

Sistem sursa utilizand energia solara si pompa de caldura pentru incalzirea unei cladiri. Analiza energetica

Source system using solar energy and heat pump to heat a building. Energy analysis

prof. dr. Ing. Florin Iordache¹, drd. ing. Mugurel Talpiga²

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

Rezumat

Lucrarea de fata urmareste analiza energetica a unui sistem neconventional compus dintr-o bucla de captare a energiei solare legata in paralel cu o pompa de caldura, ambele pompano puteri termice care se insumeaza in contul agentului termic vehiculat in instalatia de incalzire centrala a unei cladiri. In lucrare se prezinta procedura de evaluare a performantelor energetice ale acestui sistem utilizand energia solara si energia mediului exterior si se realizeaza o aplicatie pe un studiu de caz. Rezultatele sunt prezentate tabelar si grafic in cateva diagrame. In final se fac aprecieri asupra parametrilor importanti capabili sa conduca la cresterea performantelor energetice aferente acestor tipuri de sisteme de utilizare a surselor regenerabile.

Cuvinte cheie : energie solara, pompe de caldura, surse regenerabile

Abstract

The present paper follows the energy analysis of an unconventional system consisting of a solar energy capture loop connected in parallel with a heat pump, both pumping thermal energies that are summed up in the account of the thermal agent circulated in the central heating installation of a building. The paper presents the procedure for assessing the energy performance of this system using solar energy and the energy of the external environment, and an application is made on a case study. The results are presented tabularly and graphically in some diagrams. Finally, we assess the important parameters able to increase the energy performance of these types of systems for the use of renewable sources.

Keywords: solar energy, heat pumps, renewable sources

1. Introducere

Lucrarea de fata trateaza ca si [4] problema stabilirii metodei de evaluare a performantelor energetice a unui sistem sursa neconventional de preparare a agentului termic pentru incalzirea unei cladiri. Sistemul sursa neconventional este compus din bucla de captare solara si pompa de caldura ca si in [4], insa de aceasta data bucla

solara si pompa de caldura sunt componente legate in paralel pe circuitul agentului termic vehiculat in instalatia de incalzire a cladirii. Pompa de caldura considerata este o pompa cu compresie de tip aer-apa. Sistemul complet presupune desigur si o sursa clasica (centrala termica) introdusa si ea in paralel fata de cele doua mentionate, pe circuitul agentului termic din instalatia de incalzire a consumatorului. Pentru a se oferi o functionare cat mai eficienta a componentei solare si pompei de caldura instalatia de incalzire a cladirii este o instalatie de joasa temperatura de pardoseala.

2. Descrierea sistemului. Modelarea proceselor de transfer. Procedura de evaluare

Sistemul sursa se compune din 2 subsisteme neconventionale, primul bucla solara compusa din suprafata de captare si schimbatorul de caldura imersat intr-un rezervor de acumulare la partea de jos si reprezentand prima treapta de incalzire a agentului termic din instalatia de incalzire a cladirii. La mijlocul rezervorului de acumulare sau in partea superioara a lui se gaseste imersat condensatorul pompei termice cu compresie de tip aer-apa. Vaporizatorul pompei termice extrage caldura din aerul exterior, fiind o baterie cu aripioare transversale. Instalatia de incalzire centrala a cladirii este de tip de joasa temperatura de pardoseala, nivelul scazut de temperatura favorizand captarea de energie termica prin bucla solara si captarea de energie termica din mediul exterior (fig.1).

