

Analiza energetică privind utilizarea unui sistem de cogenerare pentru alimentarea cu căldură a unui ansamblu de blocuri din mediu urban

Energy analysis on using a cogeneration system to supply heat to a series of urban residential buildings

Prof. dr. ing. Florin Iordache¹, drd. ing. Radu-Alexandru Baciuc²,
drd. ing. Ștefan Burchilă²

¹Facultatea de Inginerie a Instalațiilor – UTCB
B-dul Pache Protopopescu Nr. 66, Romania
E-mail: fliord@yahoo.com

²Facultatea de Inginerie a Instalațiilor – UTCB
B-dul Pache Protopopescu Nr. 66, Romania
E-mail: baciuc_radu_alexandru@yahoo.com, sburchila@gmail.com

Rezumat: *Lucrarea are ca obiectiv, așa cum se menționează și din titlu, o analiză energetică comparată între 4 categorii de structuri de sisteme de cogenerare care alimentează cu energie termică și electrică un grup de clădiri rezidențiale din mediul urban. Producerea combinată de energie termică și energie electrică se face în toate cele 4 cazuri cu motoare termice și centrale termice. Cele 4 cazuri analizate se disting între ele prin capacitatea termică acoperită de motoare vis a vis de cea acoperită de centralele termice și prin tipul de combustibil utilizat (gaze naturale vis a vis de biogaz). Rezultatele obținute vizează atât puteri termice și electrice cât și consumuri de energie termică și electrică și, de asemenea, randamentele sistemului pe diversele perioade ale distribuției climatice anuale.*

Cuvinte cheie: cogenerare, motoare cu ardere internă, biogaz, cazane

Abstract: *This paper's objective, as mentioned in the title, is a comparative energy analysis between 4 architectural types of cogeneration systems that supplies heat and electricity to a group of residential buildings in an urban area. The combined heat and power production is done in all 4 cases with internal combustion engines and boilers. The 4 analyzed cases differentiate themselves by the heat contribution of internal combustion engine compared to the heat contribution of boilers and by the type of fuel used (natural gas vs. biogas). The results cover both thermal and electrical power and heat and electricity consumption and also the systems efficiency on various periods of the annual climate distribution.*

Key words: cogeneration, internal combustion engines, biogas, boilers

1. Introducere

Alimentarea cu căldură a centrelor urbane este o problemă mereu actuală în preocupările specialiștilor în domeniu. Dacă ne referim la categoria de consumatori din mediul rezidențial atunci necesarul de căldură al acestora vizează în principal două categorii de consumuri și anume încălzirea spațiilor și prepararea apei calde. După cum este cunoscut alimentarea centralizată cu căldură a ansamblurilor urbane a avut în ultimul timp destul de mult de suferit prin debranșările masive ale consumatorilor individuali datorită pe de-o parte costurilor ridicate iar pe de altă parte datorită serviciilor prestate de operatori. Sistemul centralizat de alimentare cu căldura are totuși o serie de calități care îl fac recomandabil acestei categorii de consumatori motiv pentru care lucrarea de față are ca obiectiv discutarea aspectelor energetice legate de utilizarea unui sistem de cogenerare în alimentarea centralizată cu căldură a unui ansamblu de blocuri de locuințe.

Utilizarea unui sistem de cogenerare de putere mică (fiind un sistem de încălzire districtuală), față de sistemul mare de termoficare, are avantajul posibilității de control și intervenție mult mai operativ și bineînțeles de reglare în concordanță cu dinamica cerințelor consumatorilor deserviți. Pierderile termice pe sistemul de transport sunt anulate și în plus se produce și energie electrică care intră în bilanțul energetic de ansamblu al sistemului sursă-consumator.

Funcționarea armonioasă a sistemului presupune în cazul lucrării de față și considerarea unei surse de vârf constituită dintr-o centrală termică clasică. Sistemul cu cogenerare considerat presupune motoare termice care au ca obiectiv direct producerea de energie electrică, iar energia termică este rezultată din secțiunile de răcire ale chiulasei motoarelor, răcirea uleiului și recuperarea de căldură din gazele de ardere. Combustibilul utilizat este atât gazul natural cât și biogazul.

Analiza întreprinsă în cadrul lucrării vizează pe lângă tratarea celor 2 variante de combustibil menționate și implicarea mai mare sau mică a centralei termice.

2. Descrierea sistemului sursă-consumator

Așa cum s-a prezentat în partea introductivă, s-a avut în vedere un sistem de cogenerare de mică putere cuplat cu o centrală termică care să fie utilizată în perioadele de varf de consum aferente clădirilor deservite. Centrala termică are menirea de a intra în funcțiune la temperaturi exterioare scăzute care nu mai justifică contribuția unor motoare termice suplimentare care să producă energie electrică supraexcedentară.

Grupul motoarelor termice este legat în paralel cu centrala termică care este și ea compusă din mai multe cazane. În cadrul grupului de motoare termice acestea sunt legate de asemenea în paralel între ele și de asemenea tot în paralel sunt legate între ele și cazanele din cadrul centralei termice, astfel încât atât motoarele cât și cazanele pot lucra în cascadă. Centrala termică mai conține și schimbatorul de căldură pentru prepararea apei calde și vasul de expansiune pentru sistemul de încălzire al consumatorilor.

Analiza energetică privind utilizarea unui sistem de cogenerare pentru alimentarea cu căldură
a unui ansamblu de blocuri din mediu urban

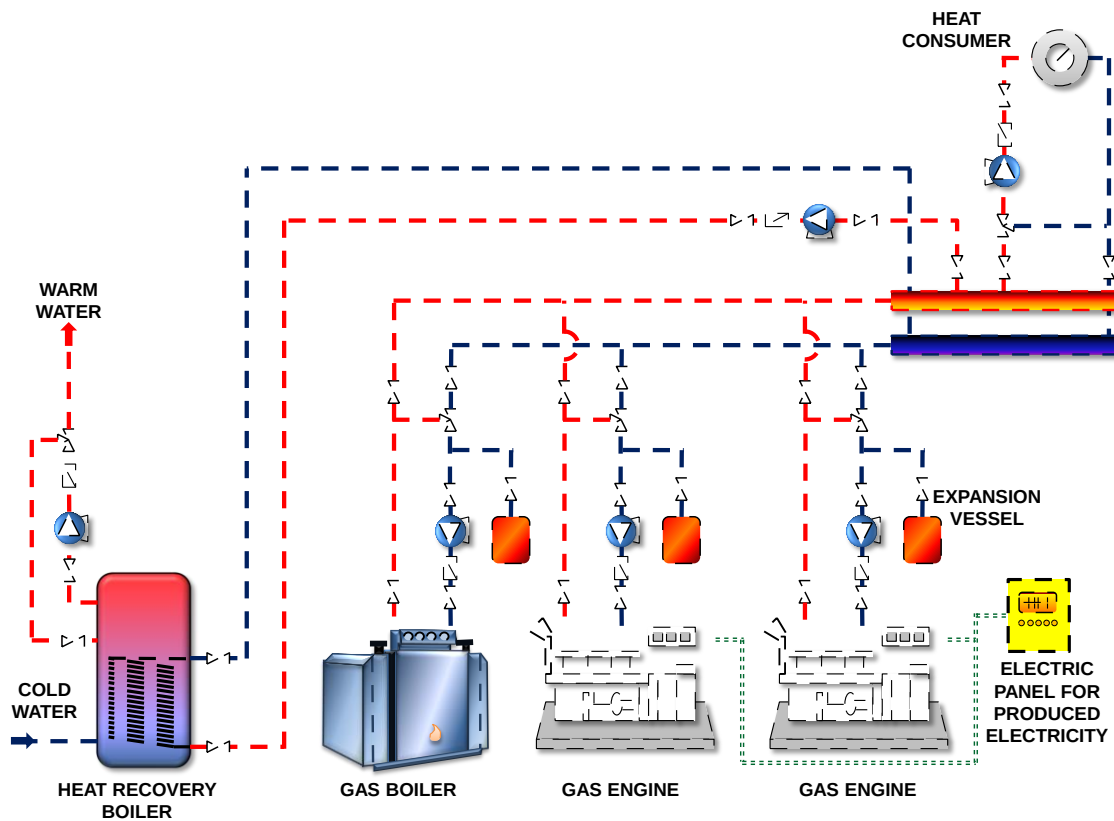


Fig. 2.1 - Schema de principiu a sistemului surse-consumatori

Motoarele termice utilizate în cadrul acestei analize energetice sunt niste motoare termice teoretice având puterea maximă la nivel de combustibil de 500 kW. Caracteristicile energetice aferente acestui motor au fost stabilite pe baza caracteristicilor motoarelor termice existente, respectând în bună măsură proporția puterilor termice și electrice atât la sarcină nominală cât și la sarcini parțiale. Modulul de 500 kW a fost ales atât pentru motoarele funcționând pe gaz natural cât și pentru motoarele funcționând pe biogaz. Puterile termice și electrice vor fi însă diferite atât la nominal cât și la sarcini parțiale funcție de tipul combustibilului utilizat. Mai concret, motorul termic de 500 kW la nivel de combustibil are următoarele caracteristici în sarcina nominală și sarcini parțiale pentru gazul natural:

Tabel 2.1

Randamentele motorului cu ardere internă și combustibil gaze naturale

Teoretic	GN	500 kW		Randamente		
C (kW)	PE (kW)	PT (kW)	PET(kW)	Re (-)	Rt (-)	Ret (-)
250	81,58	142,51	226,60	0,33	0,57	0,91
375	138,28	207,11	351,02	0,37	0,55	0,94
500	199,98	259,21	469,20	0,40	0,52	0,94

Din tabelul 2.1, referitor la motorul termic de 500 kW funcționând cu combustibil gaz natural, se observă că în ceea ce privește randamentul de producere a energiei electrice acestă scade ușor de la sarcina nominală la sarcina parțială de 50%, în timp ce randamentul termic crește ușor de la sarcina nominală la sarcina parțială de 50%. Randamentul total scade foarte puțin de la sarcina nominală la sarcina parțială de 50%.

