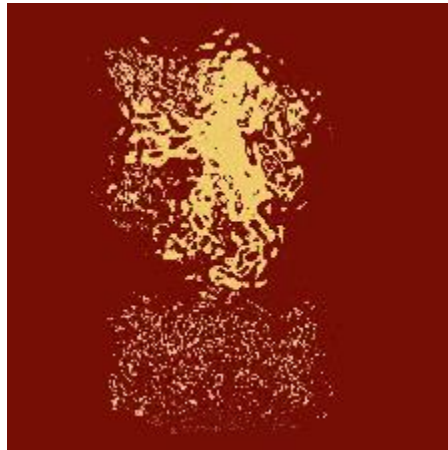


**STUDIU PRIVIND UTILIZAREA
POMPELOR DE CĂLDURĂ PENTRU
ÎNCĂLZIRE ȘI PREPARARE A.C.M.**



Cuprins

Considerații generale.....	3
Condiții climatice.....	4
Necesarul de energie termică a clădirilor.....	5
Caracteristicile pompelor de căldură.....	6
Funcționarea pompelor de căldură în condițiile reale de lucru.....	8
Analiza funcționării sistemului fotovoltaic.....	12
Analiza energetică lunară și anuală.....	13

Considerații generale

Studiul a fost realizat la solicitarea ..., cu sediul în localitatea ..., în calitate de beneficiar.

Amplasamentul complexului turistic ..., este prezentat în figura alăturată.



Amplasamentul complexului turistic ... Google Maps

Scopul studiului este analiza comportamentului pompelor de căldură cu care se dorește înlocuirea sursei de căldură a sistemului actual de încălzire și preparare apă caldă menajeră (a.c.m.). Sistemul de încălzire este centralizat, existând o rețea termică realizată cu țevi preizolate, care deservește clădirile complexului turistic.

În prezent, sursa de căldură este reprezentată de un cazan pe biomasă forestieră (tocătură de lemn și rumeguș) cu puterea termică de 400 kW.

Noile surse de căldură sunt reprezentate de:

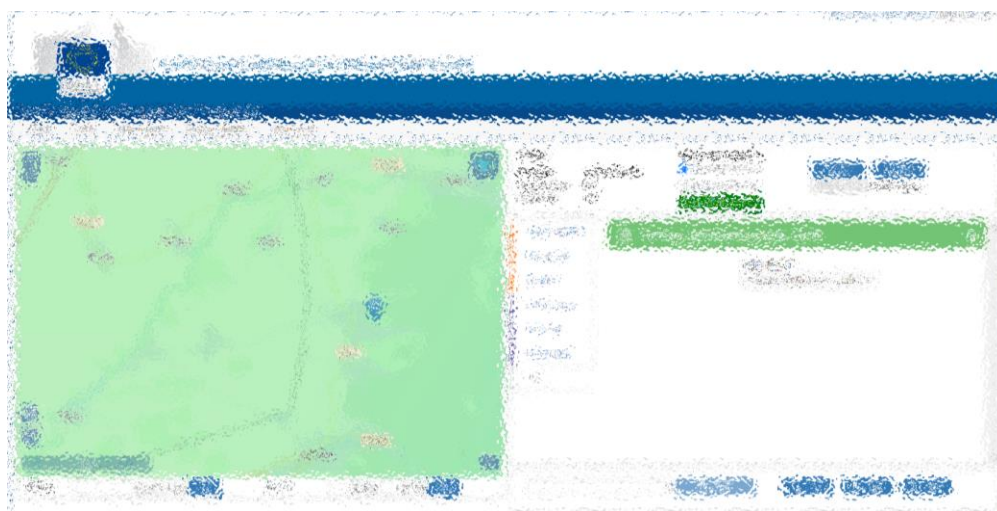
- O pompă de căldură apă – apă cu puterea termică nominală de 500 kW
- Două pompe de căldură aer – apă cu puterea termică nominală de 120 kW fiecare

