

Sistem de cogenerare-trigenerare. Analiza energetica pe un scenariu de alimentare a unui consumator

Cogeneration-trigeneration system. Energy analysis on a consumer scenario

Prof. dr. ing. Florin Iordache – UTCB-FII

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

Rezumat

In cadrul lucrarii se realizeaza o analiza energetica pentru un sistem sursa neconventional compus din sistem de cogenerare cu motoare cu ardere interna cuplat cu o centrala termica si cu o masina frigorifica cu absorbtie in vederea alimentarii cu energie termica, energie frigorifica si energie electrica a unui consumator alcatuit dintr-un numar de 6 cladiri care necesita incalzirea si climatizarea spatiilor, prepararea apei calde si asigurarea energiei electrice pentru iluminat si functionarea echipamentelor electrice. Analiza efectuata vizeaza separat sezonul rece al anului cand in joc intra numai subsistemul de cogenerare si centrala termica si separat sezonul cald cand se adauga si masina frigorifica cu absorbtie in vederea prepararii apei reci pentru climatizarea spatiilor. Datele obtinute ca rezultat al analizei energetice sunt prezentate sintetic in tabele si grafic in diagrame. Pe baza lor se fac comentarii cu caracter calitativ si cantitativ asupra beneficiilor unui astfel de sistem.

Cuvinte cheie: sursa neconventionala, sistem cogenerare

Abstract

An energy analysis for an unconventional source system consisting of cogeneration system with internal combustion engines coupled with a thermal boiler and with an absorbing refrigerator in order to supply a thermal energy, refrigeration energy and electricity of a consumer consisting of a number of 6 buildings that require space heating and air conditioning, hot water preparation and electric lighting and electrical equipment operation.

The analysis is aimed separately at the cold season of the year when only the cogeneration subsystem and the heat plant come into play and separately the warm season when the absorption refrigerating machine is added to prepare cold water for air conditioning. The data obtained as a result of energy analysis are summarized in tables and graphs in diagrams. On their basis, qualitative and quantitative comments are made on the benefits of such a system.

Key words: unconventional source, cogeneration system

1. Introducere

Sistemele neconventionale de alimentare cu energie a consumatorilor, utilizand surse regenerabile sau recuperare de energie sunt o solutie din ce in ce mai des utilizata in alimentarea cu energie termica sau electrica a consumatorilor din categoria cladirilor rezidentiale sau nerezidentiale. In cadrul prezentei lucrari sistemul neconventional este compus dintr-un sistem de cogenerare cu motoare cu ardere interna utilizat ca atare in perioada sezonului rece si in combinatie cu o masina frigorifica cu absorbtie in perioada sezonului cald. Consumatorul considerat este reprezentat de un grup de cladiri avand ca necesitati pe perioada sezonului rece : incalzirea spatiilor, prepararea apei calde de consum si energia electrica necesara iluminarii spatiilor si consumurilor interne proprii categoriei cladirilor, iar pe perioada sezonului cald al anului : climatizarea spatiilor, prepararea apei calde de consum si la fel ca si in sezonul rece energia electrica necesara iluminarii spatiilor si consumurilor interne proprii categoriei cladirilor.

In cadrul lucrarii se realizeaza o analiza energetica pe perioada sezonului rece si al sezonului cald, sistemul sursa de cogenerare-trigenerare modulandu-si puterea termica cat mai aproape de fluctuatia necesarurilor energetice ale consumatorului. Energia electrica excedentara produsa de sistemul neconventional va fi considerata valorificabila in cadrul analizei energetice.

2. Descrierea sistemului sursa si a consumatorilor. Date climatice.

Sistemul sursa neconventional este compus de motoare cu ardere interna functionand cu combustibil gaz natural (GN) si care produce energie electrica si energie termica prin recuperarea la racirea chiulasei motoarelor, prin recuperarea la racirea uleiului si prin recuperarea la gazele arse evacuate. Se va considera ca randamentul electric este de 36% iar randamentul termic de 52%, in total rezultand un randament de 88%, aceasta fiind structura sursei in perioada sezonului rece al anului. In perioada sezonului cald, la sistemul de cogenerare cu motoare termice se adauga o masina frigorifica cu absorbtie care utilizeaza energia termica produsa de motoarele cu ardere interna ca sursa de caldura la fierbatorul masinii frigorifice in vederea producerii de apa rece la vaporizator. In cadrul acestei lucrari se va considera ca eficienta masinii frigorifice este de 60% adica energia frigorifica produsa de masina frigorifica este 60% din energia termica provenita de la sistemul de cogenerare.

Se va considera si o sursa de energie termica clasica de tip centrala termica avand caracteristic un randament de 90%. O alta ipoteza abordata in cadrul lucrarii consta in faptul ca randamentele si eficientele mentionate mai inainte pentru motoarele termice, masina frigorifica cu absorbtie si centralele termice vor fi considerate constante in ipoteza functionarii acestora la sarcini partiale.

Consumatorul deservit este un grup de 6 cladiri nerezidentiale pentru care trebuie asigurate utilitatile mentionate. Grupul de cladiri este caracterizat de un factor complex de cuplaj termic $H = 41143 \text{ W/K}$ util pentru evaluarea necesarurilor termice si de frig in perioada sezonului rece si respectiv cald. Pentru prepararea apei calde s-a

stabilit ca necesara asigurarea unei puteri termice constante pe tot parcursul anului in valoare de 144 kW, iar pentru asigurarea necesitatilor de energie electrica pentru iluminat si aparatele electrice interioare s-a stabilit deasemenea o putere constanta de 72 kW.

