

Analiza energetică privind un posibil sistem sursă hibrid

Energy analysis on a possible hybrid power system

Prof. dr. ing. Florin Iordache

Universitatea Tehnică de Construcții București
Bulevardul Lacul Tei 122-124, Sector 2, București, România
E-mail: *fliord@yahoo.com*

Rezumat: Sursa hibrid propusă pentru analiza în lucrare se referă la motoarele cu combustie termică pe bază de cogenerare, cuplate cu pompe de căldură. Motoarele termice realizează primul pas prin încălzirea unui flux de căldură, creșterea în continuare a potențialului va fi realizat cu ajutorul pompelor de căldură.

Sistemul hibrid menționat realizează atât energie termică cât și energie electrică necesară pentru nevoile consumatorilor. Lucrarea prezintă o analiză a sistemului hibrid ca sursă de putere în comparație cu sursa de bază a motoarelor termice. Performanța sistemului sursă hibrid și capacitatea instalată este determinată pentru sistemul hibrid sursă. Analiza energetică întreprinsă are ca scop identificarea performanței energetice a unui astfel de sistem.

Cuvinte cheie: sursa hibrid, pompe de caldura

Abstract: The proposed hybrid source for analysis in the paper refers to cogeneration based thermal combustion engines, coupled with heat pumps. Thermal engines performs the first step by heating a heat flow, further raising the potential will be realized with heat pumps.

Mentioned hybrid system achieved both heat and electricity required for consumer needs. The paper presents an analysis of the system power hybrid source system compared to their base source of heat engines. Define performance of the hybrid source system and installed capacity is determined for the hybrid sources system. Energy analysis undertaken aims to identify energy performance of such a system.

Keywords: source hybrid, heat pumps

1. Introducere

Sistemul sursă hibrid propus spre analiză în lucrarea se referă la cogenerare pe baza de motoare termice cu ardere intensă cuplate cu pompe de caldura. Motoarele termice realizează prima treaptă de încălzire a unui agent termic, în continuare ridicarea potențialului urmând să fie realizată cu pompele de caldura.

Consumatorii vizati să fie alimentati de un astfel de sistem sursă sunt consumatori izolați care dispun cu dificultate de energie termică dintr-un sistem centralizat și chiar de energie electrică. Sistemul hibrid menționat realizează atât energia termică cât și energia electrică necesară consumatorilor pentru nevoile proprii.

Energia electrica produsa de motoarele termice este utilizata partial pentru functionarea pompelor de caldura cu compresie si partial pentru alimentarea directa a consumatorilor deserviti de sistemul sursa hibrid.

Analiza energetica intreprinsa urmareste a identifica performantele energetice ale unui astfel de sistem.

2. Descrierea sistemului.

Motoarele termice produc putere termica si putere electrica conform randamentelor termic si electric corespunzatoare tipului de motoare alese si nivelului de sarcina la care functioneaza. Puterea termica produsa de motoare este partial utilizata la incalzirea unui agent termic intermediar pana la un nivel de temperatura de asemenea intermediar. Restul de putere termica nedirectionata catre "sursa rece" a pompelor de caldura este transmisa direct la consumatori pentru prepararea agentului termic necesar acestora. Cota de putere termica transmisa catre "sursa rece" a pompelor de caldura reprezinta puterea termica extrasa de pompele termice, putere termica al carei potential este ridicat de catre pompele de caldura dar si a care valoare este amplificata totodata.

Puterea electrica produsa de catre motoarele termice este si ea partial transmisa catre motoarele care actioneaza compresoarele pompelor de caldura si partial direct catre consumatorii deserviti de sistemul sursa. Mai mult, in functie de regimul de functionare poate ramane inca o cota de putere electrica pe care sistemul sursa o poate livra unor consumatori adiacenti, nedeserviti de sistemul sursa. In fig. 1 se prezinta schematic sistemul sursa hibrid compus din motoarele termice si din pompele de caldura.

