

**STUDIU PRELIMINAR PRIVIND
UTILIZAREA POMPELOR DE CĂLDURĂ
PENTRU EFICIENTIZARE ENERGETICĂ**



Cuprins

| | |
|--|----|
| Considerații generale..... | 3 |
| Condiții climatice..... | 5 |
| Necesarul de frig și căldură..... | 6 |
| Caracteristicile pompelor de căldură..... | 11 |
| Pompele de căldură apă - apă..... | 11 |
| Pompele de căldură aer – apă cu R1234yf..... | 12 |
| Pompele de căldură aer – apă cu R744 (CO ₂)..... | 12 |
| Analiza orară a funcționării sistemului fotovoltaic..... | 15 |
| VARIANTA CU POMPE DE CĂLDURĂ APĂ-APĂ..... | 17 |
| Analiza orară a funcționării pompelor de căldură..... | 17 |
| Analiza lunară a funcționării pompelor de căldură..... | 18 |
| VARIANTA CU POMPE DE CĂLDURĂ AER-APĂ..... | 19 |
| Analiza necesarului de căldură | 19 |
| Analiza orară a funcționării PC aer-apă cu R1234yf..... | 21 |
| Analiza lunară a funcționării PC aer-apă cu R1234yf..... | 23 |
| Analiza orară a funcționării PC aer-apă cu R744 (CO ₂)..... | 25 |
| Analiza lunară a funcționării PC aer-apă cu R744 (CO ₂)..... | 27 |
| ANALIZA ENERGETICĂ ANUALĂ..... | 29 |
| Varianta cu pompe de căldură apă-apă..... | 29 |
| Varianta cu pompe de căldură aer-apă cu R1234yf..... | 29 |
| Varianta cu pompe de căldură aer-apă cu R744 (CO ₂)..... | 30 |
| ANALIZA ECONOMICĂ..... | 31 |
| Varianta cu pompe de căldură apă-apă..... | 31 |
| Varianta cu pompe de căldură aer-apă cu R1234yf..... | 32 |
| Varianta cu pompe de căldură aer-apă cu R744 (CO ₂)..... | 33 |
| Recomandări globale..... | 34 |

Considerații generale

Studiul a fost realizat pentru ..., cu sediul în ..., în calitate de beneficiar și se referă la un sistem alternativ de încălzire, cu pompe de căldură. Amplasamentul ... este prezentat în figura alăturată.



Amplasamentul ... Google Maps

Scopul studiului este analiza comportamentului pompelor de căldură ca soluție alternativă la sistemul actual de răcire și dezumidificare, respectiv de încălzire și preparare apă caldă menajeră (a.c.m.).

Sistemul existent de încălzire este bazat pe două cazane în condensare (2 x 850 kW) cu funcționare pe gaz natural.

Sistemul existent de răcire destinat dezumidificării și climatizării, este bazat pe un chiller răcit cu aer, cu R410A și putere frigorifică nominală de 345 kW. Chiller-ul răcit cu aer, evacuează în atmosferă căldura de condensare a agentului frigorific.

Prima variantă de eficientizare energetică analizează este utilizarea unor pompe de căldură apă – apă, care să preia parțial sau total sarcina de răcire a chiller-ului și care simultan să valorifice căldura de condensare, care în prezent este evacuată în atmosferă, și să o utilizeze pentru încălzirea apei din bazine, sau pentru preîncălzirea a.c.m.

A doua variantă de eficientizare energetică analizează este utilizarea unor pompe de căldură aer – apă, care să preia parțial sarcina cazanelor și să preîncălzească (sau să încălzească complet) apa din bazine, respectiv a.c.m.

Această variantă de eficientizare energetică este evaluată pentru două tipuri de pompe de căldură aer-aer, funcționând cu agenți frigorifici diferiți și cu caracteristici tehnice diferite.

Pompele de căldură apă – apă utilizate funcționează cu R1234yf, un agent frigorific ecologic, având potențialul de încălzire globală GWP=4, mult mai mic față de alți freoni clasici (pentru R134a GWP=1430, iar pentru R410a GWP=2088).

Pompele de căldură aer-aer, au fost considerate în două variante constructive:

- Pompe de căldură de temperatură medie, care funcționează cu R1234yf
- Pompe de căldură de temperatură ridicată, care funcționează cu R744 (CO₂)

Ambele tipuri de pompe de căldură (apă-apă și aer-apă), care funcționează cu R1234yf, prepară agent termic la 50 °C și sunt conectate în serie cu cazanele, astfel încât dacă este necesară încălzirea agentului termic la temperaturi mai ridicate, această încălzire va fi realizată de cazane.

Ambele tipuri de pompe de căldură (apă-apă și aer-apă), care funcționează cu R1234yf, pot prepara în siguranță agent termic cu temperatura până la 60 °C, dar în condiții de eficiență energetică ceva mai redusă.

Pompele de căldură aer – apă de temperatură ridicată, funcționează cu R744 (CO₂) și pot prepara în siguranță agent termic cu temperatura până la 90 °C.

R744 (CO₂) este un agent frigorific ecologic, având potențialul de încălzire globală GWP=1, mult mai mic față de alți freoni clasici (pentru R134a GWP=1430, iar pentru R410a GWP=2088).

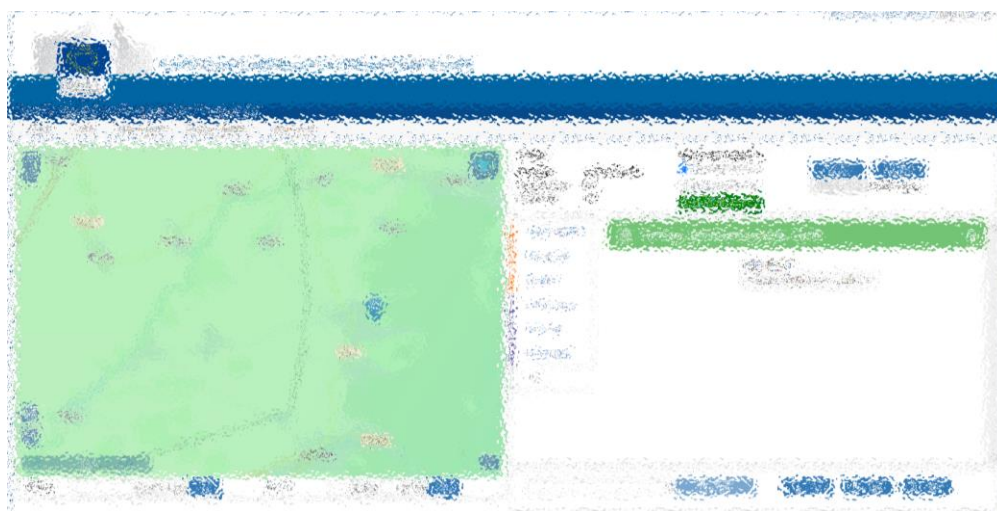
Condițiile de lucru ale pompelor de căldură, sunt prezentate în secțiunile în care sunt evaluate și comportamentul termic, respectiv performanțele acestora.

Condiții climatice

Coordonatele geografice ale ... sunt: ... Nord și ... Est.

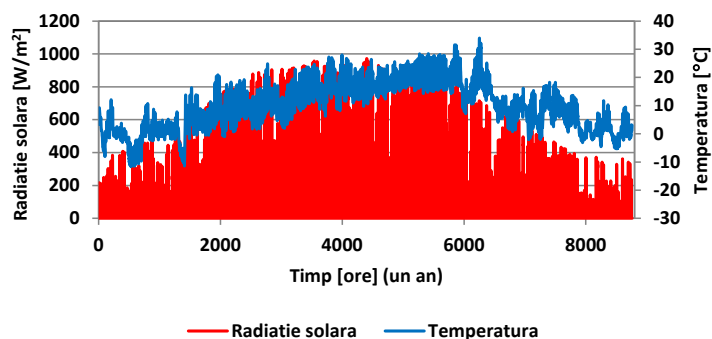
Parametrii climatici care influențează comportarea termică a sistemului de încălzire și a chillerului, sunt intensitatea radiației solare și temperatura ambiantă. Valorile parametrilor climatici, pentru amplasamentul considerat, au fost preluate din anul climatic standard (*Typical Meteorological Year - TMY*), determinat pe baza măsurătorilor meteorologice realizate în perioada 2005-2020.

În figura alăturată, este prezentată interfața pentru preluarea datelor climatice conform TMY, disponibilă pe site-ul Uniunii Europene, la adresa: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html



Interfața pentru preluarea datelor climatice conform TMY
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

În figura alăturată sunt prezentate curbele de variație ale temperaturii ambiante și ale intensității radiației solare pentru locația ...

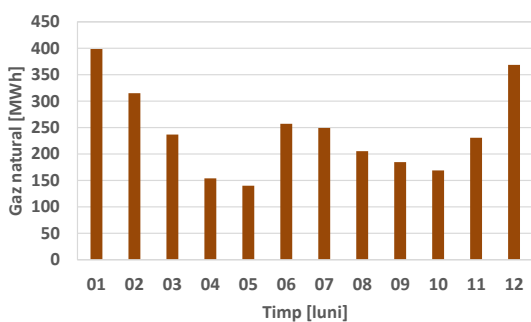


Curbele de variație ale temperaturii ambiante și ale intensității radiației solare

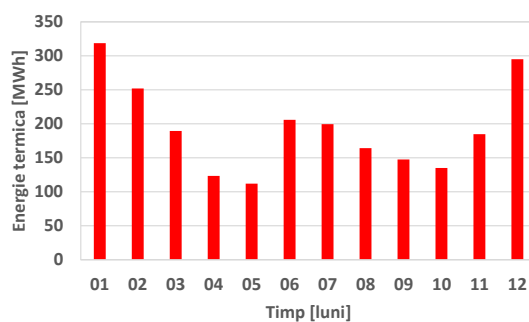
Necesarul de frig și căldură

În continuare este prezentată o analiză a necesarului de frig și de căldură a obiectivului analizat, realizată pe baza informațiilor primite de la beneficiar (consumuri lunare de gaz natural și de energie electrică). Necesarul de căldură a fost calculat, considerând un randament mediu de funcționare a cazanelor de 80 %.

În figurile alăturate sunt prezentate consumurile lunare de gaz natural, respectiv necesarul calculat de căldură.



Consumul lunar de gaz natural



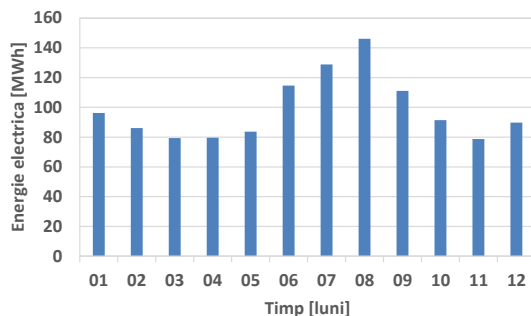
Consumul lunar de energie termică

Necesarul ridicat de căldură, respectiv consumul ridicat de gaz natural, din perioada de vară (lunile iunie - septembrie), corespunde anului 2018 și se presupune că este ridicat datorită necesarului ridicat de a.c.m., determinat de numărul ridicat de vizitatori din perioada de vară, respectiv perioada de vacanță.

Se menționează că în anul 2019, consumul de gaz natural a fost mult mai redus decât în anul 2018, respectiv (80...86) kWh/lună, consum care corespunde tendinței naturale de scădere a necesarului de căldură în perioada de vară, datorită temperaturilor ambiante ridicate și datorită intensității ridicate a radiației solare, care determină scăderea necesarului de căldură.