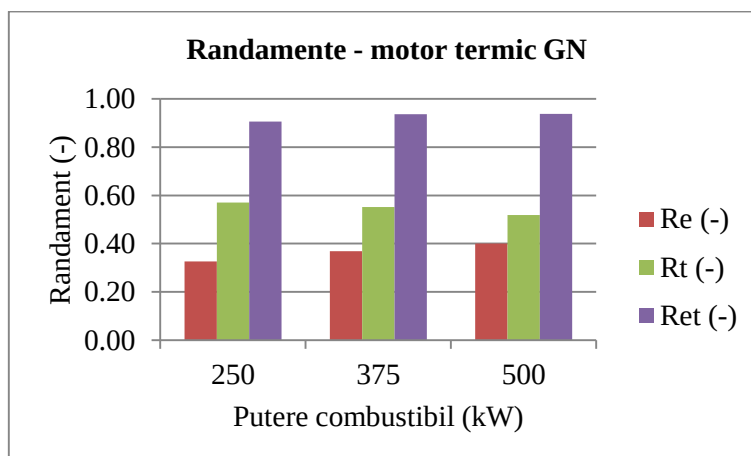


Fig. 2.2 – Randamente motor termic de 500 kW cu combustibil gaz natural

Tabel 2.2

Randamentele motorului cu ardere internă și combustibil gaz natural

Teoretic	BG	500 kW		Randamente		
C (kW)	PE (kW)	PT (kW)	PET(kW)	Re (-)	Rt (-)	Ret (-)
250	89,44	111,01	200,45	0,36	0,44	0,80
375	141,75	176,51	318,27	0,38	0,47	0,85
500	193,44	239,51	432,95	0,39	0,48	0,87

În cazul motorului termic de 500 kW funcționând cu combustibil biogaz (Tabel 2.2), randamentele la sarcini parțiale de 50% sunt ușor mai mici decât cele la sarcina nominală atât pentru producerea de energie electrică, energie termică cât și total. Suplimentar trebuie menționat faptul că în cazul prezentului studiu, s-a considerat că biogazul are o putere calorică inferioară de 5.5 kWh/Nm³ iar gazul natural 10 kWh/Nm³.

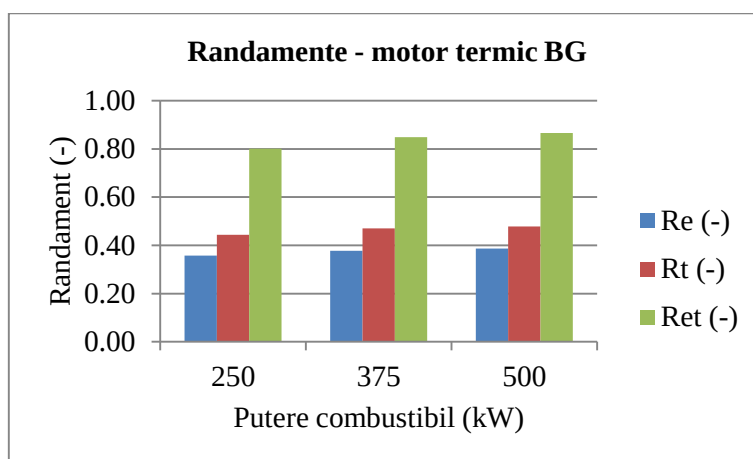


Fig. 2.3 – Randamente motor termic de 500 kW cu combustibil biogaz

Pentru deservirea consumatorului pe care încă nu l-am definit se vor utiliza 3 și 5 motoare termice după cum se vor realiza configurațiile de motoare și cazane care se vor prezenta în continuare.

În ceea ce privește centrala termică ea va fi formată dintr-un număr variabil de cazane în funcție de configurație, cu puterea instalată de 200 kW fiecare, legate în paralel și care vor lucra în cascadă după caz. Randamentul cazanelor se consideră de 90%, valoarea lui fiind aceeași în cazul funcționării la sarcini parțiale.

Așa cum s-a menționat, consumatorul considerat este din categoria rezidențială, consumul de energie termică fiind pentru încălzire și pentru prepararea apei calde. Consumatorul este un ansamblu de 6 blocuri de locuințe cu regimul de înălțime S+P+3E conținând fiecare 3 tronsoane. Pe fiecare tronson sunt 16 apartamente de 3 camere, subsolurile fiind spații tehnice neîncălzite. O analiză energetică făcută la nivelul apartamentului mediu a condus la un necesar de căldură de calcul pentru încălzire de 5 kW iar pentru apa caldă de 0,5 kW în medie pe zi. Numărul de 6 astfel de blocuri de locuințe de câte 48 de apartamente a fost aleas astfel încât să poată fi deservit pe timp de vară pentru prepararea apei calde de un singur motor termic funcționând la sarcina parțială de 50%, adică cca. 143 kW.

Pentru determinarea puterii termice necesare a acestui consumator format din grupul celor 6 blocuri menționat s-a determinat mai întâi pe baza necesarului de căldură de calcul pentru 1 apartament $q_{nec0} = 5$ kW, și factorul complex de cuplaj termic al apartamentului cu mediul exterior – H (W/K).

$$q_{nec0} = H \cdot (t_{i0} - t_{e0})$$

$$H = \frac{q_{nec0}}{(t_{i0} - t_{e0})} = \frac{5000}{35} = 142,857 \text{ W / K} \quad (1)$$

Ceea ce la nivelul celor 6 blocuri înseamnă un factor complex de cuplaj termic de 41142,8 W/K. Pe baza lui se pot determina necesarurile de căldură pentru încălzire

ale ansamblului de blocuri, pe care dacă le însumăm cu valorile corespunzătoare pentru prepararea apei calde obținem necesarurile totale de căldură ale consumatorului la diferite temperaturi exterioare. În tabelul 2.3 se prezintă distribuția acestor necesaruri de căldură la nivel de apartament și de întreg ansamblu de blocuri.

Tabel 2.3

te	q_inc	q_acc	q_ap	q_ap_t	Nr. Ap.	q_nec_t
oC	W	W	W	kW_t	-	kW_t
-15	5000,00	500	5500,00	5,50	288	1584,00
-10	4285,71	500	4785,71	4,79	288	1378,28
-5	3571,43	500	4071,43	4,07	288	1172,57
0	2857,14	500	3357,14	3,36	288	966,86
5	2142,86	500	2642,86	2,64	288	761,14
10	1428,57	500	1928,57	1,93	288	555,43
20	0	500	500	0,50	288	144,00

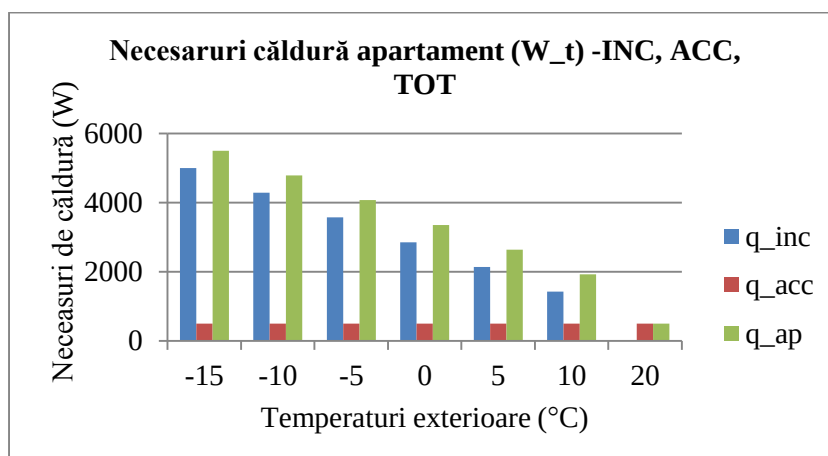


Fig. 2.4 – Distribuția necesarurilor de căldură pentru 1 apartament

Bara verde din cadrul grupului de 3 bare reprezintă necesarul de căldură total care este suma dintre necesarul de căldură pentru încălzire și cel pentru prepararea apei calde :

$$q_{nec_tot} = q_{nec_inc} + q_{nec_acc} \quad (2)$$

La nivelul întregului grup de 6 clădiri se obține o diagramă asemănătoare a necesarurilor totale de căldură.

