

**MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ**

RAPORT DE CERCETARE ȘTIINȚIFICĂ NR. 3

**OPTIMIZAREA MODELULUI ȘI STUDIUL APLICABILITĂȚII MODELULUI
PENTRU TIPURI DE CLĂDIRI DIN BUCUREȘTI**

Ing. drd. Gabriel MĂRCUȘ

Conducător de doctorat:

Prof. univ. dr. ing. Vlad IORDACHE

Comisia de îndrumare:

Prof. univ. dr. ing. Rodica FRUNZULICA

Prof. univ. dr. ing. Florin IORDACHE

Conf. univ. dr. ing. Florin BALTAREȚU

IULIE, 2019

CUPRINS

1	INTRODUCERE	6
2	CONȚINUTUL RAPORTULUI 3.....	8
2.1	CONSUMATOR REZIDENȚIAL	8
2.2	PROFILE DE CONSUM.....	8
2.2.1	Profil de consum a.c.m. - termic.....	9
2.2.2	Profil de consum a.c.m. - electric	13
2.2.3	Profil de consum încălzire - termic	15
2.2.4	Profil de consum încălzire - electric.....	17
2.2.5	Profil de consum electric - iluminat.....	19
2.2.6	Profil de consum climatizare – termic (răcire)	25
2.2.7	Profil de consum climatizare - electric	26
2.2.8	Profil de consum ventilare - încălzire	29
2.2.9	Profil de consum ventilare - răcire	31
2.2.10	Profil de consum ventilare - electric	32
2.2.11	Profil de consum tehnologic.....	34
2.3	ENERGIA TRANSFERATĂ DE SISTEMUL DE TRIGENERARE	35
2.3.1	Calculul consumului de energie transferată.....	35
2.4	ENERGIA PRODUSĂ DE SISTEMUL DE TRIGENERARE	40
CĂLDURA PRODUSĂ DE CĂTRE MOTOARELE TERMICE, Q_{MT} , SE DIVIDE PE TIMPUL PERIOADEI DE RĂCIRE (VARA) ÎN CĂLDURA NECESARĂ		
PRODUCERII FRIGULUI PENTRU CLIMATIZARE, Q_{CHILL} , ÎN INSTALAȚIA CU ABSORBȚIE – CHILLER – ȘI CĂLDURA NECESARĂ ÎNCĂLZIRII ȘI		
PREPARĂRII APEI CALDE DE CONSUM DIN REZERVORUL DE APĂ CALDĂ, Q_{REZ}		
2.4.1	Calculul căldurii necesare chillerului	40
2.4.2	Calculul căldurii necesare rezervorului de apă caldă	41
2.4.3	Calculul căldurii produse de motorul termic	44
2.4.4	Descriere strategie de functionare a sistemului de trigenerare	46
2.4.5	Calculul energiei electrice produse de motorul termic.....	46
2.4.6	Calculul energiei electrice auxiliare.....	48
2.4.7	Calculul energiei electrice a transformatorului.....	51
2.4.8	Calculul energiei electrice furnizată în SEN.....	53
2.5	ENERGIA PRIMARĂ A SISTEMUL DE TRIGENERARE	55
2.5.1	Energia gazului metan	55
2.5.2	Energia primară	56
2.5.3	Rezolvarea analitică.....	57
2.5.4	Calcul iterativ	60
3	CONCLUZII	62
4	REFERINȚE	63

FIGURI

Figura 2.1	Profiluri de consum mediu orar a.c.m. conform [6].....	10
Figura 2.2	Profil de consum orar a.c.m., rezidențial	11
Figure 2.3	Profil de consum a.c.m. – electric, rezidențial	15
Figure 2.4	Profil de consum încălzire, rezidențial	17

Figura 2.5 Profil de consum încălzire - electric, rezidențial	19
Figura 2.6 Profil consum electric - iluminat, rezidențial	22
Figure 2.7 Profil de consum orar climatizare, rezidențial.....	26
Figure 2.8 Profil de consum orar climatizare - electric, rezidențial	29
Figure 2.9 Profil de consum orar ventilare - încălzire, rezidențial.....	31
Figure 2.10 Profil de consum orar ventilare - răcire, rezidențial	32
Figure 2.11 Profil de consum orar ventilare - electric, rezidențial.....	34
Figure 2.12 Profiluri orare de energii transferate - căldură, rezidențial	37
Figure 2.13 Profiluri orare de energii transferate - frig, rezidențial	38
Figure 2.14 Profiluri orare de energii transferate - electric, rezidențial.....	39
Figure 2.15 Profiluri orare de energie termică de producție necesară chillerului, rezidențial	41
Figure 2.16 Profiluri orare de energie termică de producție necesară rezervorului de apă caldă, rezidențial	43
Figure 2.17 Profiluri orare de energie termică de producție	45
Figure 2.18 Profiluri orare de energie electrică de producție motoare	48
Figure 2.19 Profiluri orare de energie electrică auxiliară	50
Figure 2.20 Profiluri orare de energie electrică prin Transformator.....	52
Figure 2.21 Profiluri orare de energie electrică furnizată în SEN	54
Figure 2.22 Profiluri orare de energie gaz natural și energie primară	57
Figure 2.23 Profiluri orare energetice ale sistemului de trigenerare cu 2 motoare termice în strategia Mod 3 "simultan la aceeași sarcină fără intervenția cazanului"	60

TABELE

Tabel 2-1 Ponderea consumului a.c.m. rezidențial orar, de persoană.....	13
Table 2-2 Consum orar de energie electrică, rezidențial	23
Table 2-3 Consum orar, oră medie a lunii, de energie electrică, rezidențial	24
Table 2-4 Consum orar energie electrică climatizare rezidențial.....	28