Condiții climatice

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

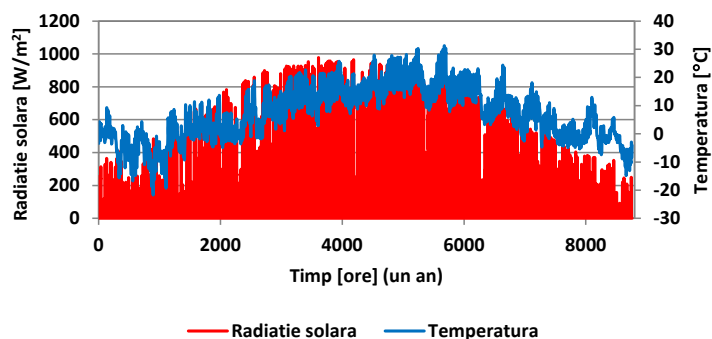
Parametrii climatici care influențează comportarea termică a sistemului de încălzire și a pompelor de căldură, sunt intensitatea radiației solare și temperatura ambiantă. Valorile parametrilor climatici, pentru amplasamentul complexului turistic, au fost preluate din anul climatic standard (*Typical Meteorological Year - TMY*), determinat pe baza măsurărilor 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 complexului turistic.

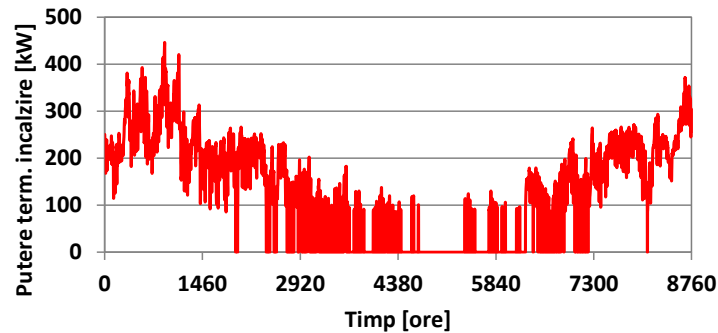


Curbele de variație ale temperaturii ambiante și ale intensității radiației solare

Necesarul de energie termică a clădirilor

Necesarul de căldură pentru încălzirea clădirilor, depinde de temperatura exterioară și se consideră că dacă temperatura exterioară depășește 12 °C, nu este necesară încălzirea.

Curba de variație a puterii termice necesare pentru încălzire, este prezentată în figura alăturată.

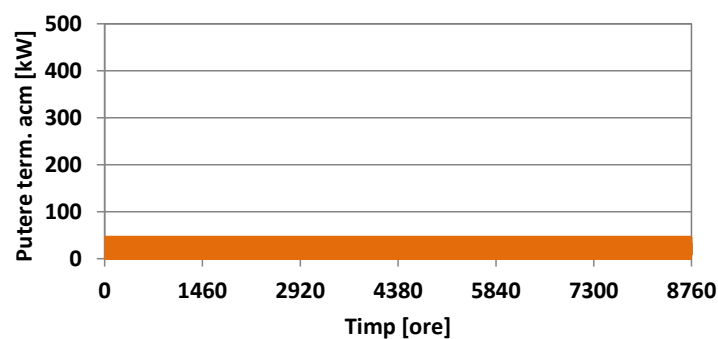


Curba de variație a puterii termice necesare pentru încălzire

Se observă că puterea termică maximă depășește cu puțin puterea termică a cazanului existent, ceea ce este corelat cu existența unui deficit de putere termică în anumite perioade.

Consumul de apă caldă este de cca. 200 m³/luna și s-a considerat o curbă de consum orar, tipică pentru consum rezidențial în localitățile din Europa, considerând că temperatura apei reci este de 10 °C.