În continuare, s-au considerat ca referință consumurile ridicate de energie termică (respectiv gaz natural), pentru ca sistemul de eficientizare energetică să poată face față și unor consumuri ridicate de căldură.

În figura alăturată este prezentat consumul lunar de energie electrică al obiectivului investigat.



Consumul lunar de energie electrică

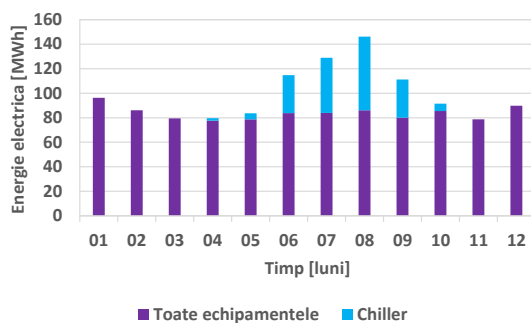
Se consideră că perioada de vârf de consum pentru energie electrică (din lunile iunie - septembrie), este datorată necesarului de frig din perioada de vară, pentru dezumidificarea și climatizarea aerului din spațiul bazinelor închise.

Puterea frigorifică necesară pentru dezumidificare și pentru climatizare, este variabilă în timpul anului (inclusiv în perioada de vară) și depinde atât de temperatura ambiantă, cât și de umiditatea relativă (și absolută) a aerului ambiant.

În perioadele cu temperatură ambiantă scăzută, dezumidificarea poate fi realizată prin ventilare, deoarece aerul proaspăt (din exterior) care înlocuiește parțial aerul cu umiditate ridicată (din interior), prezintă umiditate absolută redusă.

În perioadele cu temperatură ambiantă ridicată (vara), ventilarea nu mai este suficientă pentru dezumidificare, iar aceasta se realizează prin condensarea umidității din aer, cu ajutorul apei reci preparate de chiller (cu consum de energie electrică).

În figura alăturată se prezintă consumul lunar de energie electrică, cu evidențierea consumului estimat de energie electrică pentru răcire, considerând că pentru celelalte echipamente (în afară de chiller, respectiv pompe, ventilatoare, etc.), consumul de energie electrică este relativ constant, iar vârful de consum din perioada de vară este datorat funcționării chiller-ului.



Consumul lunar de energie electrică, cu evidențierea consumului estimat pentru răcire (chiller)

S-a arătat anterior că necesarul de frig și consumul de energie electrică depind și de umiditatea aerului exterior și de temperatura exterioară. Umiditatea exterioară la rândul ei depinde de cantitatea variabilă de vapori de apă din aer și de temperatura exterioară, iar această dependență este destul de complexă.

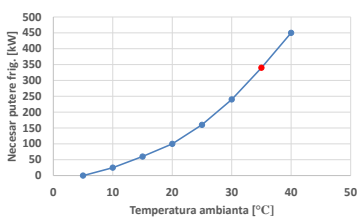
În continuare, pentru determinarea necesarului variabil de putere frigorifică, s-au considerat 3 variante simplificate de variație a acestui parametru, numai în funcție de temperatura exterioară, considerând că valoarea puterii frigorifice necesare, corespunde cu puterea frigorifică a chiller-ului, în condițiile „nominale” de funcționare a acestuia.

Condițiile „nominale” de funcționare a chiller-ului, conform fișei tehnice a acestuia sunt:

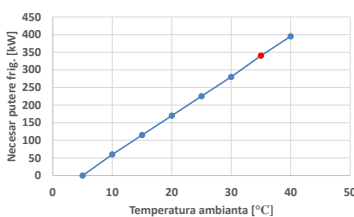
- Temperatura apei răcite: 6 °C pe tur / 12 °C pe retur
- Temperatura ambiantă: 35 °C
- Putere frigorifică: 340 kW

În figurile alăturate au fost reprezentate cele 3 variante simplificate de variație a necesarului de putere frigorifică, în funcție de temperatura exterioară, care au fost considerate.

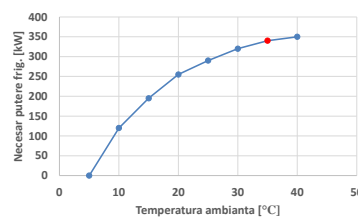
Pe toate aceste curbe, puterea frigorifică „nominală” a chiller-ului a fost reprezentată prin punctele de culoare roșie.



Varianta 1



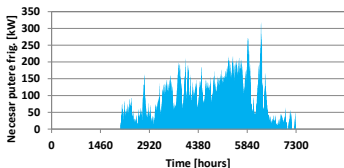
Varianta 2



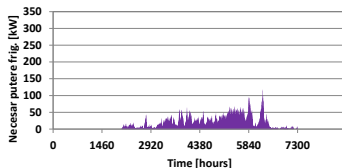
Varianta 3

Cele 3 variante simplificate de variație a necesarului de putere frigorifică

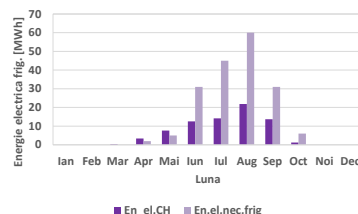
În figurile alăturate sunt prezentate variația orară estimată a puterii frigorifice necesare, variația puterii electrice necesare pentru funcționarea chiller-ului și comparația între consumul lunar de energie electrică al chiller-ului (conform consumului real de energie furnizat de beneficiar), față de consumul lunar de energie electrică al chiller-ului (conform celor 3 curbe de variație a necesarului de frig, considerate).



Putere frigorifică necesară

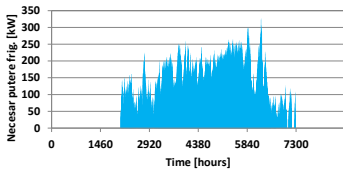


Putere electrică necesară

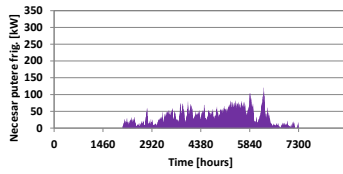


Consum lunar de energie electrică

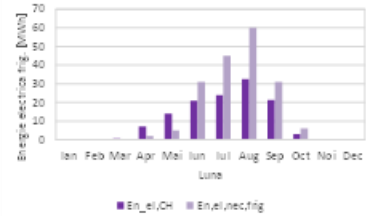
Varianta 1 de variație a necesarului de putere frigorifică



Putere frigorifică necesară

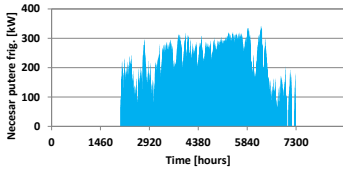


Putere electrică necesară

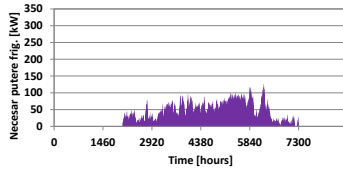


Consum lunar de energie electrică

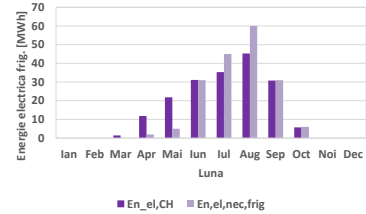
Varianta 2 de variație a necesarului de putere frigorifică



Putere frigorifică necesară



Putere electrică necesară

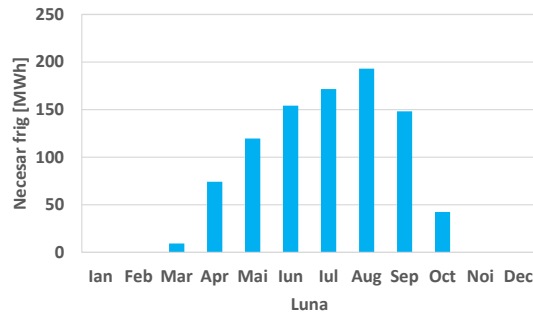


Consum lunar de energie electrică

Varianta 3 de variație a necesarului de putere frigorifică

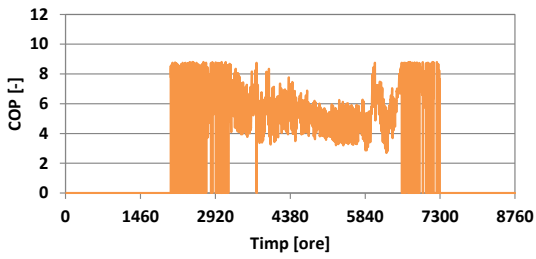
În urma analizei curbelor de variație a parametrilor considerați, și în special în urma comparării consumurilor lunare de energie electrică, s-a considerat că varianta a 3-a de variație a necesarului de frig cu temperatura exterioară, este cea mai apropiată de realitate, astfel încât această variantă a fost considerată în cadrul studiului.

În figura alăturată este prezentat necesarul lunar de frig, determinat conform considerațiilor prezentate anterior.

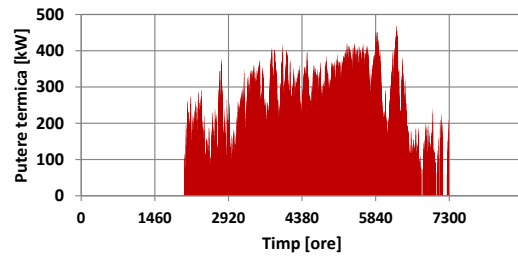


Necesarul lunar de frig

În figurile alăturate sunt prezentate curba de variație a COP, respectiv puterea termică evacuată de chiller în atmosferă (și care se propune a fi recuperată în vederea eficientizării energetice).

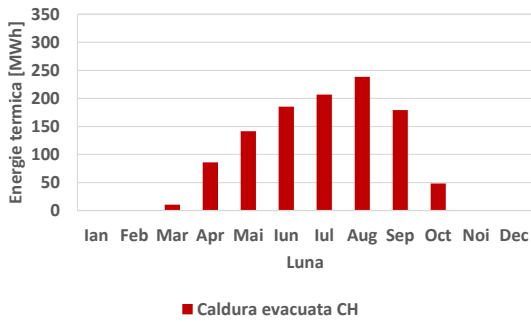


COP

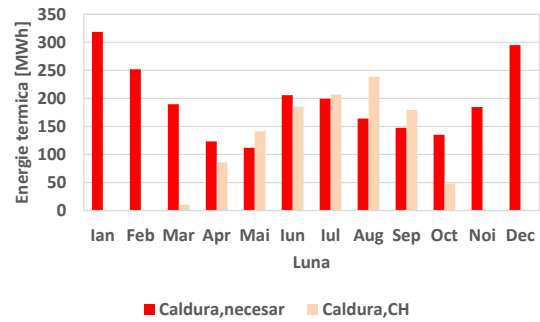


Putere termică evacuată în atmosferă

În figurile alăturate, se prezintă energia termică (respectiv căldura) evacuată lunar în atmosferă de chiller, respectiv aceeași mărime, raportată la consumul lunar total de energie termică.



Energia termică evacuată în atmosferă de CH



Energia termică totală și evacuată

Anual, chiller-ul evacuează în atmosferă 1096 kWh de căldură.

Utilizarea pompelor de căldură apă – apă, are ca scop, tocmai utilizarea puterii termice (respectiv a căldurii), care în prezent este evacuată în mediul ambiant.

Caracteristicile pompelor de căldură

În vederea recuperării căldurii evacuate în atmosferă de chiller, s-a considerat utilizarea unor pompe de căldură apă-apă cu agent frigorific R1234YF.