ECUAȚII

2.1.....	9
2.2.....	13
2.3.....	13
2.4.....	13
2.5.....	13
2.6.....	13
2.7.....	14
2.8.....	14
2.9.....	15
2.10.....	16
2.11.....	18
2.12.....	18
2.13.....	18
2.14.....	18
2.15.....	18

2.16.....	18
2.17.....	20
2.18.....	20
2.19.....	20
2.20.....	25
2.21.....	25
2.22.....	25
2.23.....	25
2.24.....	25
2.25.....	26
2.26.....	27
2.27.....	27
2.28.....	27
2.29.....	30
2.30.....	30
2.31.....	32
2.32.....	32
2.33.....	33
2.34.....	33
2.35.....	34
2.36.....	35
2.37.....	35
2.38.....	35
2.39.....	35
2.40.....	35
2.41.....	40
2.42.....	42
2.43.....	44
2.44.....	46
2.45.....	46
2.46.....	49
2.47.....	49
2.48.....	51
2.49.....	53
2.50.....	55
2.51.....	55
2.52.....	55
2.53.....	55
2.54.....	56
2.55.....	58
2.56.....	58
2.57.....	58
2.58.....	58
2.59.....	58
2.60.....	58
2.61.....	59
2.62.....	59
2.63.....	59
2.64.....	60
2.65.....	61
2.66.....	61
2.67.....	61

2.68.....	61
2.69.....	61
2.70.....	61
2.71.....	61
2.72.....	61
2.73.....	61
2.74.....	61
2.75.....	61
2.76.....	61
2.77.....	61
2.78.....	61
2.79.....	61
2.80.....	61
2.81.....	61
2.82.....	61
2.83.....	62
2.84.....	62

1 INTRODUCERE

Titlul tezei de doctorat este „Optimizarea sistemelor de trigenerare cu motoare termice ca primă sursă, cu aplicabilitate pe tipuri de clădiri din București”.

Obiectivul general al proiectului de cercetare științifică propus în teză este optimizarea sistemelor de trigenerare având ca sursă primară motoarele cu combustie internă, în ceea ce privește posibilitățile și strategiile de operare ale echipamentelor din alcătuirea sistemului, studierea modului în care aceste sisteme pot fi aplicate cu impact pozitiv pe diferite profiluri de consumator de energie termică (căldură/frig) și de energie electrică. Vor fi luați în calcul consumatori rezidențiali din blocuri de locuințe, consumatori din clădiri administrative de birouri, consumatori de tipul instituțiilor de învățământ, consumatori clădire din domeniul sănătății și consumator de tipul spațiilor comerciale din București sau din alte zone climatice ale României.

După studiul bibliografic preliminar al lucrărilor științifice din domeniul cogenerării și trigenerării și analiza stadiului cunoașterii în domeniu, care a avut loc în cadrul **PPCS**, s-a trecut în cadrul **Raportului 1** – “*Modelarea proceselor energetice specifice unui sistem de trigenerare cu motoare termice pentru o clădire de birouri*” la modelarea proceselor din sistemul de trigenerare și la scrierea ecuațiilor care guvernează procesele termodinamice ce au loc în centrală. Studiul din raportul 1 a fost împărțit pe două principale direcții: sursă și consumator. S-a întocmit schema centralei de trigenerare, au fost scrise ecuațiile de bilanț ale fluxurilor energetice în echipamentele sursei: motorul cu combustie internă, generatorul electric, cazanul termic, schimbătorul de căldură în plăci, rezervorul de acumulare apă caldă. Au fost enunțate ecuațiile de bilanț ale fluxurilor energetice în chillerul cu absorbție pentru componentele acestuia: absorbitor, fierbător, condensator și vaporizator și a fost scris bilanțul fluxurilor energetice pentru instalația frigorifică cu comprimare mecanică de vapori - chillerul electric - necesar sarcinilor frigorifice de vârf. Pe partea de consumator au fost considerate relațiile din MC 001 privind consumurile de energie pentru încălzire, pentru prepararea apei calde de consum, consumul de energie pentru iluminat, consumul de căldură tehnologic, consumul de energie pentru răcirea spațiilor și pentru ventilare. În finalul Raportului 1 a fost prezentat un model matematic al variației anuale a randamentului termic a 5 motoare cu combustie internă din cadrul unei centrale de trigenerare, funcție de variația lunară a necesarului de energie termică cerut de un consumator tip cartier rezidențial din București. În softul *Mathcad 15* a fost creată o funcție denumită *Randam_mot_I(PL,x,i)* care calculează randamentul termic al unui motor la introducerea unei valori aleatorii a sarcinii cerută de consumator, pentru modul de operare în cascadă.