Atat sursa cat si grupul de consumatori s-a considerat ca se gasesc in municipiul Bucuresti si pentru care s-au utilizat date climatice de temperaturi exterioare si intensitati de radiatie solara conform SR 4839 si Mc001. Pentru sezonul rece al anului a fost necesara stabilirea unei diagrame de temperaturi exterioare asociate cu frecvente de aparitie a acestora (fig.1).

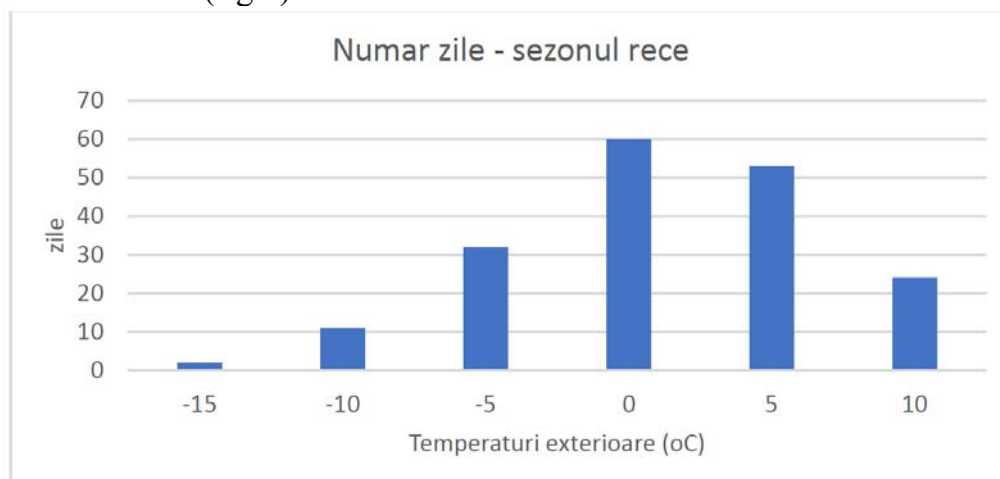


Fig. 1

Temperatura exterioara de -15°C este reprezentativa pentru intervalul -17,5 ÷ -12,5°C, si in continuare : -10°C pentru -12,5 ÷ -7,5°C, -5°C pentru -7,5 ÷ -2,5°C, 0°C pentru -2,5 ÷ +2,5°C, +5°C pentru +2,5 ÷ +7,5°C, +10°C pentru +7,5 ÷ +12,5°C. Sunt acoperite in acest fel 182 de zile asociate sezonului rece. In ceea ce priveste intensitatile de radiatie solara s-au utilizat asa cum s-a mentionat valorile din Mc001. Pentru numarul de zile din perioada sezonului cald s-au asociat celor 5 luni de vara un numar de 183 de zile dupa cum se poate observa in fig 2. Numarul de zile din lunile mai...septembrie a fost extins in vederea acoperirii sezonului cald caracterizat de cca. 183 zile.

Trebuie sa mentionam faptul ca s-a tinut seama de degajarile interioare de energie termica si de aporturile exterioare atat pe perioada sezonului rece cat si sezonului cald, astfel incat necesarul de caldura mediu pe perioade in sezonul rece s-a facut prin evaluarea produsului : $P_{inc} = H \cdot (t_{ee} - t_e)$. Temperaturile exterioare de echilibru au fost calculate conform procedurii prezentate in Mc001, pe baza aporturilor interne si externe si a factorului complex de cuplaj termic. Aceeasi procedura a fost aplicata si pe perioada sezonului cald in vederea determinarii puterilor termice excedentare ce trebuie eliminate.

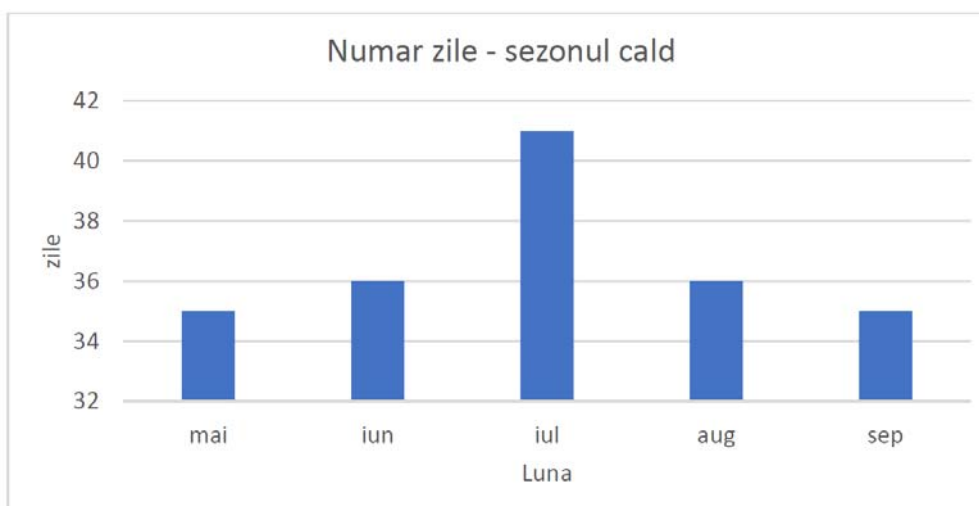


Fig.2

3. Scenariu de alimentare. Analiza energetica studiu de caz

Alimentarea cu caldura si frig a consumatorului compus din grupul de cladiri prezentat in capitolul 2 a lucrarii se face dupa cum s-a prezentat, utilizand atat sistemul de cogenerare cu motoare cu ardere interna cat si centrala termice si chilerul cu absorbtie. Prin scenariu de alimentare intelegem proportia de putere termica, asigurata din partea sistemului de cogenerare si din partea centralei termice. In ceea ce priveste sistemul de cogenerare s- a considerat ca sunt utilizate cel mult 2 motoare cu ardere interna cu puterea nominala de 1000 kW la nivel de combustibil utilizat (GN), si in cazul in care ele lucreaza la sarcini partiale acestea pot fi de 75% sau 50% din puterea nominala. In ceea ce priveste centrala termica s-a considerat ca ea poate lucra si la sarcini partiale mai scazute decat 50%. Necesarul de energie frigorifica a fost transformat (amplificat) in energie termica la nivelul sistemului de cogenerare prin raportare la eficienta considerata a masinii frigorifice cu absorbtie (60%).