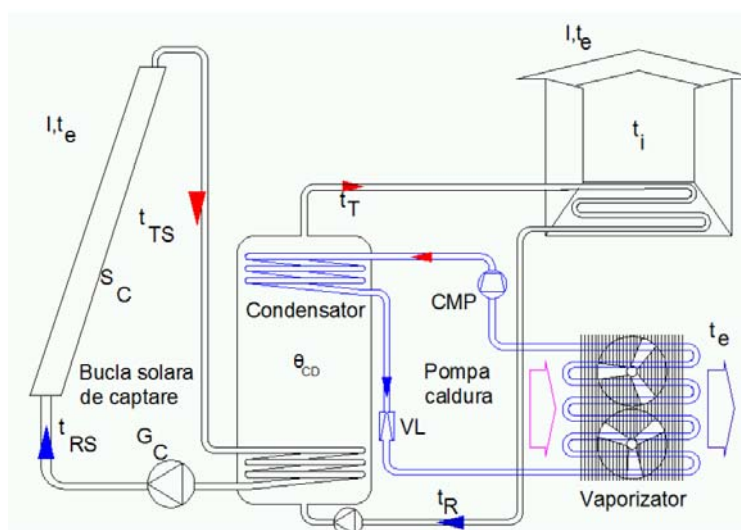


Fig.1

Puterea termică captată de suprafața colectoarelor solare este livrată agentului termic din rezervorul de acumulare prin schimbatorul de caldura imersat. In continuare, prin condensatorul pompei de caldura se adauga o noua transa de putere termica care conduce la cresterea temperaturii agentului termic din instalatia de incalzire centrala a cladirii. Aceasta a doua transa este compusa in principal din puterea termica absorbita la vaporizatorul pompei de caldura si dintr-o cota mica

Sistem sursa utilizand energia solara si pompa de caldura pentru incalzirea unei cladiri. Analiza energetica

provenita din energia electrica furnizata motorului compresorului pompei termice. Instalatia de incalzire centrala a cladirii preia suma celor doua puteri termice mentionate si o livreaza cladirii prin intermediul suprafetei de incalzire mentinand temperatura interioara pe valoarea normata, t_{i0} . Dat fiind variatia permanenta a conditiilor climatice in cadrul sezonului rece al anului, puterea termica livrata de rezervorul de acumulare este si ea reglata corespunzator. Se respecta graficul de reglaj termic calitativ centralizat corespunzator (in acord cu temperatura exterioara).

Puterea termică captată de suprafața solară se poate exprima prin [3], [4], [7]:

$$P_{CS} = S_c \cdot I \cdot \eta = S_C \cdot I \cdot F_R \cdot [(\alpha \cdot \tau) - k_C \cdot \beta_0] \quad (1)$$

Unde :

$$\beta_0 = \frac{t_{RS} - t_e}{I} \quad (2)$$

$$F_R = \frac{a \cdot \rho \cdot c}{k_C} \cdot (1 - E_C) \quad (3)$$

$$E_C = \exp(-NTU_C) = \exp\left(-\frac{F' \cdot k_C}{a \cdot \rho \cdot c}\right) \quad (4)$$

In continuare se poate exprima temperatura de retur din bucla solară in funcție de temperatura medie a agentului termic din secundarul schimbătorului de căldură aferent buclei solare și relațiile (1) și (2) iau formele :

$$P_{CS} = S_C \cdot I \cdot \eta = S_C \cdot I \cdot F_R^B \cdot [(\alpha \cdot \tau) - k_C \cdot \beta_B] \quad (5)$$

Unde :

$$\beta_B = \frac{t_S - t_e}{I} \quad (6)$$

$$F_R^B = \frac{\alpha \cdot \rho \cdot c}{k_C} \cdot (1 - E_{CS}) \quad (7)$$

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

$$E_S = \exp(-NTU_S) = \exp\left(-\frac{k_S}{\alpha \cdot \rho \cdot c} \cdot \frac{S_S}{S_C}\right) \quad (8)$$

Mergand pe aceeasi linie a apelarii in relatia (6) la o temperatura reprezentativa pentru consumator se trece succesiv prin niste etape de exprimare a temperaturii t_S in functie de temperatura t_R si mai departe a lui t_R in functie de t_{i0} . Rezulta in final pentru puterea termica captata si livrata de bucla solara expresia :

$$P_{CS} = S_C \cdot I \cdot \eta_{BC} = S_C \cdot I \cdot F_R^{BC} \cdot [(\alpha \cdot \tau) - k_C \cdot F_{INC} \cdot \beta_{i0}] \quad (9)$$