Raportul 2 – “*Analiza energetică privind funcționarea unui sistem de cogenerare*” a prezentat abordarea mai multor strategii de operare a motoarelor cu combustie internă din cadrul unui sistem de cogenerare. Studiul modurilor de operare a motoarelor cu combustie internă s-a constituit în **Articolul 1** publicat la revista științifică *Revista Română de Inginerie Civilă*, sub titlul: “*Analiza randamentelor unui sistem de cogenerare cu motoare termice cu combustie internă ca sursă primară și cazan de apă caldă ca sursă de vârf*” [1]. Lucrarea elaborată în colaborare cu profesorii Vlad Iordache, Rodica Frunzulică și Florin Iordache a venit ca o consecință a cercetării din primul raport asupra variației randamentului termic la sarcină parțială la care s-a adăugat calculul puterii electrice utile, așa cum prevede Standardul EN 15316. Cercetarea a continuat cu partea experimentală în cadrul căreia a fost procurată și prelucrată baza de date dintr-un sistem real de cogenerare al unei rețele orașenești - municipiul Buzău. A fost întocmită și prezentată schema sistemului de cogenerare ce deservește rețeaua orașenească. Modelul numeric din cadrul Articolului 1, care are ca finalitate pe lângă randamentul termic individual al motoarelor cu combustie internă prezentarea randamentului termic total al sistemului și a randamentului global (termic+electric), este rulat cu valorile parametrice din baza de date a operatorului economic. În finalul Raportului 2 a fost prezentat un calcul al puterii mecanice efective disponibilă la flanșa arborelui cotit al motorului termic, acolo unde se cuplează modulul de generare electrică. Calculul s-a bazat pe studiul procesele termodinamice din motoare cu

aprindere internă, pe formula ce ia în calcul presiunea medie efectivă în cilindrul motorului, cilindrul individuală, numărul cilindrilor, turația motorului și numărul de timpi ai motorului [2]. Studiul și analiza energetică din partea experimentală asupra sistemului de cogenerare s-a concretizat în cel de-al 2-lea articol științific prezentat în cadrul Conferinței Școlii Doctorale UTCB în 26 oct. 2018.

Articolul 2 – “*Energy analysis of a CHP plant with internal combustion engines, for a district heating system, based on the information from the annual database*” a fost prezentat în limba engleză și a fost elaborat în colaborare cu profesorii Vlad Iordache, Florin Iordache și Anica Ilie [3].

Cercetarea a continuat cu **Articolul 3** – “*Partial load efficiency analysis of a CCHP plant with RICE and H₂O-LiBr absorption chiller*” prezentat în cadrul congresului Clima 2019 [4]. Această lucrare, elaborată în colaborare cu profesorul Cătălin Lungu, prezintă un model pentru calculul și analiza eficienței globale a unui sistem de trigenerare, utilizând ca primă sursă trei motoare cu combustie internă. Motoarele funcționează simultan și la aceeași încărcătură (modul 3 de operare din cadrul Articolului 1). Sistemul de trigenerare furnizează energie termică și electrică pentru clădirile de birouri și pentru centrul de date ale unui operator economic. Sistemul include 2 chillere cu absorbție cu soluție de apă-bromură de litiu pentru răcirea de climatizare. Sistemul a fost analizat pentru modul de funcționare la sarcini parțiale a motoarelor, pe timp de vară. Cantitatea de energie termică produsă este influențată de energia agentului termic necesară să ajungă în fierbătoarele (generatoarele) celor două chillere pentru a furniza apa răcită către consumatori. Un chiller cu compresie mecanică de vapori este utilizat pentru vârfurile de sarcină de răcire; Articolul 3 nu studiază intervenția chillerului cu compresie mecanică de vapori. În funcție de variația sarcinii termice, motoarele termice sunt pornite sau oprite, funcționează la capacitate nominală sau în regim de sarcină parțială. Eficiența termică a fiecărui motor se modifică în funcție de puterea termică solicitată, determinând variația eficienței globale a sistemului de trigenerare. Eficiența electrică a sistemului depinde, de asemenea, de sarcina de operare a motoarelor care conduc generatoarele electrice. Factorul EER pentru chillerul cu absorbție se modifică în funcție de ecartul de temperatură a agentului termic ajuns în fierbător sau de ecartul de temperatură pe circuitul apei răcite (fluxul util) determinând la diverse sarcini parțiale de funcționare ale motorului termic (50%, 75% și 100%) variația randamentului global al sistemului de trigenerare. Au fost conduse două simulări ale variației temperaturii în ciclurile externe ale chillerelor cu absorbție: 1 – descreșterea ecartului de temperatură în fierbător a agentului termic, apa caldă, ce vine de la motoarele termice prin micșorarea temperaturii de intrare în fierbător cu câte un grad și 2 - descreșterea ecartului de temperatură în vaporizator a apei răcite (fluxul util) prin mărirea temperaturii de ieșire către consumatorii de frig cu câte o jumătate de grad. Graficul operațional pentru fiecare echipament și mod de operare simulat fost elaborat pe baza sarcinii de încărcare termice a motoarelor cu combustie internă și a fost reprezentat graficul de variație a eficienței globale a sistemului de trigenerare în funcție de cele două simulări. În cele din urmă, s-au elaborat concluzii și observații utile privind funcționarea optimă a sistemului de trigenerare studiat și procente de randament global obținute la sarcini parțiale și nominale în condițiile variațiilor parametrice descrise. Următorii pași în cadrul prezentei teze au fost alcătuirea **profilelor de consum** pentru consumatori de tip rezidențial din București, împărțirea consumurilor pe categorii de energie consumată (căldură, electrică, frig), însumarea anuală a energiilor, dimensionarea unui sistem de trigenerare corespunzător consumatorului și aplicarea modelului numeric creat în Articolul 1, model îmbunătățit și rulat în cadrul Articolelor 2 și 3, sub diverse strategii de operare, în scopul obținerii obiectivului general al tezei, menționat în introducere.