In tabelul 1 se prezinta situatia puterilor termice si electrice si a energiilor termice si electrice aferente consumatorului pe perioada sezonului rece al anului.

Tabelul 1

CONS - IARNA		INCALZIRE		ACC		EN. ELECTRICA	
oC	zile	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh
te	Nz	Pinc	Einc	Pacc	Eacc	Pelc	Eelc
-15	2	1232	59	144	7	72	3
-10	11	1018	269	144	38	72	19
-5	32	803	617	144	111	72	55
0	60	588	847	144	207	72	104
5	53	374	475	144	183	72	92
10	24	159	92	144	83	72	41
Total	182		2359		629		314

In tabelul 2 se prezinta situatia puterilor termice si electrice livrate de motoarele

cu ardere internă și de centrală termică în sezonul rece al anului. Se prezintă numărul de motoare și nivelul de sarcină parțială implicată și numărul de centrale termice și nivelul sarcinii parțiale. Atât în cazul motoarelor cu ardere internă cât și în cazul centralei termice, se prezintă în tabelul 2 și puterile termice pierdute.

Tabelul 2

IARNA	MAI					CT				
oC	(-)	%	kWth	kWel	kW	(-)	%	kWth	kWel	kW
te	Nr. MAI	Sarcina	PthMAI	PeI MAI	pdMAI	Nr. CT	Sarcina	PthCT	PeI CT	pdCT
-15	2	100	1040	720	240	1	100	338	0	38
-10	2	100	1040	720	240	1	36	122	0	14
-5	1 + 1	75 + 50	650	450	150	1	88	297	0	33
0	1	100	520	360	120	1	63	212	0	24
5	1	75	390	270	90	1	38	128	0	14
10	1	50	260	180	60	1	13	43	0	5

În tabelul 3 se prezintă situația energiilor termice, electrice și pierdute în situația grupului de motoare cu ardere internă și în situația centralei termice, pe perioada sezonului rece.

Tabelul 3

IARNA	MAI			CT			MAI + CT		
oC	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
te	EthMAI	EelMAI	EpdMAI	EthCT	EelCT	EpdCT	Eth	Eel	Epd
-15	50	35	12	16	0	2	66	35	13
-10	275	190	63	32	0	4	307	190	67
-5	499	346	115	228	0	25	727	346	141
0	749	518	173	306	0	34	1054	518	207
5	496	343	114	163	0	18	659	343	133
10	150	104	35	25	0	3	175	104	37
Total	2218	1536	512	770	0	85	2988	1536	597

O imagine comparativă mai bună asupra bilanțurilor de puteri și de energie rezultă din transpunerea grafică a datelor din tabelele 1...3 prezentate.

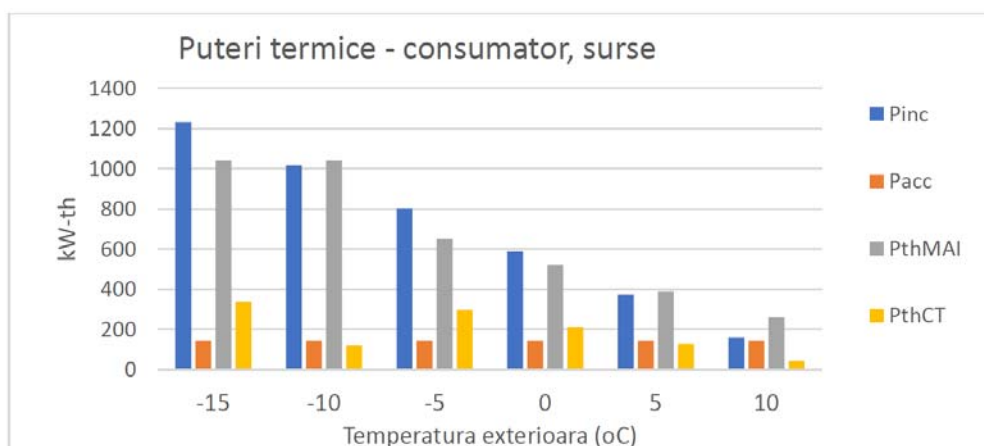


Fig.3

In fig. 3 se prezinta situatia puterilor termice la consumator si la surse. functie de cele 6 perioade caracteristice ale sezonului rece. Se observa diferentele dintre puterile termice necesare pentru incalzirea spatiilor si pentru prepararea apei calde de consum si cotele de acoperire a acestora de catre grupul de motoare termice si de catre centrala termica. Utilizarea centralei termice s-a facut in toate din cele 6 perioade in ideea realizarii unei modulari cat mai bune a puterii termice furnizate de surse cu puterea termica necesara a consumatorului.