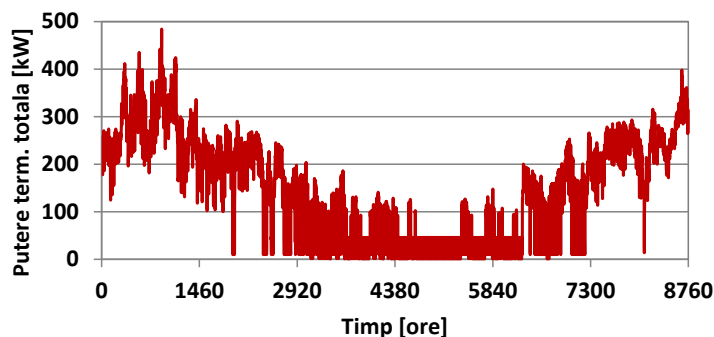
În figura alăturată este prezentată curba de variație a puterii termice necesare pentru preparare a.c.m.



Curba de variație a puterii termice necesare pentru preparare a.c.m.

Puterea termică necesară pentru prepararea a.c.m. este variabilă în timpul zilei, dar puterea termică maximă necesară este constantă, cu atât mai mult cu cât toate clădirile sunt echipate cu rezervoare pentru stocarea a.c.m.

Puterea termică totală este reprezentată de suma dintre puterile termice necesare pentru încălzire și pentru preparare a.c.m., iar curba de variație a puterii termice totale este reprezentată în figura alăturată.



Curba de variație a puterii termice totale

Această curbă de variație a puterii termice trebuie să fie asigurată de sursele de căldură, respectiv de pompele de căldură.

Caracteristicile pompelor de căldură

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.

Pompa de căldură apă – apă funcționează cu freon R134a în condiții de lucru constante:

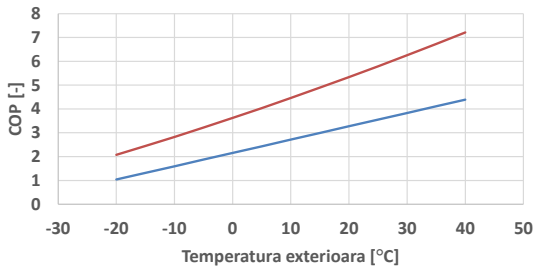
- Temperatura apei reci din pânza freatică: 10 °C
- Temperatura agentului termic preparat: 60 °C

În aceste condiții, parametrii de performanță sunt constanți:

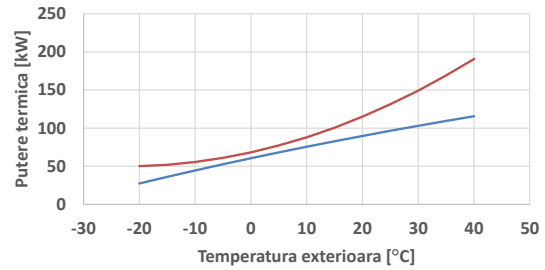
- Putere termică: 458.3 kW
- Putere electrică: 157.9 kW
- COP: 2.9

Pompele de căldură aer – apă funcționează cu agent frigorific CO_2 (R744) iar condițiile de lucru sunt variabile în funcție de temperatura ambiantă și de temperatura agentului termic preparat (60...90) °C și de temperatura pe returul sistemului de încălzire (considerat în continuare 40 °C în regim de încălzire și 20 °C în regim de preparare a.c.m.).

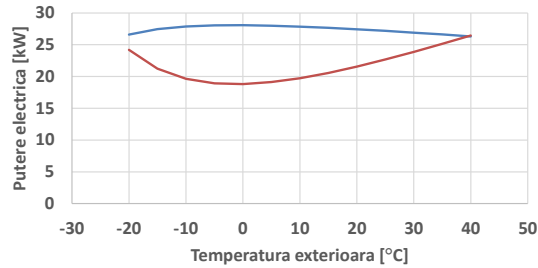
În figurile alăturate sunt prezentate curbele de variație ale parametrilor pompelor de căldură aer-apă, în funcție de temperatura exterioară, la funcționarea în regim de încălzire, respectiv în regim de preparare a.c.m.



