

Alegerea pompelor de caldura pentru alimentarea instalatiilor de incalzire centrala si de prepararea apei calde de consum aferente cladirilor

Choice of heat pumps for powering central heating installations and preparing hot water for buildings

Florin Iordache

Universitatea Tehnică de Construcții București

Bd. Lacul Tei nr. 122 - 124, cod 020396, Sector 2, București, România

E-mail: fliord@yahoo.com

DOI: 10.37789/rjce.2021.12.3.5

Rezumat

Lucrarea are ca obiectiv stabilirea unei proceduri de dimensionare (alegere) a unei pompe de caldura pentru deservirea utilitatilor din cadrul cladirilor, respectiv incalzirea spatiilor si prepararea apei calde de consum. Se analizeaza tot din punct de vedere al alegerii pompei de caldura si 3 cazuri de pompe de caldura din punct de vedere al mediilor de absorbtie si furnizare a energiei termice. Pentru cele 12 cazuri rezultate din combinarea tipurilor de pompe de caldura cu tipul utilitati de consum se prezinta stabilirea necesarurilor termice nominale aferente consumatorilor si stabilirea coeficientilor de performanta ai pompelor de caldura.

Cuvinte cheie: pompe de caldura, instalatie de incalzire centrala

Abstract

The purpose of the paper is to establish a procedure for sizing (choosing) a heat pump for servicing the utilities within the buildings, respectively the heating of the spaces and the preparation of the hot water for consumption. It is also analyzed from the point of view of choosing the heat pump and 3 cases of heat pumps from the point of view of the means of absorption and supply of the thermal energy. For the 12 cases resulting from the combination of the types of heat pumps and the type of consumption utilities, it is presented the establishment of the nominal thermal needs for the consumers and the establishment of the performance coefficients of the heat pumps.

Keywords: heat pumps, central heating installation

1. Introducere

Sistemele neconventionale utilizand pompe de caldura pentru asigurarea utilitatilor de incalzirea spatiilor si de preparare a apei calde de consum sunt de acum sisteme utilizate din ce in ce mai frecvent. Acoperirea necesarului de energie termica a consumatorului se face in majoritate prin pompa termica urmand ca doar o cota minoritara care ar ramane neacoperita sa fie completata prin utilizarea unei surse auxiliare cum ar de exemplu o centrala termica functionand cu combustibil fosil.

Capacitatea instalata a pompei de caldura trebuie stabilita in functie de tipul si capacitatea utilitatii care se urmareste a fi deservite si totodata in functie de tipul pompei de caldura utilizate. Capacitatea sursei complementare trebuie stabilite in functie de gradul maxim de neacoperire si de necesarul consumatorului corespunzator gradului maxim de neacoperite energetica. Capacitatea sursei complementare poate fi stabilita efectiv chiar fiind superioara cotei maxime neacoperite.

2. Propuneri de alegere a pompelor de caldura

Asa cum s-a mentionat alegerea capacitatii pompei de caldura depinde de tipul si capacitatea utilitatii care trebuie deservite si de asemenea in functie de tipul pompei de caldura. In ceea ce priveste tipul utilitatii ne referim la instalatiile de incalzire centrala si la instalatiile de preparare a apei calde de consumiar in ceea ce priveste tipul pompei de caldura ne referim la cunoscutele tipuri :apa-apa, aer-apa, sol-apa, aer-aer, apa-aer si sol-aer. In cele ce urmeaza vom discuta doar despre o parte din tipurile mentionate si anume despre utilitatile privind instalatiile de incalzire central si de preparate a apei calde deservite de pompele de caldura tip aer-apa, apa-apa si sol-apa.

In cazul utilitatii de incalzire a spatiilor necesarul de caldura de calcul pentru cladiri se stabileste conform SR-EN 12831, forma sintetica de exprimare fiind :

$$\Phi_{INC0} = H_{INC} \cdot (t_{i0} - t_{e0}) \quad (1)$$

Iar in cazul prepararii apei calde consum :

$$\Phi_{ACC0} = H_{ACC} \cdot (t_c - t_r) \quad (2)$$

Unde :

$$\begin{aligned} H_{INC} &= U_m \cdot S + 0.34 \cdot n_a \cdot V \\ H_{ACC} &= 1.163 \cdot G_{CONS} \end{aligned} \quad (3)$$

In ceea ce priveste tipul de pompa termica, asa cum s-a prezentat, aceasta poate fi de tip aer-apa sau apa-apa sau sol-apa. Fiecare din aceste tipuri de pompe de caldura coroborate cu tipul utilitatii deservite aferente cladirii, implica valori diferite ale

Alegerea pompelor de caldura pentru alimentarea instalatiilor de incalzire centrala si de prepararea apei calde de consum aferente cladirilor

temperaturilor mediilor de vaporizare si de condensare in care sunt implementate vaporizatorul si condensatorul pompei de caldura. De retinut ca ne referim strict la situatia de dimensionare (alegere) a pompei de caldura. Astfel :

- a. in cazul utilitatii de incalzire a spatiilor cladirii si utilizarii unei pompe de caldura de tip aer-apa se propune ca temperatura exterioara minima acceptabila pentru dimensionare sa fie $t_{ed} = -10 \text{ }^\circ\text{C}$ si astfel temperaturile mediilor de vaporizare si condensare vor fi : $\theta_{VP0} = t_{ed}$ si $\theta_{CD0} = t_{m0}$;
- b. in cazul utilitatii de incalzire a spatiilor cladirii si utilizarii unei pompe de caldura de tip apa-apa se propune ca temperatura minima a apei pentru mediul rece sa fie $\theta_{VP0} = +10 \text{ }^\circ\text{C}$ iar pentru mediul cald $\theta_{CD0} = t_{m0}$;
- c. in cazul utilitatii de incalzire a spatiilor cladirii si utilizarii unei pompe de caldura de tip sol-apa se propune ca temperatura minima a solului pentru mediul rece sa fie $\theta_{VP0} = +7 \text{ }^\circ\text{C}$ iar pentru mediul cald $\theta_{CD0} = t_{m0}$;
- d. in cazul utilitatii cladiri de preparare a apei calde si utilizarii unei pompe de caldura de tip aer-apa se propune ca temperatura exterioara minima acceptabila pentru dimensionare sa fie $t_{ed} = -10 \text{ }^\circ\text{C}$ si astfel temperaturile mediilor de vaporizare si condensare vor fi : $\theta_{VP0} = t_{ed}$ si $\theta_{CD0} = t_{mac}$;
- e. in cazul utilitatii cladiri de preparare a apei calde si utilizarii unei pompe de caldura de tip apa-apa se propune ca temperatura minima a apei pentru mediul rece sa fie $\theta_{VP0} = +10 \text{ }^\circ\text{C}$ iar pentru mediul cald $\theta_{CD0} = t_{mac}$;
- f. in cazul utilitatii cladiri de preparare a apei calde si utilizarii unei pompe de caldura de tip sol-apa se propune ca temperatura minima a solului pentru mediul rece sa fie $\theta_{VP0} = +7 \text{ }^\circ\text{C}$ iar pentru mediul cald $\theta_{CD0} = t_{mac}$;