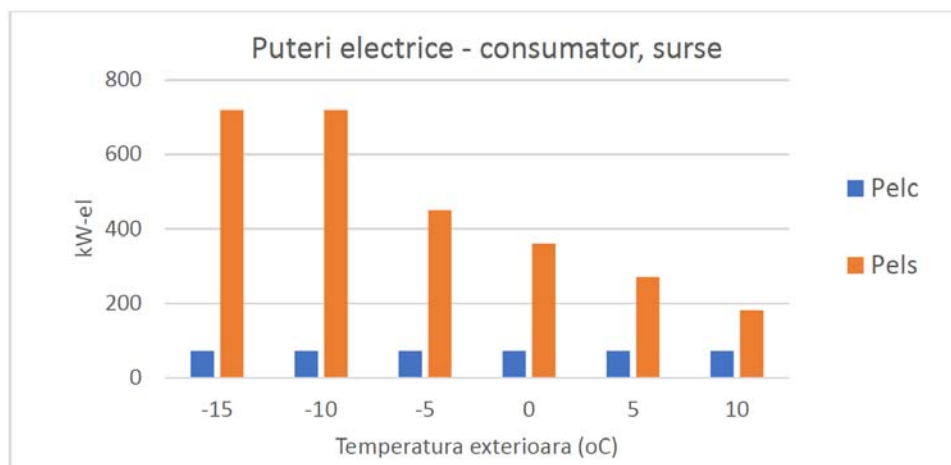


Fig. 4

In fig. 4 se prezinta grafic situatia puterilor electrice la nivelul consumatorului si la nivelul sistemului de surse pe cele 6 perioade caracteristice ale sezonului rece. Se observa surplusul de putere electrica datorat sistemului de cogenerare, surplus care va fi transmis in sistemul electric national.

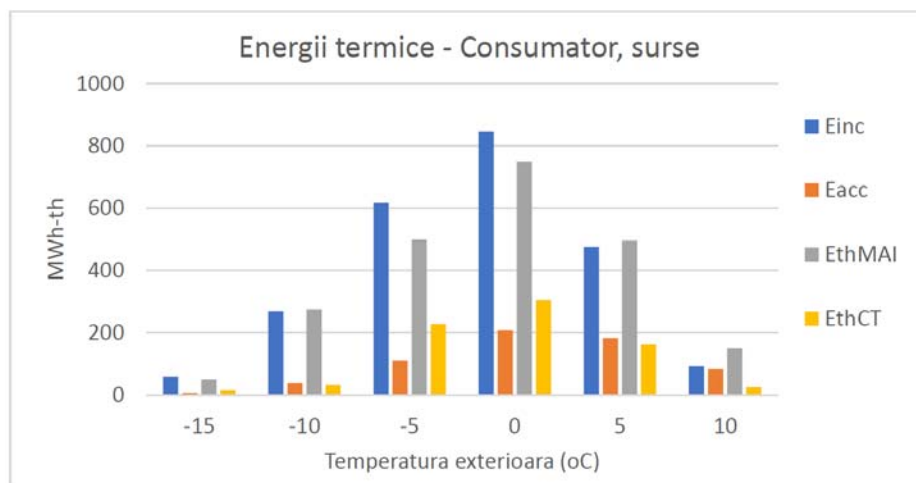


Fig.5

In fig. 5 se prezinta situatia comparativa a cantitatilor de energie termica la nivel de consumator si de sistem de surse. Se observa ca : perioada de mijloc a sezonului rece este caracterizata de cel mai mare consum de energie termica, incalzirea

spatiilor este net mai consumatoare decat prepararea apei calde de consum si energia termica livrata de sistemul de cogenerare este deasemenea net mai furnizoare decat centrala termica.

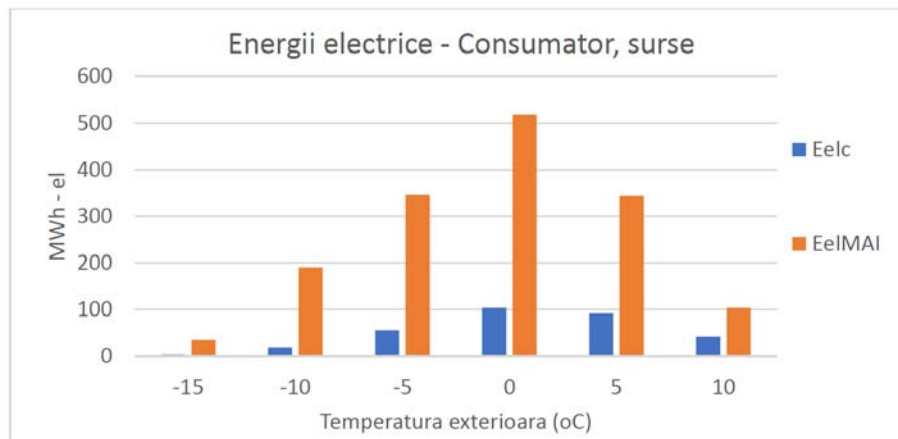


Fig. 6

In fig. 6 se prezinta situatia comparativa a cantitatilor de energie electrica la nivel de consumator si de sistem de surse. Se observa : o cantitate de energie electrica sensibil mai mare in perioada de mijloc a sezonului rece al anului si faptul ca energia electrica furnizata de grupul motoarelor cu ardere interna este net superioara necesarului propriu al consumatorului pentru care s-a dimensionat termic sursa de cogenerare.