In care :

$$\beta_{i0} = \frac{t_{i0} - t_e}{I} \quad (10)$$

$$F_R^{BC} = \left(\frac{1}{F_R^C} + \frac{1}{F_R^B} \right)^{-1} \quad (11)$$

$$F_R^C = 2 \cdot \frac{H}{k_C \cdot S_C} \cdot \frac{t_{i0} - t_{e0}}{t_{T0} - t_{R0}} \quad (12)$$

$$F_{INC} = \frac{t_{R0} - t_{e0}}{t_{i0} - t_{e0}} \quad (13)$$

In ceea ce priveste pompa de caldura cu compresie, al carei condensator reprezinta treapta a 2-a de incalzire pentru agentul termic care circula prin instalatia de incalzire a consumatorului, se va porni de la relatia (14), care permite exprimarea puterii termice livrate la condensatorul pompei de caldura in functie de temperatura medie a agentului termic incalzit in vecinatatea condensatorului si de puterea electrica absorbita de motorul compresorului pompei de caldura. Relatia a fost stabilita in cadrul [5] si [4] :

$$P_{CD} = 0,7 \cdot \frac{\theta_{CD} + (273.15 + \Delta t)}{\theta_{CD} - t_0 + 2 \cdot \Delta t} \cdot P_{EL} \quad (14)$$

Coreland relatiile specifice pompei de caldura cu cele specifice instalatiei de incalzire centrala a cladirii rezulta in final relatia operativa de lucru :

$$COP_{CD} = \frac{t_T - C \cdot P_{CD} + 273.15 + \Delta t}{t_T - C \cdot P_{CD} + 2 \cdot \Delta t - t_e} \cdot 0,7 \quad (15)$$

In care :

$$C = \frac{1}{k_C \cdot S_C \cdot F_R^C} \quad (15)$$

Procedura practica de evaluarea a performantelor energetice presupune urmatorii pasi :

a. Se stabileste puterea termica necesara a fi livrata de instalatia de incalzire:

$$P_{INC} = H \cdot (t_{i0} - t_e) \quad (16)$$

b. Se stabileste temperatura echivalenta cu :

$$t_E = \frac{\alpha \cdot \tau}{k_C} \cdot I + t_e \quad (17)$$

c. Se stabilesc parametrii de reglaj termic calitativ al agentului termic din instalatia de incalzire a cladirii conform relatiilor:

$$t_T = \frac{t_{T0} - t_{e0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot t_{i0} - \frac{t_{T0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} t_e \quad (18)$$

$$t_R = \frac{t_{R0} - t_{e0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot t_{i0} - \frac{t_{R0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} t_e$$

d. Se stabilesc parametrii : F_R , F_R^B , F_R^C , F_R^{BC} , F_{INC} , C conform relatiilor prezentate mai inainte;

e. Se stabileste β_{i0} conform relatiei (10);

f. Se stabilesc in continuare η_{BC} , si P_{CS} conform relatiilor corespunzatoare;

g. Se stabileste P_{CD} conform :

$$P_{CD} = P_{INC} - P_{CS} \quad (19)$$

h. Se stabileste coeficientul de performanta al pompei de caldura utilizand relatia (15) pentru care puterea termica necesar a fi livrata de catre condensatorul pompei de caldura tocmai a fost stabilit.

i. Se stabileste puterea electrica preluata din retea de motorul compresorului pompei de caldura cu :

$$P_{EL} = \frac{P_{CD}}{COP_{CD}} \quad (20)$$

j. Si urmeaza in continuare stabilirea aspectelor energetice prin calcularea energiilor lunare si anuale la nivel de bucla solara, instalatie de incalzire consumator condensator pompa termica, motorul compresorului pompei de caldura si totodata gradele de acoperire energetica realizate de cele 2 componente neconventionale ale sistemului sursa descrie.