Curba de variație a COP cu temperatura exterioară

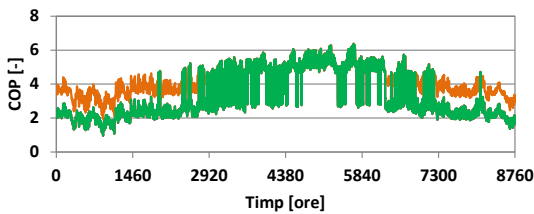


Curba de variație a puterii termice cu temperatura exterioară

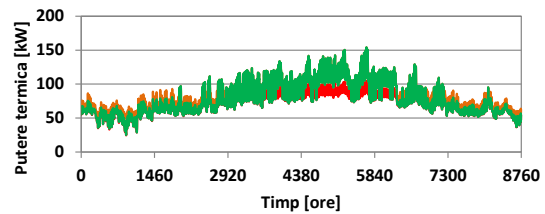


Curba de variație a puterii electrice cu temperatura exterioară

În figurile alăturate sunt prezentate curbele de variație ale COP și ale puterii termice, pentru pompele de căldură aer-apă, în regim de încălzire și de preparare a.c.m., în condițiile climatice ale complexului turistic.

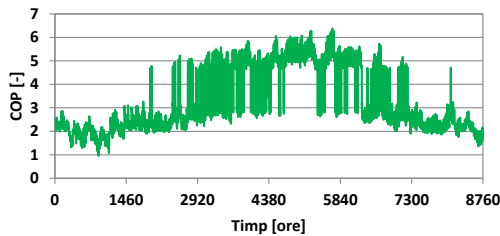


Curbele de variație a COP

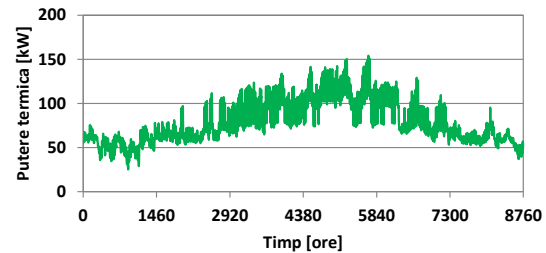


Curbele de variație a puterii termice

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 ale complexului turistic.



Curba de variație a COP



Curba de variație a puterii termice

Funcționarea pompelor de căldură în condițiile reale de lucru

Pentru a asigura puterea termică necesară funcționarea pompelor de căldură trebuie să asigure atât furnizarea de căldură (astfel nu poate să funcționeze numai o pompă de căldură aer-apă dacă necesarul de căldură este mai mare decât poate să producă aceasta) cât și eficiența energetică ridicată (dacă e posibil, să funcționeze pompa, sau pompele de căldură care asigură la un moment dat cel mai mare COP).

În funcție de valoarea necesarului de putere termică totală și de puterea termică pe care o pot produce pompele de căldură, pot fi identificate mai multe situații de funcționare a pompelor de căldură, denumite cazuri.

Cazuri de funcționare a pompelor de căldură, în funcție de puterile termice

Caz	Raport puteri termice	Echipeamente care funcționează
1	$Q_{total} < Q_{aer-apă}$	1 x PC _{aer-apă}
2	$Q_{aer-apă} < Q_{total} < 2 \cdot Q_{aer-apă}$	2 x PC _{aer-apă}
3	$2 \cdot Q_{aer-apă} < Q_{total} < Q_{apă-apă}$	1 x PC _{apă-apă}
4	$Q_{total} > Q_{apă-apă}$	1 x PC _{apă-apă} + 1 x PC _{aer-apă}

Dacă se ține seama și de valorile COP care pot fi realizate, în cazul 2 (conform tabelului anterior), când din punct de vedere al puterii termice este suficientă funcționarea a două pompe de căldură aer-apă, dacă este mai mare COP-ul pompei de căldură apă-apă, atunci va funcționa aceasta în locul pompelor de căldură aer-apă.

În aceste condiții, situațiile de funcționare a pompelor de căldură sunt prezentate în tabelul alăturat.