Acestea fiind situatiile de dimensionare a pompei de caldura in cazul in care mediul cald, unde se afla condensatorul pompei de caldura, mai trebuie sa precizam cateva chestiuni legate de valorile efective de dimensionare a instalatiilor de incalzire centrala din cladire si de valorile de temperatura implicate la prepararea apei calde. Astfel instalatia de incalzire centrala ar putea sa fie dimensionata la $t_{T0}/t_{R0} = 90/70 \text{ }^\circ\text{C}$, cu $t_{m0} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$, sau la $t_{T0}/t_{R0} = 70/50 \text{ }^\circ\text{C}$ cu $t_{m0} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$, sau chiar $t_{T0}/t_{R0} = 50/30 \text{ }^\circ\text{C}$, cu $t_{m0} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$. In ceea ce priveste prepararea apei calde de consum se va considera o singura situatie in care temperatura apei reci este de cca. $t_r = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ si temperatura apei calde de cca. $t_c = 55 \text{ }^\circ\text{C}$, deci o temperatura medie $t_{mac} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$.

Valorile temperaturilor mediilor rece si cald ofera posibilitatea determinarii coeficientului de performanta al pompei de caldura in conditii de dimensionare. Astfel:

$$COP_0 = 0.8622 \cdot \varepsilon_{VP0}^C - 0.0652$$

$$\varepsilon_{VP0}^C = \frac{T_{VP0}}{T_{CD0} - T_{VP0}} \quad (4)$$

Unde :

$$T_{VP0} = \theta_{VP0} - \Delta t_{VP} + 273,15$$

$$T_{CD0} = \theta_{CD0} + \Delta t_{CD} + 273,15 \quad (5)$$

Diferentele de temperatura între cei 2 agenți termici la vaporizatorul și condensatorul pompei de căldură se vor considera $\Delta t_{VP} = \Delta t_{CD} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ în cazurile pompelor de căldură de tip aer-apă și apă-apă, iar în cazul pompelor de căldură sol-apă se va considera $\Delta t_{VP} = \Delta t_{CD} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

În tabelul 1 se prezintă valorile nominale ale coeficienților de performanță aferenți fiecăruia din cazurile prezentate

Tabelul 1

	tip PC	θ_{vp0}	θ_{cd0}	COP_0
a	aer-apă	-10	80	2.161
b	apă-apă	10	80	2.933
c	sol-apă	7	80	2.439
a	aer-apă	-10	60	2.717
b	apă-apă	10	60	3.932
c	sol-apă	7	60	3.126
a	aer-apă	-10	40	3.644
b	apă-apă	10	40	5.930
c	sol-apă	7	40	4.330
d	aer-apă	-10	35	3.982
e	apă-apă	10	35	6.787
f	sol-apă	7	35	4.787

Puterea termică livrată de pompa de căldură la condensator trebuie să acopere necesarul de căldură al consumatorului în condițiile precizate mai înainte, iar necesarul termic depinde conform relațiilor (1) și (2) de capacitatea de transfer termic aferentă utilității respective a consumatorului. Între puterea termică livrată la condensator și puterea electrică absorbită există relația cunoscută :

$$P_{EL0} = COP_0 \cdot \Phi_{CD0}$$

$$\Phi_{CD0} = \Phi_{INC0}; \quad \Phi_{CD0} = \Phi_{ACC0} \quad (6)$$

Alegerea pompelor de caldura pentru alimentarea instalatiilor de incalzire centrala si de prepararea apei calde de consum aferente cladirilor

In cazul utilizarii pompei de caldura aer-apa pentru incalzire, temperatura exterioara de calcul (pentru pompa de caldura) se va considera $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, in rest fiind temperatura exterioara de calcul cunoscuta conform SR 1907/2014. Desigur si in cazul utilizarii pompei de caldura aer-apa trebuie acoperit necesarul de caldura al consumatorului la temperaturi mai scazute de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ si asta va presupune utilizarea unei centrale termice.

Puterea electrica nominala stabilita conform relatiei (6) va fi considerata ca putere electrica maxima ce poate fi absorbita de pompa de caldura. In conditiile in care este necesara o putere electrica mai mica, P_{EL} , asta se realizeaza prin intermediul convertizorului de frecventa. De asemenea trebuie inteles ca in diferite situatii de exploatare, pe parcursul anului, coeficientul de performanta al pompei de caldura, COP, se modifica functie de temperaturile mediilor rece si cald intre care lucreaza pompa de caldura in respectiva situatie.

O data stabilita capacitatea instalata a pompei de caldura se poate trece in continuare la evaluarea gradului de acoperire anual oferit de pompa de caldura si de energia regenerabila efectiva absorbita din mediul rece in care se afla vaporizatorul pompei de caldura. In consecinta studiul evaluarii gradului de acoperire energetica oferit de pompa de caldura presupune recalcularea COP-ului efectiv al pompei de caldura utilizand desigur tot relatiile (4) si (5) de mai inainte, insa in care parametrii de lucru nu vor mai fi afectati de indicele 0.