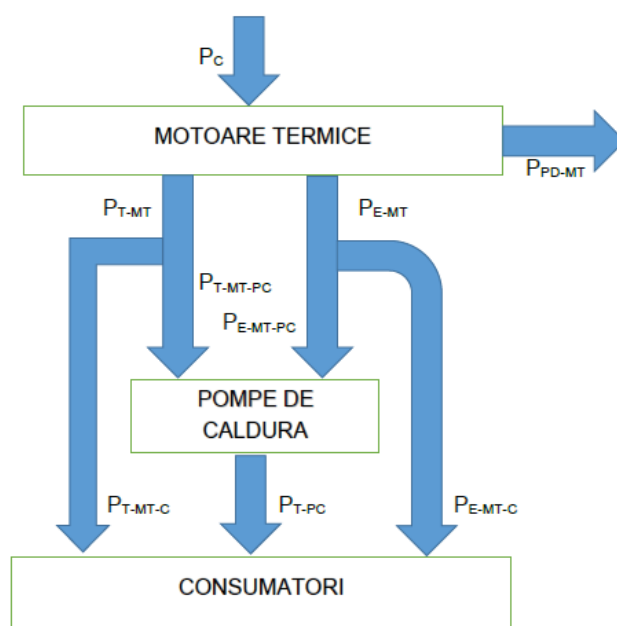


Fig. 1

Intre puterile termice si puterile electrice produse de motoarele termice, intre cotele de putere termica si putere electrica trimise catre pompele de caldura si in continuare intre puterile termice si electrice transmise de sistemul hibrid in ansamblu catre consumatori si necesarurile de putere aferente acestora exista o serie de corelatii pe care in continuare vom cauta sa le prezentam pentru a putea stabili modul de functionare al sistemului si a evalua performantele energetice ale acestuia.

3. Corelatii intre puterile termice si electrice implicate in functionarea sistemului sursa hibrid.

Puterea debitului de combustibil consumat de motoarele termice se regaseste in suma a 3 puteri termice : puterea termica, puterea electrica si o putere pierduta de motoarele termice [1], [2]. Astfel :

$$P_C = P_{T-MT} + P_{E-MT} + P_{PD-MT} \quad (1)$$

unde :

$$P_{T-MT} = \eta_{T-MT} \cdot P_C \quad (2)$$

$$P_{E-MT} = \eta_{E-MT} \cdot P_C$$

Atat puterea termica cat si puterea electrica se divid fiecare in 2 cote, una trimisa catre pompele termice, iar cealalta trimisa direct catre grupul consumatorilor.

Astfel :

$$P_{T-MT-PC} = h_{PC} \cdot P_{T-MT} = h_{PC} \cdot \eta_{T-MT} \cdot P_C \quad (3)$$

$$P_{T-MT-C} = (1 - h_{PC}) \cdot P_{T-MT} = (1 - h_{PC}) \cdot \eta_{T-MT} \cdot P_C \quad (4)$$

$$P_{E-MT-PC} = f_{PC} \cdot P_{E-MT} = f_{PC} \cdot \eta_{E-MT} \cdot P_C \quad (5)$$

$$P_{E-MT-C} = (1 - f_{PC}) \cdot P_{E-MT} = (1 - f_{PC}) \cdot \eta_{E-MT} \cdot P_C \quad (6)$$

Cota de putere termica transmisa catre pompele de caldura ($P_{T-MT-PC}$) este preluata, la vaporizator, de agentul de lucru al masinilor frigorifice si amplificata prin adaugarea cotei de putere electrica ($P_{E-MT-PC}$), fiind livrata la condensator sub forma de putere termica (P_{T-PC}). Astfel puterea termica furnizata de pompele de caldura va fi:

$$\begin{aligned}
P_{T-PC} &= P_{T-VP} + \eta_{E-PC} \cdot P_{E-MT-PC} = \\
&= P_{T-MT-PC} + \eta_{E-PC} \cdot P_{E-MT-PC} = \\
&= h_{PC} \cdot \eta_{T-MT} \cdot P_C + \eta_{E-PC} \cdot f_{PC} \cdot \eta_{E-MT} \cdot P_C = \\
&= (h_{PC} \cdot \eta_{T-MT} + \eta_{E-PC} \cdot f_{PC} \cdot \eta_{E-MT}) \cdot P_C
\end{aligned} \tag{7}$$