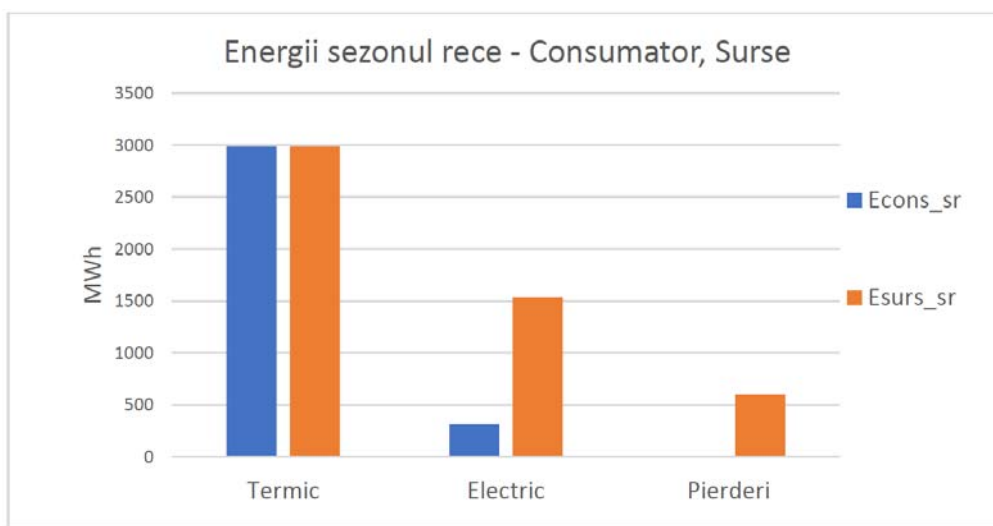


Fig.7

In fig. 7 se prezinta situatia in sezonul rece a energiilor termice, electrice si pierdute. Se observa ca : nivelul cel mai ridicat apartine energiei termice, iar in ceea ce priveste energia electrica aceasta este sensibil mai ridicata la surse decat este strict necesarul propriu la consumator. Surplusul de energie electrica trebuie valorificat prin livrarea in sistemul national. Daca definim un randament global pentru intreg sezonul

rece al anului ca fiind raportul între energia utilă totală pe întreg sezonul rece raportată la energia totală consumată de sursă combinată (cogenerare + centrală termică) se obține o valoare de 88%. S-a luat în considerare că energie utilă și surplusul de energie electrică livrat în sistemul național. Valoarea subunitară a randamentului se datorează strict energiilor pierdute de către sistemul de cogenerare și de către centrala termică.

Trecând acum la perioada sezonului cald al anului în tabelul 4 se prezintă situația puterilor termice și electrice și a energiilor termice și electrice aferente consumatorului.

Tabel 4

CONS - VARA		CLIMATIZARE		ACC		EN. ELECTRICA	
	zile	kW	MWh	kW	MWh	kW	MWh
luna	Nz	Pclim	Eclim	Pacc	Eacc	Pelc	Eelc
mai	35	5	4	144	121	72	60
iun	36	155	134	144	124	72	62
iul	41	223	220	144	142	72	71
aug	36	202	175	144	124	72	62
sep	35	18	15	144	121	72	60
Total	183		547		632		316

În tabelul 5 se prezintă situația puterilor termice și electrice livrate de motoarele cu ardere internă și de centrala termică în sezonul cald al anului. Se prezintă numărul de motoare și nivelul de sarcină parțială implicat și numărul de centrale termice și nivelul sarcinii parțiale. Atât în cazul motoarelor cu ardere internă cât și în cazul centralei termice, se prezintă în tabelul 5 și puterile termice pierdute.

Tabel 5

VARA	MAI					CT				
	(-)	%	kWth	kWel	kW	(-)	%	kWth	kWel	kW
luna	Nr. MAI	Sarcina	PthMAI	PeI MAI	pdMAI	Nr. CT	Sarcina	PthCT	PeICT	pdCT
mai	0	0	0	0	0	1	45	152	0	17
iun	1	50	260	180	60	1	42	142	0	16
iul	1	100	520	360	120	0	0	0	0	0
aug	1	50	260	180	60	1	66	221	0	25
sep	0	0	0	0	0	1	51	174	0	19

În tabelul 6 se prezintă situația energiilor termice, electrice și pierdute în situația grupului de motoare cu ardere internă și în situația centralei termice pe perioada sezonului cald.

Tabel 6

VARA	MAI			CT			MAI + CT		
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
luna	EthMAI	EelMAI	EpdMAI	EthCT	EelCT	EpdCT	Eth	Eel	Epd
mai	0	0	0	128	0	14	128	0	14
iun	225	156	52	123	0	14	347	156	65
iul	512	354	118	0	0	0	512	354	118
aug	225	156	52	191	0	21	416	156	73
sep	0	0	0	146	0	16	146	0	16
Total	961	665	222	588	0	65	1549	665	287

La fel, o imagine comparativa mai buna asupra bilanturilor de puteri si de energie rezulta din transpunerea grafica a datelor din tabelele 4...6 prezentate.