3. Studiu de caz. Analiza energetică

Pentru evaluarea necesarului de căldură al spațiului interior al clădirii, s-a definit clădirea prin factorul de cuplaj termic complex al clădirii H , care cuprinde în el: suprafața anvelopei termice a clădirii, rezistența termică medie a anvelopei clădirii, numărul de schimburi de aer cu mediul exterior și volumul spațiului climatizat. Pentru evaluarea efectivă a necesarului de căldură s-a utilizat o procedură conformă cu metodologia de evaluare a performanțelor energetice ale clădirilor, Mc001. Temperatura exterioară de echilibru, t_{e0} , este o temperatură elaborată în ipoteza neutilizării instalației de încălzire, concomitent cu realizarea unei temperaturi interioare normale pe perioada sezonului rece al anului, t_{i0} . Pentru intensitatea radiației solare utile în evaluarea aporturilor exterioare de căldură în perioada sezonului cald atât pe plan vertical (diverse orientări) și pe plan orizontal s-a utilizat Mc001, iar pentru stabilirea temperaturilor exterioare medii lunare s-a utilizat SR 4839/1997. Astfel s-a considerat o clădire rezidențială colectivă având 16 apartamente de 3 camere caracterizată de o valoare $H = 2288 \text{ W/K}$. Sezonul rece al anului s-a considerat compus din 5 perioade (lunile noiembrie, decembrie, ianuarie, februarie și martie însumând 151 zile). Pentru aceste 5 perioade ale sezonului rece s-au stabilit temperaturile exterioare, t_e , și s-au calculat temperaturile exterioare de echilibru t_{e0} .

Suplimentar a mai fost necesar a se stabili suprafața de captare a energiei solare și unghiul de înclinare al acestora, orientarea fiind spre sud. Unghiul de înclinare al captatorilor solari a fost considerat 45° și pentru aceasta înclinare s-au stabilit intensitățile globale ale radiației solare. În tabelul 1 se prezintă sintetic câteva din datele de baza aferente clădirii și instalației solare. Suprafața de captare solară a fost considerată de 320 m^2 , captatoarele solare fiind caracterizate de următorii parametrii: $F' = 0,9$, $\alpha = 0,9$, $\tau = 0,9$, $kC = 3,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Tabel 1

	zi	W/m^2	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$
luna	Nr zile	I_45_S	t_e	t_{e0}
noi	30	105	5,99	14,04
dec	31	99	0	14,3
ian	31	89	-2,15	14,39
feb	28	95	0,34	14,28
mar	31	115,5	5,61	14,06
Total	151			

Alegerea efectivă a pompei de căldură se va face pe baza valorii maxime rezultate din analiza energetică ce va fi prezentată în continuare.

În tabelul 2 se prezintă sintetic rezultatele obținute. Puterea termică livrată de bucla solară este livrată agentului termic în prima treaptă care este bucla solară și la ea

Sistem sursa utilizand energia solara si pompa de caldura pentru incalzirea unei cladiri. Analiza energetica

se adauga o a doua transa de putere termica de la condensatorul pompei de caldura tip aer-apa. În tabelul 2 alături de puteri se prezintă situația lunară a energiilor rezultate pe baza acestor puteri.

Tabel 2

	kW	kW	kW	kW	MWh	MWh	MWh	MWh	%	%	%
luna	Pinc	PCS	PCD	PEL	Einc	ECS	ECD	EEL	Gae-cs	Gae-cd	COPsy
noi	18.43	7.18	11.25	1.87	13.27	5.17	8.10	1.34	38.95	61.05	9.87
dec	32.71	0.71	32.01	6.84	24.34	0.52	23.81	5.09	2.16	97.84	4.79
ian	37.84	0.00	37.84	8.72	28.16	0.00	28.16	6.49	0.00	100.00	4.34
feb	31.90	0.26	31.64	6.67	21.44	0.17	21.26	4.49	0.81	99.19	4.78
mar	19.33	8.80	10.53	1.78	14.38	6.55	7.84	1.32	45.52	54.48	10.86
Total					101.58	12.41	89.17	18.72	12.22	87.78	5.43

O imagine mai clară o avem din reprezentarea grafica a valorilor prezentate in tabelul 2.