Puterea termica totala transmisa de sistemul hibrid catre consumatori este suma dintre puterea termica furnizata de pompele termice si puterea termica transmisa direct de la motoarele termice. Astfel :

$$\begin{aligned}
P_{T-CONS} &= P_{T-MT-PC} + P_{T-PC} = \\
&= (1 - h_{PC}) \cdot \eta_{T-MT} \cdot P_C + (h_{PC} \cdot \eta_{T-MT} + \eta_{E-PC} \cdot f_{PC} \cdot \eta_{E-MT}) \cdot P_C \tag{8} \\
&= (\eta_{T-MT} + \eta_{E-PC} \cdot f_{PC} \cdot \eta_{E-MT}) \cdot P_C
\end{aligned}$$

Din relatia (8) se observa ca puterea termica livrata de motoarele termice se regaseste in totalitate in puterea termica totala transmisa de intreg sistemul hibrid consumatorilor, cu toate ca a fost divizata in 2 cote. Puterea electrica transmisa de sistemul hibrid consumatorilor ramane sa fie puterea electrica transmisa direct de la motoarele termice la consumatori. Astfel :

$$P_{E-CONS} = P_{E-MT-C} = (1 - f_{PC}) \cdot \eta_{E-MT} \cdot P_C \tag{9}$$

Pe de alta parte puterea termica primita de catre consumatori (P_{T-CONS}), de la sistemul hibrid, trebuie sa acopere necesarul de energie termica al consumatorilor, iar puterea electrica primita de consumatori (P_{E-CONS}), de la sistemul hibrid trebuie sa acopere necesarul de energie electrica al consumatorilor. Impunand insa ca puterea termica livrata de catre sistemul hibrid sa acopere necesarul curent de energie termica al consumatorilor este foarte posibil ca puterea electrica livrata de catre sistemul hibrid sa fie mai mica sau mai mare decat necesarul de putere electrica al consumatorilor. Necesarul de putere electrica al consumatorilor include atat puterea electrica necesara iluminatului cat si puterea electrica necesara aparatelor electrocasnice aferente. In cazul in care puterea electrica livrata de sistemul hibrid nu acopera necesarul de putere electrica al consumatorului se va lua putere electrica din sistemul national iar in cazul in care puterea electrica livrata de sistemul hibrid depaseste necesarul de putere electrica al consumatorului se va transmite surplusul de putere electrica in sistemul national. Altfel spus dimensionarea capacitatii sistemului hibrid se face pe considerente termice.

Rezulta in consecinta puterea totala primita de consumatori ca fiind :

$$\begin{aligned}
 P_{CONS} &= P_{T-CONS} + P_{E-CONS} = \\
 &= (\eta_{T-MT} + \eta_{E-PC} \cdot f_{PC} \cdot \eta_{E-MT}) \cdot P_C + (1 - f_{PC}) \cdot \eta_{E-MT} \cdot P_C \\
 &= [\eta_{T-MT} + \eta_{E-MT} - (1 - \eta_{E-PC}) \cdot f_{PC} \cdot \eta_{E-MT}] \cdot P_C = \quad (10) \\
 &= \left[1 + \frac{\eta_{E-MT}}{\eta_{T-MT}} - (1 - \eta_{E-PC}) \cdot f_{PC} \cdot \frac{\eta_{E-MT}}{\eta_{T-MT}} \right] \cdot \eta_{T-MT} \cdot P_C = \\
 &= [1 + r_{CG} - (1 - \eta_{E-PC}) \cdot f_{PC} \cdot r_{CG}] \cdot \eta_{T-MT} \cdot P_C
 \end{aligned}$$

Se poate defini randamentul sistemului hibrid ca fiind raportul dintre puterea totala primita de consumatori si puterea debitului de combustibil :

$$\eta_{MT-PC} = \frac{P_{CONS}}{P_C} = [1 + r_{CG} - (1 - \eta_{E-PC}) \cdot f_{PC} \cdot r_{CG}] \cdot \eta_{T-MT} \quad (11)$$