Calculul termic al ciclului frigorific de funcționare a pompei de căldură a fost efectuat cu ajutorul programului de calcul CoolTools, disponibil pe internet.

Parametrii de performanță ai pompelor de căldură sunt puterea termică produsă (Q [kW]), puterea electrică necesară pentru funcționare (P [kW]) și raportul dintre acestea, care este denumit coeficient de performanță (COP [-]).

Acești parametrii depind de condițiile de funcționare ale pompelor de căldură.

Pompele de căldură apă - apă

Pompele de căldură apă – apă funcționează cu agent frigorific R1234YF ($GWP = 4$). Parametrii de performanță depind de regimurile termice ale apei răcite și ale agentului termic preparat.

Condițiile de funcționare a pompelor de apă-apă căldură sunt:

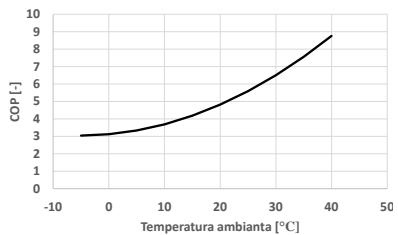
- Temperatura apei răcite: 6 °C pe tur / 12 °C pe retur
- Temperatura apei calde: 50 °C pe tur / 40 °C pe retur
- Putere frigorifică: 100 kW
- Putere termică: 130 kW
- Putere electrică: 31 kW
- COP frig: 3.18
- COP încălzire: 4.19
- COP global: 7.42

Pompele de căldură aer – apă, analizate în cadrul studiului, funcționează fie cu agent frigorific R1234YF ($GWP = 4$), fie cu agent frigorific R744 (CO_2).

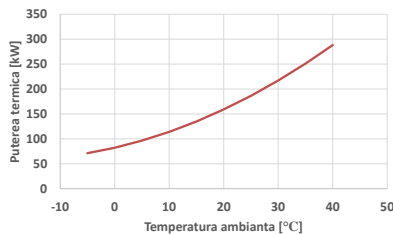
Pompele de căldură aer – apă cu R1234yf

Parametrii de performanță ale acestor pompe de căldură, depind de temperatura ambiantă. Aceste pompe de căldură pot să funcționeze până la temperatura ambiantă de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pentru temperaturi mai scăzute, vor funcționa exclusiv cazanele. Conform TMY există doar 270 ore/an (3 % din durata anului), cu temperaturi sub $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$

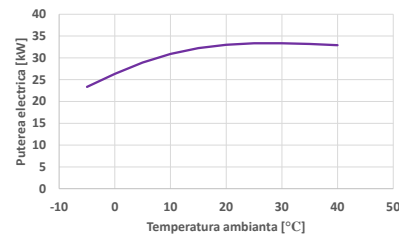
În figurile alăturate sunt prezentate curbele de variație a parametrilor caracteristici ai pompelor de căldură aer – apă, în funcție de temperatura ambiantă: COP, putere termică produsă și putere electrică absorbită.



COP



Putere termică produsă



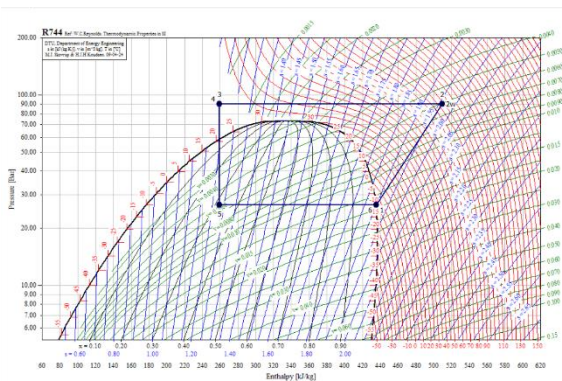
Putere electrică absorbită

Curbele de variație a parametrilor caracteristici ai pompelor de căldură aer – apă, în funcție de temperatura ambiantă

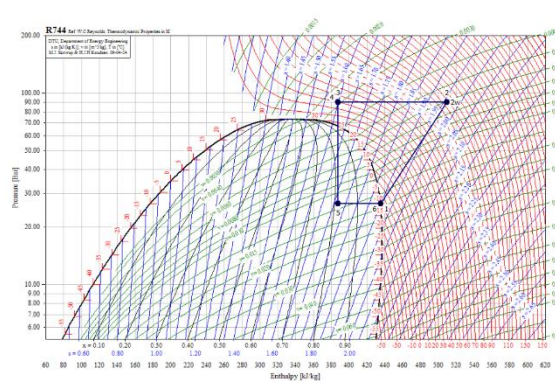
Pompele de căldură aer – apă cu R744 (CO₂)

Parametrii de performanță ai acestor pompe de căldură depind de temperatura ambiantă, de temperatura agentului termic preparat ($60\text{...}90\text{ }^{\circ}\text{C}$) și de temperatura pe returul sistemului de încălzire.

În figurile alăturate sunt prezentate două cicluri transcritice de funcționare a pompelor de căldură cu CO₂, unul cu temperatura la ieșirea din răcitor de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura pe retur de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$) și unul cu temperatura la ieșirea din răcitor de $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura pe retur de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Temperatura la ieșirea din răcitor de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura pe retur de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

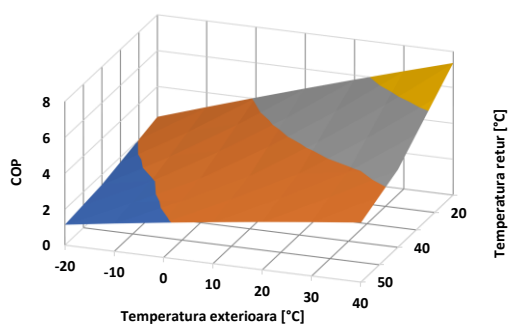


Temperatura la ieșirea din răcitor de $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura pe retur de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$)

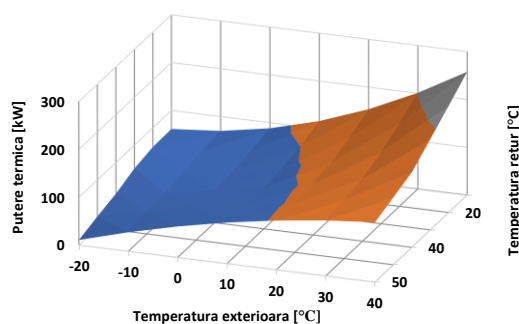
Din analiza comparativă a celor două cicluri se observă că eficiența și puterea termică produsă de aceste cicluri, scade odată cu creșterea temperaturii pe tur.

În cadrul studiului, s-a considerat în continuare că temperatura pe tur a agentului termic produs de pompele de căldură este de (60...80) °C în funcție de temperatura ambiantă, temperatura pe retur este 40 °C în regim de încălzire și 20 °C în regim de preparare a.c.m., iar temperatura ambiantă este variabilă în condițiile climatice ale locației considerate.

În figurile alăturate sunt prezentate grafic, variația COP pentru pompele de căldură aer-apă cu CO₂, respectiv variația puterii termice pentru pompa de căldură cu puterea termică nominală de 120 kW, în funcție de temperatura exterioară și de temperatura pe retur, cu temperatura pe tur de minim 60 °C.



Variația COP pentru PC aer-apă cu CO₂



Variația puterii termice pentru PC cu puterea nominală de 120 kW

În tabelele alăturate sunt prezentate valorile COP pentru pompele de căldură aer-apă cu CO₂, respectiv variația puterii termice pentru pompa de căldură cu puterea termică nominală de 120 kW, în funcție de temperatura exterioară și de temperatura pe retur, cu temperatura pe tur de minim 60 °C.

Valorile COP pentru pompele de căldură aer-apă cu CO₂

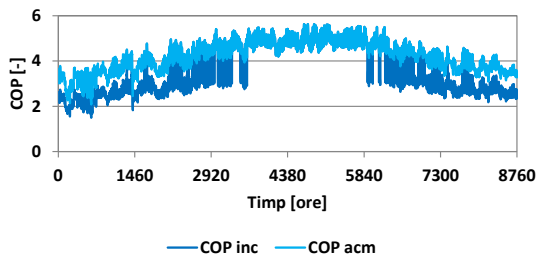
| | | Temperatura pe retur [°C] | | | | | |
|-----------------------------|-----|---------------------------|------|------|------|------|------|
| | | 50 | 45 | 40 | 30 | 20 | 10 |
| Temperatura exterioară [°C] | -20 | 1.14 | 1.29 | 1.43 | 1.73 | 2.02 | 2.31 |
| | -10 | 1.55 | 1.76 | 1.96 | 2.37 | 2.78 | 3.20 |
| | 0 | 1.94 | 2.21 | 2.47 | 3.00 | 3.53 | 4.07 |
| | 10 | 2.31 | 2.64 | 2.96 | 3.62 | 4.27 | 4.92 |
| | 20 | 2.67 | 3.05 | 3.44 | 4.21 | 4.98 | 5.75 |
| | 30 | 3.00 | 3.45 | 3.89 | 4.79 | 5.68 | 6.57 |
| | 40 | 3.32 | 3.83 | 4.33 | 5.34 | 6.35 | 7.37 |

Valorile puterii termice pentru pompa de căldură aer-apă cu puterea nominală de 120 kW

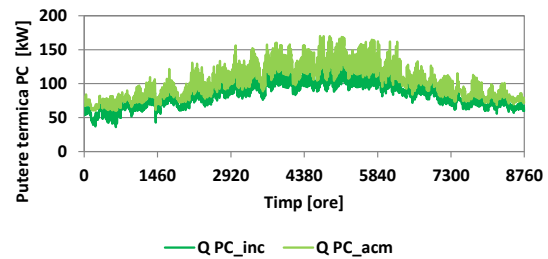
| | | Temperatura pe retur [°C] | | | | | |
|--------------------------------|-----|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 50 | 45 | 40 | 30 | 20 | 10 |
| Temperatura exterioară [°C] | -20 | 10.9 | 23.8 | 34.9 | 51.3 | 60.0 | 61.1 |
| | -10 | 39.9 | 44.7 | 49.2 | 57.3 | 64.2 | 69.9 |
| | 0 | 64.9 | 65.1 | 66.0 | 70.2 | 77.6 | 88.2 |
| | 10 | 86.0 | 84.9 | 85.2 | 89.9 | 100.3 | 116.2 |
| | 20 | 103.0 | 104.2 | 106.8 | 116.4 | 132.1 | 153.8 |
| | 30 | 116.1 | 122.9 | 130.8 | 149.8 | 173.2 | 201.0 |
| | 40 | 125.2 | 141.1 | 157.2 | 190.0 | 223.5 | 257.8 |

Pentru temperatura de -20 °C și temperaturile pe retur de 45 °C, respectiv 50 °C au fost calculate valorile pentru COP și puterea termică, dar funcționarea în acele condiții nu este posibilă.

În figurile alăturate sunt prezentate curbele de variație ale COP pentru pompele de căldură aer-apă și ale puterii termice pentru pompa de căldură cu puterea termică nominală de 120 kW, în regim de încălzire și de preparare a.c.m., în condițiile climatice ale pensiunii considerate.