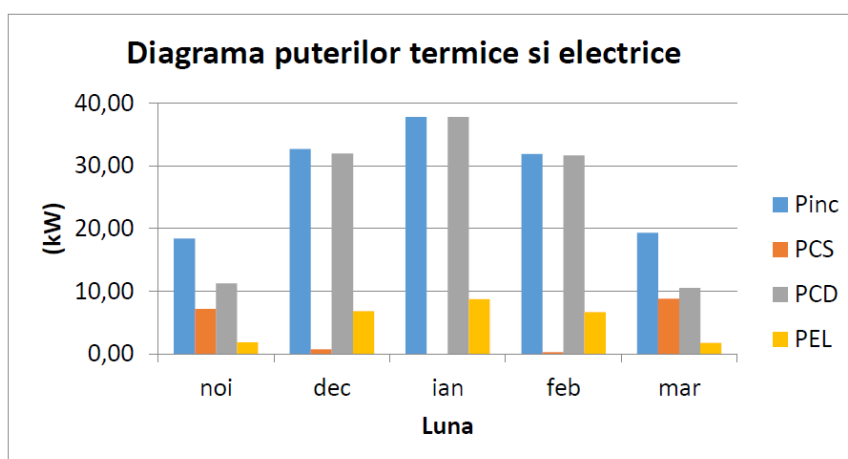


Fig. 2

In fig. 2 se prezinta diagrama puterilor termice de la bucla solara si de la condensatorul pompei de caldura si a energiei electrice consumate de pompa de caldura. Se observa ca in perioada de tranzitie energia solara apare cu o cota vizibila, iar in perioada de mijloc de sezon rece, pompa de caldura acoperind marea parte a necesarului de caldura al cladirii.

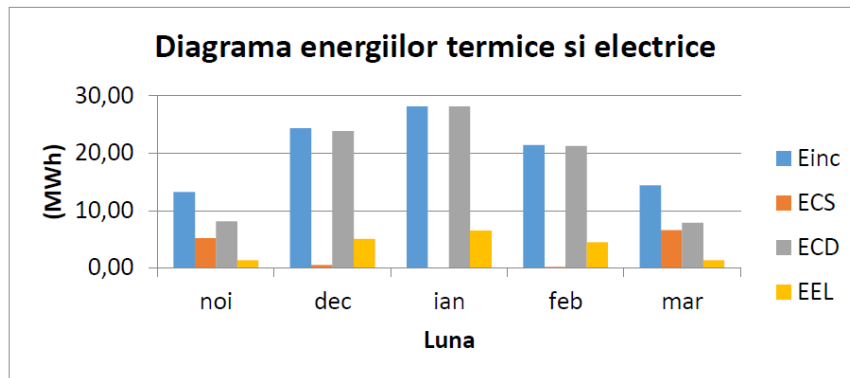


Fig. 3

In fig.3 se prezinta diagrama energiilor termice si electrice furnizate de sistemul neconventional de utilizare a surselor regenerabile. Se observa la fel ca si din fig. 2 contributia majora a pompei de caldura fata de bucla solara si de asemenea cota de contributie a energiei electrice.

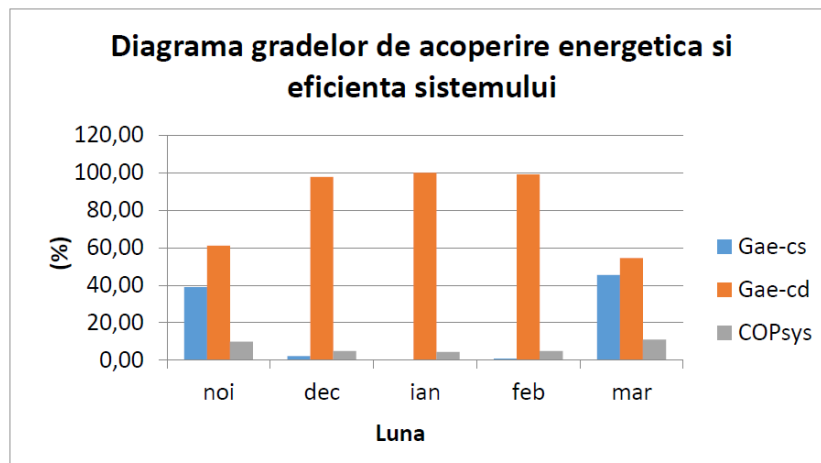


Fig. 4

In fig. 4 se prezinta diagrama gradelor de acoperire energetica pe care cele doua componente ale sistemului sursa, le ofera consumatorului. Tot in fig. 4 se prezinta coeficientul de performanta al sistemului sursa in ansamblu. Coeficientul de performanta definit ca raportul dintre consumul energetic aferent incalzirii cladirii si energia electrica consumata de pompa de caldura.