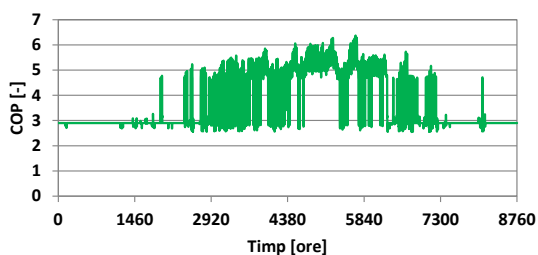
Cazuri de funcționare a pompelor de căldură, în funcție de puterile termice și de COP			
Caz	Raport puteri termice	Raport COP	Echipamente care funcționează
1	$Q_{total} < Q_{aer-apă}$		1 x PC _{aer-apă}
2 _a	$Q_{aer-apă} < Q_{total} < 2 \cdot Q_{aer-apă}$	$COP_{aer-apă} > COP_{apă-apă}$	2 x PC _{aer-apă}
2 _b	$Q_{aer-apă} < Q_{total} < 2 \cdot Q_{aer-apă}$	$COP_{aer-apă} < COP_{apă-apă}$	1 x PC _{apă-apă}
3	$2 \cdot Q_{aer-apă} < Q_{total} < Q_{apă-apă}$		1 x PC _{apă-apă}
4	$Q_{total} > Q_{apă-apă}$		1 x PC _{apă-apă} + 1 x PC _{aer-apă}

În cazul 1 (puterea termică necesară este mai mică decât puterea termică a unei pompe de căldură aer-aer) întotdeauna va funcționa o singură pompă de căldură aer-apă, deoarece puterea termică necesară este prea mică pentru pompa de căldură apă-apă (care nu poate funcționa la sarcină parțială oricât de mică).

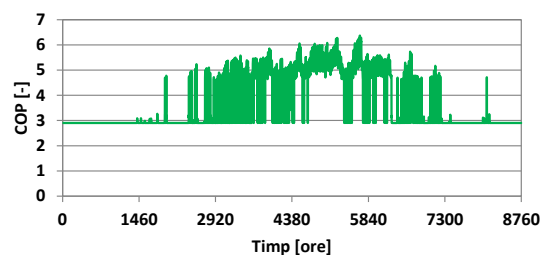
În cazul 3 (puterea termică necesară este mai mare decât puterea termică a două pompe de căldură aer-apă) întotdeauna va funcționa pompa de căldură apă-apă, singura care are suficientă putere termică.

În cazul 4 (puterea termică necesară este mai mare decât puterea termică a pompei de căldură apă-apă) întotdeauna va funcționa atât pompa de căldură apă-apă, cât și o pompă de căldură aer-apă, ca să completeze necesarul de putere termică.

În figurile alăturate sunt prezentate curbele de variație a COP (pentru pompele de căldură care funcționează) dacă se ține seama numai de raportul dintre necesarul de putere termică totală și de puterea termică pe care o pot produce pompele de căldură, respectiv dacă se ține seama și de COP (pentru valori medii ale puterii termice necesare, când se poate alege fie să funcționeze două pompe de căldură aer-apă, fie pompa de căldură apă-apă).



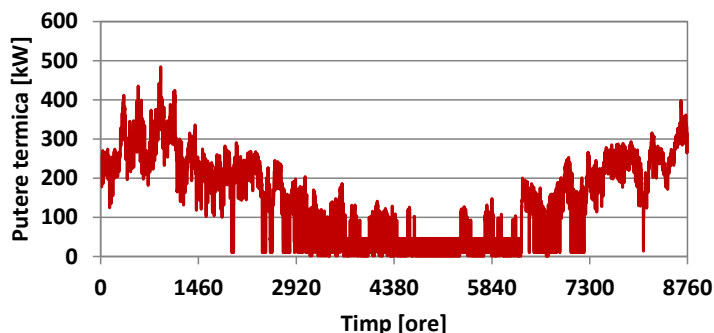
Curba de variație a COP
(numai în funcție de puterile termice)



Curba de variație a puterii termice
(în funcție de puterile termice și eficiența energetică)

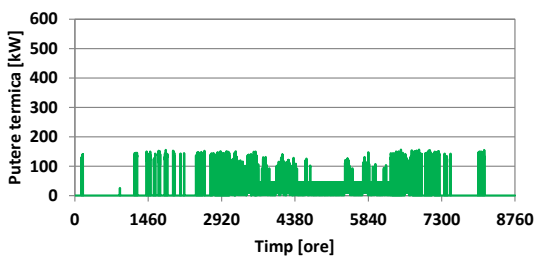
Se observă că cele două curbe de variație a COP sunt destul de apropiate între ele.