Cota din puterea termica produsa de motoarele termice transmisa catre pompele termice se stabileste astfel incat sa rezulte o functionare armonioasa a pompelor de caldura cu compresie. Pentru asta trebuie sa facem referire la legatura care exista intre puterea termica la vaporizator si puterea electrica de alimentare la motoarele compresoarelor [2].

$$\begin{aligned}
 P_{T-VP} &= P_{T-MT-PC} = h_{PC} \cdot \eta_{T-MT} \cdot P_C = \\
 &= COR_{VP} \cdot f_{PC} \cdot P_{E-MT} = \eta_{E-PC} \cdot \frac{273,15 - \Delta t + t_{VP}}{t_{CD} - t_{VP} + 2 \cdot \Delta t} \cdot f_{PC} \cdot \eta_{E-MT} \cdot P_C \\
 &\quad (12)
 \end{aligned}$$

Prelucrând relatia (12) se obtine :

$$\frac{h_{PC}}{f_{PC}} = \eta_{E-PC} \cdot \frac{273,15 - \Delta t + t_{VP}}{t_{CD} - t_{VP} + 2 \cdot \Delta t} \cdot \frac{\eta_{E-MT}}{\eta_{T-MT}} = \eta_{E-PC} \cdot \frac{273,15 - \Delta t + t_{VP}}{t_{CD} - t_{VP} + 2 \cdot \Delta t} \cdot r_{CG} \quad (13)$$

Mai clar relatia (13) se poate scrie sub forma :

$$\frac{h_{PC}}{f_{PC}} = \eta_{E-PC} \cdot COR_{VP}^C \cdot r_{CG} \quad (14)$$

Considerand ca dimensionarea instalatiei de incalzire centrala a grupului consumatorilor s-a facut pentru temperaturile de calcul ale agentului termic de 85/65 °C si se respecta reglajul termic calitativ, rezulta ca pompa de caldura ar putea sa

lucreze ca masina frigorifica in domeniul de valori $COP_{VP}^C = 6 \div 8$. Valorile mai mici sunt asociate temperaturilor mai scazute ale agentului termic din instalatia de incalzire (deci sursa calda) iar valorile mai mari sunt asociate temperaturilor mai ridicate ale agentului termic din instalatia de incalzire. In aceste conditii, considerand un indice de cogenerare $r_{CG} = 0,636$ si un randament de utilizare a energiei electrice de catre grupul de pompe de caldura $\eta_{E-PC} = 0,7$, rezulta pentru raportul intre cotele puterilor termica si electrica transmise catre pompele de caldura - h_{PC}/f_{PC} , valori intre 2,8 si 3,5.

Cum puterea termica totala transmisa de la sistemul hibrid consumatorilor deserviti acopera necesarul total de putere termica al acestora rezulta ca puterea combustibilului care alimenteaza motoarele termice trebuie sa aiba valoarea minima :

$$P_{C\ min} = \frac{\Phi_T + \Phi_E}{\eta_{MT-PC}} = \frac{\Phi_T + \Phi_E}{\left[1 + r_{CG} - (1 - \eta_{E-PC}) \cdot f_{PC} \cdot r_{CG}\right] \cdot \eta_{T-MT}} \quad (15)$$

Raportul intre puterea electrica si puterea termica furnizate de sistemul hibrid consumatorului are expresia :

$$\frac{P_{E-CONS}}{P_{T-CONS}} = \frac{(1 - f_{PC}) \cdot \eta_{E-MT}}{\eta_{T-MT} + \eta_{E-PC} \cdot f_{PC} \cdot \eta_{E-MT}} = \frac{(1 - f_{PC}) \cdot r_{CG}}{1 + \eta_{E-PC} \cdot f_{PC} \cdot r_{CG}} \quad (16)$$

Intr-un caz concret in care $f_{PC} = 0,3$, $r_{CG} = 0,636$ si $\eta_{E-PC} = 0,7$ rezulta ca :

$$P_{E-CONS} = 0,393 \cdot P_{T-CONS} \quad (17)$$

Daca motoarele termice lucreaza cu un indice de cogenerare de 0,636, sistemul hibrid se poate spune ca lucreaza cu un indice de cogenerare de 0,40.