3. Cateva exemple de asigurare a acoperirii energetice anuale

Se vor prezenta doua exemple privind acoperirea energetica oferita de pompele de caldura. In primul sistem o pompa de caldura tip aer-apa este utilizata pentru incalzirea spatiilor unei cladiri iar in cadrul celui de al doilea sistem, tot o pompa de caldura tip aer-apa este folosita pentru prepararea apei calde de consum aferente cladirii. Sistemele utilizand pompele de caldura presupun si o sursa de rezerva care este o centrala termica care va intra in functiune pentru acoperirea varfurilor de sarcina caracteristice perioadelor cu temperatura scazuta.

3.1. Pompa de caldura tip aer-apa pentru incalzire

Pentru utilitatea de incalzire a spatiilor se vor prezenta 2 scenarii de alegere si analiza a performantei energetice a implementarii unei pompe de caldura. Primul scenariu presupune defalcarea temperaturii exterioare din sezonul rece al anului in interval de timp cu durate variabile functie de temperatura exterioara considerata, iar cel de al doilea scenariu presupune defalcarea perioadei de iarna in lunile corespunzatoare acestui sezon. Trebuie mentionat ca durata sezonului rece al anului este aceeaasi in ambele scenarii si temperatura exterioara medie din sezonul rece a fost aceeaasi in ambele scenarii.

In primul scenariu temperaturile si duratele perioadelor reprezentative sunt :

te (oC)	te (oC)	nr. Zile
-17,5...-12,5	-15,0	2
-12,5...-7,5	-10,0	11
-7,5...-2,5	-5,0	32
-2,5...+2,5	0,0	60
+2,5...+7,5	+5,0	53
+7,5...+12,5	+10,0	24

Dimensionarea pompei de caldura s-a facut pentru perioada 3-a asta insemnand ca puterea termica maxima transmisa de pompa de caldura este 71,4% din necesarul de caldura de calcul al cladirii, iar puterea electrica maxima utilizata de pompa este 24,0% din necesarul de caldura de calcul al cladrii.

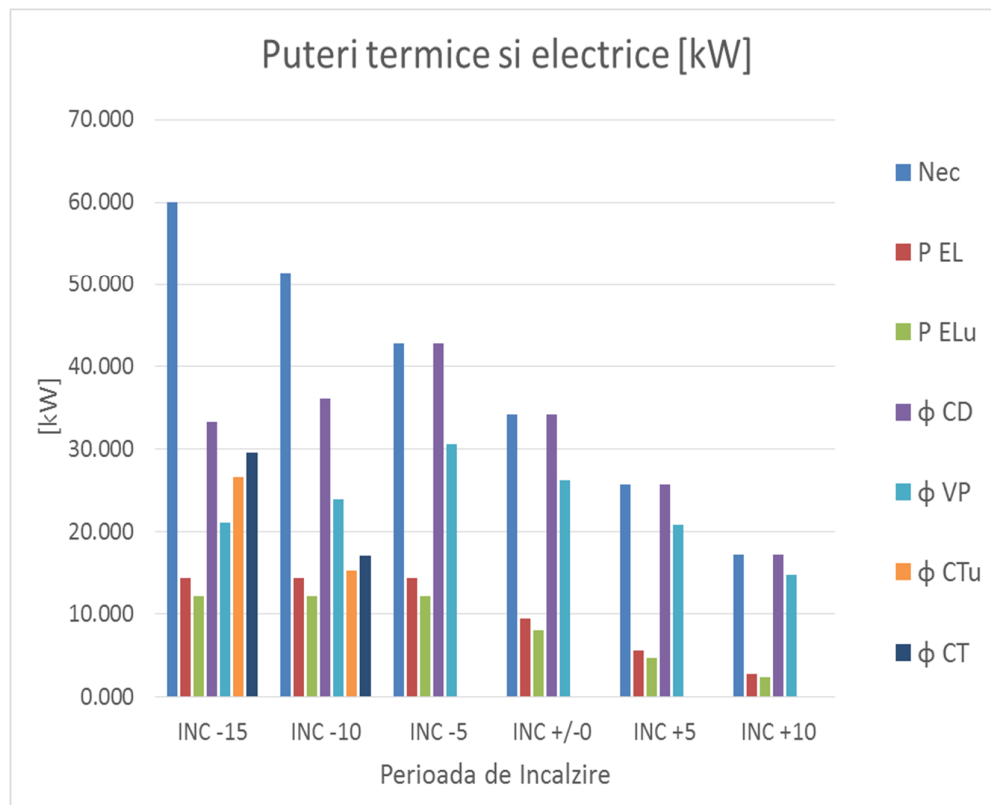


Fig. 1

Alegerea pompelor de caldura pentru alimentarea instalatiilor de incalzire centrala si de prepararea apei calde de consum aferente cladirilor