2 CONȚINUTUL RAPORTULUI 3

2.1 CONSUMATOR REZIDENȚIAL

Consumatorul de tip rezidențial este un imobil aflat la adresa str. Cernăuți nr. 50, bl. D8, sc. 1, Sect.2, București, imobil aflat în grija asociației de proprietari. Din punct de vedere al tipologiei clădirilor civile, clădirea se caracterizează prin:

- zona teritorială – urbană;
- modul de locuire – colectiv;
- regim înălțime – S+P+4E;
- număr de scări – 1;
- clasa seismică : RsIII conform raportului de expertiză tehnică;
- zona climatică II – reprezentată prin temperatura exterioară de calcul $\theta_e = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- zona eoliană II, caracterizată de viteza de calcul a vântului - 0,20 m/s;
- clădire cu amplasament – adăpostită.

Blocul de locuințe studiat este o clădire cu regim de înălțime S+P+4E, având forma regulată în plan, alcătuit dintr-un singur tronson de scară separată prin rosturi seismic de scara învecinată. Tronsonul de scară are lungimea de 27,00 m și lățimea de 16,00 m.

Blocul de locuințe are un număr de 19 de apartamente, acestea fiind considerate apartamente mediu convenționale (apmc, în suprafață de 60 m²) și cu număr de 2,8 persoane per apartament.

În urma calculelor efectuate în cadrul auditului energetic efectuat asupra consumatorului de tip rezidențial au rezultat parametri și coeficienți folosiți în prezentul raport, explicați în capitolele și subcapitolele ce urmează. Aceștia au fost utilizați în calculele consumurilor energetice orare (oră medie lunară) pentru încălzire, pentru prepararea apei calde de consum, pentru iluminat, pentru ventilare și climatizare; cu ajutorul parametrilor și formulelor de calcul s-au construit profilele de consum orar ale zilei caracteristice fiecărei luni.

2.2 PROFILE DE CONSUM

Pentru consumatorul de tip rezidențial au fost construite profilele de consum zilnice pentru următoarele categorii de energii consumate:

- profil de consum a.c.m.;
- profil de consum încălzire;
- profil de consum electric - iluminat;
- profil de consum climatizare;
- profil de consum ventilare.

Vom avea 10 profiluri de consum:

- profil de consum a.c.m. – reprezintă consumul de energie termică orară pentru încălzirea apei menajere;
- profil de consum a.c.m. – electric – reprezintă consumul de energie electrică orară necesară pompelor de circulație din instalația de distribuție a a.c.m.;
- profil de consum încălzire – reprezintă consumul de energie termică orară pentru încălzirea spațiilor;
- profil de consum încălzire – electric – reprezintă consumul de energie electrică orară necesară pompelor de circulație din instalația de încălzire;
- profil de consum electric pentru iluminat;
- profil de consum climatizare pentru răcirea spațiilor consumatorului de tip rezidențial;

- profil de consum climatizare – electric – reprezintă consumul de energie electrică orară pentru vehicularea aerului din sistemul de climatizare;
- profil de consum ventilare pentru încălzirea aerului din sistemul de ventilare, iarna;
- profil de consum ventilare pentru răcirea aerului din sistemul de ventilare, vara;
- profil de consum ventilare – electric – reprezintă consumul de energie electrică orară pentru vehicularea aerului din sistemul de ventilare.

Fiecare profil de consum pentru consumatorul de tip rezidențial implică la rândul său una, două sau trei categorii de energii consumate: energie electrică, energie termică pentru încălzire, energie termică pentru răcire (frig), transferate de către sistemul de trigenerare consumatorului.

Scopul imediat al elaborării profilelor de consum este studierea particularităților consumatorului, însumarea consumurilor pe categorii de energii consumate și calculul energiei primare anuale consumate.

Scopul ulterior este dimensionarea unui sistem de trigenerare “pliat” pe consumurile anuale obținute, acest lucru obținându-se prin intermediul procedurii curbei clasate și prin utilizarea modelului matematic construit în primul articol și îmbunătățit în articolele ulterioare.

În final se propune o comparație pe baza analizei între sistemele de trigenerare considerate și soluțiile clasice și vor fi menționate rezultatele, concluziile și recomandările obținute și observate pe parcursul cercetării.

2.2.1 Profil de consum a.c.m. - termic

Profilul de consum a.c.m. zilnic pentru consumatorul rezidențial - bloc de locuințe a fost construit pe baza necesarului specific zilnic de apă caldă pentru clădiri de locuit din Tabelul 2.4.25 din Manualul de Instalații, Instalații Sanitare, pag. 46 [5]. Din tabel a fost considerat apartament cu closet, lavoar, cadă de baie și spălător cu un debit de 70 l/zi, pers.

Pentru trasarea curbei profilului de consum a.c.m. pe durata orelor unei zile pentru o persoană din cadrul consumatorului de tip rezidențial au fost considerate ponderile orare de consum măsurate și calculate din Figura 2.1, [6]. Profilul de consum a.c.m. pentru consumator de tip rezidențial, în l/h, este figurat pe ordonata din dreapta graficului, cu culoare galbenă.

Au fost măsurate distanțele în mm până la curba *Residential* (de culoare galbenă) și până la valoarea superioară de 14 l/h din grafic, s-a calculat consumul orar din grafic, s-a însumat la sfârșitul zilei (au rezultat 85 litri) și s-a calculat procentul consumului pentru fiecare oră în parte din totalul zilnic conform graficului, Tabel 2-1. Procentul fiecărei ore în parte s-a aplicat celor 70 litri zilnici menționați în Manualul de Instalații, Instalații Sanitare și s-a dedus consumul orar în l/h, pers. pentru consumatorul de tip rezidențial.