În ambele situații analizate, puterea termică asigurată de pompele de căldură, este egală cu puterea termică totală. În figura alăturată este prezentată curba de variație a puterii termice asigurate de pompele de căldură (egală cu puterea termică totală necesară).

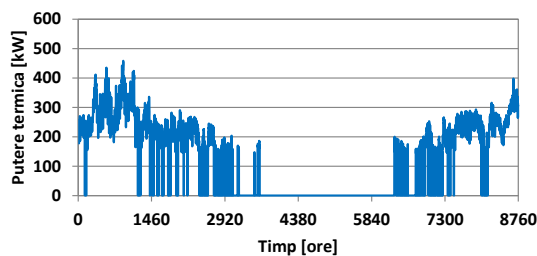


Curba de variație a puterii termice asigurate de pompele de căldură (egală cu cea necesară)

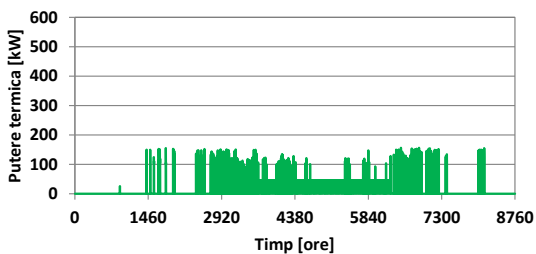
Această curbă de variație a puterii, este asigurată de pompele de căldură aer-apă, respectiv apă-apă, ale căror curbe de variație a puterilor asigurate sunt prezentate în figurile alăturate.



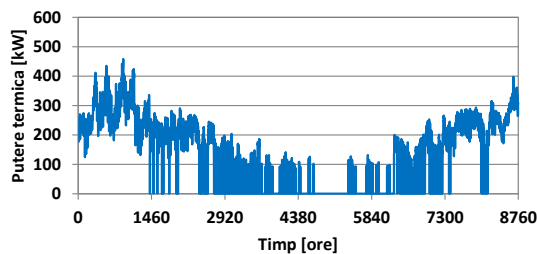
Curba de variație a puterii termice $PC_{\text{aer-apă}}$ (numai în funcție de puterile termice)



Curba de variație a puterii termice $PC_{\text{apă-apă}}$ (numai în funcție de puterile termice)



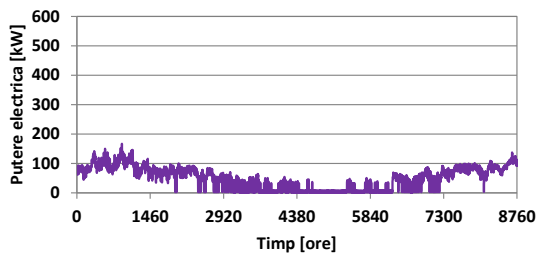
Curba de variație a puterii termice $PC_{\text{aer-apă}}$ (în funcție de puterile termice și eficiența energetică)



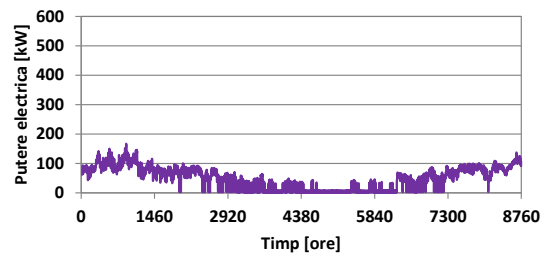
Curba de variație a puterii termice $PC_{\text{apă-apă}}$ (în funcție de puterile termice și eficiența energetică)

Se observă că dacă nu se ține seama de eficiența energetică, vara vor funcționa numai pompele de căldură aer-apă, iar dacă se ține seama de eficiența energetică, iarna va funcționa preponderent pompa de căldură apă-apă.