In continuare se va considera cazul concret al unui consumator alcatuit din cladiri colective rezidentiale insumand un numar de 288 apartamente [1]. Consumatorul a fost ales astfel incat un motor termic de 500 kW lucrând la sarcina partiala de 50% sa poata alimenta cu energie termica consumatorul pe timp de vara. Considerand cazul concret al acestui consumator, si considerand prioritara realizarea de catre sistemul hibrid a puterii termice aferente consumatorului, rezulta puterea electrica produsa de catre sistemul sursa va avea intotdeauna, pe perioada sezonului rece al anului, o productie de energie electrica excedentara fata de solicitarea efectiva a consumatorilor. Suplusul de putere electrica va fi transmis in reseaua nationala.

Tabel 1

te	Φ_T	Φ_E	P_T	P_E	dP_E	P_C	Φ_{T+PE}	η_{MT-PC}
°C	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	-
-15	1584.00	144.00	1584.00	643.10	499.10	2039.39	1728.00	0.85
-10	1378.28	144.00	1378.28	559.58	415.58	1796.61	1522.28	0.85
-5	1172.57	144.00	1172.57	476.06	332.06	1553.82	1316.57	0.85
0	966.86	144.00	966.86	392.54	248.54	1311.04	1110.86	0.85
5	761.14	144.00	761.14	309.02	165.02	1068.25	905.14	0.85
10	555.43	144.00	555.43	225.50	81.50	825.47	699.43	0.85
20	144.00	144.00	144.00	58.46	-85.54	339.90	288.00	0.85

Singura situatie deosebita este situatia de vara cand trebuie preparata numai apa calda de consum si cand nu este necesara functionarea pompelor de caldura dat fiind faptul ca un motor termic la 500 kW este capabil sa acopere atat puterea termica cat si puterea electrica necesara functionand la sarcina de 75%.

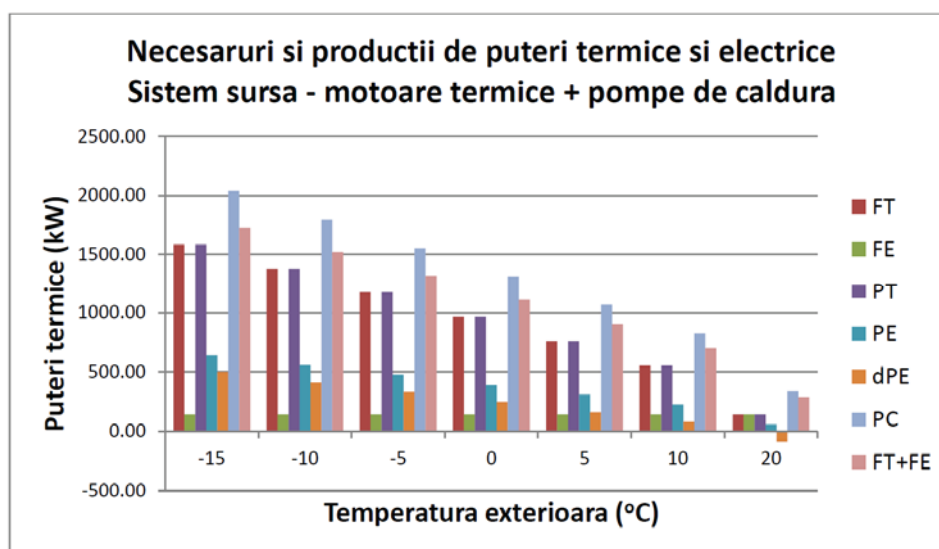


Fig.2

In antepenultima coloana a tabelului 1 se prezinta puterea necesara la nivel de combustibil de alimentare a motoarelor termice. Se observa ca la temperatura exterioara cea mai scazuta este necesara instalarea unei puteri totale la nivel de combustibil de 2040 kW. Randamentul sistemului hibrid este de 85% pe toata perioada sezonului rece. Ce se poate spune in acest moment este faptul ca randamentul total al sistemului hibrid este mai scazut decat randamentul total al sistemului constituit numai de motoarele termice, randament care are valoarea de cca. 90%. Rezultatul este firesc deoarece o parte ($1-\eta_{E-PC} = 0,5$) din energia electrica utilizata de motoarele pompelor termice este utilizata de catre compresorul pompelor termice pentru functionarea acestora si numai restul de 50% este considerata ca energie utila efectiv.