Analiza energetică privind utilizarea unui sistem de cogenerare pentru alimentarea cu căldură
a unui ansamblu de blocuri din mediu urban

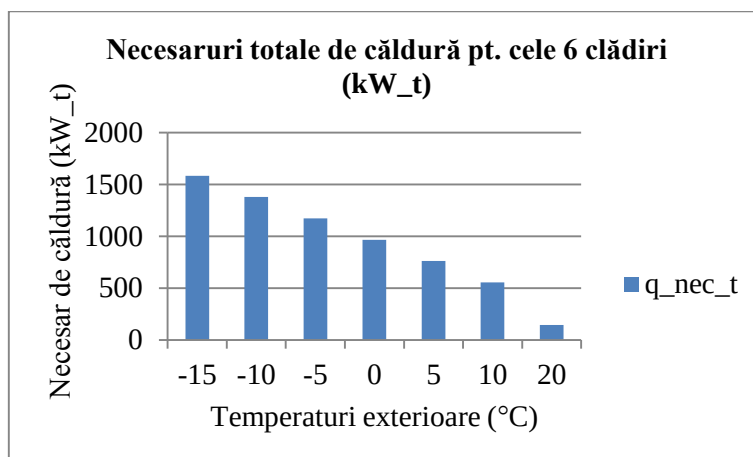


Fig. 2.5 – Distribuția necesarurilor totale de căldură ale grupului de blocuri

Un lucru important de care trebuie să ținem seama în continuare la analiza consumurilor de energie este durata de timp asociată fiecărei perioade de temperatură exterioară. O analiză făcută pe un an mediu a condus la următoarele valori în zile ale perioadelor caracterizate de temperaturile exterioare menționate.

Tabel 2.4

Domeniu temp. ext. (°C)	te (°C)	zile
-17.5...-12.5	-15	2
-12.5...-7.5	-10	11
-7.5...-2.5	-5	32
-2.5...2.5	0	60
2.5...7.5	5	53
7.5...12.5	10	24
> 12.5	20	183

O imagine grafică a valorilor din tabelul 2.4 este prezentată în figura 2.6.

Se observă că perioada din iarnă caracterizată de temperaturi exterioare în jurul lui 0 °C are durata cea mai mare de apariție (cca, 60 zile). Din acest punct de vedere este important de prezentat necesarul de energie termică al unui apartament (fig. 2.7).

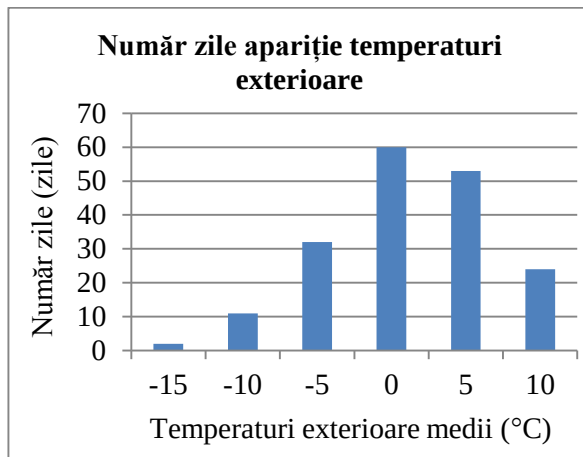


Fig. 2.6 – Duratele de apariție a temperaturilor exterioare în sezonul rece

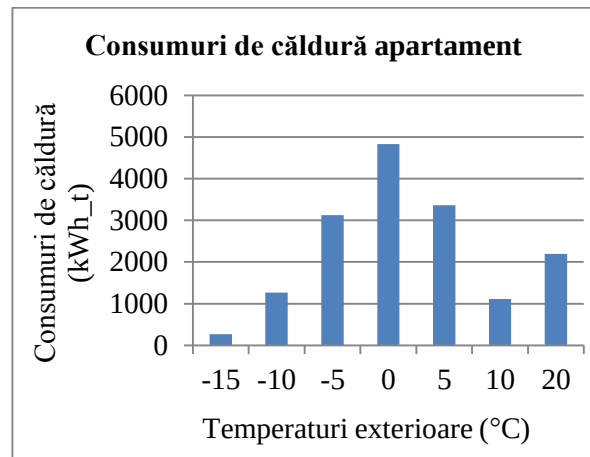


Fig. 2.7 – Desfășurarea consumurilor de căldură ale unui apartament

Se poate trece în continuare la evaluarea necesarului de energie termică a consumatorului pe întreaga perioadă a anului :

$$Q_{nec} = \int_{an} q_{nec_tot} \cdot d\tau = \sum_k q_{nec_tot_k} \cdot \Delta\tau_k \quad (3)$$

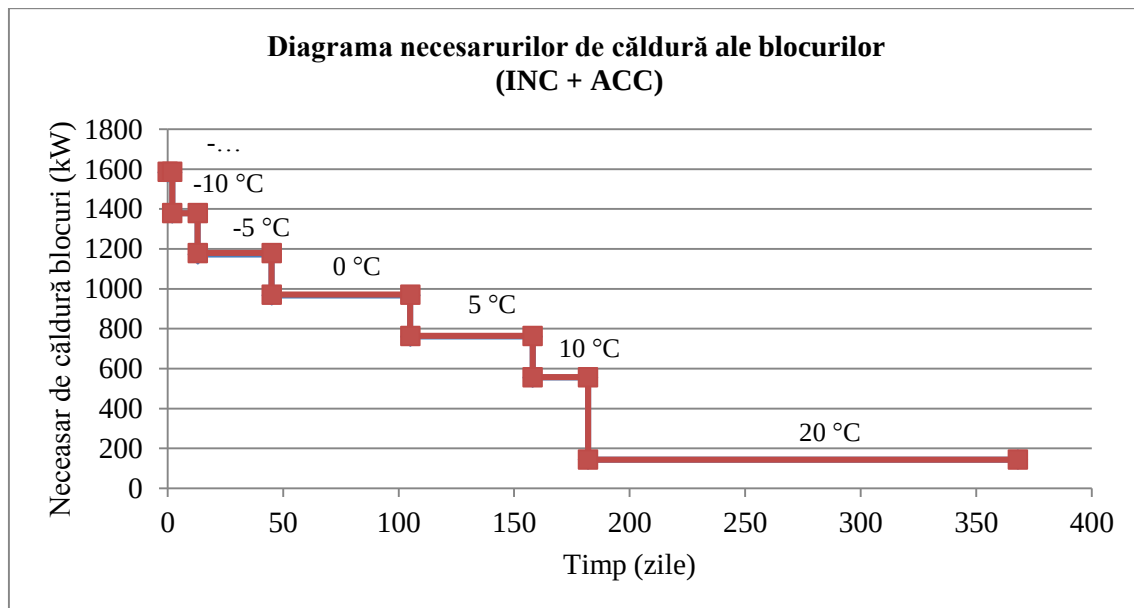


Fig. 2.8 – Diagrama necesarilor de căldură ale blocurilor (INC + ACC)

În figura 8 este prezentată diagrama în timp a necesarilor de căldură ale blocurilor deservite, ariile de sub diagramă reprezentând energiile necesare în perioade caracterizate diferit de temperaturile exterioare.

3. Configurarea sistemului de surse. Evaluarea performanțelor energetice

Analizele energetice care se propun a fi efectuate vizează în principal două modificări asupra configurațiilor surselor de alimentare cu căldură. Prima modificare se referă la combustibilul utilizat la motoare, este vorba de gazul natural și de biogaz, iar în al doilea rând ne referim la proporția din puterea totală instalată alocată motoarelor termice, respectiv centralei termice.

În capitolul anterior s-a prezentat pe scurt, tabular și grafic, comportamentul motoarelor termice de 500 kW la combustibil gaz natural și la biogaz. Este interesant de analizat comparativ datele din tabelele 2.1 și 2.2 în ceea ce privește în special randamentele motoarelor termice.

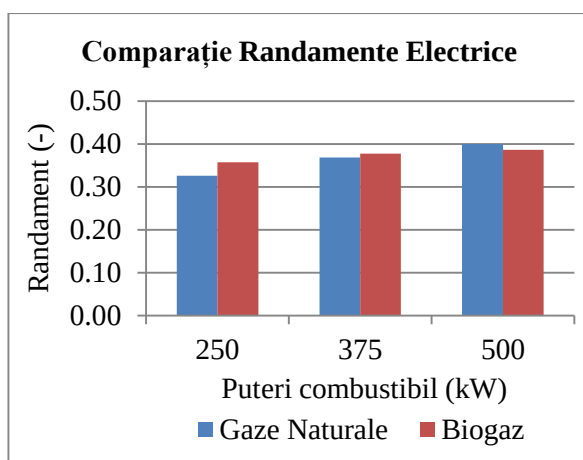


Fig. 3.1 – Comparație randamente electrice – gaz natural/biogaz

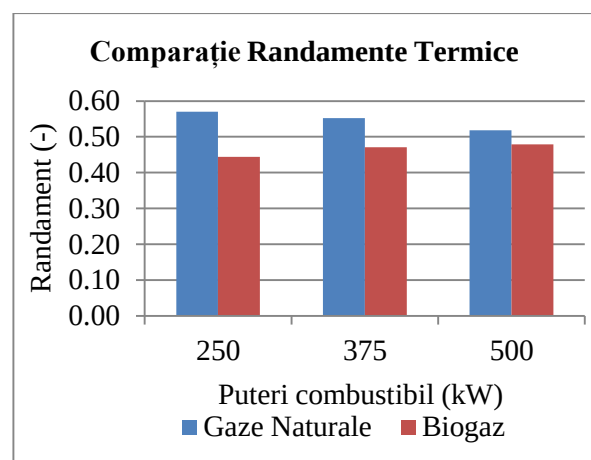


Fig. 3.2 - Comparație randamente termice – gaz natural/biogaz

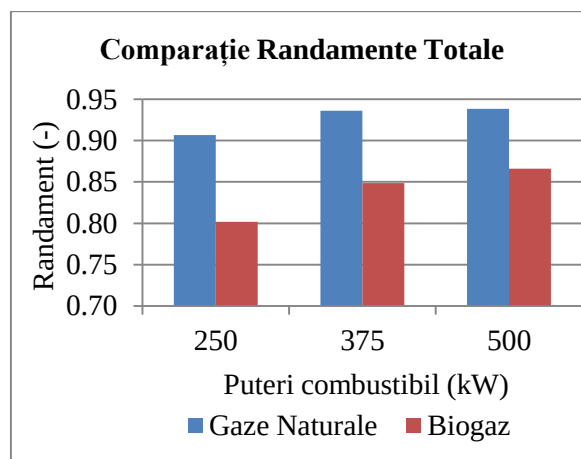


Fig. 3.3 - Comparație randamente totale – gaz natural/biogaz

Din figurile 3.1, 3.2 și 3.3 se observă câteva aspecte de reținut :