În figurile alăturate sunt prezentate curbele de variație a puterii electrice consumate de pompele de căldură, în cele două situații considerate.



Curba de variație a puterii electrice
(numai în funcție de puterile termice)



Curba de variație a puterii electrice
(în funcție de puterile termice și eficiența energetică)

Pentru asigurarea puterii electrice necesare, se va analiza în continuare și cuplarea cu un sistem fotovoltaic.

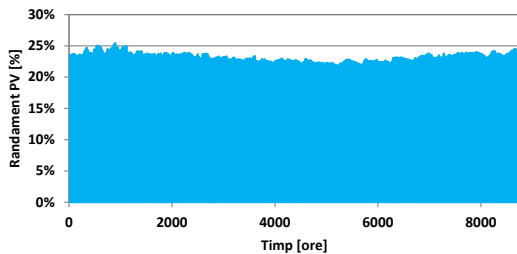
Analiza funcționării sistemului fotovoltaic

A fost considerată utilizarea unui model de panou fotovoltaic cu performanțe ridicate, respectiv cu valoarea randamentului de referință de 21.5 % și suprafața unui panou de 2.2 m².

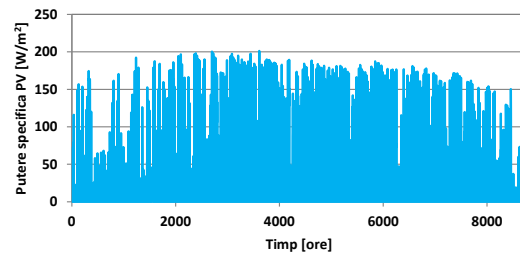
În figurile alăturate sunt prezentate curbele de variație a următoarelor mărimi caracteristice ale sistemului PV:

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

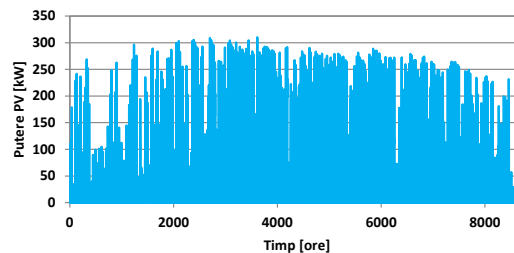
Pentru a se asigura o producție anuală echivalentă cu energia electrică pe care o consumă pompele de căldură, sunt necesare 700 panouri PV.



Randamentul sistemului PV



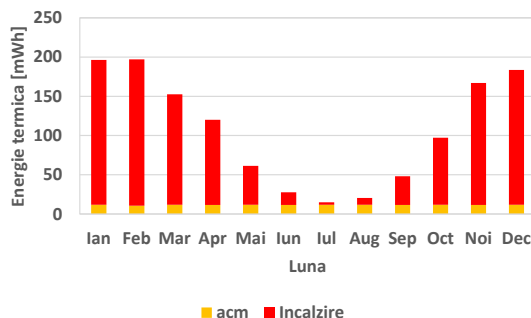
Puterea electrică specifică



Puterea electrică totală

Analiza energetică lunară și anuală

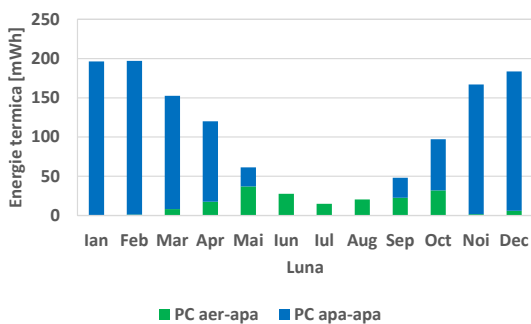
În figura alăturată este prezentat consumul lunar de energie termică, pentru încălzire și preparare a.c.m.