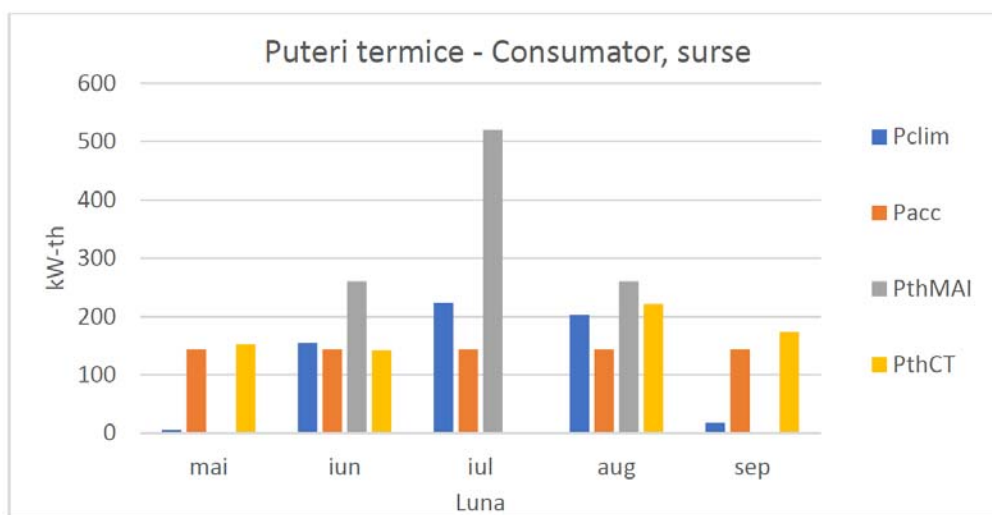


Fig. 8

In fig. 8 se prezinta situatia puterilor termice la consumator si la surse, functie de cele 5 perioade caracteristice ale sezonului cald. Aici se observa in principal faptul ca lunile iunie, iulie si august, cand functioneaza cogenerarea, puterea termica livrata de surse este vizibil mai mare decat puterea termica necesara consumatorului. Aceasta se datoreaza faptului ca puterea frigorifica necesara pentru climatizare este acoperita de o putere termica de 1,67 (1/0,6) ori mai mare, livrata de cogenerare la fierbatorul masinii frigorifice. In lunile mai si septembrie nu este necesara functionarea cogenerarii.

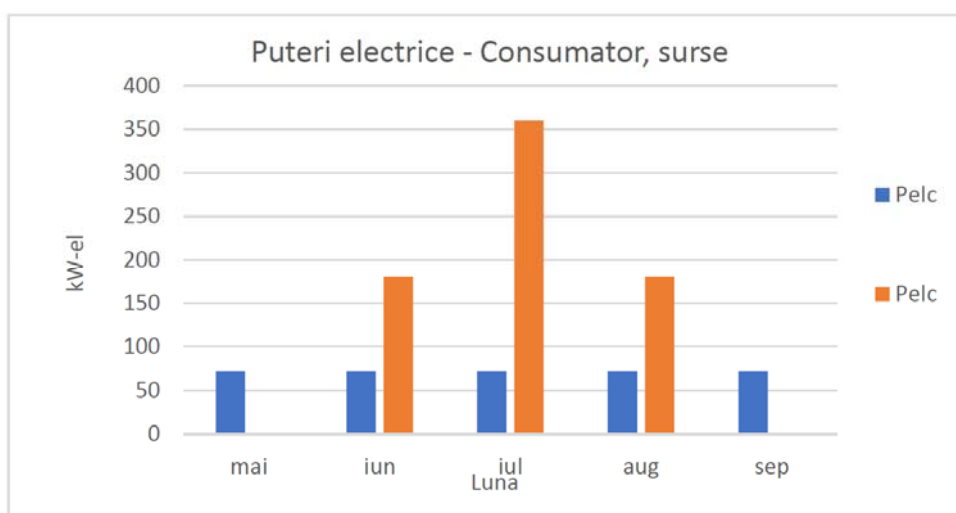


Fig. 9

In fig. 9 se prezinta grafic situatia puterilor electrice la nivelul consumatorului si la nivelul sistemului de surse pe cele 5 perioade caracteristice ale sezonului cald. Se observa surplusul de putere electrica datorat sistemului de cogenerare, surplus care va fi transmis in sistemul electric national.

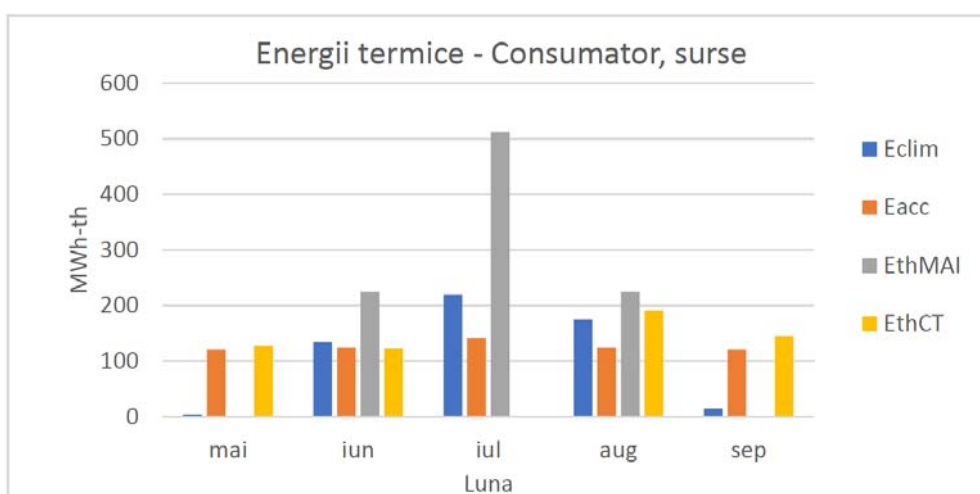


Fig. 10

In fig. 10 se prezinta situatia comparativa a cantitatilor de energie termica la nivel de consumator si de sistem de surse. Se observa ca: perioada de mijloc a sezonului cald este caracterizata de cel mai mare consum de energie termica, si asa cum deja s-a prezentat, energia pentru climatizarea spatiilor si prepararea apei calde este vizibil mai scazuta ca necesar termic decat energia termica livrata de la grupul de cogenerare si centrala termica.