In cazul in care alimentarea consumatorilor considerati s-ar face exclusiv pe

baza motoarelor termice puterea totala rezultata a fi instalata este de 2592 kW, adica cu cca. 550 kW mai mult sau cu cca. 27% mai mult decat in cazul sistemului hibrid (tabel 3).

Tabel 2

te	Φ_T	Φ_E	P_T	P_E	dP_E	P_C	$\Phi_T + \Phi_E$	η_{MT-PC}
°C	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	-
-15	1584.00	144.0	1584.00	1008.00	864.00	2592.00	1728.00	0.67
-10	1378.28	144.0	1378.28	877.09	733.09	2255.37	1522.28	0.67
-5	1172.57	144.0	1172.57	746.18	602.18	1918.75	1316.57	0.69
0	966.86	144.0	966.86	615.27	471.27	1582.13	1110.86	0.70
5	761.14	144.0	761.14	484.36	340.36	1245.51	905.14	0.73
10	555.43	144.0	555.43	353.45	209.45	908.88	699.43	0.77
20	144.00	144.0	144.00	91.64	-52.36	235.64	288.00	1.22

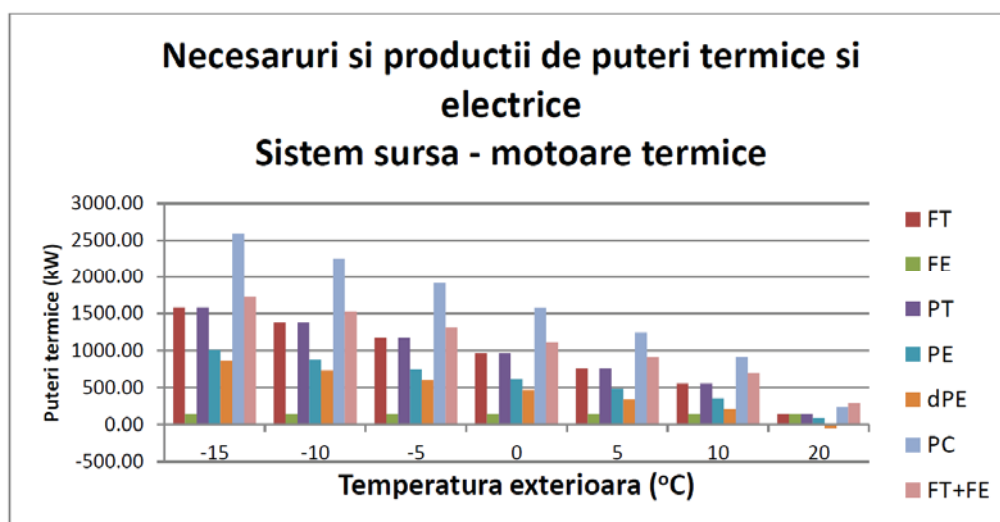


Fig.3

Randamentul sistemului de alimentare compus numai din motoare termice, gandit la fel ca si in cazul sistemului hibrid, este variabil pe parcursul sezonului de incalzire avand valori intre 67% si 80%, deci valori mai scazute decat in situatia sistemului hibrid. Pe perioada de vara, in situatia sistemului alcatuit numai din motoare termice, consumatorul poate fi deservit atat din punct de vedere termic cat si electric cu un singur motor functionand la sarcina de 75%.