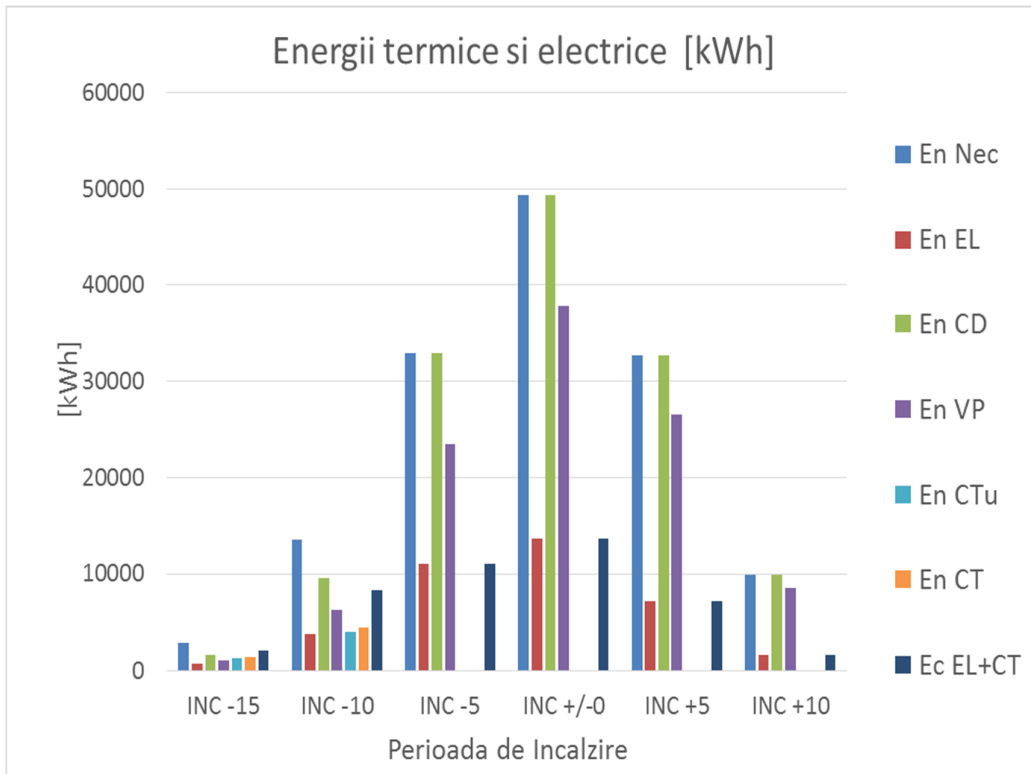


Fig. 2

In fig. 1 se prezinta intr-o diagrama cu bare situatia puterilor termice si electrice pe fiecare perioada din sezonul rece al anului. Perioadele sunt ordonate in functie de situatia solicitarii climatice. In fig, 2 se prezinta situatia energiilor termice si electrice.

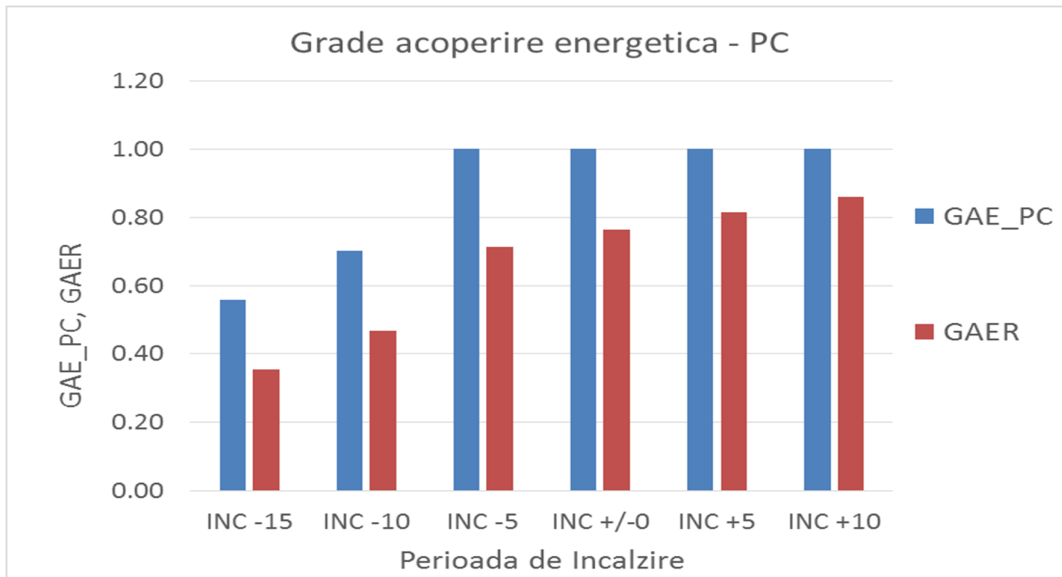


Fig. 3

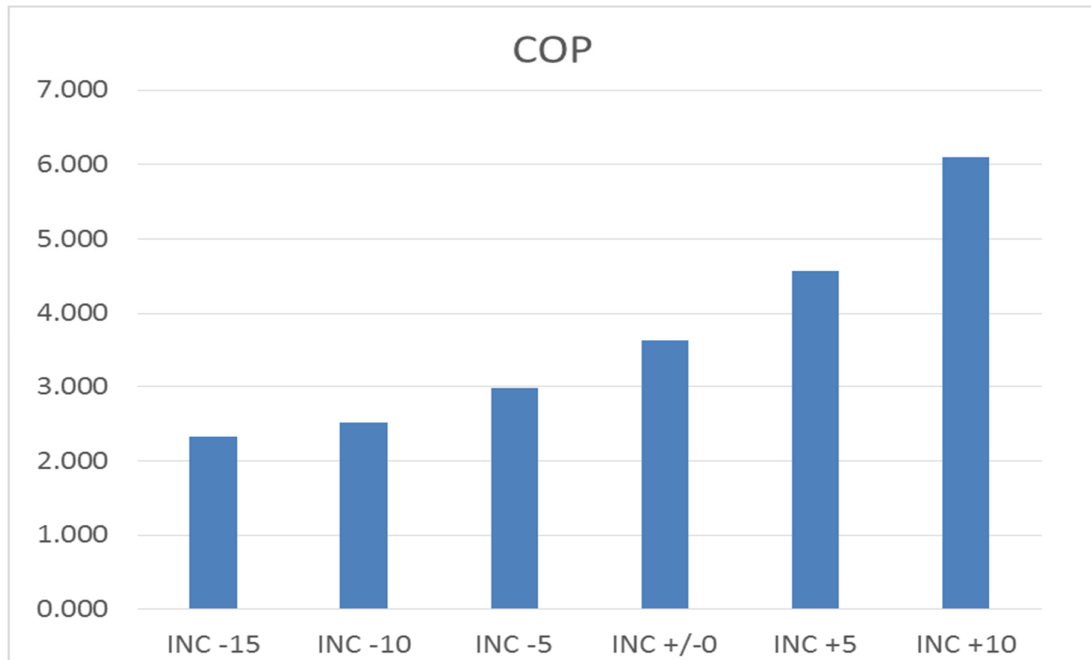


Fig. 4

In fig. 3 se prezinta situatia gradului de acoperire energetica oferit de catre pompa de caldura (97,7%) si a gradului de acoperire energetica din surse regenerabile (76,1%). In fig. 4 se prezinta valoarea coeficientului de performanta a pompei de caldura in fiecare din lunile sezonului rece al anului. Gradul de acoperire energetica din surse regenerabile se observa ca se plafoneaza la cca. 76,1%.

In scenariul al doilea analiza este realizata conform unei metode lunare. Lunile sezonului rece fiind caracterizate temperaturile exterioare medii lunare conform tabel 2.