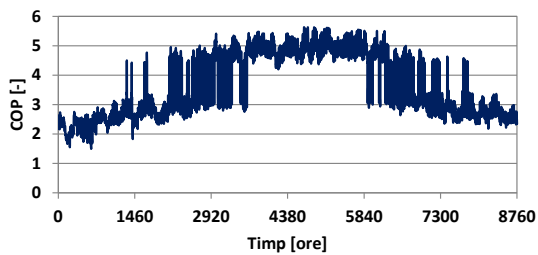


Curbele de variație a COP

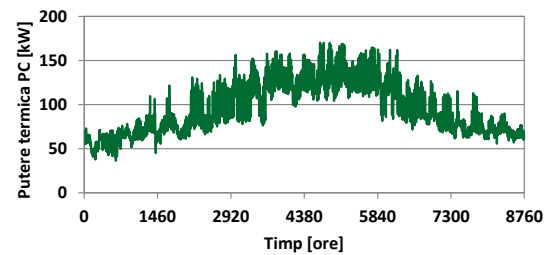


Curbele de variație a puterii termice

În figurile alăturate sunt prezentate curbele de variație ale COP și ale puterii termice, pentru pompele de căldură aer-apă, în regim mixt de funcționare (încălzire și a.c.m.), în condițiile climatice considerate.



Curba de variație a COP



Curba de variație a puterii termice

Analiza orară a funcționării sistemului fotovoltaic

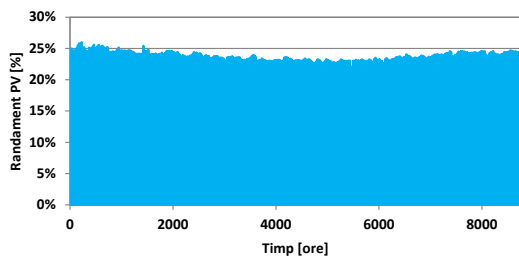
În momentul realizării studiului, sistemul fotovoltaic este funcțional, dar a fost analizat modul de funcționare estimat al acestuia, deoarece soluțiile de eficientizare propuse, reduc parțial consumul de gaz natural, prin creșterea consumului de energie electrică și în acest context, sistemul PV reprezintă un avantaj, care merită evaluat și cunoscut.

A fost considerată utilizarea unui model de panou fotovoltaic cu performanțe ridicate, respectiv cu valoarea puterii maxime de 480 W, valoarea randamentului de referință de 22.24 % și suprafața unui panou de 2.14 m².

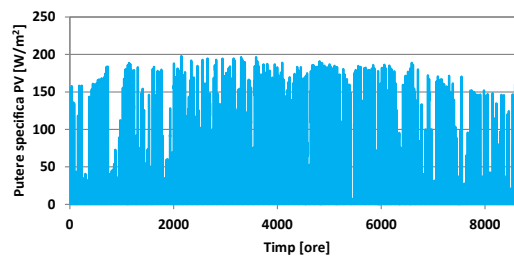
În figurile alăturate sunt prezentate curbele de variație a următoarelor mărimi caracteristice ale sistemului PV:

- Randament
- Putere electrică specifică (pe unitatea de suprafață $\langle m^2 \rangle$ de panou PV)
- Putere electrică totală

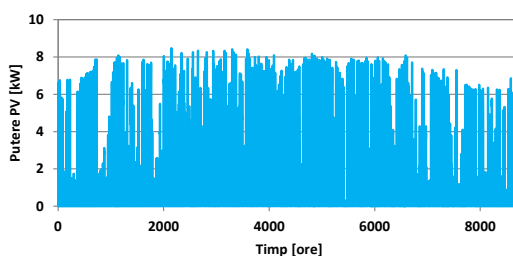
În condițiile în care nu se cunosc informații despre existența și caracteristicile sistemului fotovoltaic, s-a considerat că sunt instalate 20 panouri PV, cu puterea totală instalată de 9.5 kW. S-a considerat că panourile sunt orientate spre Sud și înclinate cu 30 ° față de orizontală.



Randamentul sistemului PV



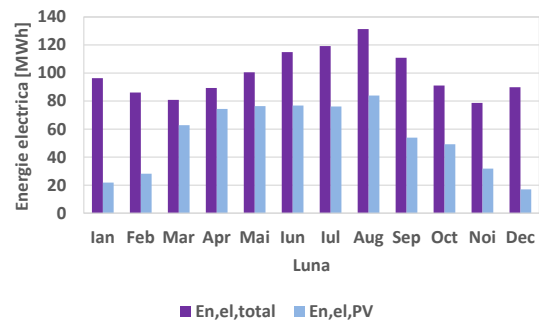
Puterea electrică specifică



Puterea electrică totală

S-a ținut seama de variația randamentului și a puterii electrice produse de panourile PV, în funcție de intensitatea radiației solare (în planul panourilor PV) și de temperatura ambiantă.

În figura alăturată se prezintă valorile comparative ale consumului actual de energie electrică și producției de energie asigurate de sistemul fotovoltaic.



Valorile consumului de energie electrică și producției de energie asigurate de sistemul PV

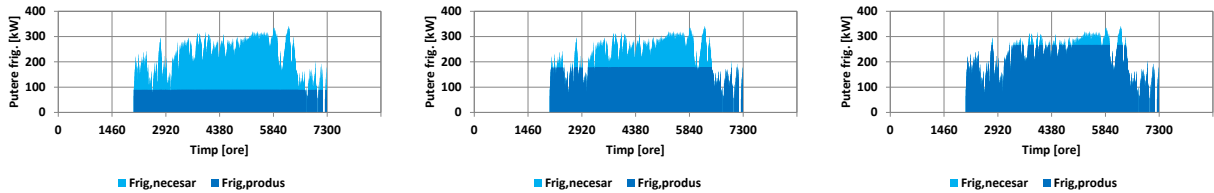
Se observă că sistemul PV este capabil să asigure o pondere importantă din consumurile lunare și anual de energie electrică.

VARIANTA CU POMPE DE CĂLDURĂ APĂ-APĂ

Analiza orară a funcționării pompelor de căldură

În continuare se prezintă curbele (cu pas de timp de o oră și simulare pe durata unui an), care descriu comportarea pompelor de căldură considerate în condițiile climatice ale locației în care este amplasat obiectivul și în condițiile necesarului de putere frigorifică prezentat anterior.

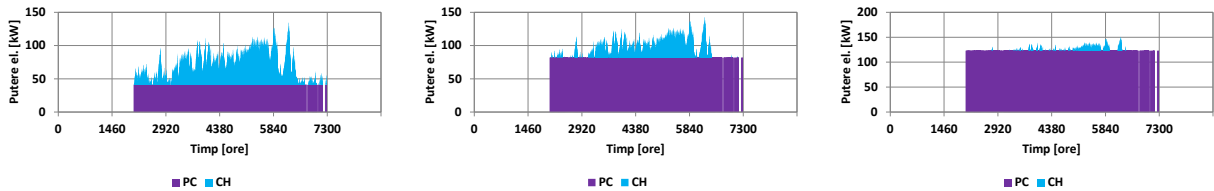
S-a considerat că în momentele în care puterea frigorifică pe care o pot produce pompele de căldură este mai mică decât cea necesară, diferența este asigurată de chiller-ul existent.



Puterea frigorifică produsă (1 PC) Puterea frigorifică produsă (2 PC) Puterea frigorifică produsă (3 PC)

Pentru 1 PC, ponderea producției de frig asigurată de PC este de 44.0 %, pentru 2 PC este de 79.2 %, iar pentru 3 PC este de 97.6 %. Funcționarea chiller-ului este necesară doar când necesarul de frig depășește puterea frigorifică pe care o pot asigura pompele de căldură.

În figurile alăturate se prezintă puterea electrică necesară pentru funcționarea pompelor de căldură și a chiller-ului.



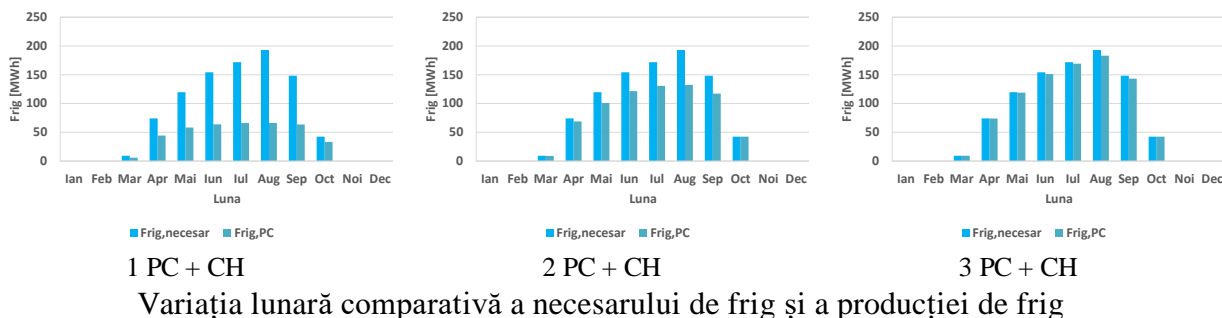
Puterea electrică (1 PC + CH) Puterea electrică (2 PC + CH) Puterea electrică (3 PC + CH)

Odată cu creșterea numărului de PC, crește și puterea electrică necesară pompelor de căldură, pentru care trebuie să existe disponibilul necesar de putere electrică.

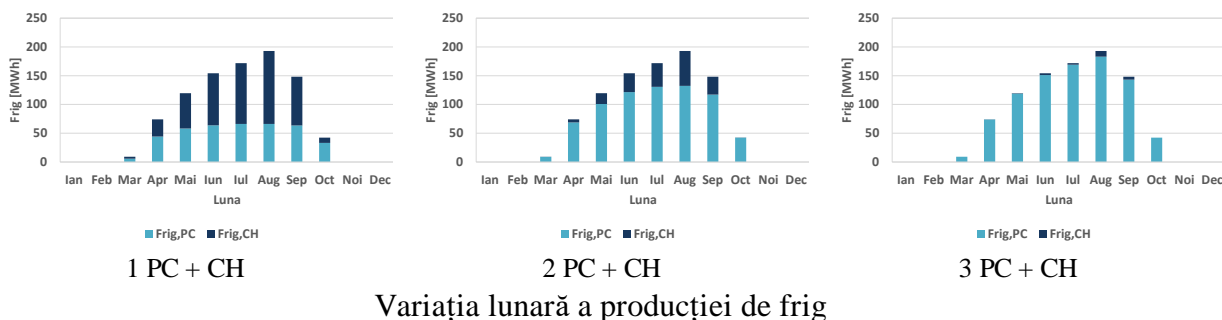
Analiza lunară a funcționării pompelor de căldură

În continuare se prezintă caracteristicile funcționării lunare a pompelor de căldură.

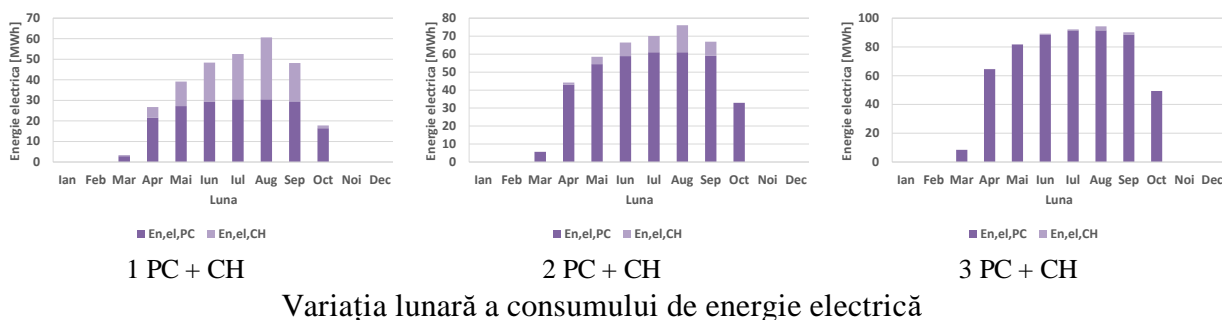
În figura alăturată se prezintă variația lunară comparativă a necesarului de frig și a producției de frig, asigurate de pompele de căldură apă – apă.