- Randamentele termice sunt sensibil mai mari decât randamentele electrice;

- Randamentele la sarcini parțiale sunt mai scăzute decât randamentele la sarcina nominală, cu excepția că randamentul termic al motorului cu gaz natural are un comportament invers.
- Randamentele electrice la sarcini parțiale ale motorului cu gaz natural sunt puțin mai scăzute decât cele corespunzătoare ale motorului cu biogaz.

În ceea ce privește cel de-al doilea aspect menționat și anume ponderea puterii instalate în motoarele termice aici trebuie să remarcăm faptul că se produce o modificare importantă în ceea ce privește de fapt componenta termică a puterii utile. Astfel, din acest punct de vedere se va analiza o primă variantă în care structura sursei va fi compusă din 5 motoare termice de câte 500 kW și 2 cazane de câte 200 kW. O a doua structură analizată presupune 3 motoare termice de câte 500 kW și 5 cazane de câte 200 kW. Această configurație este valabilă în cazul folosirii gazului natural, în cazul biogazului având un alt număr de cazane.

În prima varianta puterea totală instalată (la nivel de combustibil) este de 2800 kW, iar în cea de-a doua variantă este de 2400 kW. Din punct de vedere al puterii termice în prima variantă puterea termică instalată este de cca. 1566 kW, față de cea de-a doua variantă în care puterea termică instalată este de cca. 1588kW. Din punct de vedere al puterii electrice în prima variantă puterea electrică instalată este de cca. 1000 kW, față de cea de-a doua variantă în care puterea electrică instalată este de cca. 600kW. Dacă construim un indicator asemănător factorului de cogenerare rezultă pentru varianta 1 un indice de cogenerare de 0.64, iar pentru varianta 2 un indice de cogenerare de 0.38, ceea ce atestă o scădere a ponderii energiei electrice în varianta a doua.

În concluzie rezultă că vor fi analizate din punct de vedere energetic 4 configurații constând din combinarea celor 2 variante de combustibil utilizat cu 2 variante din punct de vedere al ponderii capacității centralei termice din totalul puterii instalate. Vom eticheta fiecare din cele 4 configurații cu literele A, B, C și D după cum urmează :

- Configurația A –combustibil gaz natural, 5 motoare termice și 2 cazane;
- Configurația B – combustibil biogaz, 5 motoare termice și 3 cazane;
- Configurația C – combustibil gaz natural, 3 motoare termice și 5 cazane;
- Configurația D – combustibil biogaz, 3 motoare termice și 5 cazane;

Configurația A - Rezultate energetice

Numărul de motoare termice și contribuția centralei termice s-a stabilit astfel încât să se obțină din partea surselor o putere termică livrată cât mai apropiată acoperitor față de necesarul de căldură al consumatorului.

Tabel 3.1

te	q_nec_t	Motoare + Centrala	qt_surse	qe_surse	qet_surse	qc_inst
oC	kW_t	SCHEMA CUPLARE	kW_t	kW_e	kW_et	kW_c
-15	1584	5*1.00+290	1566,07	999,92	2565,99	2800
-10	1378,28	4*1.00+1*0.5+200	1404,37	881,52	2285,89	2500
-5	1172,57	4*1.00+1*0.5	1179,37	881,52	2060,89	2250
0	966,86	4*0.75+1*0.5	970,97	634,72	1605,69	1750
5	761,14	3*0.75+1*0.5	763,85	496,436	1260,29	1375
10	555,43	2*0.75+1*0.5	556,74	358,152	914,89	1000
20	144	1*0.5	142,51	81,58	224,09	250

Astfel în tabelul 3.1 se prezintă numărul de motoare și procentul de participare la diverse solicitări climatice asupra consumatorului. Se observă cum puterea termică a surselor acoperă apropiat necesarul de căldură al consumatorului. O imagine poate mai sugestivă este prezentată grafic în fig. 3.4. Tot în tabelul 3.1 se prezintă și puterile efective ale surselor pe parte termică, electrică și total și la nivel de combustibil. Imaginea grafică a datelor din tabelui 3.1 este prezentată în fig. 3.5.

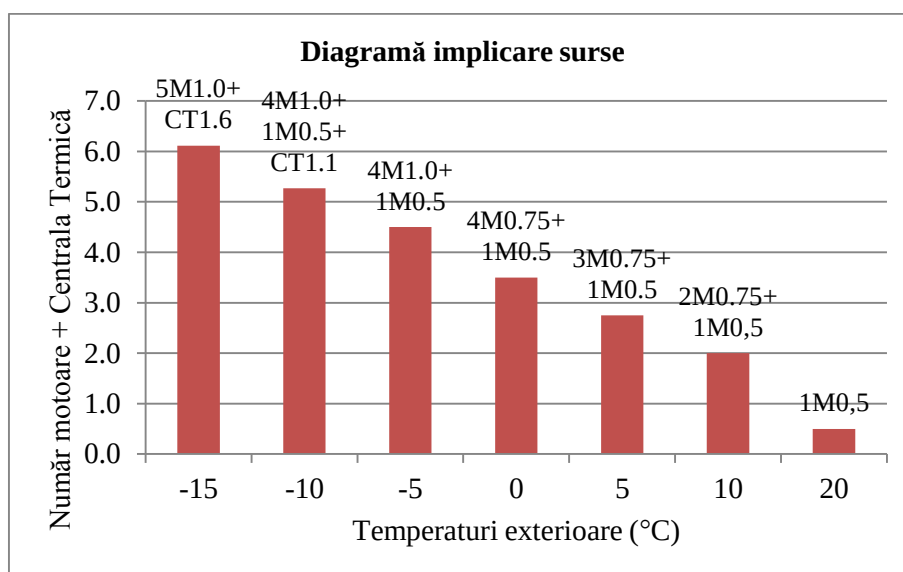


Fig. 3.4 – Diagrama funcționării în cascadă a surselor de energie

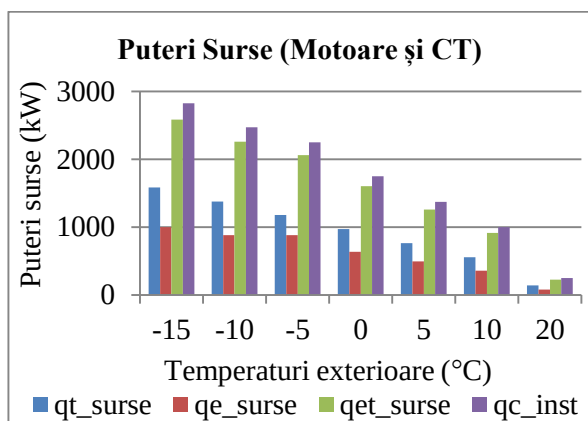


Fig. 3.5– Distribuția puterilor de energie livrate și utilizate de surse

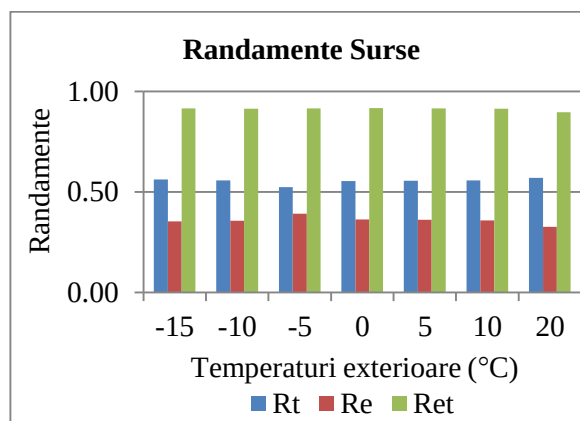


Fig. 3.6 – Distribuția randamentelor de lucru ale sursei

Evoluția randamentelor termice, electrice și totale funcție de temperaturile exterioare este destul de uniformă după cum se observă și din fig. 3.6.

În continuare s-a trecut la evaluarea cantităților de energie livrate de surse în perioadele de timp caracterizate de intervalele de temperaturi exterioare prezentate. Rezultatele obținute ușor prin multiplicarea puterilor energetice cu duratele de timp corespunzătoare sunt prezentate în tabelul 3.2. Datele privind cantitățile de energie livrate de surse sunt prezentate grafic în fig. 3.7.