Tabel 2

luna	te (oC)	nr. Zile
OCT	8.5	31
NOI	2.5	30
DEC	-2.3	31
IAN	-3.4	31
FEB	-1.9	28
MAR	3.1	31

Dimensionarea pompei de caldura s-a facut pentru luna decembrie, asta insemnand ca puterea termica maxima transmisa de pompa de caldura este 63,72% din necesarul de caldura de calcul al cladirii, iar puterea electrica maxima utilizata de pompa este 19,29% din necesarul de caldura de calcul al cladirii.

Alegerea pompelor de caldura pentru alimentarea instalatiilor de incalzire centrala si de prepararea apei calde de consum aferente cladirilor

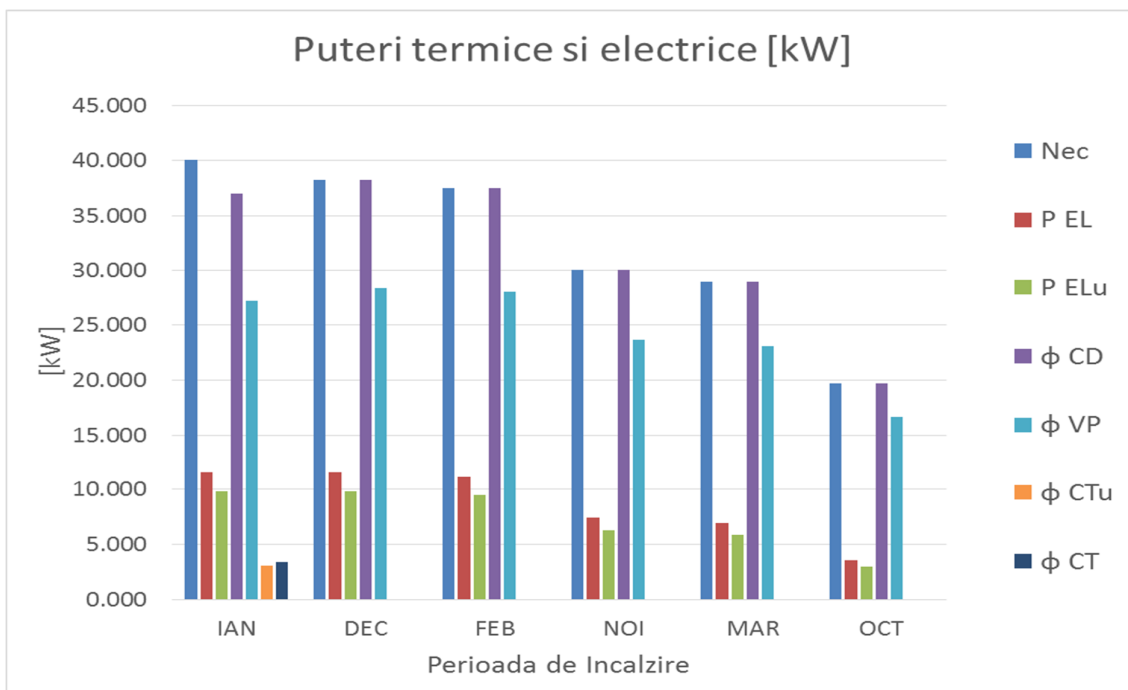


Fig. 5

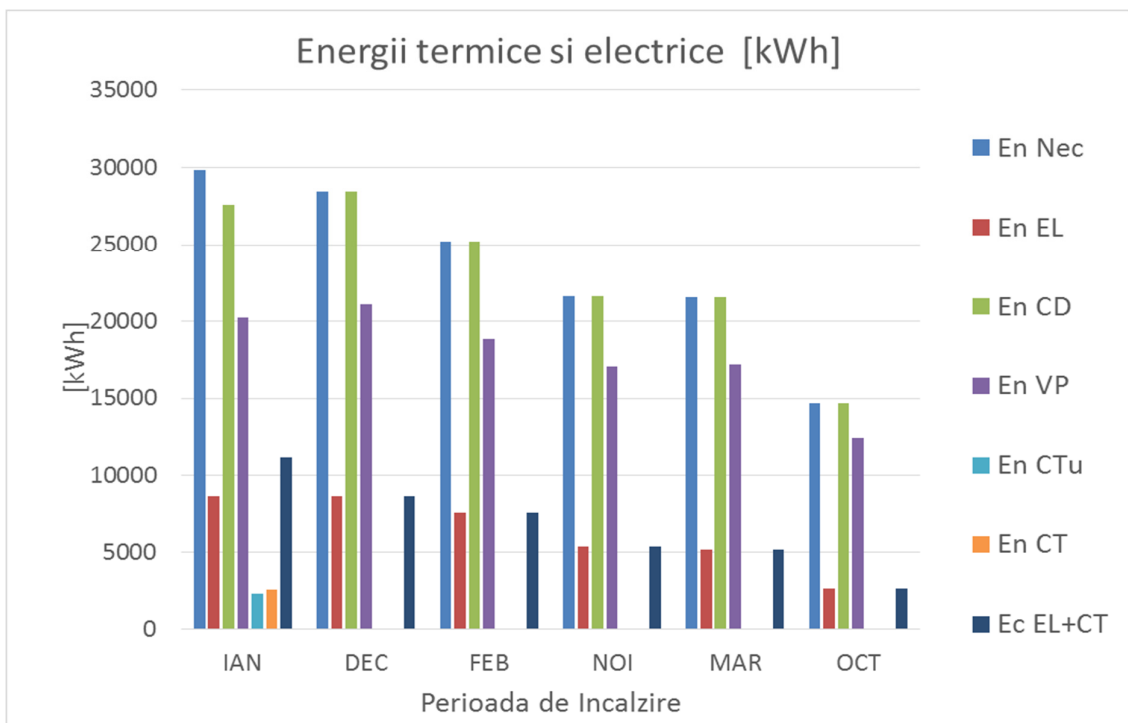


Fig. 6

In fig. 5 se prezinta intr-o diagrama cu bare situatia puterilor termice si electrice pe fiecare lunile din sezonul rece al anului. Lunile anului nu sunt ordonate cronologic ci in functie de situatia solicitarii climatice. In fig. 6 se prezinta situatia energiilor termice si electrice.