Energia termică consumată pentru prepararea a.c.m. pentru clădirea consumatorului de tip rezidențial, pe ore, se calculează cu ecuația 2.1, conform Mc 001/2, [7]. Profilul de consum orar a.c.m., pentru blocul de locuințe, în kWh/h, este identic pentru toate lunile anului și este reprezentat în Figura 2.2.

$$Q_{acm_{or\acute{a}}}^{rez} = \frac{q_c \cdot N_p \cdot N_{ap} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\theta_{ac} - \theta_{ar})}{3600} \quad 2.1$$

unde:

$Q_{acm,or\acute{a}}^{rez}$ - consum orar de energie ptr. a.c.m. (kWh/h);

q_c - debitul specific orar pe persoană de a.c.m. (m³/h,pers);

N_p - numărul de persoane dintr-un apartament (pers);

N_{ap} - numărul de apartamente din bloc (ap);

ρ - densitatea apei la 60 °C (kg/m³);

c_p - căldura specifică a apei (kJ/kgK);

θ_{ac} - temperatura apei calde (K);

θ_{ar} - temperatura apei reci (K).

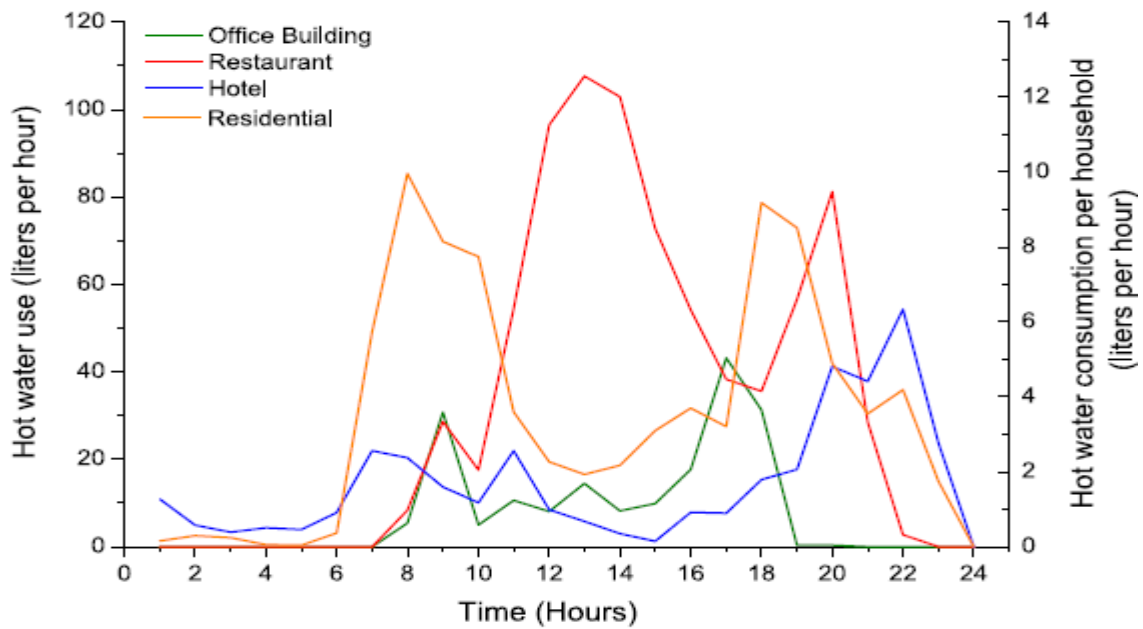
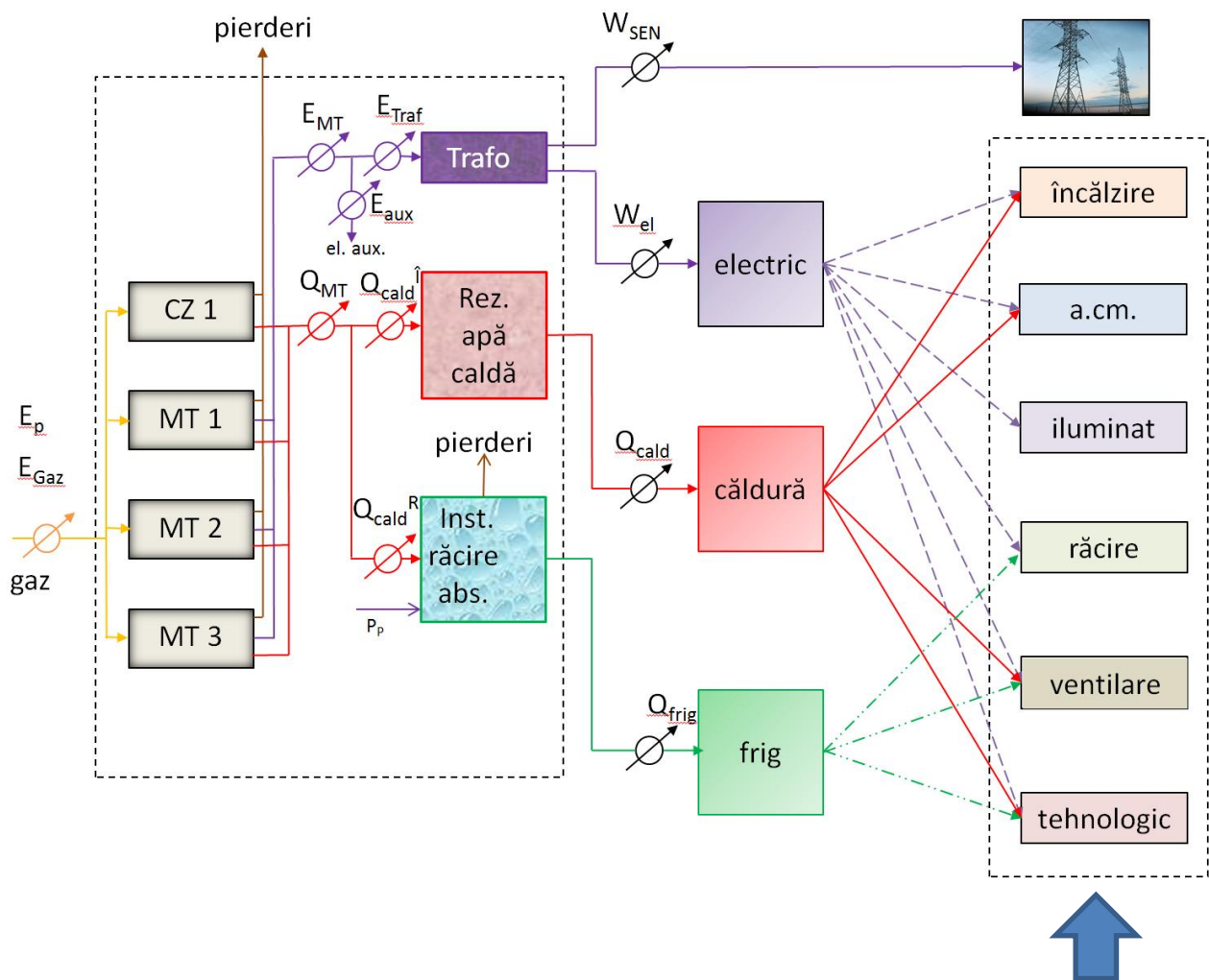


