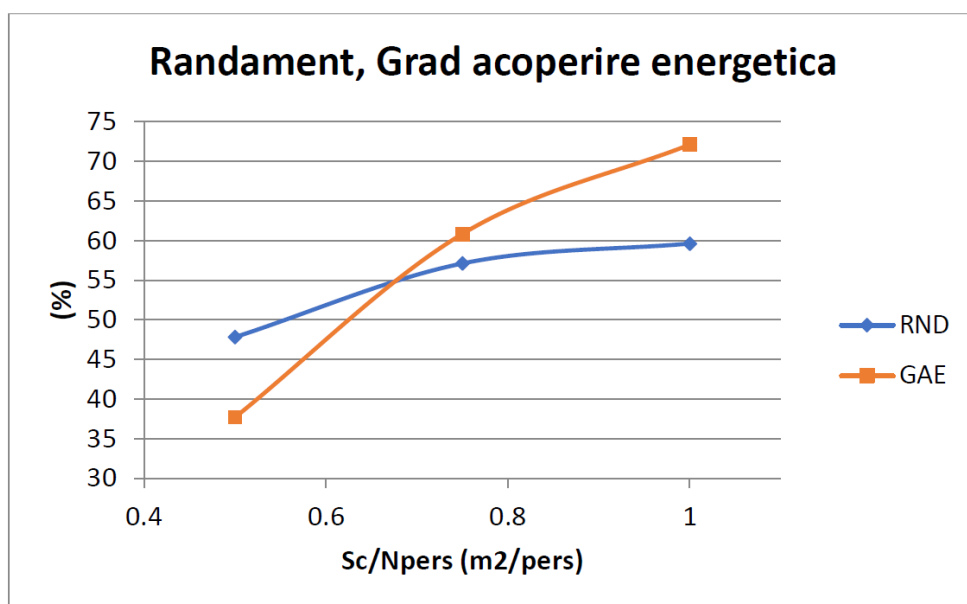


Fig. 11

In fig. 11 se prezinta influenta pozitiva pe care o are cresterea suprafetei specifice de captare atat asupra gradului de acoperire energetica cat si asupra randamentului buclei.

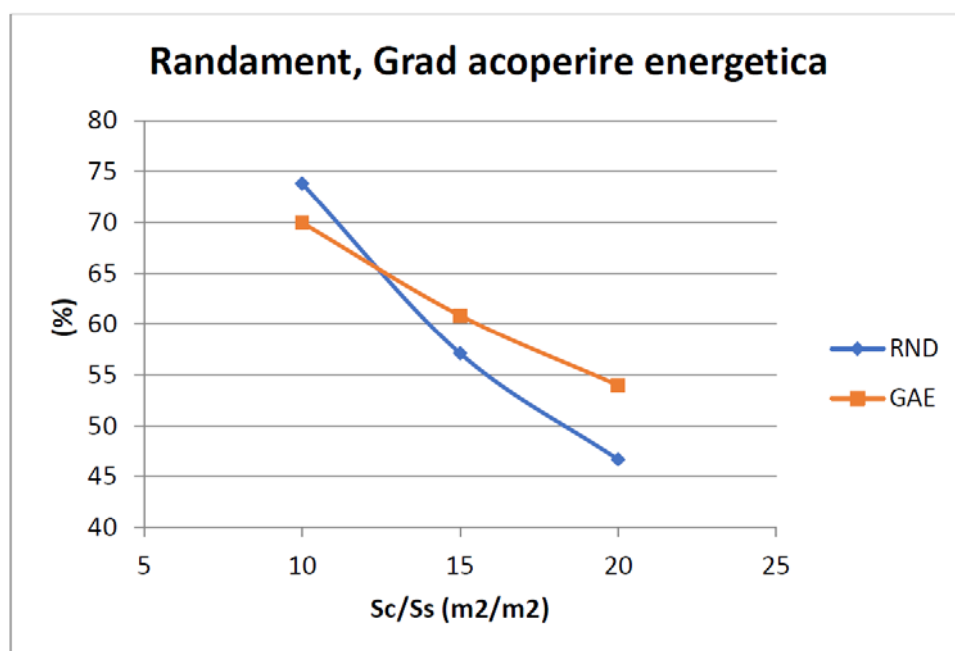


Fig. 12

In fig. 12 se prezinta influenta negativa a scaderii suprafetei schimbatorului de caldura aferent buclei solare atat asupra randamentului de captare cat si asupra gradului de acoperire energetica.

6. Concluzii

Pentru alcatuirea unei proceduri de evaluare a performantelor energetice a unei instalatii de captare si utilizare a energiei solare pentru prepararea apei calde de consum sau/si incalzirea spatiilor cladirii a fost necesara structurarea sistemului in sectiuni: sectiunea de captare si livrare a energiei termice de catre sistemul solar, sectiunea sistemului classic si sectiunea consumatorului; Sectiunea sistemului solar este compusa din bucla de captare solara, care este alcatuita ca echipamente termice din suprafata de captare si din schimbatorul de caldura de treapta 1. Pentru aceasta sectiune s-a stabilit o caracteristica termica reprezentata din curba randamentului sistemului.