Tabel 3.2

Cantitățile de energie livrate de sursă

	MOTOARE + CENTRALA TERMICĂ			
te	Q _t	Q _e	Q _{et}	Q _c
°C	MWh _t	MWh _e	MWh _{et}	MWh _c
-15	75,17	48,00	123,17	134,40
-10	370,75	232,72	603,47	660,00
-5	905,76	677,01	1582,76	1728,00
0	1398,20	914,00	2312,19	2520,00
5	971,62	631,47	1603,08	1749,00
10	320,68	206,30	526,98	576,00
20	625,92	358,30	984,22	1098,00
iarna	4042,17	2709,48	6751,65	7367,40
an	4668,08	3067,78	7735,87	8465,40
R (-)	0,55	0,36	0,91	1,00

O imagine utilă în analiza energetică care este întreprinsă vizează comparația producției de energie electrică a sursei cu consumul de energie electrică a consumatorului reprezentat de grupul celor 6 blocuri de locuințe descris. Rezultatul este prezentat grafic în fig. 3.8.

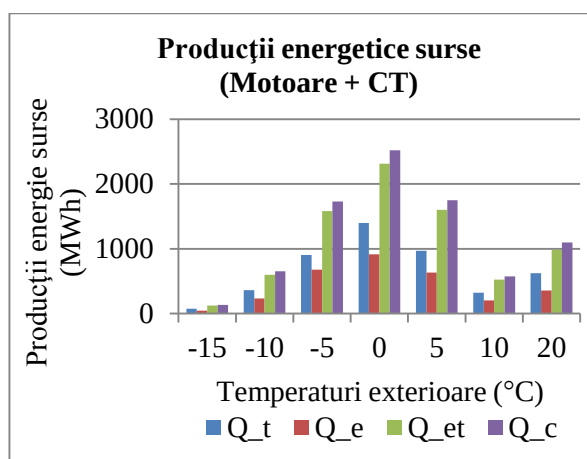


Fig. 3.7 – Diagrama energiilor livrate de surse (motoare termice + CT)

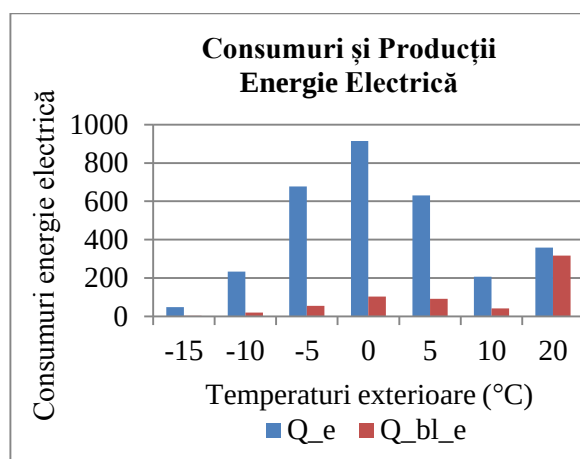


Fig. 3.8– Analiza comparată a producției și consumurilor de energie electrică

Din diagrama din fig. 3.8 se observă că în perioada sezonului cald, producția de energie electrică și consumul de energie electrică sunt foarte bine corelate, însă în perioada de iarnă diferența dintre producție și consum este foarte mare astfel încât numai livrarea în sistemul național de energie electrică poate valorifica producția grupului de motoare termice implicate în sursa asociată consumatorului.

În ultima linie a tabelului 6 se prezintă randamentele anuale ale sistemului de surse. Valorile acestor randamente au fost reprezentate grafic în fig. 3.9.

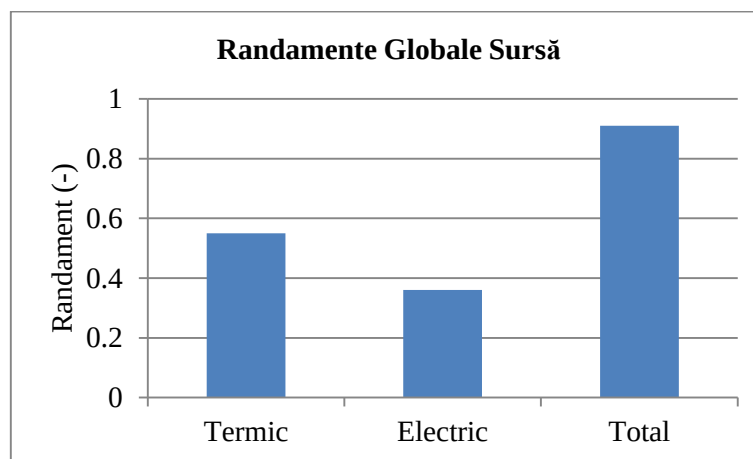


Fig. 3.9– Randamente anuale surse

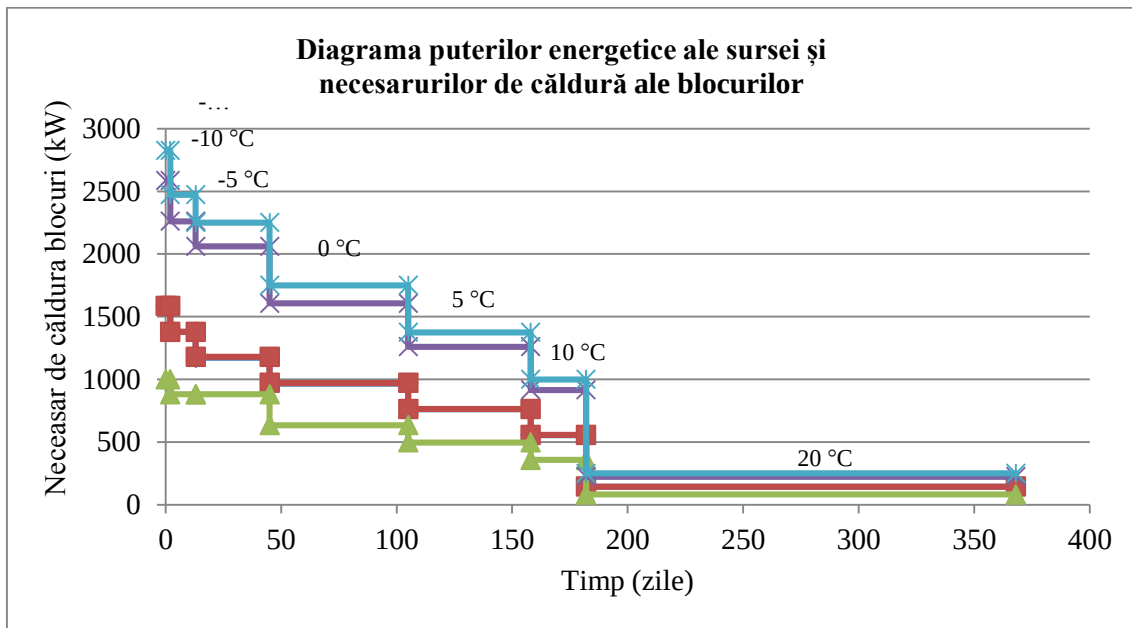


Fig. 3.10 – Distribuția puterilor și necesarurilor de energie

Figura 3.10 conține o imagine sintetică valoroasă asupra distribuției anuale a puterilor livrate de sursa formată din motoarele termice și centrala termică atasată, alături de necesarul de energie termică al consumatorului format din cele 6 blocuri așa cum au fost descrise. Cum în abscisa graficului se afla timpul atunci din diagrama se pot observa duratele diverselor nivele de putere termică în asociație cu nivelul temperaturii exterioare. Linia verde (care are nivelul cel mai scăzut) este linia puterilor electrice livrate de surse. Linia roșie plasată deasupra liniei verzi reprezintă linia puterilor termice livrate de surse care se suprapune peste linia necesarurilor de căldură ale consumatorului. Linia mov plasată pe nivelul imediat superior reprezintă linia puterilor totale (electrice + termice) livrate de surse, iar linia albastru deschis plasată pe nivelul cel mai ridicat reprezintă linia puterilor consumate de surse (pe baza combustibilului). Valoarea diagramelor din fig. 3.10 constă și în faptul că ariile aflate sub diversele linii menționate reprezintă energiile livrate de surse, respectiv necesare consumatorului.

În ceea ce privește randamentul termic al sistemului sursă în ansamblu se poate defini un randament ponderat cu puterile termice produse de cele două categorii de surse din cadrul sistemului (motoarele termice și cazanele centralei termice). Astfel :

$$\eta_S = \frac{P_{MT} \cdot \eta_{MT} + P_{CT} \cdot \eta_{CT}}{P_{MT} + P_{CT}} \quad (4)$$

Tinând seama că randamentul astfel definit este un randament instantaneu, se poate defini și un randament mediu pentru o anumită perioadă de timp dacă se făcea integrarea acestui randament instantaneu pe perioada respectivă, ceea ce revine la :

$$\eta_S = \frac{Q_{MT} \cdot \eta_{MT} + Q_{CT} \cdot \eta_{CT}}{Q_{MT} + Q_{CT}} \quad (5)$$

4. Analiza comparată

Celelalte configurații menționate mai înainte în lucrare se prezintă din punct de vedere al analizei energetice în mod similar, astfel încât considerăm că nu mai este reprezentativ a prezenta diagramele corespunzătoare acestora. Mult mai interesant este de a prezenta o analiză comparativă a rezultatelor energetice, comparația vizând pe de o parte ponderea motoarelor termice în capacitatea totală a sistemului sursă, iar pe de alta parte tipul de combustibil utilizat (gaze natural-GN și biogaz-BG).