Figura 2.1 Profiluri de consum mediu orar a.c.m. conform [6]



Figura 2.2 Profil de consum orar a.c.m., rezidențial



Tabel 2-1 Ponderea consumului a.c.m. rezidențial orar, de persoană

ore	pondere (%)	l/h,pers
1	0,24%	0,168
2	0,40%	0,280
3	0,32%	0,224
4	0,08%	0,056
5	0,06%	0,041
6	0,48%	0,336
7	7,60%	5,317
8	11,59%	8,115
9	9,59%	6,716
10	9,19%	6,436
11	4,16%	2,910
12	2,64%	1,847
13	1,68%	1,175
14	2,56%	1,791
15	3,76%	2,630
16	4,40%	3,078
17	3,68%	2,574
18	10,79%	7,556
19	9,99%	6,996
20	5,60%	3,918
21	4,24%	2,966
22	4,96%	3,470
23	2,00%	1,399
24	0,00%	0,000
total	100,00%	70,000

2.2.2 Profil de consum a.c.m. - electric

Calculul consumului de energie electrică necesară pompelor de circulație, conform Mc001 [7], se realizează cu ecuațiile din Anexa II.3.J., respectiv 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 și 2.8.

$$W_{acm_{or\acute{a}}}^{rez} = W_{ac,d,hidr} \cdot e_{ac,d} \quad 2.2$$

$$W_{ac,d,hidr} = P_{hidr} \cdot t_{ac} \quad 2.3$$

$$P_{hidr} = 0,2778 \cdot \Delta p \cdot \dot{V} \quad 2.4$$

$$\Delta p = 0,10 \times L_{\max} + \sum \Delta p_{RV,TH} + \Delta p_{App} \quad 2.5$$

$$L_{\max} = L_{V,\max} + L_{S,\max} \quad 2.6$$

$$e_{ac,d} = f_e \cdot C_p \cdot \beta_D^{-0,94} \quad 2.7$$

$$f_e = \frac{1,50 \cdot b}{0,015 \cdot P_{hidr}^{0,74} + 0,04} \quad 2.8$$

unde:

$W_{acm,ora}^{rez}$ - consum orar de energie electrică necesară acționării pompei de a.c.m. (kWh/h);

$W_{ac,d,hidr}$ - energia hidraulică necesară în sistem, variabilă (kWh/h);

$e_{ac,d}$ - coeficient de performanță al pompei de circulație, 16,4 (-);

P_{hidr} - puterea hidraulică a pompei, 0,396 (kW);

t_{ac} - durata de funcționare a pompei pe perioada de calcul, 0,6 (h/h);

Δp - înălțimea de pompare a pompei, 9,19 (kPa);

$\tilde{V}$ - debitul volumic de apă caldă de consum din sistem, 0,155 (m³/h);

L_{max} - lungimea traseului de distribuție-recirculare, 58 (m);

$\Delta p_{RV,TH}$ - pierderea de presiune în fittinguri, 2,34 (kPa);

Δp_{App} - pierderea de presiune în echipamentul de preparare a a.c.m., 1,05 (kPa);

$L_{V,max}$ - suma între lungimea și lățimea clădirii, 27+16 (m);

$L_{S,max}$ - înălțimea totală a clădirii, 15 (m);

f_e - factor ce exprimă eficiența, 63,08 (-);

C_p - o constantă, 0,52 (-);

β_D - factor de încărcare, 0,5 (-);

b - factor pentru clădiri existente, 2 (-).

Profilul de consum orar a.c.m. - electric, în kWh/h, este deasemenea identic pentru toate lunile anului și este reprezentat în Figure 2.3.



Figure 2.3 Profil de consum a.c.m. – electric, rezidențial

2.2.3 Profil de consum încălzire - termic

Profilul de consum încălzire pentru consumatorul rezidențial - bloc de locuințe a fost construit cu ajutorul temperaturilor medii orare pentru fiecare lună a anului, pentru București. Profilurile de consum pentru încălzire au fost elaborate sub formă de profile lunare pentru ianuarie, februarie, martie, aprilie, octombrie, noiembrie și decembrie.