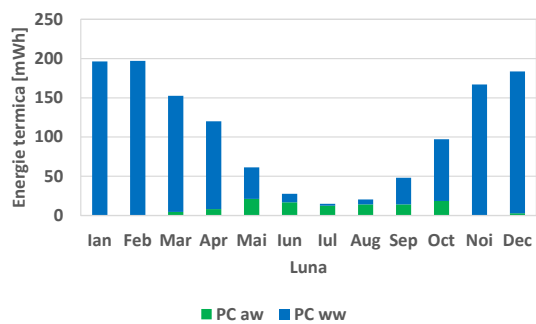
Necesarul de căldură pentru încălzire și preparare a.c.m.

Se observă că necesarul lunar de energie termică pentru preparare a.c.m. este relativ constant, iar necesarul de energie termică pentru încălzire depinde de temperatura exterioară.

În figura alăturată se prezintă producția de energie termică a pompelor de căldură aer-apă și apă-apă, în cele două situații considerate.



Energia termică produsă
(numai în funcție de puterile termice)

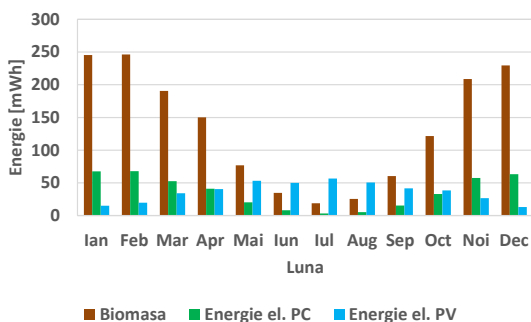


Energia termică produsă
(în funcție de puterile termice și eficiența energetică)

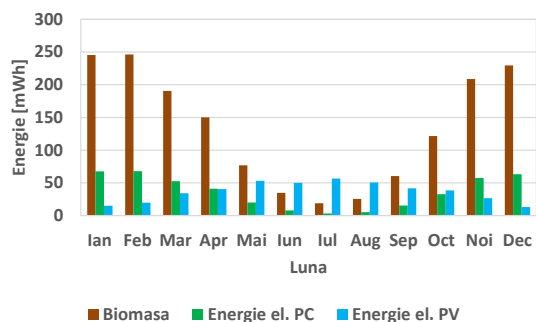
Se observă în primul rând că producția lunară de căldură a pompelor de căldură este egală cu necesarul de căldură și că deși există unele diferențe între cele două situații considerate pentru selectarea pompelor de căldură în funcționare, aceste diferențe sunt relativ mici.

În figurile alăturate sunt prezentate valorile lunare comparative pentru:

- Energia consumată în sistemul actual (cu biomasă, considerând valoarea medie a randamentului cazanului de 70 %)
- Energia electrică consumată de pompele de căldură
- Energia electrică produsă de sistemul PV



Energii consumate / produse
(numai în funcție de puterile termice)



Energii consumate / produse
(în funcție de puterile termice și eficiența energetică)

Valorile anuale ale formelor de energie considerate în cadrul studiului sunt:

- Necesari energie termică pentru încălzire: 1146.6 MWh
- Necesari energie termică pentru preparare a.c.m.: 140.0 MWh
- Necesari energie termică totală: 1286.6 MWh
- Energia consumată prin biomasă: 1608.3 MWh
- Energie termică produsă de pompele de căldură aer-apă (fără a considera COP): 190.8 MWh
- Energie termică produsă de pompele de căldură aer-apă (considerând COP): 114.4 MWh
- Energie termică produsă de pompele de căldură apă-apă (fără a considera COP): 1095.8 MWh
- Energie termică produsă de pompele de căldură apă-apă (considerând COP): 1172.2 MWh
- Energia termică produsă de pompele de căldură în total (fără a considera COP): 1286.6 MWh
- Energia termică produsă de pompele de căldură în total (considerând COP): 1286.6 MWh
- Energia electrică pe care o consumă pompele de căldură (fără a considera COP): 436.1 MWh
- Energia electrică pe care o consumă pompele de căldură (considerând COP): 434.6 MWh
- Energia electrică produsă de sistemul PV: 439.5 MWh