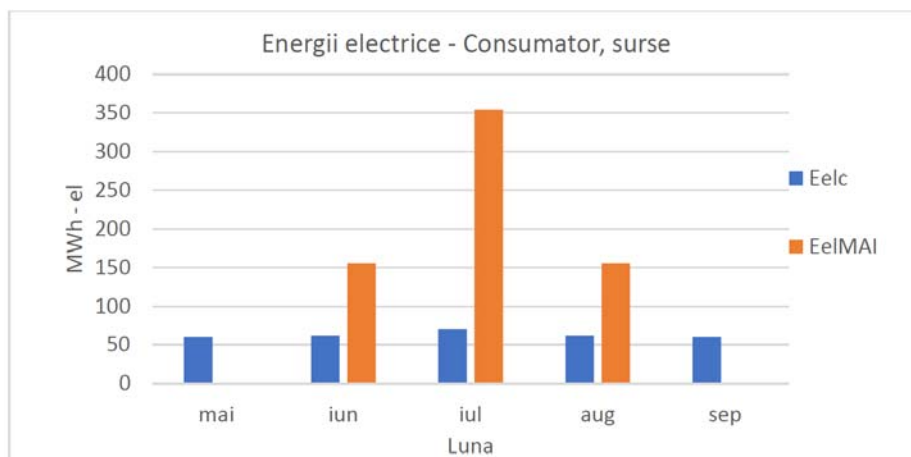


Fig. 11

In fig. 11 se prezinta situatia comparativa a cantitatilor de energie electrica la nivel de consumator si de sistem de surse. Se observa : o cantitate de energie electrica sensibil mai mare in perioada de mijloc a sezonului cald al anului si faptul ca energia electrica furnizata de grupul motoarelor cu ardere interna este net superioara necesarului propriu al consumatorului pentru care s-a dimensionat termic sursa de cogenerare.

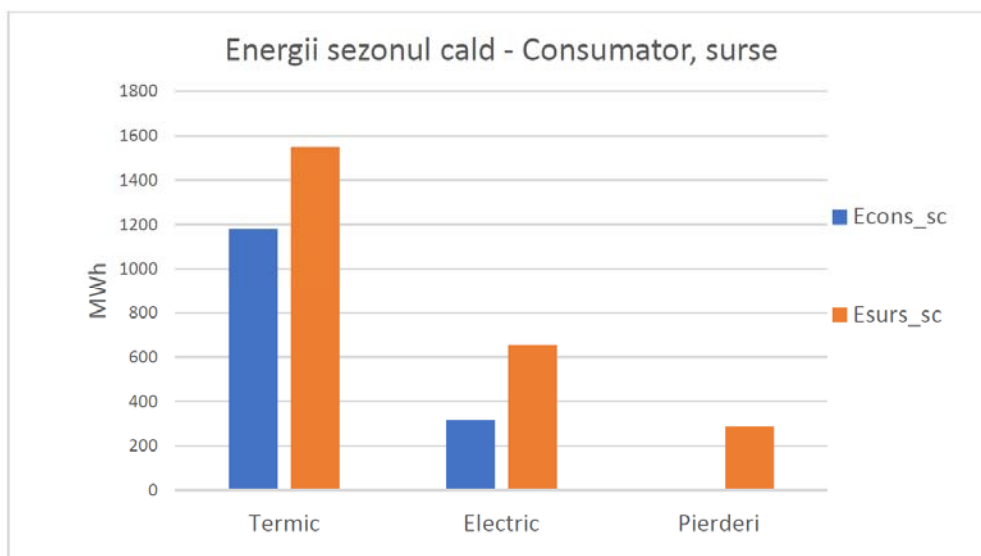


Fig. 12

In fig. 12 se prezinta situatia in sezonul cald a energiilor termice, electrice si pierdute. Se observa ca : nivelul cel mai ridicat apartine energiei termice, iar in ceea ce priveste energia electrica aceasta este sensibil mai ridicata la surse decat este strict necesarul propriu la consumator. Surplusul de energie electrica trebuie valorificat prin livrarea in sistemul national. De asemenea se remarca faptul ca la energia termica energia aferenta surselor este mai mare decat energia la consumator. Aceasta se datoreaza faptului ca evaluarea la consumator s-a facut pe baza necesarului de frig iar la surse evaluarea s-a facut pe baza energiei livrate la fierbatorul masinii frigorifice,

intre acestea doua existand un factor de transformare de 1,67. Daca definim un randament global pentru intreg sezonul cald al anului ca fiind raportul intre energia utila totala pe intreg sezonul cald raportata la energia totala consumata de sursa combinata (cogenerare + centrala termica) se obtine o valoare de 74%. S-a luat in considerare ca energie utila si surplusul de energie electrica livrat in sistemul national. Valoarea subunitara a randamentului se datoreaza strict energiilor pierdute de catre sistemul de cogenerare si de catre centrala termica.

Un bilant la nivelul intregului an compus din cele doua sezoane, rece si cald conduce la situatia prezentata in diagrama din fig. 13, de unde rezulta si un randament global de 84%.