Consumul termic orar al clădirii (pierderile termice), în kWh/h, s-a calculat cu ecuația 2.9, utilizând coeficientul de pierderi termice al clădirii H [W/K], ecuația 2.10 (preluat din calculele efectuate în cadrul auditului energetic) și ecartul de temperatură dintre temperatura interioară convențională de calcul, conform [8], și temperatura orară, medie lunară.

$$Q_{inc_{or\acute{a}}}^{rez} = \frac{H \cdot (\theta_i - \theta_{med_{or\acute{a}}})}{1000} \cdot \tau \quad 2.9$$

$$H = H_T + H_V$$

2.10

unde:

$Q_{inc,ora}^{rez}$ - consum orar de energie ptr. încălzire (kWh/h);

H - coeficient de transfer termic al clădirii, 2637,12 (W/K);

H_T - coeficient de transfer termic prin transmisie al clădirii, 1984,55 (W/K);

H_V - coeficient de transfer termic prin aerul ventilat al clădirii, 652,57 (W/K);

θ_i - temperatura interioară, 293,15 (K);

$\theta_{med,ora}$ - temperatura exterioară orară, medie lunară a orei, variabilă conform temperaturi orare București (K);

τ - perioada de timp pe care se face calculul, 1 (h).

Profilul de consum orar pentru încălzirea spațiilor, în kWh/h, pe lunile anului, este reprezentat în Figure 2.4.



Figure 2.4 Profil de consum încălzire, rezidențial

2.2.4 Profil de consum încălzire - electric

Se consideră că nu se realizează recuperarea de energie din mediul ambiant și se calculează doar consumul de energie electrică pentru pompele de circulație din sistemul de încălzire, $W_{d,e}$.

Metoda de calculul simplificat a consumului de energie electrică pentru distribuția agentului termic de încălzire, conform **Mc001** [9], se realizează cu ecuațiile 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16.

Sarcina hidrodinamică, P_{hydr} , în [W] se calculează pe baza debitului volumic V și a înălțimii de pompare Δp necesară la intrarea în clădire. Debitului volumic se calculează pentru sarcina de încălzire zilnică, Q_n . $\Delta\theta_{HK}$ este diferența de temperatură tur-retur a sistemului de încălzire, 20 K.

ΔL_{max} este lungimea maximă a sistemului de încălzire.

Pentru pierderile de sarcină se folosesc datele furnizate de către producători sau valori indicate de metodologie [9].

Factor de corecție pentru sistemul de conducte, f_{Sch} :

- sistem bifilar: $f_{Sch} = 1$

- sistem monofilar: $f_{Sch} = 8,6 \cdot \dot{m} + 0,7$

Factor de corectie privind echilibrarea hidraulică, f_{Abgl} :

$f_{Abgl} = 1$ pentru sisteme echilibrate din punct de vedere hidraulic;

$f_{Abgl} = 1,25$ pentru sisteme dezechilibrate din punct de vedere hidraulic.

$\beta_D = 0,5$ factorul de încărcare (sarcina medie) în sistemul de distribuție a caldurii.

$t_H = 1$ h numărul de ore de încălzire pentru care se calculează consumul de energie electrică pentru pompele de circulație din sistemul de încălzire.

$$W_{inc_{or\breve{a}}}^{rez} = W_{d,hydr} \cdot e_{d,e} \quad 2.11$$

$$W_{d,hydr} = \frac{P_{hydr}}{1000} \cdot \beta_D \cdot t_H \cdot f_{Sch} \cdot f_{Abgl} \quad 2.12$$

$$P_{hydr} = 0,2778 \cdot \Delta p \cdot \dot{V} \quad 2.13$$

$$\dot{V} = \frac{3600 \cdot \dot{Q}_N}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta \theta_{HK}} \quad 2.14$$

$$\Delta p = 0,13 \cdot L_{max} + 2 + \Delta p_{FBH} + \Delta p_{WE} \quad 2.15$$

$$L_{max} = 2(L + \frac{B}{2} + n_G \cdot h_G + l_c) \quad 2.16$$

unde:

$W_{inc_{or\breve{a}}}^{rez}$ - consum orar de energie electrică pentru pompare (kWh/h);

$W_{d,hydr}$ - energia hidraulică necesară în sistem, variabilă (kWh/h);

$e_{d,e}$ - factorul energetic al pompei de circulație, variabil (-);

P_{hydr} - sarcina hidrodinamică în regimul de calcul, variabil (W);

β_D - factor de încărcare, 0,5 (-);

t_H - numărul de ore de încălzire, 1 (h);

f_{Sch} - factor de corectie pentru rețelele de distribuție, 1 (-);

f_{Abgl} - factor de corectie privind echilibrarea hidraulică, 1 (-);

Δp - presiunea diferențială a circuitului de încălzire, 43,6 (kPa);

$\dot{V}$ - debitul volumic de apă caldă de consum din sistem, variabil (m³/h);

$\dot{Q}_N$ - sarcina termică de încălzire, variabilă (kW);

c_p - căldura specifică a apei, 4,185 (kJ/kgK);

ρ - densitatea apei, 971,83 (kg/m³);

$\Delta \theta_{HK}$ - diferența de temperatură din sistemului de încălzire, 20 (K);

L_{max} - lungimea celui mai dezavantajat circuit în sistemul de încălzire, 120 (m);

Δp_{FBH} - pierderea de sarcină pe corpurile de încălzire, 25 (kPa);

Δp_{WE} - presiunea diferențială la furnizarea caldurii, 1 (kPa);

L - lungimea clădirii, 27 (m);

B - lățimea clădirii, 16 (m);

n_g - numărul nivelelor încălzite de pe zona de calcul, 5 (-);

h_G - înălțimea medie a nivelelor de pe zona de calcul, 3 (m);
 l_c - lungime pentru sistem bifilar, 10 (m).