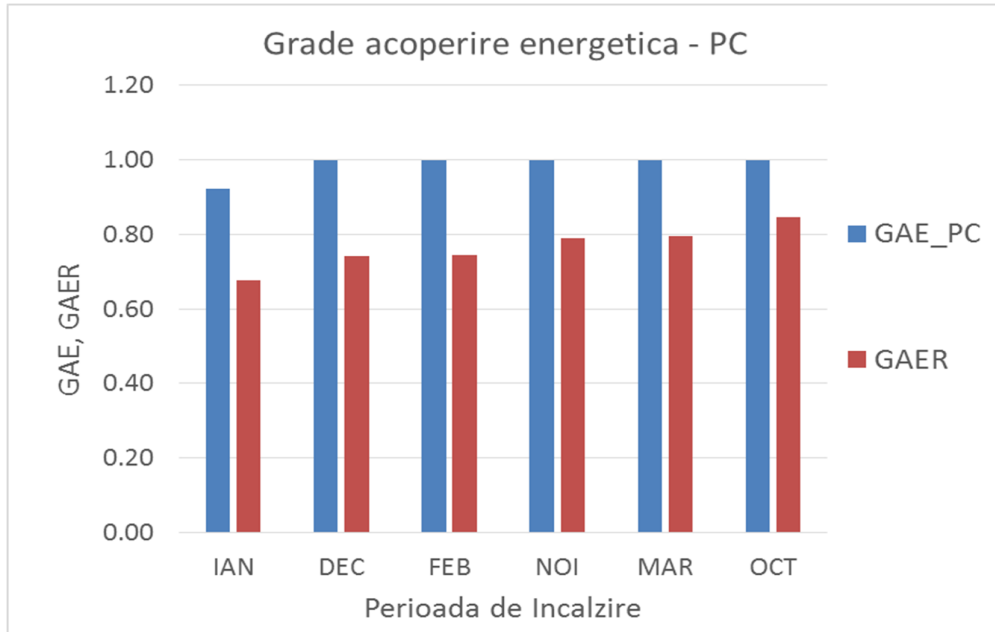


Fig. 7

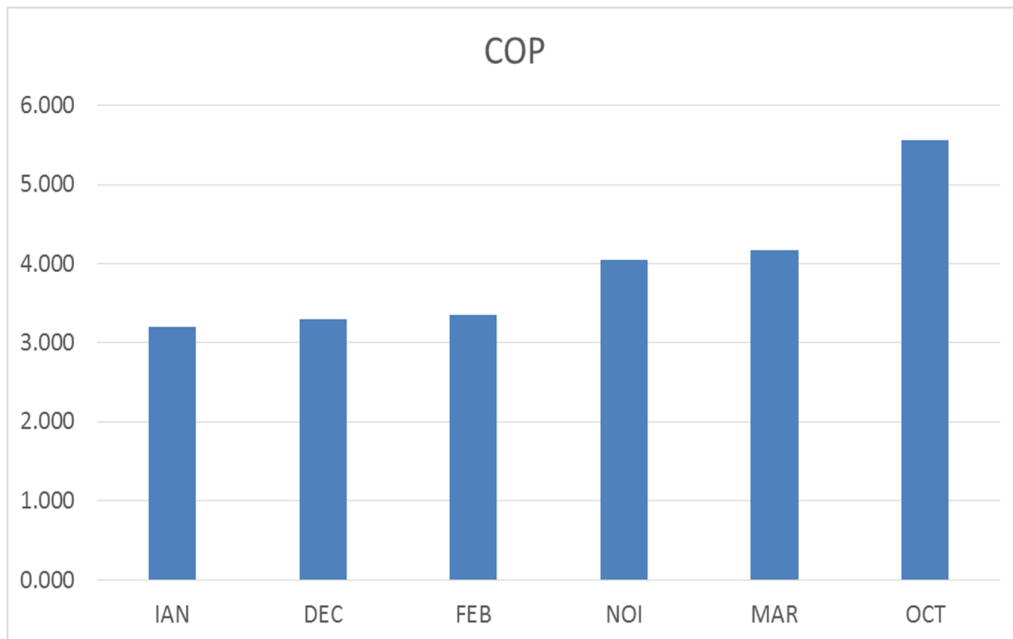


Fig. 8

Alegerea pompelor de caldura pentru alimentarea instalatiilor de incalzire centrala si de prepararea apei calde de consum aferente cladirilor

In fig. 7 se prezinta situatia gradului de acoperire energetica oferit de catre pompa de caldura si a gradului de acoperire energetica din surse regenerabile. In fig. 8 se prezinta valoarea coeficientului de performanta a pompei de caldura in fiecare din lunile sezonului rece al anului. Gradul de acoperire energetica din surse regenerabile se observa ca se plafoneaza la cca. 85%.

3.2. Pompa de caldura tip aer-apa pentru preparare apa calda

Analiza este realizata conform scenariului 2 - metoda lunara. Lunile anului fiind caracterizate temperaturile exterioare medii conform tabel 3.

Tabel 3

luna	te (oC)	nr. Zile
OCT	8.5	31
NOI	2.5	30
DEC	-2.3	31
IAN	-3.4	31
FEB	-1.9	28
MAR	3.1	31
VARA	18.3	183

Dimensionarea pompei de caldura s-a facut pentru luna noiembrie, asta insemnand ca puterea termica maxima transmisa de pompa de caldura acopera integral, 100%, necesarul apa calda al cladirii, iar puterea electrica maxima utilizata de pompa este 28% din necesarul cladirii.