În figura alăturată se prezintă variația lunară a producției de frig, asigurate de pompele de căldură apă – apă și de chiller.



În figura alăturată se prezintă variația lunară a consumului de energie electrică, al pompelor de căldură apă – apă și al chiller-ului.

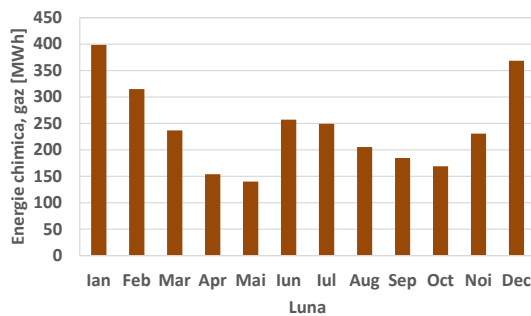


Se observă că în funcție de numărul de PC se modifică atât structura cât și valoarea consumului de energie electrică.

VARIANTA CU POMPE DE CĂLDURĂ AER-APĂ

Analiza necesarului de căldură

Necesarul de căldură, a fost evaluat pornind de la consumul actual de gaz, prezentat în figura alăturată.



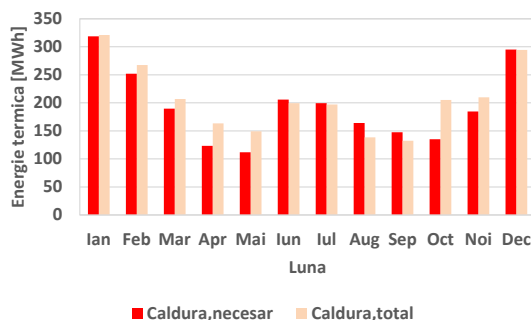
Consumul actual de gaz natural

Pentru calculul necesarului de căldură, a fost considerat randamentul mediu al cazanelor de 80 %. S-a considerat că cele mai importante componente ale necesarului de căldură sunt:

- Încălzirea apei din bazine
- Prepararea a.c.m.

Pentru simplificare, s-a considerat că necesarul de căldură pentru încălzirea apei din bazine, depinde de temperatura ambiantă (cunoscută din TMY), iar necesarul de căldură pentru prepararea a.c.m., depinde de numărul de persoane din ... (a cărui variație lunară a fost estimată).

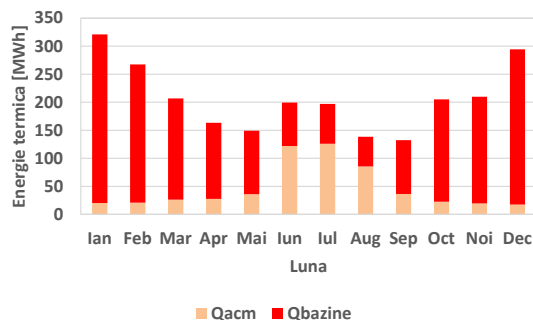
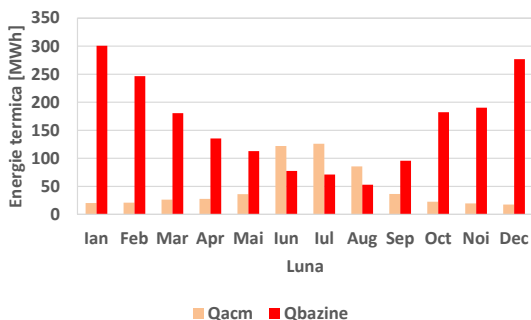
În figura alăturată se prezintă valorile lunare ale necesarului actual de căldură (determinat din consumul de gaz natural) și valorile lunare ale necesarului calculat de căldură pentru încălzirea apei din bazine și pentru prepararea a.c.m.



Valorile lunare ale necesarului real și calculat de căldură

Necesarul de căldură a fost determinat pentru cele două componente majore: încălzirea bazinelor și preparare a.c.m.

În figurile alăturate sunt prezentate cele două componente ale necesarului de căldură.



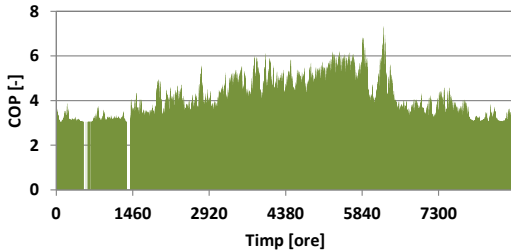
Necesarul de căldură pt încălzirea bazinelor și pt a.c.m. Necesarul de căldură pt încălzirea bazinelor și pt a.c.m.

Se observă că cele două componente ale necesarului de căldură prezintă variații contrare în timpul anului. Astfel vara scade necesarul de căldură pentru încălzirea bazinelor și crește necesarul de căldură pentru preparare a.c.m., iar iarna crește necesarul de căldură pentru încălzirea bazinelor și scade necesarul de căldură pentru preparare a.c.m.

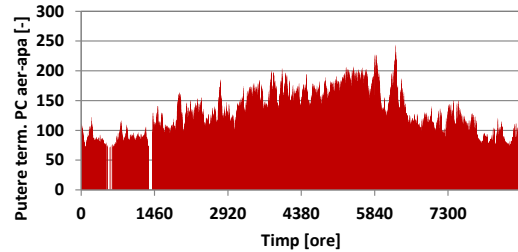
Scenariul de eficientizare energetică pentru încălzirea bazinelor și preparare a.c.m., presupune utilizarea de pompe de căldură aer-apă, pentru înlocuirea parțială a cazanelor cu funcționare pe gaz natural.

Analiza orară a funcționării PC aer-apă cu R1234yf

În figurile alăturate sunt prezentată curbele de variație a COP și ale puterii termice produse, pentru pompele de căldură aer-apă considerate.



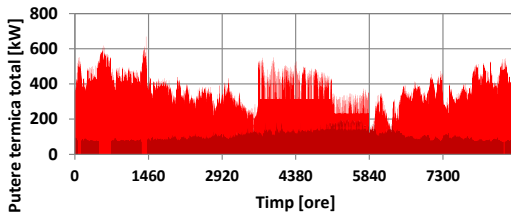
COP pentru pompele de căldură aer-apă



Putere termică pentru pompele de căldură aer-apă

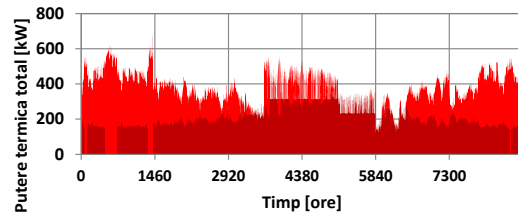
Zonele în care nu a fost calculate COP și puterea termică, sunt cele cu temperaturi sub $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

În figurile alăturate sunt prezentate componentele orare ale necesarului de căldură, asigurat de pompele de căldură aer-apă, respectiv cazane, în funcție de numărul pompelor de căldură considerate.



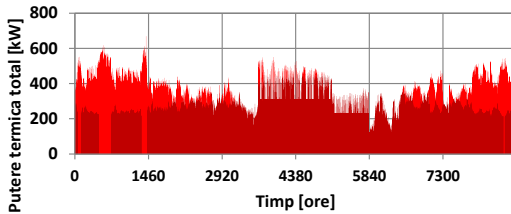
■ PC ■ Cazan

1 PC



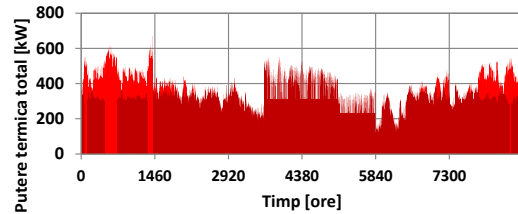
■ PC ■ Cazan

2 PC



■ PC ■ Cazan

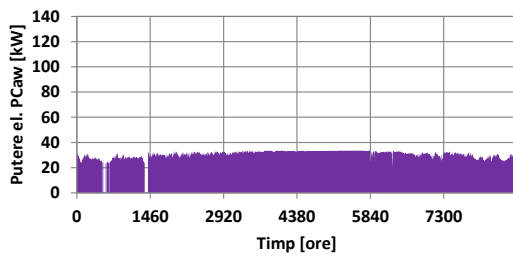
3 PC



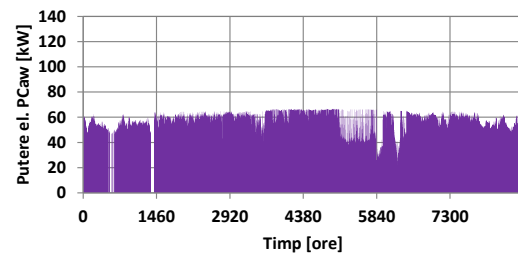
■ PC ■ Cazan

4 PC

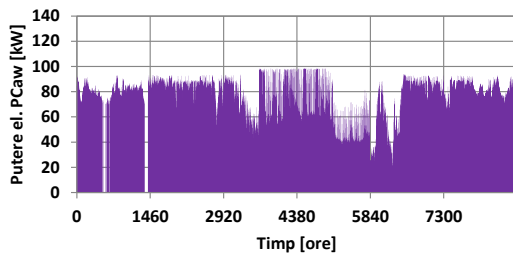
În figurile alăturate este prezentat necesarul de putere electrică în funcție de numărul pompelor de căldură considerate.



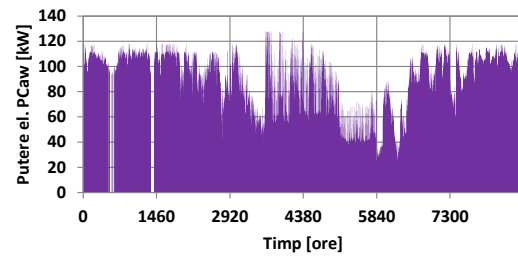
1 PC



2 PC



3 PC

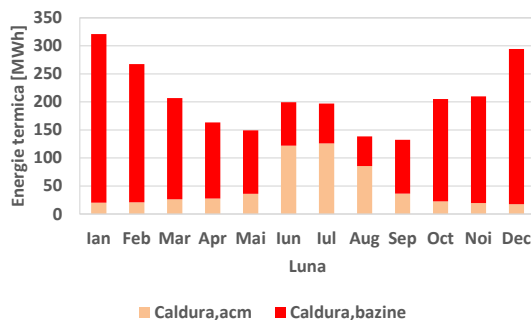


4 PC

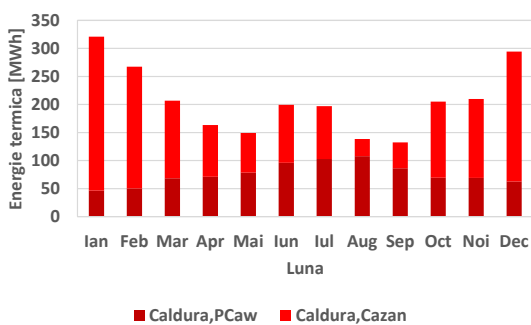
Necesarul de putere electrică

Analiza lunară a funcționării PC aer-apă cu R1234yf

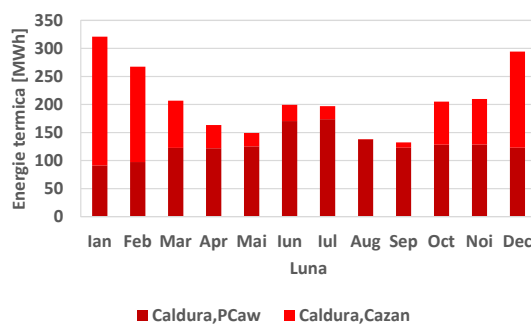
În figurile alăturate sunt prezentate componentele necesarului de căldură, respectiv componentele producției de căldură, în funcție de numărul pompelor de căldură.