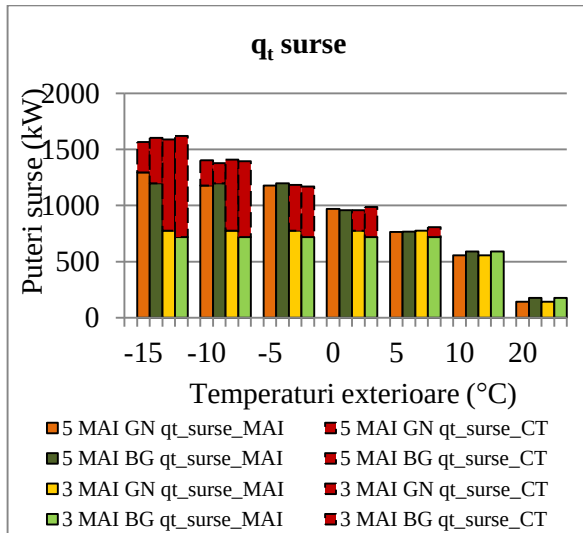


Fig. 4.1 – Distribuția puterilor termice funcție de temperatura exterioară

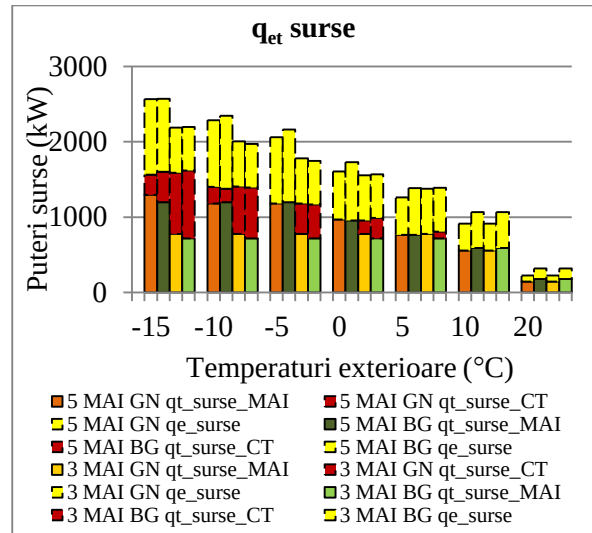


Fig. 4.2 – Distribuția puterilor surselor funcție de temperatura exterioară

În diagrama din fig. 4.1 se observă defalcate contribuțiile de putere termică aferente motoarelor (segmentul de jos al barelor) și contribuțiile centralelor termice (partea de sus a barelor) în fiecare variantă de configurație. Se observă cum centralele termice încep să capete o pondere tot mai mare cu cât intrăm în zona temperaturilor mai scăzute. Se observă cum în cazul variantelor cu 3 motoare ponderea centralelor termice este sensibil mai mare decât în cazul variantelor cu 5 motoare.

În diagrama din fig. 4.2 se observă defalcate contribuțiile de putere termică aferente motoarelor și centralelor termice (segmentele de jos al barelor) și de putere electrică aferente motoarelor termice (partea de sus cu galben a barelor) în fiecare variantă de configurație. Se observă cum la temperaturi exterioare mai scăzute (-5 °C, -10 °C, -15 °C) puterea totală a sistemului sursă (motoare+central) începe să fie mai scăzută în cazul variantelor cu 3 motoare termice pe seama puterii electrice furnizate.

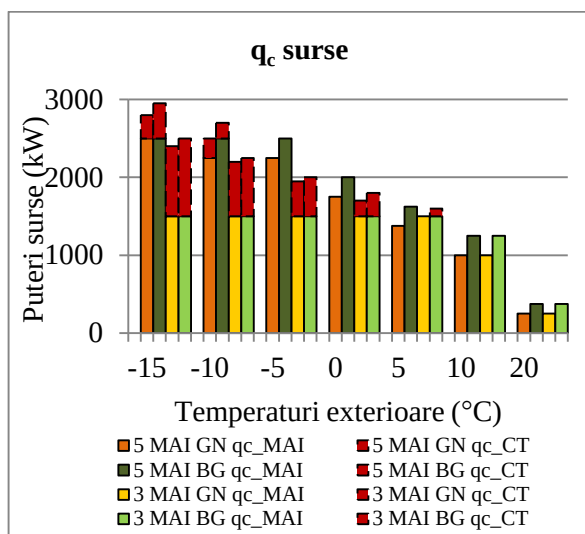


Fig. 4.3 – Distribuția ratelor de combustibil funcție de temp. exterioară

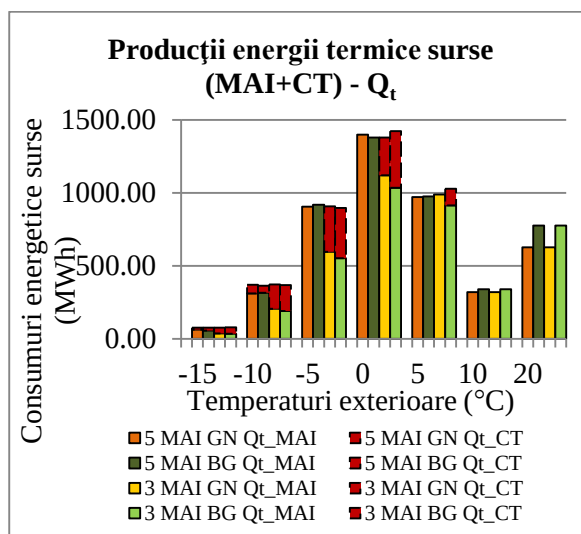


Fig. 4.4 – Distribuția producțiilor de energie termică a surselor

În diagrama din fig. 4.3. se observă rata de consum de combustibil ceva mai scăzută în cazul variantelor pe 3 motoare termice datorita randamentului termic mai ridicat al acestor variante pe baza ponderii sporite a centralelor termice în aceste variante. De asemenea se observă la valori mai ridicate de temperaturi exterioare o rată de consum de combustibil ceva mai mare în cazul utilizării biogazului decât al gazului natural și asta datorită faptului că motoarele pe biogaz vor lucra la 75% capacitate în loc de 50% în cazul gazelor naturale.

În fig. 4.4 se observă cum producțiile mari de energie termică aferentă surselor, sunt în perioada sezonului rece caracterizată de temperaturi exterioare în zona (-5...+5) °C, datorită frecvenței mari de apariție a acestor temperaturi exterioare. Producțiile relative mari din zona temperaturii exterioare de +20 °C se datorează duratei mari a sezonului cald, când energia termică este utilă pentru prepararea apei calde de consum. Se observă de asemenea contribuția energetică a cazanelor de apă caldă (segmentul cu roșu din partea de sus a barelor).

Față de cele prezentate mai înainte, în fig. 4.5 și 4.6 putem remarca distinct contribuția centralelor termice care este relativ scăzută față de cea motoarelor. De asemenea se observă producțiile ceva mai ridicate aferente variantelor pe combustibil biogaz, dar asta se datorează așa cum spuneam faptului că în cazul temperaturilor exterioare mai ridicate motoarele pe biogaz lucrează la capacitate de 75% față de 50% în cazul celor pe gaz natural.