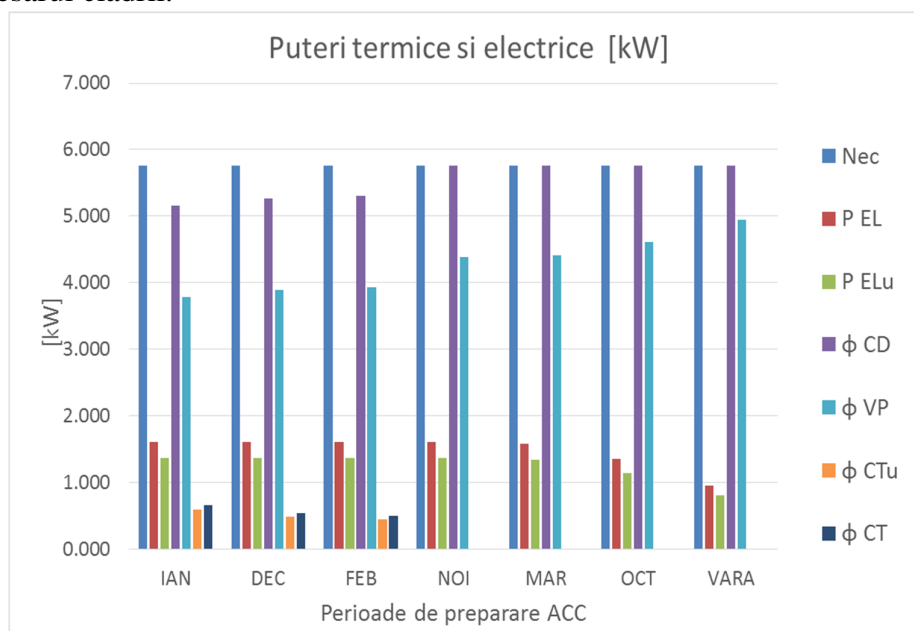


Fig. 9

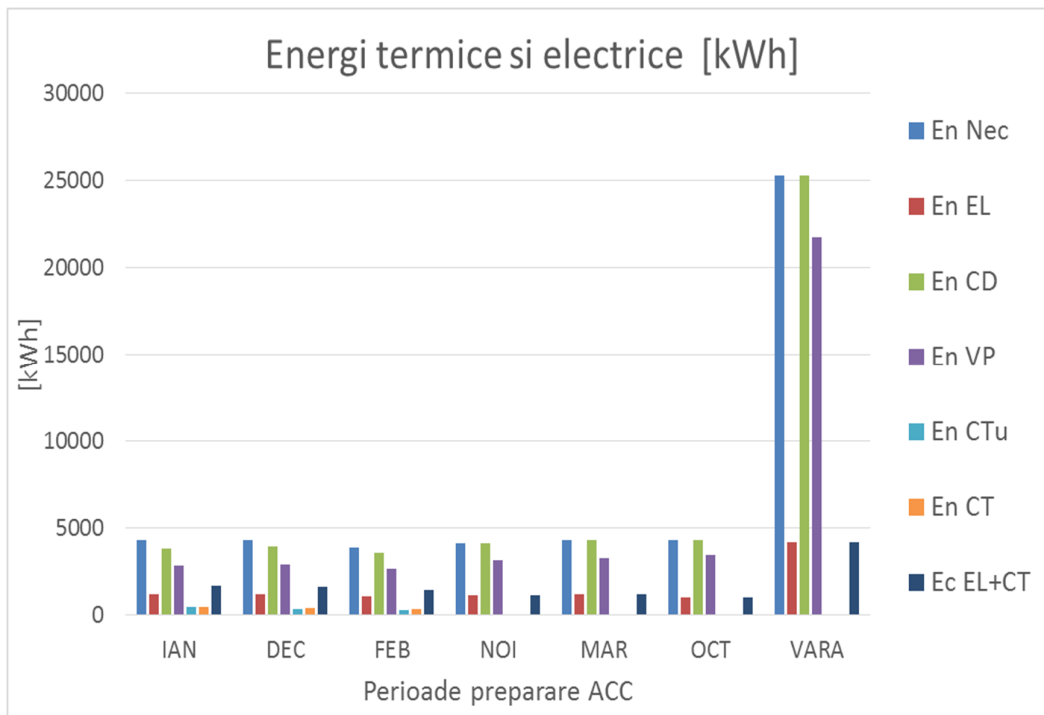


Fig. 10

In fig. 9 se prezinta intr-o diagrama cu bare situatia puterilor termice si electrice pe fiecare luna anului. In fig. 10 se prezinta situatia energiilor termice si electrice.

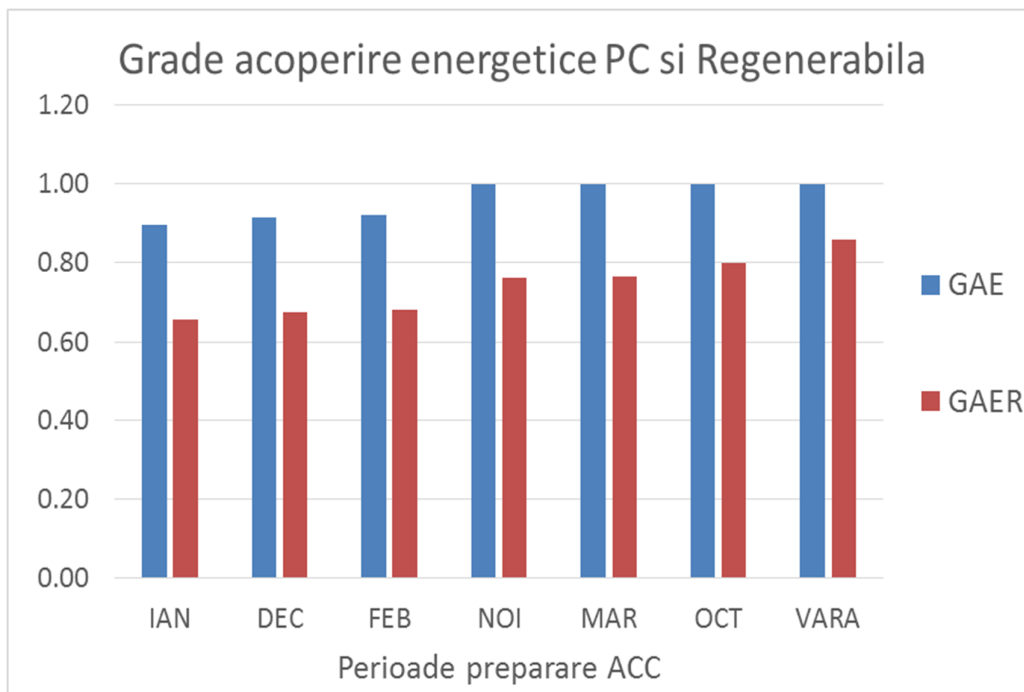


Fig. 11

Alegerea pompelor de caldura pentru alimentarea instalatiilor de incalzire centrala si de prepararea apei calde de consum aferente cladirilor