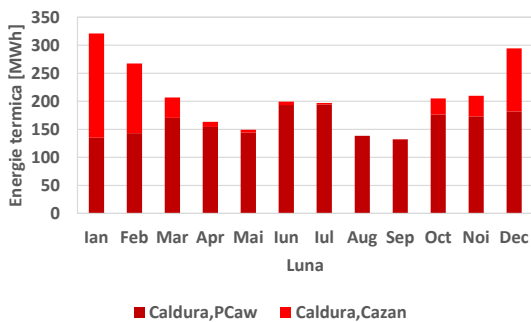
Componentele necesarului de căldură



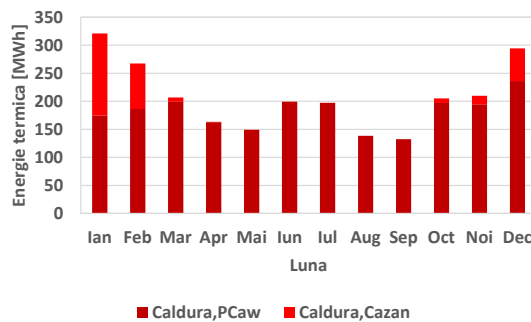
1 PC



2 PC



3 PC

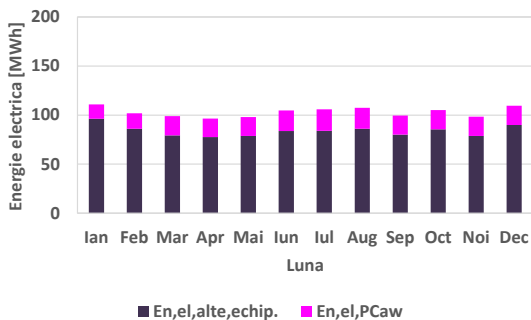


4 PC

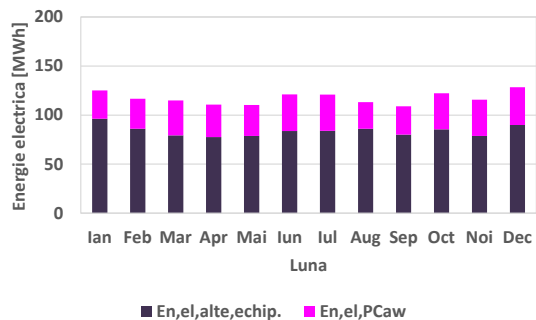
Componentele producției de căldură

Se observă că pe măsură ce crește numărul pompelor de căldură creșterea și ponderea acestora în producția de energie termică, dar această creștere nu este uniformă. Primele două pompe de căldură contribuie mai mult decât ultimele două. Corespunzător cu creșterea ponderii pompelor de căldură, scade ponderea cazanelor, deci scade consumul de gaz natural.

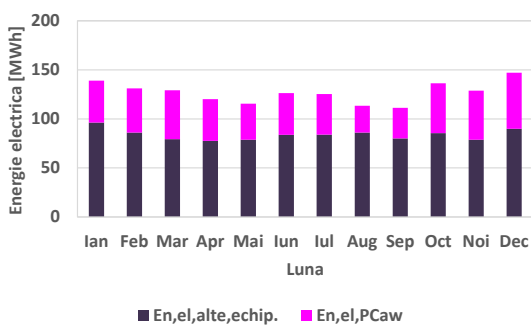
În figurile alăturate este prezentat consumul de energie al pompelor de căldură, față de consumul de energie al celorlalte echipamente.



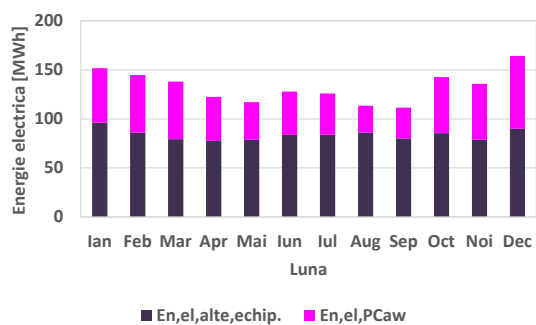
1 PC



2 PC



3 PC



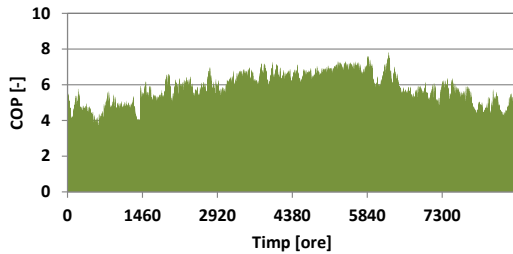
4 PC

Consumul de energie electrică

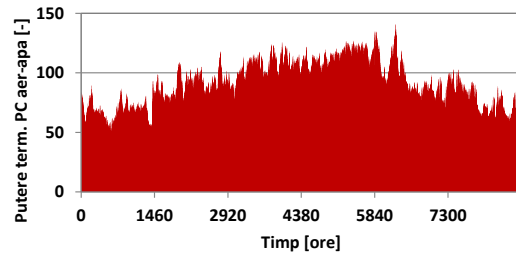
Evident, odată cu creșterea numărului pompelor de căldură, crește și consumul de energie electrică.

Analiza orară a funcționării PC aer-apă cu R744 (CO₂)

În figurile alăturate sunt prezentată curbele de variație a COP și ale puterii termice produse, pentru pompele de căldură aer-apă considerate.

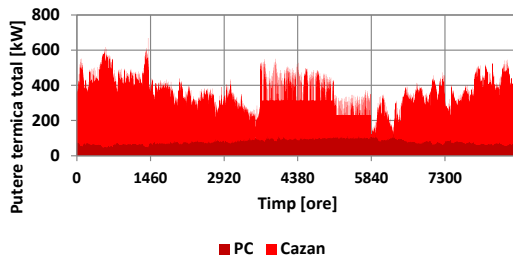


COP pentru pompele de căldură aer-apă

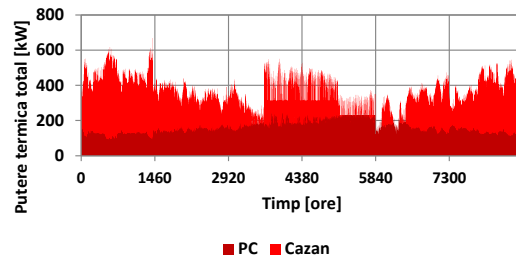


Putere termică pentru pompele de căldură aer-apă

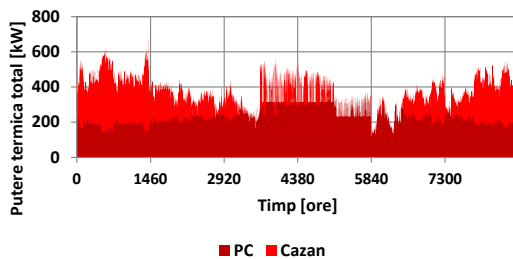
În figurile alăturate sunt prezentate componentele orare ale necesarului de căldură, asigurat de pompele de căldură aer-apă, respectiv cazane, în funcție de numărul pompelor de căldură considerate.



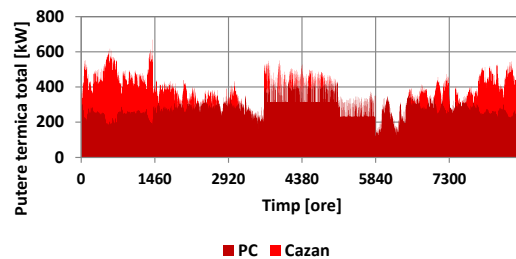
1 PC



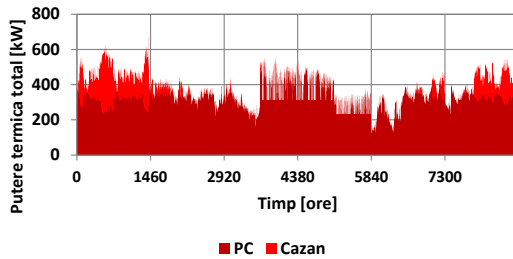
2 PC



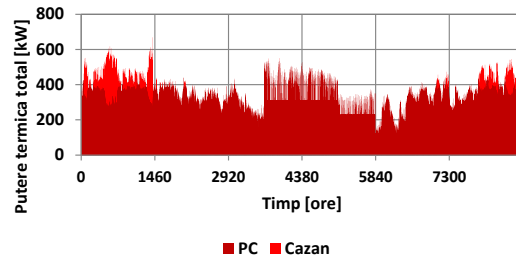
3 PC



4 PC

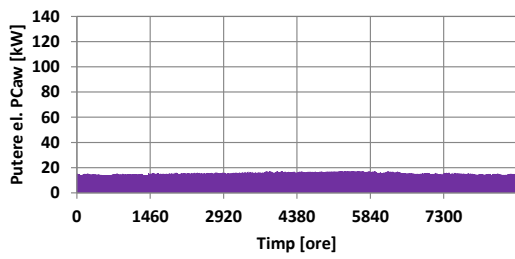


5 PC

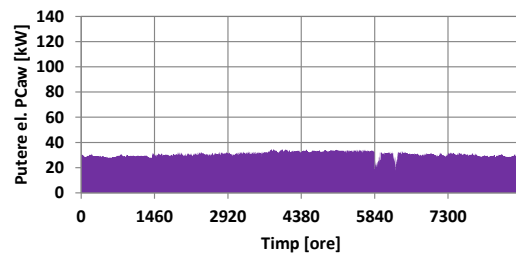


6 PC

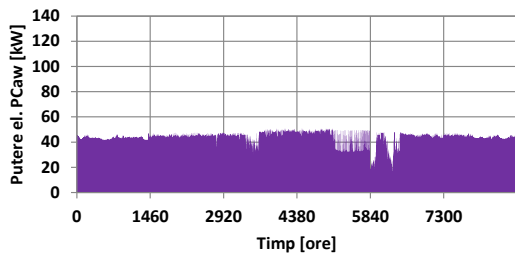
În figurile alăturate este prezentat necesarul de putere electrică în funcție de numărul pompelor de căldură considerate.