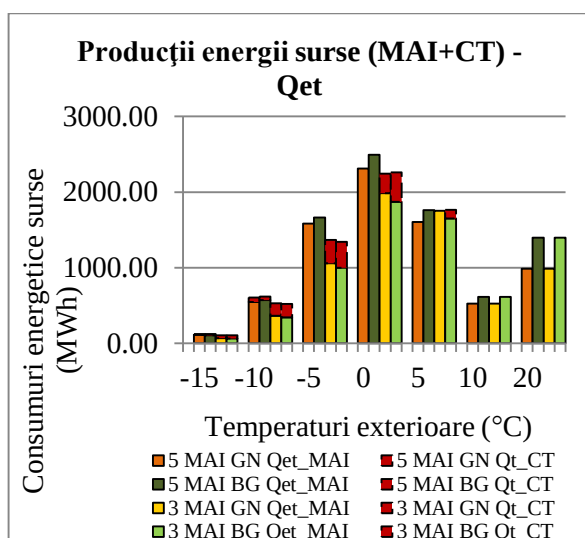


Fig. 4.5 – Distribuția producțiilor de energie totală a surselor

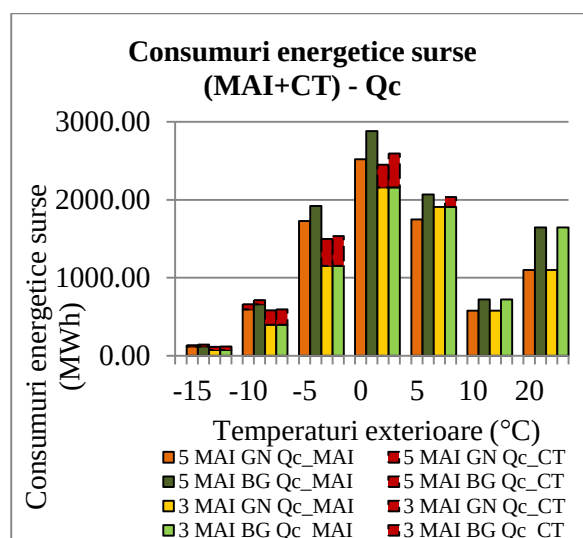


Fig. 4.6 – Distribuția consumurilor de combustibil pe temperaturi exterioare

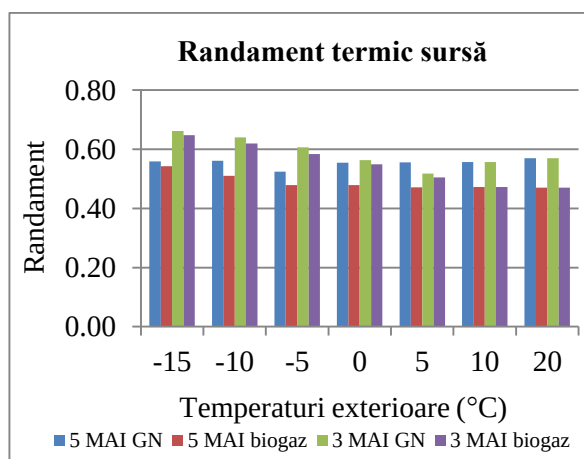


Fig. 4.7 – Distribuția randamentelor termice pe temperaturi exterioare

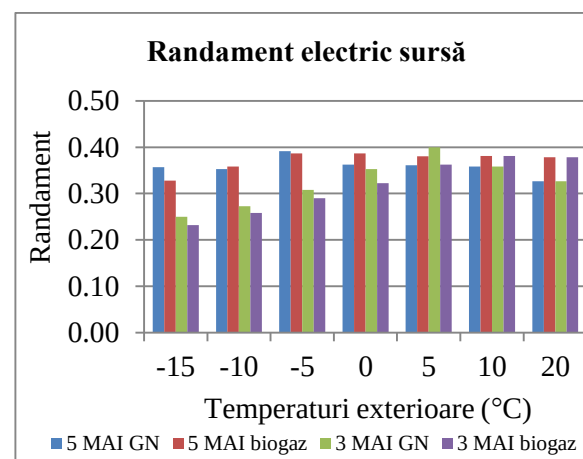


Fig. 4.8 – Distribuția randamentelor electrice pe temperaturi exterioare

În diagrama din figura 4.7 distribuția randamentului termic al sistemului sursă (motoare + central termice) funcție de temperatura exterioară. În zona temperaturilor exterioare mai scăzute s-au obținut randamente termice mai mari în cazul variantelor cu 3 motoare termice (datorită creșterii ponderii capacităților centralele termice, caracterizate de randamente termice de 90%), iar în zona temperaturilor exterioare mai ridicate se observă randamentele termice mai ridicate aferente variantelor pe gaz natural (centralele termice ies din funcțiune în aceste perioade).

În diagrama din fig. 4.8 se observă randamente electrice mai scăzute în zona temperaturilor exterioare mai scăzute pentru variantele cu 3 motoare termice față de 5 motoare termice datorită faptului că raportarea se face la întreaga capacitate a sistemului de surse. În zona temperaturilor exterioare mai ridicate se distinge creșterea randamentului variantelor pe biogaz datorita faptului că acestea lucrează la o capacitate de 75% față de 50% în cazul motoarelor pe gaz natural și centralele termice nu lucrează.

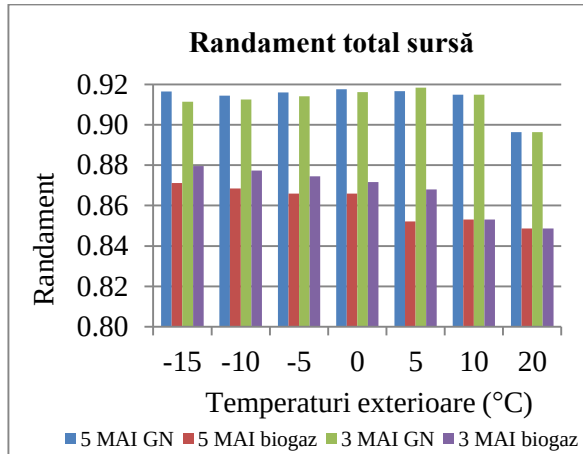


Fig. 4.9 – Distribuția randamentelor totale ale sistemului sursă

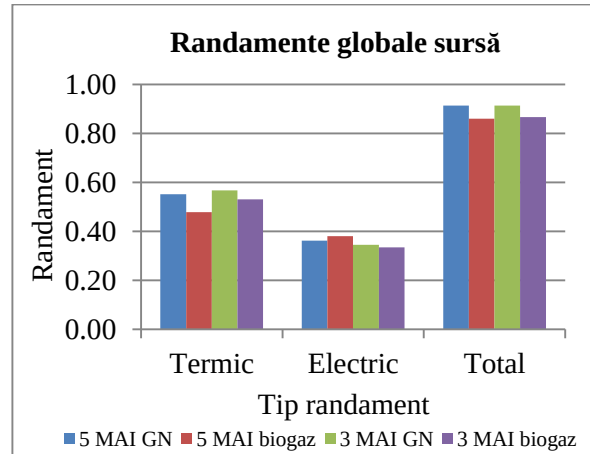


Fig. 4.10 – Randamentele globale ale sistemului de surse

Se disting randamentele ceva mai scăzute ale variantelor pe combustibil biogaz. Diferența vizibilă a valorilor de randamente se datorează faptului că pe ordonată se începe numerotarea de la o valoare de 80%.

Tab. 4.1

Randamentele sursei și randamentul global												
Text	5 MAI GN			5 MAI biogaz			3 MAI GN			3 MAI biogaz		
	Randamente			Randamente			Randamente			Randamente		
°C	Rt(-)	Re(-)	Ret(-)	Rt(-)	Re(-)	Ret(-)	Rt(-)	Re(-)	Ret(-)	Rt(-)	Re(-)	Ret(-)
-15	0.56	0.36	0.92	0.54	0.33	0.87	0.66	0.25	0.91	0.65	0.23	0.88
-10	0.56	0.35	0.91	0.51	0.36	0.87	0.64	0.27	0.91	0.62	0.26	0.88
-5	0.52	0.39	0.92	0.48	0.39	0.87	0.61	0.31	0.91	0.58	0.29	0.87
0	0.55	0.36	0.92	0.48	0.39	0.87	0.56	0.35	0.92	0.55	0.32	0.87
5	0.56	0.36	0.92	0.47	0.38	0.85	0.52	0.40	0.92	0.51	0.36	0.87
10	0.56	0.36	0.91	0.47	0.38	0.85	0.56	0.36	0.91	0.47	0.38	0.85
20	0.57	0.33	0.90	0.47	0.38	0.85	0.57	0.33	0.90	0.47	0.38	0.85
Randament global sursa			Randament global sursa			Randament global sursa			Randament global sursa			
Termic			0.55			Termic			0.48			
Electric			0.36			Electric			0.38			
Total			0.91			Total			0.86			

În tabelul 4.1 pot fi observate valorile exacte ale randamentelor reprezentate în graficele anterioare.

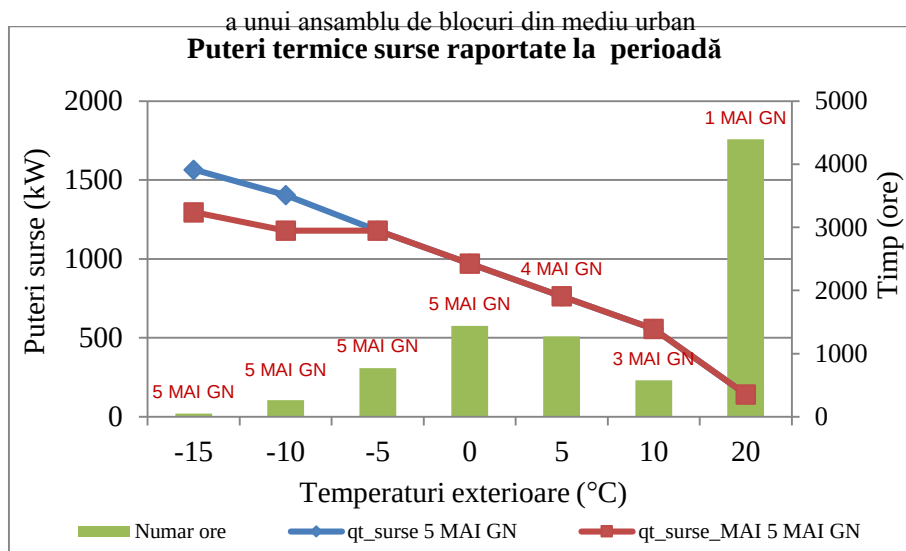


Fig. 4.11 – Diagrama puterilor termice a motoarelor – 5 MAI, comb. GN

În fig. 4.11 se prezintă diagrama intrării în funcțiune a motoarelor termice în funcție de domeniul de temperaturi exterioare, în cazul combustibilului gaze naturale. Cu linie roșie este urmărită puterea termică furnizată de motoare iar cu linie albastră este urmărită puterea termică furnizată de ansamblul surselor (motoare termice + centrale termice). Zona dintre linia albastră și cea roșie semnifică puterea termică furnizată de centralele termice. Se observă clar că centralele termice intră în funcțiune după ce temperatura exterioară scade sub -5°C . Barele de culoare verde prezintă numărul de ore de funcționare al motoarelor termice la diferite temperaturi exterioare, și tot aici, în etichetele de deasupra barelor este menționat numărul de motoare termice în funcțiune.