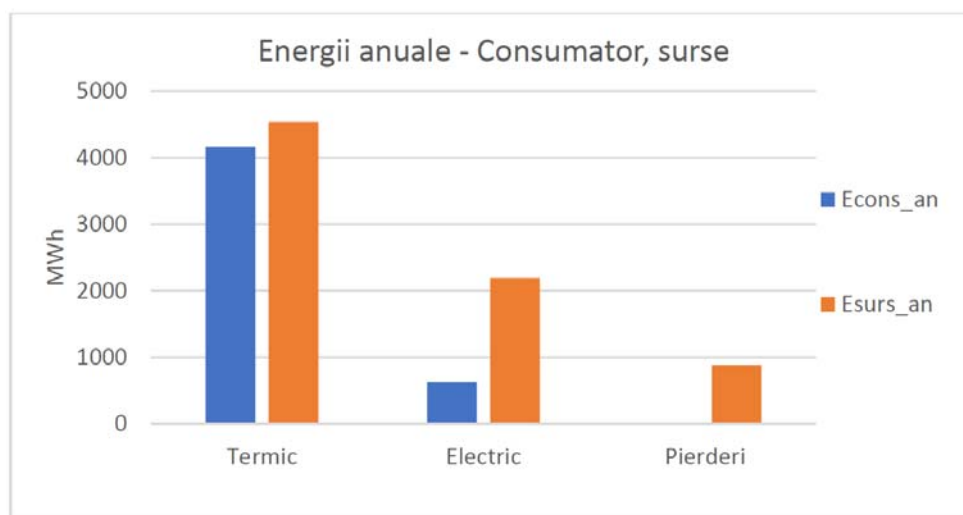


Fig. 13

4. Concluzii

In cadrul lucrarii s-a realizat o analiza energetica pentru un sistem sursa neconventional compus din sistem de cogenerare cu motoare cu ardere interna cuplat cu o centrala termica si cu o masina frigorifica cu absorbtie in vederea alimentarii cu energie termica, energie frigorifica si energie electrica a unui consumator alcatuit dintr-un numar de 6 cladiri care necesita incalzirea si climatizarea spatiilor, prepararea apei calde si asigurarea energiei electrice pentru iluminat si functionarea echipamentelor electrice. Analiza efectuata a vizat separat sezonul rece al anului, cand in joc intra numai subsistemul de cogenerare si centrala termica si separat sezonul cald cand se adauga si masina frigorifica cu absorbtie. S-a stabilit pe baza bilanturilor termice si electrice pe tot parcursul sezonului rece si sezonului cald ca in sezonul rece randamentul sistemului sursa neconventional este de 88% iar in sezonul cald randamentul sistemului sursa neconventional este de 74%, ceea ce conduce la un randament anual de 84%. Toata analiza intreprinsa a fost facuta pe un studiu de caz care a adoptat un scenariu de alimentare cu caldura si frig pentru incalzirea, climatizarea si prepararea apei calde de consum. Scenariul adoptat a urmarit o modulare cat mai fina a puterilor termice furnizate de sistemul sursa dupa puterile

termice necesare la nivelul consumatorului. Se observa ca sistemul sursa neconventional furnizeaza o cantitate de energie electrica net superioara consumatorului propriu-zis, surplus care trebuie livrat in sistemul national. Practic dimensionarea sistemului sursa de cogenerare se face pe parte termica energia electrica produsa rezultand in consecinta. O alta concluzie care se desprinde este aceea ca energia implicata in sezonul cald este sensibil mai scazuta decat in sezonul rece.

Lista de notatii si abrevieri

H - factorul de cuplaj complex aferent consumatorului, W/K;
 t_e - temperatura exterioara, °C;
 t_{ee} - temperatura exterioara de echilibru, °C; Nz – numar de zile, zi;
 P_{inc} - puterea termica necesara la incalzirea consumatorului, kW;
 P_{clim} - puterea termica necesara la climatizarea consumatorului, kW;
 P_{acc} - puterea termica necesara la prepararea apei calde a consumatorului, kW;
 P_{elc} - puterea electrica necesara la consumator, kW;
 E_{inc} - energia termica necesara la incalzirea consumatorului, MWh;
 E_{clim} - energia termica necesara la climatizarea consumatorului, MWh;
 E_{acc} - energia termica necesara la prepararea apei calde a consumatorului, MWh;
 E_{elc} - energia electrica necesara la consumator, MWh;
 P_{els} - puterea electrica livrata de sistemul sursa, kW;
 P_{thMAI} - puterea termica livrata de motoarele cu ardere interna, kW;
 P_{elMAI} - puterea electrica livrata de motoarele cu ardere interna, kW;
 P_{thCT} - puterea termica livrata de centrala termica, kW;
 P_{elCT} - puterea electrica livrata de centrala termica, kW;
 pd_{MAI} - puterea pierduta la motoarele cu ardere interne, kW;
 pd_{CT} - puterea pierduta la centrala termica, kW;
 E_{thMAI} - energia termica livrata de motoarele cu ardere interna, MWh;
 E_{elMAI} - energia electrica livrata de motoarele cu ardere intena, MWh;
 E_{pdMAI} - energia pierduta de motoarele cu ardere interna, MWh;
 E_{thCT} - energia termica livrata de centrala termica, MWh;
 E_{elCT} - energia electrica livrata de centrala termica, MWh;
 E_{pdCT} - energia pierduta de centrala termica, MWh;
 E_{th} - energia termica totala livrata de sistemul sursa, MWh;
 E_{el} - energia electrica totala livrata de sistemul sursa, MWh;
 E_{pd} - energia totala pierduta de sistemul sursa, MWh;
 E_{cons_sr} - energia necesara la consumator in sezonul rece al anului, MWh;
 E_{cons_sc} - energia necesara la consumator in sezonul cald al anului, MWh;
 E_{cons_an} - energia necesara anuala la consummator, MWh;
 E_{surs_sr} - energia livrata de sistemul sursa in sezonul rece al anului, MWh;
 E_{surs_sc} - energia livrata de sistemul sursa in sezonul cald al anului, MWh;
 E_{surs_an} - energia livrata anual de sistemul sursa, MWh;

MAI - motoare cu ardere internă;
CT - centrala termică;

Bibliografie

1. SR 4839/1997 – Instalații de încălzire – Numărul anual de grade zile;
2. Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor - Mc001/2006;
3. Florin Iordache – Echipamente și sisteme termice. Metode de evaluare energetică și funcțională, pag. 114 (Florin Iordache, Radu Alexandru Băciu, Ștefan Burchila – Analiza energetică privind utilizarea unui sistem de cogenerare pentru alimentarea cu căldură a unui ansamblu de blocuri din mediul urban) – editura Matrixrom, 2017, ISBN:978-606-25-0325-3;