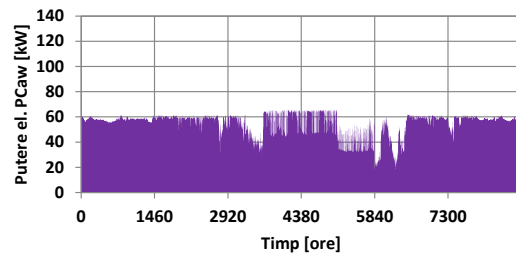
1 PC



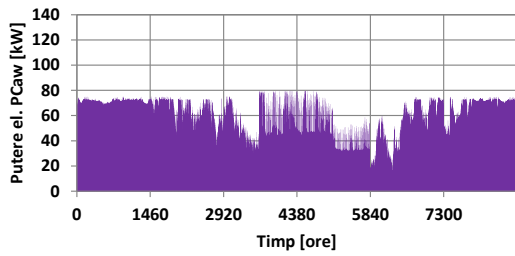
2 PC



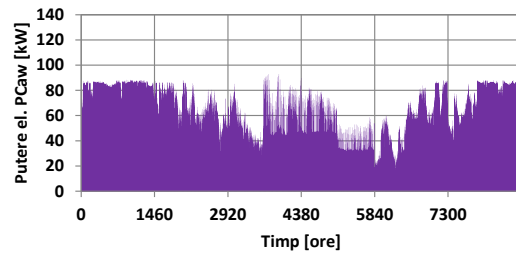
3 PC



4 PC



5 PC

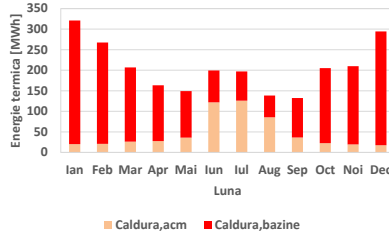


6 PC

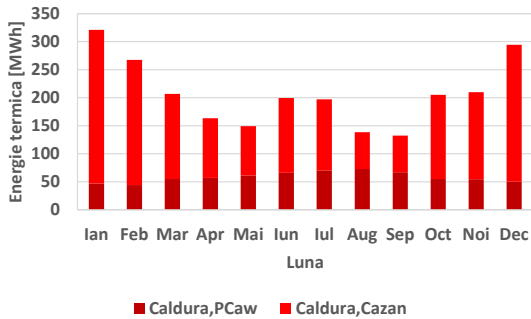
Necesarul de putere electrică

Analiza lunară a funcționării PC aer-apă cu R744 (CO₂)

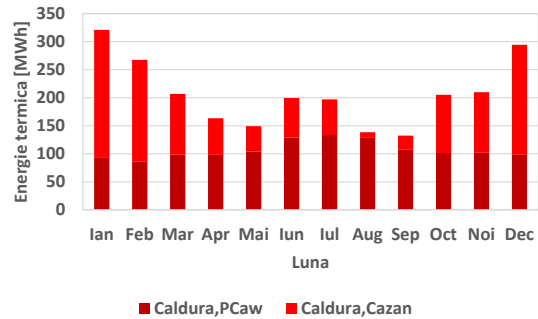
În figurile alăturate sunt prezentate componentele necesarului de căldură, respectiv componentele producției de căldură, în funcție de numărul pompelor de căldură.



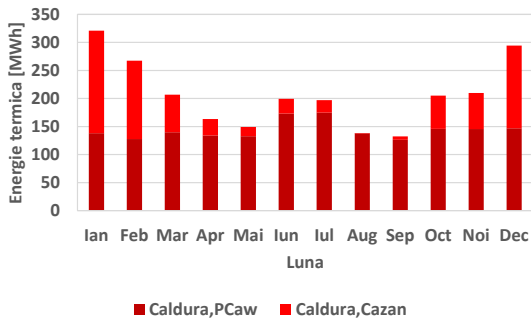
Componentele necesarului de căldură



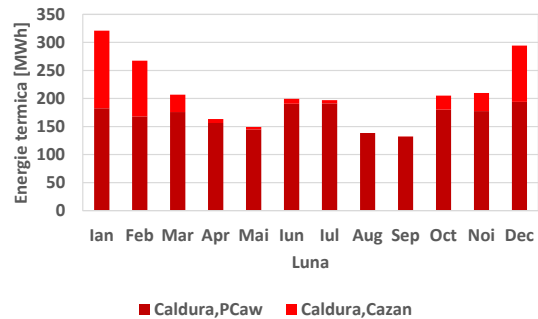
1 PC



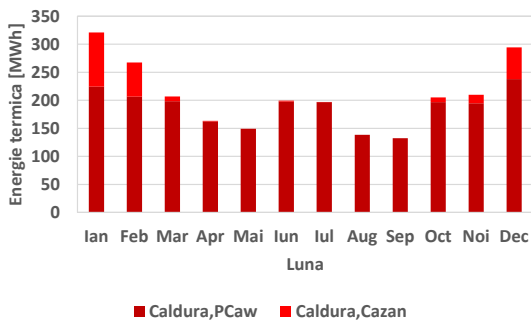
2 PC



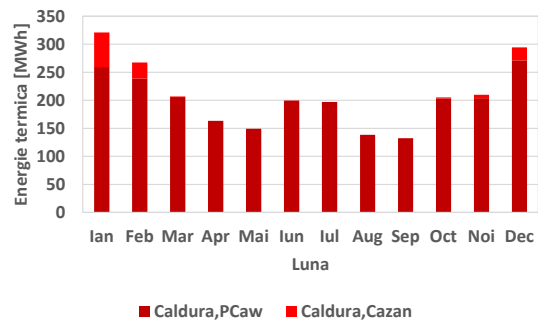
3 PC



4 PC



5 PC

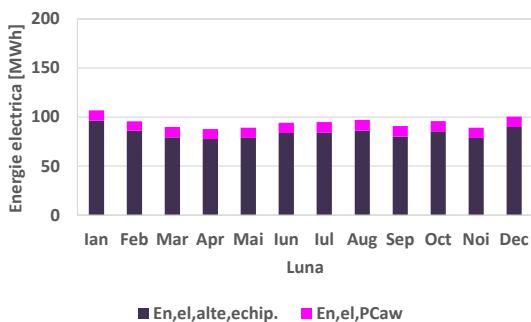


6 PC

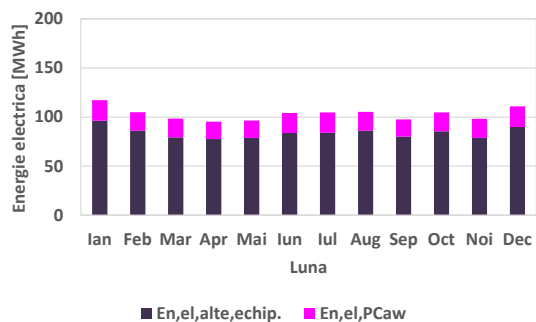
Componentele producției de căldură

Se observă că pe măsură ce crește numărul pompelor de căldură creșterea și ponderea acestora în producția de energie termică, dar această creștere nu este uniformă. Primele două pompe de căldură contribuie mai mult decât ultimele două. Corespunzător cu creșterea ponderii pompelor de căldură, scade ponderea cazanelor, deci scade consumul de gaz natural.

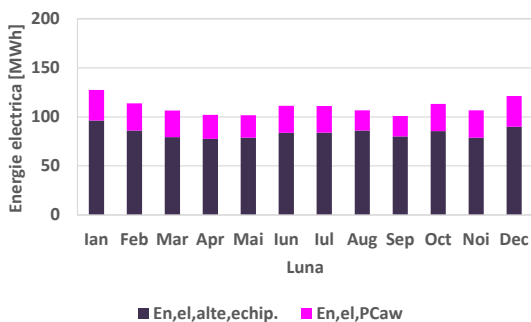
În figurile alăturate este prezentat consumul de energie al pompelor de căldură, față de consumul de energie al celorlalte echipamente.



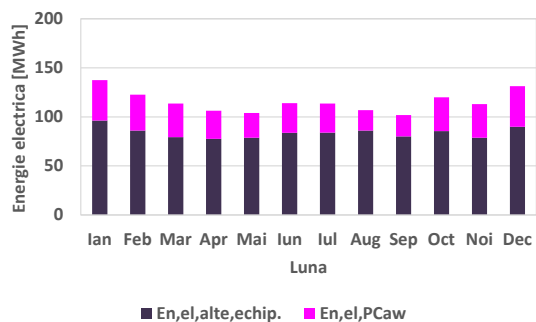
1 PC



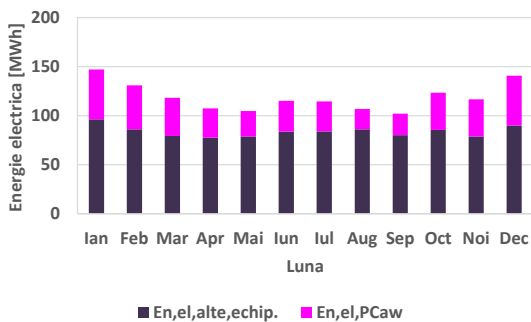
2 PC



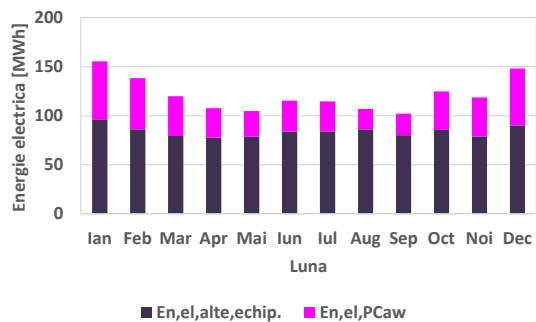
3 PC



4 PC



5 PC



6 PC

Consumul de energie electrică

Evident, odată cu creșterea numărului pompelor de căldură, crește și consumul de energie electrică.

ANALIZA ENERGETICĂ ANUALĂ

Valorile anuale ale formelor de energie considerate în cadrul studiului sunt prezentate în continuare, în cele două variante (scenarii) de eficientizare, considerate.

Varianta cu pompe de căldură apă-apă

În tabelul alăturat sunt prezentate valorile anuale ale formelor de energie considerate.

Analiza energetică anuală

| Parametrii | u.m. | Ref | Nr. PC apă-apă | | |
|---------------------------------|------|------|----------------|-------|-------|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| Necesar frig | MWh | 913 | 913 | 913 | 913 |
| Necesar caldura | MWh | 2327 | 2327 | 2327 | 2327 |
| Productie frig CH | MWh | 913 | 511 | 190 | 22 |
| Productie frig PC | MWh | 0 | 402 | 723 | 891 |
| Productie frig total | MWh | 913 | 913 | 913 | 913 |
| Pondere PC (frig) | | 0 | 44.0% | 79.2% | 97.6% |
| Energie electrica pt frig CH | MWh | 183 | 109 | 45 | 6 |
| Energie electrica pt frig PC | MWh | 0 | 188 | 376 | 564 |
| Energie electrica pt frig total | MWh | 183 | 297 | 421 | 570 |
| Productie caldura PC | MWh | 0 | 524 | 866 | 978 |
| COP anual (CH+PC) | - | 4.98 | 4.84 | 4.23 | 3.32 |
| COP anual (CH) | - | 4.90 | 4.70 | 4.25 | 3.57 |
| COP anual (PC) | - | | 4.92 | 4.23 | 3.31 |
| Consum gaz | MWh | 2909 | 2451 | 2023 | 1883 |
| Economie gaz | MWh | 0 | 458 | 886 | 1025 |
| Economie energie electrica | MWh | 0 | -114 | -237 | -387 |

Varianta cu pompe de căldură aer-apă cu R1234yf

În tabelul alăturat sunt prezentate valorile anuale ale formelor de energie considerate.