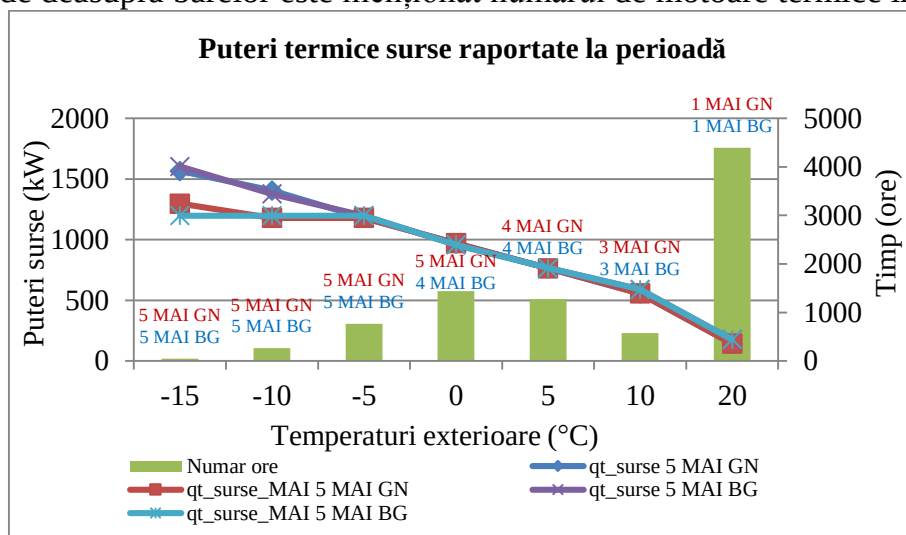


Fig. 4.12 – Diagrama puterilor termice a motoarelor – 5 MAI, comb. GN și BG

În fig. 4.12 se prezintă suplimentar față de cele prezentate în figura 4.11 și situația funcționării motoarelor cu combustibil biogaz. După cum se observă rezultatele sunt

asemănătoare cu cateva mici deosebiri. Numărul mare de ore de funcționare pe timp de vară a unui motor nu înseamnă că unul din motoare este suprauzat față de celelalte, dat fiind că se pot pune în funcțiune fiecare din motoare prin rotație.

În fig. 4.13 se prezintă diagrama puterilor atât în cazul variantei cu 5 motoare termice cât și în cazul variantei cu 3 motoare termice, combustibilul fiind gaze naturale. Se observă momentele în care intră în funcțiune motoarele termice în fiecare din variantele menționate.

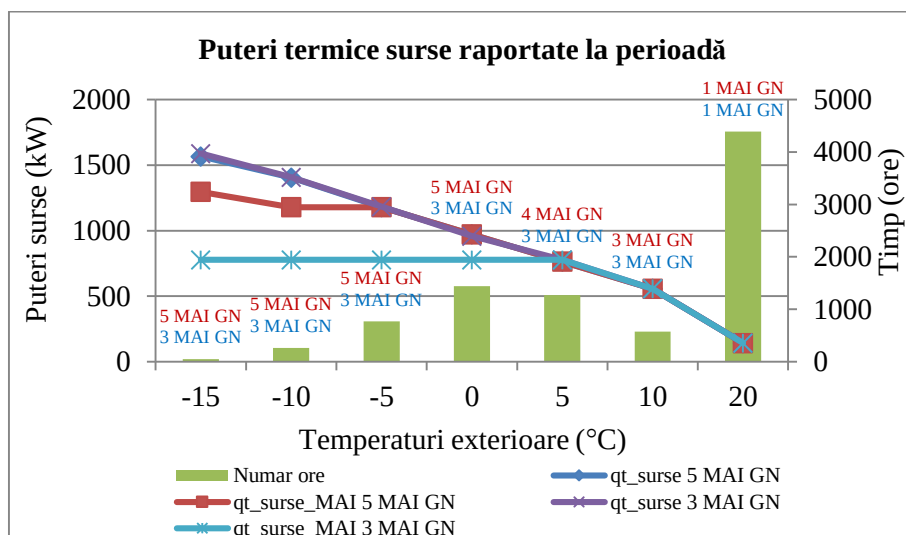


Fig. 4.13 – Diagrama puterilor termice a motoarelor – 3 și 5 MAI, comb. GN

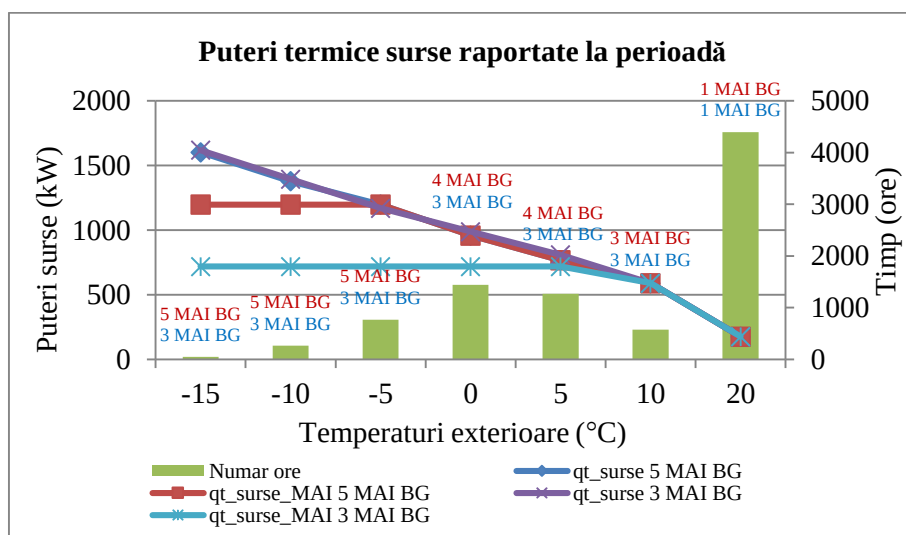


Fig. 4.14 – Diagrama puterilor termice a motoarelor– 3 și 5 MAI, comb. BG

În fig. 4.14 se prezintă diagrama puterilor atât în cazul variantei cu 5 motoare termice cât și în cazul variantei cu 3 motoare termice, combustibilul fiind biogaz.

O analiza făcută asupra timpilor de lucru ai motoarelor termice a condus la următoarele valori medii de funcționare : cca. 4765 ore/motor.an în cazul variantelor cu 5 motoare termice și 5832 ore/motor.an în cazul variantelor cu 3 motoare termice (adică cu peste 1000 de ore mai mult). Un număr mai mic de motoare termice în sistem conduce la un randament mai mare pe sistem însă și la o uzură mai rapidă a acestor motoare prin durata sporită de lucru anual. Randamentul mai mare pe întreg sistemul sursa rezultă bineînțeles din creșterea cotei de putere termică livrate de centralele termice.

5. Concluzii

Obiectivul central urmărit în cadrul lucrării a fost analiza energetică a 4 variante de compunere a sursei de energie care alimentează un același consumator. Consumatorul de tip grup de clădiri rezidențiale utilizează energia termică pentru prepararea apei calde de consum și pentru încălzirea spațiilor pe perioada sezonului rece al anului.

Variantele sistemului sursă au presupus un grup de 3 sau 5 motoare cu ardere internă, restul sursei fiind reprezentat de un grup de centrale termice care lucrează în paralel cu motoarele termice în perioadele de iarnă caracterizate de temperaturi exterioare scăzute. O altă caracteristică distinctă a variantelor de sursă este tipul de combustibil utilizat (gaze naturale sau biogaz).

Prima din concluziile de bază ale lucrării este că randamentul termic al sistemului este mai mare cu cât numărul de motoare este mai scăzut, însă acest lucru se asociază cu scăderea randamentului electric. Un alt dezavantaj al numărului mai scăzut de motoare termice este durata mai mare de utilizare a acestor motoare fapt care conduce la uzura mai rapidă a acestora.

În ceea ce privește tipul de combustibil utilizat, gazele naturale au condus la randamente ceva mai ridicate în anumite situații însă trebuie pus în balanță și costul acestora.

Toate aspectele privind concluziile prezentate calitativ pe scurt aici pot fi urmărite detaliat în capitolul 4 al lucrării.

Referințe

- [1] Victor Atanasovici, Ion Sotir Dumitrescu, Roxana Patrascu, Ioan Bitir, Eduard Minciuc, Florin Alexe, Victor Cenuse, Cristian Raducanu, Carmen Coman, Cristinel Constantin, „Tratat de inginerie termică – Alimentari cu căldura (Cogenerare)”, editura AGIR, 2010;
- [2] Rodica Frunzulica, „Cogenerare de mica putere”, editura Conspress 2009;
- [3] Efstathios E Michaelides, „Alternative energy sources”, Springer, 2012;
- [4] Christian Ngo, Joseph B. Natowitz, „Our energy future. Resources, alternatives and the environment”, Wiley, 2009;
- [5] U.S. E.P.A, CHP Partnership. „Catalog of CHP technologies”, 2008.