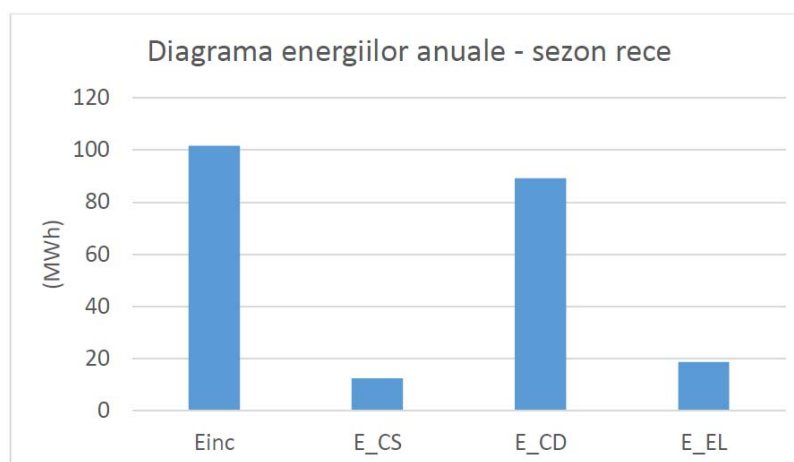


Fig. 5

In fig.5 se prezinta situatia anuala (sezonul rece) a contributiilor energetice ale celor doua componente ale sistemului sursa neconventional.

4. Concluzii

Sistemul sursa neconventional compus din bucla solara si pompa de caldura aer- apa, reprezinta o alternativa fezabila de economie de energie in alimentarea cu energie termica a cladirilor pentru incalzirea spatiilor si prepararea apei calde de consum. In configuratia considerata a sistemului neconventional ponderea energetica majoritara survine din partea pompei de caldura aceasta acoperind 87,8% din necesarul de energie termica a cladirii, iar bucla solara acoperind 12,2%. Cresterea cotei componentei solare presupune implicarea intr-o astfel de aplicatie a unor captatoare solare superioare din punct de vedere calitativ, caracterizate de coeficienti globali de transfer termic avand valori de cca. 2,0 ...2,5 W/m².K.

In ceea ce priveste pompa de caldura aer-apa o caracteristica calitativa importanta este factorul de utilizare a energiei electrice absorbite de pompa termica. In cazul lucrarii de fata acesta a fost considerat de 0,7, dar in multe situatii practice acesta este de 0,4...0,6.

O alta parghie de ridicare a performantelor energetice ale acestui sistem sursa este cea de adoptare din partea consumatorului a unui sistem de incalzire bazat pe un nivel scazut al temperaturilor de calcul ale agentului termic (necesare in dimensionarea capacitatii sistemului de incalzire). In acest sens in cazul lucrarii de fata s-a considerat ca este vorba de un sistem de incalzire de joasa temperatura de pardoseala.

Lista de Notății

- t_T – temperatura de intrare a agentului termic în instalația de încălzire a clădirii, °C;
 t_{T0} – temperatura de intrare de calcul, a agentului termic în instalația de încălzire a clădirii, °C;
 t_R – temperatura de ieșire a agentului termic din instalația de încălzire a clădirii, °C;
 t_{R0} – temperatura de ieșire de calcul a agentului termic din instalația de încălzire a clădirii, °C;
 t_S - temperatura medie a agentului termic din secundarul schimbătorului de căldură aferent buclei solare, °C;
 t_{RS} - temperatura de retur din bucla solară, °C;
 t_e – temperatura exterioară, °C;
 t_{e0} – temperatura exterioară de calcul, °C;
 t_{ee} – temperatura exterioară de echilibru, °C;
 t_{i0} – temperatura interioară de calcul în sezonul rece al anului, °C;
 t_E – temperatura echivalentă – temperatura maximă realizabilă pe placa absorbantă a captatorilor solari °C;
 Δt – diferența medie de temperatură la vaporizatorul și la schimbătorul pompei termice, K;
 I – intensitatea radiației solare, W/m²;
 S_C – suprafața de captare solară, m²;
 S_S – suprafața schimbătorului de căldură al buclei solare, m²;
 k_C – coeficientul global de transfer termic al captatoarelor solare, W/m².K;
 k_S – coeficientul global de transfer termic al schimbătorului de căldură al buclei solare, W/m².K;
 H – factorul de cuplaj termic complex al clădirii (capacitatea de transfer termic a clădirii), W/K;
 a – debitul specific de agent termic în bucla solară, m³/s.m²;
 ρ - densitatea agentului termic, kg/m³;
 c – căldură specifică masică a agentului termic, J/kg.K;
 F' - factorul de corecție al fluxului termic captat, conform tip captator solar, -;
 α - coeficientul de absorbție al radiației solare pe placa plană absorbantă a captatoarelor solare, -;
 τ - coeficientul de transparență al elementului vitrat al captatoarelor solare, -;
 NTU_C – numărul de unități de transfer termic aferent suprafeței de captare solară, -;
 NTU_S – numărul de unități de transfer termic aferent schimbătorului de căldură al buclei solare, -;
 E_C – modulul termic aferent suprafeței de captare solară, -;
 E_S – modulul termic aferent schimbătorului de căldură al buclei solare, -;
 E_{CS} – modulul termic aferent buclei solare în ansamblu, -;
 β_0 – raportul parametrilor termici aferenți suprafeței de captare, care implică temperatura de retur din bucla solară, m².K/W;