Analiza energetică anuală

| Parametrii | u.m. | Ref | Nr. PC aer-apă | | | |
|----------------------------|------|------|----------------|------|------|------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Consum gaz | MWh | 2909 | 1969 | 1175 | 684 | 397 |
| Productie caldura PC | MWh | | 909 | 1544 | 1937 | 2167 |
| Energie electrica PC | MWh | | 231 | 402 | 518 | 589 |
| COP anual PC | - | | 3.93 | 3.84 | 3.74 | 3.68 |
| Economie gaz | MWh | | 939 | 1733 | 2225 | 2512 |
| Economie energie electrica | MWh | | -231 | -402 | -518 | -589 |

Odată cu creșterea numărului pompelor de căldură, scade consumul de gaz natural și crește consumul de energie electrică. Costurile celor două forme de energie, determină eficiența economică a investiției.

Varianta cu pompe de căldură aer-apă cu R744 (CO₂)

În tabelul alăturat sunt prezentate valorile anuale ale formelor de energie considerate.

Analiza energetică anuală

| Parametrii | u.m. | Ref | Nr. PC aer-apă | | | | | |
|----------------------------|------|------|----------------|------|------|------|------|------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Consum gaz | MWh | 2909 | 2228 | 1505 | 951 | 566 | 311 | 153 |
| Productie caldura PC | MWh | | 702 | 1280 | 1723 | 2032 | 2236 | 2362 |
| Energie electrica PC | MWh | | 126 | 232 | 316 | 379 | 422 | 450 |
| COP anual PC | - | | 5.57 | 5.52 | 5.45 | 5.37 | 5 | 5 |
| Economie gaz | MWh | | 680 | 1403 | 1957 | 2343 | 2598 | 2756 |
| Economie energie electrica | MWh | | -126 | -232 | -316 | -379 | -422 | -450 |

Odată cu creșterea numărului pompelor de căldură, scade consumul de gaz natural și crește consumul de energie electrică. Costurile celor două forme de energie, determină eficiența economică a investiției.

ANALIZA ECONOMICĂ

În continuare este prezentată o sinteză a analizei economice pentru cele două variante (scenarii) de eficientizare energetică analizate și pentru diferite valori ale prețurilor gazului natural și al energiei electrice.

Varianta cu pompe de căldură apă-apă

În tabelele alăturate este prezentată sinteza analizei economice, considerând prețurile medii pentru energie, în România, pentru consumatori non-casnici, conform Eurostat, din anul 2022, respectiv prețurile actuale la ... (prețul gazului plafonat).

Analiza economică (prețuri medii la energie în România)

| Parametrii | u.m. | Ref | Nr. PC apa-apa | | |
|-------------------------------|----------|-----|----------------|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| Pret unitar gaz | Euro/MWh | | | | |
| Pret unitar energie electrica | Euro/MWh | | | | |
| Cost unitar PC | Mii Euro | | | | |
| Cost gaz | Mii Euro | | | | |
| Cost energie electrica | Mii Euro | | | | |
| Cost total operare | Mii Euro | | | | |
| Economie operare | Mii Euro | | | | |
| Cost PC | Mii Euro | | | | |
| Perioada de amortizare | Ani | | | | |

Creșterea numărului pompelor de căldură duce la scăderea costului cu gazul natural și la creșterea costului cu energia electrică. În cazul a 3 pompe de căldură costurile de operare devin mai mari decât în situația de referință (actuală), iar investiția nu se mai amortizează.

Analiza economică (prețuri actuale ... – preț plafonat la gaz)

| Parametrii | u.m. | Ref | Nr. PC apa-apa | | |
|-------------------------------|----------|-----|----------------|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| Pret unitar gaz | Euro/MWh | | | | |
| Pret unitar energie electrica | Euro/MWh | | | | |
| Cost unitar PC | Mii Euro | | | | |
| Cost gaz | Mii Euro | | | | |
| Cost energie electrica | Mii Euro | | | | |
| Cost total operare | Mii Euro | | | | |
| Economie operare | Mii Euro | | | | |
| Cost PC | Mii Euro | | | | |
| Perioada de amortizare | Ani | | | | |

Creșterea numărului pompelor de căldură duce la scăderea costului cu gazul natural și la creșterea costului cu energia electrică. În cazul a 3 pompe de căldură costurile de operare devin apropiate de situația de referință (actuală), iar investiția se amortizează într-o perioadă foarte lungă de timp.

Recomandare:

Pentru acest scenariu de eficientizare energetică, se recomandă montarea a 1 sau 2 pompe de căldură apă-apă.

Varianta cu pompe de căldură aer-apă cu R1234yf

În tabelele alăturate este prezentată sinteza analizei economice, considerând prețurile medii pentru energie, în România, pentru consumatori non-casnici, conform Eurostat, din anul 2022, respectiv prețurile actuale la ... (prețul gazului plafonat).

Analiza economică (prețuri medii la energie în România)

| Parametrii | u.m. | Ref | Nr. PC aer-apa | | | |
|-------------------------------|----------|-----|----------------|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Pret unitar gaz | Euro/MWh | | | | | |
| Pret unitar energie electrica | Euro/MWh | | | | | |
| Cost unitar PC | Mii Euro | | | | | |
| Cost gaz | Mii Euro | | | | | |
| Cost energie electrica | Mii Euro | | | | | |
| Cost total operare | Mii Euro | | | | | |
| Economie operare | Mii Euro | | | | | |
| Cost PC | Mii Euro | | | | | |
| Perioada de amortizare | Ani | | | | | |

Creșterea numărului pompelor de căldură duce la scăderea costului cu gazul natural și la creșterea costului cu energia electrică.

Analiza economică (prețuri actuale ... – preț plafonat la gaz)

| Parametrii | u.m. | Ref | Nr. PC aer-apa | | | |
|-------------------------------|----------|-----|----------------|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Pret unitar gaz | Euro/MWh | | | | | |
| Pret unitar energie electrica | Euro/MWh | | | | | |
| Cost unitar PC | Mii Euro | | | | | |
| Cost gaz | Mii Euro | | | | | |
| Cost energie electrica | Mii Euro | | | | | |
| Cost total operare | Mii Euro | | | | | |
| Economie operare | Mii Euro | | | | | |
| Cost PC | Mii Euro | | | | | |
| Perioada de amortizare | Ani | | | | | |

Creșterea numărului pompelor de căldură duce la scăderea costului cu gazul natural și la creșterea costului cu energia electrică.

Costul mic al gazului natural și costul mare al energiei electrice, defavorizează investiția.

Estimările pe termen mediu și lung, sunt că se va renunța la plafonarea prețului la gazul natural și în plus se vor adăuga taxe pe emisiile de CO₂ provenite din arderea combustibililor fosili. În acest context, cel mai probabil, condițiile economice viitoare vor favoriza reducerea ponderii utilizării cazanelor, în favoarea pompelor de căldură.

Recomandare:

Pentru acest scenariu de eficientizare energetică, se recomandă montarea a 2 sau 3 pompe de căldură aer-apă.

Varianta cu pompe de căldură aer-apă cu R744 (CO₂)

În tabelele alăturate este prezentată sinteza analizei economice, considerând prețurile medii pentru energie, în România, pentru consumatori non-casnici, conform Eurostat, din anul 2022, respectiv prețurile actuale la ... (prețul gazului plafonat).

Analiza economică (prețuri medii la energie în România)

| Parametrii | u.m. | Ref | Nr. PC aer-apa | | | | | |
|-------------------------------|----------|-----|----------------|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Pret unitar gaz | Euro/MWh | | | | | | | |
| Pret unitar energie electrica | Euro/MWh | | | | | | | |
| Cost unitar PC | Mii Euro | | | | | | | |
| Cost gaz | Mii Euro | | | | | | | |
| Cost energie electrica | Mii Euro | | | | | | | |
| Cost total operare | Mii Euro | | | | | | | |
| Economie operare | Mii Euro | | | | | | | |
| Cost PC | Mii Euro | | | | | | | |
| Perioada de amortizare | Ani | | | | | | | |

Creșterea numărului pompelor de căldură duce la scăderea costului cu gazul natural și la creșterea costului cu energia electrică.

Analiza economică (prețuri actuale ... – preț plafonat la gaz)

| Parametrii | u.m. | Ref | Nr. PC aer-apa | | | | | |
|-------------------------------|----------|-----|----------------|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Pret unitar gaz | Euro/MWh | | | | | | | |
| Pret unitar energie electrica | Euro/MWh | | | | | | | |
| Cost unitar PC | Mii Euro | | | | | | | |
| Cost gaz | Mii Euro | | | | | | | |
| Cost energie electrica | Mii Euro | | | | | | | |
| Cost total operare | Mii Euro | | | | | | | |
| Economie operare | Mii Euro | | | | | | | |
| Cost PC | Mii Euro | | | | | | | |
| Perioada de amortizare | Ani | | | | | | | |

Creșterea numărului pompelor de căldură duce la scăderea costului cu gazul natural și la creșterea costului cu energia electrică.

Costul mic al gazului natural și costul mare al energiei electrice, defavorizează investiția.

Estimările pe termen mediu și lung, sunt că se va renunța la plafonarea prețului la gazul natural și în plus se vor adăuga taxe pe emisiile de CO₂ provenite din arderea combustibililor fosili. În acest context, cel mai probabil, condițiile economice viitoare vor favoriza reducerea ponderii utilizării cazanelor, în favoarea pompelor de căldură.

Recomandare:

Pentru acest scenariu de eficientizare energetică, se recomandă montarea a 2 sau 5 pompe de căldură aer-apă.

Recomandări globale

Observație:

Eficiențizarea energetică prin utilizarea unor pompe de căldură apă-apă și / sau aer – apă, este recomandată, deoarece toate scenariile investigate permit reducerea costurilor de operare a sistemelor de răcire / climatizare / dehumidificare, respectiv de încălzire a apei din bazine și de preparare a.c.m.

Recomandare:

Pentru cazul în care se decide implementarea ambelor scenarii de eficiențizare energetică, se recomandă montarea a 1 pompă de căldură apă-apă și 1 sau 2 pompe de căldură aer-apă cu R1234yf, sau (2 – 4) pompe de căldură aer-apă de temperatură ridicată cu R744. Astfel, pe timpul sezonului cald, se va putea beneficia de efectele pozitive ale ambelor tipuri de echipamente, iar pe timpul sezonului rece, se va putea beneficia de avantajele pompelor de căldură aer-apă.

Recomandare:

Dintre toate scenariile de eficiențizare posibile, se recomandă montarea a 1 pompă de căldură apă-apă și a (2 – 4) pompe de căldură aer-apă de temperatură ridicată cu R744.

Observație:

A fost analizată și eficiența utilizării unor pompe de căldură apă – apă de temperatură ridicată cu R744 (CO₂), dar eficiența energetică a acestor modele este mai redusă decât a pompelor de căldură apă – apă cu R1234yf și din acest motiv, rezultatele nu au fost prezentate în acest studiu.

Pentru pompele de căldură aer – apă, eficiența energetică a pompelor de căldură cu R1234yf și a celor cu R744 (CO₂) este apropiată cu un avantaj pentru pompele de căldură cu R744 (CO₂), care prezintă atât eficiență energetică sezonieră (anuală) mai ridicată, cât și domeniul de funcționare la temperatură ambiantă variabilă, mai larg (până la -20 °C, față de până la -5 °C, pentru cele cu R1234yf). Totuși, diferențele de performanță pentru cele două modele de pompe de căldură aer – apă sunt mai apropiate, astfel încât au fost prezentate rezultatele pentru ambele tipuri de pompe de căldură, deși sunt preferabile cele cu R744 (CO₂).

Observație:

În analiza economică nu au fost incluse costurile de montaj, care vor fi evaluate în funcție de decizia privind configurația finală a sistemului de eficiențizare energetică.