4. Concluzii

Utilizarea pompelor de caldura in cuplaj cu motarele termice conduce la un sistem care schimba raportul dintre puterea electrica si termica fata de sistemul de baza format din motoarele termice, Raportul nou creat prin sistemul hibrid este mai apropiat de raportul puterilor necesare electrica si termica proprii consumatorilor de tip cladiri

din domeniul rezidential sau tertiar si in acest fel poate fi considerat mai adecvat deservirii acestor consumatori. Pe de alta parte, prin cuplajul cu pompele de caldura se pierde o parte de energie pentru functionarea acestora, insa aceasta pierdere este relativ mica.

O alta consecinta care rezulta din alcatuirea sistemului hibrid este faptul ca puterea instalata in motoarele termice poate fi cu pana la 30% mai scazuta decat in cazul utilizarii numai a sistemului de baza format din motoarele termice. Totusi nu trebuie neglijat ca se investeste in pompele de caldura care insa functioneaza pe baza energiei electrice produsa de motoarele termice.

Lista de Notatii

P_C – puterea termica aferenta debitului de combustibil de alimentare al motoarelor termice, W;

P_{T-MT} – puterea termica livrata de motoarele termice, W;

P_{E-MT} – puterea electrica livrata de motoarele termice, W;

P_{PD-MT} – puterea pierduta la nivelul motoarelor termice, W;

$P_{E-MT-PC}$ – puterea electrica livrata de motoarele termice catre pompele de caldura, W;

P_{E-MT-C} – puterea electrica livrata de motoarele termice catre consumatorii deserviti, W;

P_{T-CD} – puterea termica livrata de pompele de caldura la consumatorii deserviti, W;

P_{T-VP} – puterea termica absorbita de pompele de caldura din mediul ambiental, W;

Φ_T – necesarul de putere termica la consumatori, kW;

Φ_E – necesarul de putere electrica la consumatori, kW;

dP_E – surplusul de putere electrica produsa de sistemul hibrid, kW;

P_{CONS} – puterea totala livrata de sistemul sursa hibrid consumatorului, W;

t_{CD} – temperatura sursei calde aferente pompelor de caldura, °C;

t_{VP} – temperatura sursei reci aferente pompelor de caldura, °C;

η_t – diferenta medie de temperatura la condensatorul si vaporizatorul pompelor de caldura, °C;

η_{T-MT} – randamentul termic al motoarelor, -;

η_{E-MT} – randamentul electric al motoarelor, -;

η_{E-PC} – randamentul electric al pompelor de caldura, -;

η_{MT-PC} – randamentul sistemului sursa hibrid, -;

COP_{CD} – coeficientul de performanta la nivelul condensatoarelor pompelor de caldura, -;

$COP^{C_{CD}}$ – coeficientul de performanta aferent ciclului Carnot asociat, la nivelul condensatoarelor pompelor de caldura, -;

COP_{VP} – coeficientul de performanta la nivelul vaporizatoarelor pompelor de caldura, -;

$COP^{C_{VP}}$ – coeficientul de performanta aferent ciclului Carnot asociat, la nivelul vaporizatoarelor pompelor de caldura, -;

r_{CG} – factorul de cogenerare;

P_{T-CONS} - puterea termica primita de consumatori de la sistemul hibrid, W;

P_{E-CONS} - puterea electrica primita de consumatori de la sistemul hibrid, W;

P_{CONS} – puterea termica totala primita de consumatori;

h_{PC} – cota din puterea termica livrata de motoarele termice transmisa catre pompele de caldura, -;

f_{PC} – cota din puterea electrica livrata de motoarele termice transmisa catre pompele de caldura, -;

Bibliografie

1. Florin Iordache, Radu Alexandru Baci, Stefan Burchila – Analiza energetica privind utilizarea unui sistem de cogenerare pentru alimentarea cu caldura a unui ansamblu de blocuri din mediul urban - Revista romana de inginerie civila, vol. 6 (2015), nr. 2 – ed. Matrixrom Bucuresti, 2015;

2. Florin Iordache, Mugurel Talpiga - Sistem sursa cu captatoare solare si pompe de caldura – Revista romana de inginerie civila, vol. 6 (2015), nr. 3 – ed. Matrixrom Bucuresti, 2015;