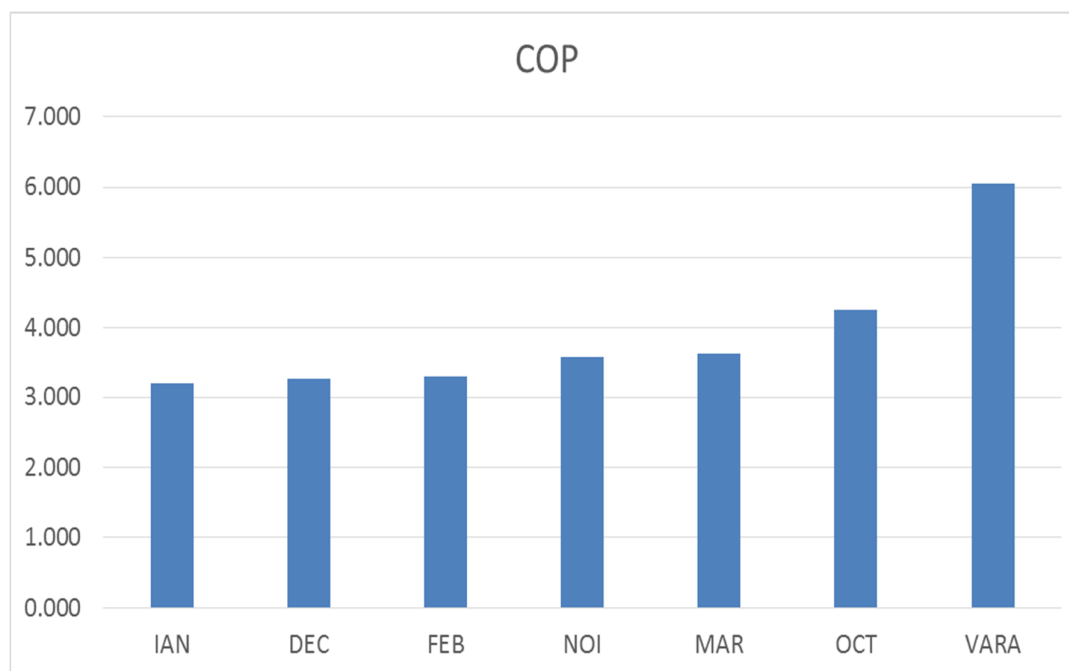


Fig. 12

In fig. 11 se prezinta situatia gradului de acoperire energetica oferit de catre pompa de caldura si a gradului de acoperire energetica din surse regenerabile. In fig. 12 se prezinta valoarea coeficientului de performanta a pompei de caldura in fiecare din lunile anului. Gradul de acoperire energetica din surse regenerabile se observa ca se plafoneaza la cca. 86%.

Lista de Notatii

- t_{i0} – temperatura interioara normata, °C;
- t_{e0} – temperatura exterioara de calcul, °C;
- t_c – temperatura apei calde, °C;
- t_r – temperatura apei reci, °C;
- t_{ed} – temperatura exterioara pt. alegere pompa termica aer-apa, °C;
- t_{m0} – temp. medie a agentului termic instalatie incalzire in conditii de calcul, °C;
- t_{mac} – temp. medie a apei calde din schimbatorul de caldura cu acumulare, °C;
- θ_{VP0} – temperatura mediului rece de calcul, °C;
- θ_{CD0} – temperatura mediului cald de calcul, °C;
- T_{VP0} – temperatura absoluta de vaporizare in conditii de calcul, K;
- T_{CD0} – temperatura absoluta de condensare in conditii de calcul, K;
- Δt_{VP} – diferenta medie de temperatura la vaporizator, °C;
- Δt_{CD} – diferenta medie de temperatura la condensator, °C;

S – suprafata anvelopei cladirii, m^2 ;
 V – volumul spatiului incalzit, m^3 ;
 G_{CONS} – debitul mediu orar de apa calda consumata, l/h ;
 U_m – transmitanta termica medie a anvelopei cladirii;
 n_a – numarul orar de schimburi de aer al volumului spatiului incalzit, $1/h$;
 H_{INC} – capacitatea de transfer termic a cladirii, W/K ;
 H_{ACC} – capacitatea de transfer termic a instalatiei de preparare a apei calde, W/K ;
 Φ_{INC0} – necesarul de energie de calcul pentru incalzirea cladirii, W ;
 Φ_{ACC0} – necesarul de energie de calcul pentru prepararea apei calde, W ;
 Φ_{CD0} – puterea termica nominala livrata la condensatorul pompei de caldura, W ;
 P_{EL0} – puterea electrica maxima absorbita din retea de pompa de caldura, W ;
 ϵ_{VP0}^C – eficienta Carnot la vaporizatorul pompei de caldura, -;
 COP_0 – coeficientul de performanta nominal al pompei de caldura,-;
 COP – coeficientul de performanta efectiv al pompei de caldura,-; -
 $1,163$ – caldura specifica volumica a apei, $W.h/l.K$;
 $0,34$ – caldura specifica volumica a aerului, $W.h/m^3.K$;
 0 – indice atribuit valorilor nominale,-;

Bibliografie

- [1] – Florin Iordache, Mugurel Talpiga - Aspecte privind optimizarea constructiv-funcțională a unui sistem de pompa de căldură cu compresie (cu sursa de rezerva) pentru încălzirea unei clădiri rezidențiale sau prepararea apei calde de consum – Revista Romana de Inginerie Civila volumul 10 (2019) nr.2 – editura Matrixrom, Bucuresti;
- [2] – Florin Iordache, Alexandru Draghici - Procedura de evaluare a indicatorilor de performanta pentru masini frigorifice sau pompe de caldura consum – Revista Romana de Inginerie Civila volumul 10 (2019) nr.4 – editura Matrixrom, Bucuresti;
- [3] – Florin Iordache, Alexandru Draghici, Mugurel Talpiga - Comportamentul termic dinamic al unei pompe de caldura functionand intre 2 rezervoare de acumulare – Revista Romana de Inginerie Civila volumul 10 (2019) nr.4 – editura Matrixrom, Bucuresti;