Al doilea element important a fost stabilirea unei metode practice, aproximative, simplificate, cu grad de precizie ridicat, pentru evaluarea temperaturilor de reglaj termic calitativ in cazul utilitatii incalzirea spatiilor cladirii.

Al treilea element important realizat il reprezinta bilantul termic la nivelul schimbatorului de caldura al buclei solare in vederea stabilirii expresiei randamentului sistemului neconventional. Randamentul acestui sistem este raportul dintre puterea termica livrata la capatul final a sistemului si energia incidenta pe suprafata de captare, capatul de intrare al sistemului. Cu cat sistemul considerat cuprinde mai multe componente cu atat coeficientii din expresia randamentului vor contine mai multe caracteristici constructiv-functionale corespunzatoare componentelor considerate.

Lista de Notatii

α – coeficientul de absorbtie al placii captatorului solar, -;
 τ - coeficientul de transparenta al captatorului solar, -;
 k_C – coeficientul global de transfer termic al captatorului solar, $W/m^2.K$;
 k_S – coeficientul global de transfer termic al schimbatorului de caldura al buclei solare din rezervorul de acumulare, $W/m^2.K$;
 t_e – temperatura exterioara, $^{\circ}C$;
 t_{e0} – temperatura exterioara de calcul, $^{\circ}C$;
 t_{i0} – temperatura interioara de calcul, $^{\circ}C$;
 t_{T0} – temperatura nominala a agentului termic la intrarea in instalatia de incalzire, $^{\circ}C$;
 t_{R0} – temperatura nominala a agentului termic la iesirea din instalatia de incalzire, $^{\circ}C$;
 t_{m0} – temperatura medie nominala a agentului termic din instalatia de incalzire, $^{\circ}C$;
 t_r – temperatura apei reci, $^{\circ}C$;
 t_c – temperatura apei calde, $^{\circ}C$;
 I – intensitatea radiatiei solare, W/m^2 ;

ρ - densitatea agentului termic, kg/m^3 ;
 c – caldura specifica a agentului termic, J/kg.K ;
 a – debitul specific de agent termic prin captatorii solari, $\text{m}^3/\text{s.m}^2$;
 β_{REF} – variabila sintetica rezultanta a parametrilor de temperatura si radiatie solara care solicita bucla solara, $\text{m}^2.\text{K/W}$;
 η_{CC} - randamentul buclei solare, -;
 F' – factorul geometric de corectie al captatorilor solari. -;
 F_{INC} – factor adimensional de corectie, -;
 F_{R}^{B} – factor de corectie a fluxului termic captat de bucla solara, -;
 F_{R}^{BC} – factor de corectie a fluxului termic captat de sistemul compus din bucla solara si consumator, -;
 S_{C} – suprafata de captare solara, m^2 ;
 S_{S} – suprafata schimbatorului de caldura solar din rezervorul de acumulare, m^2 ;
 S_{INC} – suprafata instalatiei de incalzire a consumatorului, m^2 ;
 k_{INC} – coeficientul global de transfer termic al suprafetei de incalzire a consumatorului, $\text{W/m}^2.\text{K}$;
 V_{a} – volumul rezervorului de acumulare din bucla solara, m^3 ;
 E_{C} – modulul termic al suprafetei de captare solara, -;
 E_{S} – modulul termic al suprafetei schimbatorului de caldura al buclei solare, -;
 E_{CS} – modulul termic al buclei de captare solara, -;
 G_{C} – debitul de agent termic din bucla solara, m^3/s ;
 P_{C} – puterea termica captata de bucla solara, W ;
 G_{CONS} – debitul de apa calda de consum / debitul de agent termic din instalatia de incalzire a consumatorului, l/h ;
 P_{CONS} – puterea termica solicitata de consumator, W ;
 G_{AE} – grad de acoperire energetica al buclei solare, -;
 H – transmitanta totala a cladirii, W/K ;
 f_{u} – factor de utilizare a energiei termice captate de bucla solara, -;

Bibliografie

1. Comportamentul dinamic al echipamentelor si sistemelor termice, editia III-a – Florin Iordache – pag 56-63 si pag. 142-148, editura Matrixrom, Bucuresti, 2008;
2. Echipamente si sisteme termice. Metode de evaluare energetica si functionala (culegere de articole) – Florin Iordache – pag. 18-28, editura Matrix Rom, Bucuresti 2017;
3. Solar Engineering of Thermal Processes – Fourth Edition – John A. Duffie, William A. Beckman – John Wiley & Sons