Sistem sursa utilizand energia solara si pompa de caldura pentru incalzirea unei cladiri. Analiza energetica

β_B – raportul parametrilor termici aferenți buclei de captare, care implică temperatura medie a agentului termic din secundarul schimbătorului de căldură aferent buclei solare, $m^2.K/W$;

β_{BC} – raportul parametrilor termici aferenți sistemului buclă de captare consumator, care implică temperatura interioara normata a clădirii, $m^2.K/W$;

η - randamentul de captare a energiei solare, -;

F_R – factor de corecție flux termic captat corelat cu β_0 , -;

F_R^B – factor de corecție flux termic captat corelat cu β_B , -;

F_R^C - factor de corecție aferent consumatorului, -;

F_R^{BC} - factor de corecție flux termic captat corelat cu β_{BC} , -;

COP_{CD} – coeficientul de performanță al pompei de căldură, -; Nr.zile – număr zile, zi;

P_{cs} – puterea termică captată de instalația solară, kW;

P_{INC} – puterea termică a instalației de încălzire a clădirii, kW;

P_{CD} – puterea termică cedată la condensatorul pompei termice, kW;

P_{EL} – puterea electrică absorbită de motorul compresorului pompei termice, kW;

E_{inc} – energia termică necesară clădirii pentru încălzire, MWh;

E_{CS} - energia termică captata si livrata de bucla solara, MWh;

E_{CD} – energia termică livrata la condensatorul pompei termice, MWh;

E_{EL} – energia electrică absorbită din rețea de pompa termică, MWh;

G_{ae_cs} – grad de acoperire energetică al buclei solare, -;

G_{ae_cd} – grad de acoperire energetică al pompei de caldura, -;

COP_{SYS} – coeficientul de performanta energetica al sistemului in ansamblu, -;

Bibliografie

1. SR 4839/1997 – Instalații de încălzire – Numărul anual de grade zile;
2. Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor - Mc001/2006;
3. Energetica echipamentelor și sistemelor termice din instalații – Florin Iordache - Editura Conspress, Bucuresti, 2010;
4. Sistem de utilizare a surselor regenerabile pentru încălzirea unei clădiri rezidențiale. Metoda de evaluare a performanțelor energetice. Analiza energetica
- Florin Iordache, Mugurel Talpiga – Revista Română de Inginerie Civilă – editura Matrixrom 2018 (în curs de publicare);
5. Echipamente și sisteme termice. Metode de evaluare energetică și funcțională – Florin Iordache – editura Matrixrom, București 2017, (pag 99-113 - Sistem sursă cu captatoare solare și pompă de căldură – Florin Iordache, Mugurel Talpiga);
6. Modelare funcțională și energetică a unui sistem compus din pompă de căldură, instalație de încălzire centrală și clădire – Iordache Florin, Mugurel Talpiga – Revista Română de Inginerie Civilă – editura Matrixrom 2018 (în curs de publicare);
7. Solar Engineering of Termal Processes – John A. Duffie, William A. Beckman –John Wiley & Sons, Inc.2006;