Profilul de consum orar încălzire - electric, în kWh/h, pe lunile anului, este reprezentat în Figura 2.5.



Figura 2.5 Profil de consum încălzire - electric, rezidențial

2.2.5 Profil de consum electric - iluminat

Pentru construcția profilelor de consum electric s-au descărcat datele de pe site-ul Operatorului de Distribuție Enel Muntenia, *e-distribuție*, [10].

e-distribuție gestionează și modernizează rețelele electrice din cele trei regiuni Banat, Dobrogea și Muntenia Sud, având ca obiectiv principal îmbunătățirea calității serviciului de distribuție. Distribuie anual circa 15 TWh de electricitate printr-o rețea de peste 90.000 km.

În conformitate cu *Procedura pentru elaborarea și aplicarea profilurilor specifice de consum din zona de licență a S.C. ENEL Distribuție Muntenia S.A.* aprobată de ANRE, operatorul de distribuție a elaborat 24 de Profiluri specifice de consum – PSC pentru locuri de consum care se pretează la consum variabil din diferite domenii de activitate. Categoriile de consum au fost împărțite pentru fiecare domeniu de activitate în două: consum anual mai mic de 20.000 de kWh (notat cu sufixul AG1 după denumirea domeniului de activitate) și consum anual cuprins între 20.000 kWh și 50.000 kWh (notat cu sufixul AG2 după denumirea domeniului de activitate).

Profilul de consum electric pentru consumatorul rezidențial - bloc de locuințe a fost construit cu datele din *Profiluri de consum specific tip "TERT001", pentru locurile de consum care se pretează la consum variabil în funcție de sezon, pentru unități de tip „Terțieri”* [10].

Conform operatorului de distribuție:

- profilurile au fost obținute prin analiza unei populații de 4848 locuri de consum, eșantionul fiind de 401 locuri de consum tip “Terțieri” având un grad de încredere de 95%, mărimea eșantionului fiind de minim 5% din totalul populației analizate;
- rata de încredere este de $\pm 20\%$ în 95% din intervalele orare;
- metodologia de eșantionare folosită a fost eșantionarea simplă aleatoare;
- profilurile au fost obținute prin modelarea dinamică prin măsurători a profilului curbelor de sarcină prin efectuarea de eșantioane de înregistrări (măsurători) simultane pe un anumit interval de timp la un mic număr de clienți repartizați pe întreaga zonă de acoperire a operatorului;
- validarea s-a realizat prin suprapunerea profilelor obținute, pe curba de consum real măsurată și eliminarea abaterilor majore.

Pentru consumatorul de tip rezidențial - bloc de locuințe consumul anual este mai mic de 20.000 kWh. Datele descărcate din *e-distribuție*, [10], sunt sub formă de ponderi de consum orare pentru toate zilele lunii și pentru toate lunile anului. Au fost descărcate datele pentru anul 2018 și au fost prelucrate în sensul că ponderile date de operator au fost aplicate consumului lunar de energie pentru iluminat artificial din auditul energetic efectuat asupra clădirii. Apoi pentru fiecare oră de la 1 la 24 a fost calculată media consumului orei respective în kWh, așa cum se poate observa în coloanele denumite “media kWh”, respectiv coloanele 5, 8 și 11. O parte a tabelului de prelucrare a datelor este prezentată în Table 2-2, Table 2-3.

Profilurile de consum orar de energie electrică pentru iluminat în kWh, pentru consumatorul de tip rezidențial, pe lunile anului, sunt prezentate în Figura 2.6. Ele au fost construite cu consumurile medii ale orei din lună (adică pentru luna ianuarie cu media consumului orelor 1 din cele 31 de zile ale lunii ianuarie, cu media consumului orelor 2 din cele 31 de zile ale lunii ianuarie, cu media consumului orelor 3 din cele 31 de zile ale lunii ianuarie, ș.a.m.d. până la media consumului orelor 24 din cele 31 de zile ale lunii ianuarie; apoi pentru luna februarie, martie... decembrie), conform ecuațiilor 2.17, 2.18 și 2.19.

$$W_{il\ oră}^{rez} = \frac{\sum W_{il\ oră, zi}^{rez}}{N_z} \quad 2.17$$

$$W_{il\ oră, zi}^{rez} = PSC_{oră} \cdot \frac{W_{il\ an}}{12} \quad 2.18$$

$$W_{il\ an} = 6A + \frac{t_u \cdot \sum P_n}{1000} \quad 2.19$$

unde:

$W_{il, oră}^{rez}$ - consumul orar de energie electrică pentru iluminat (kWh/h);

$W_{il,ora}^{rez}$ - suma consumului aceleiași ore din lună (1, 2, 3, 24) (kWh/h);
 N_z - numărul zilelor lunii calendaristice;
 PSC_{ora} - ponderea consumului orei din consumul lunar dată de *e-distribuție*, [10];
 $W_{il,an}$ - consumul anual pentru iluminat calculat în raportul de audit al clădirii, 15240 (kWh/an);
 6 - energie specifică, 1+5 (kWh/m²)
 A - aria totală a pardoselii folosite din clădire, 2268 (m²);
 t_u - timpul de utilizare al luminii artificiale diurne/nocturne, 14,3 (h);
 P_n - puterea electrică instalată, 114000 (W).

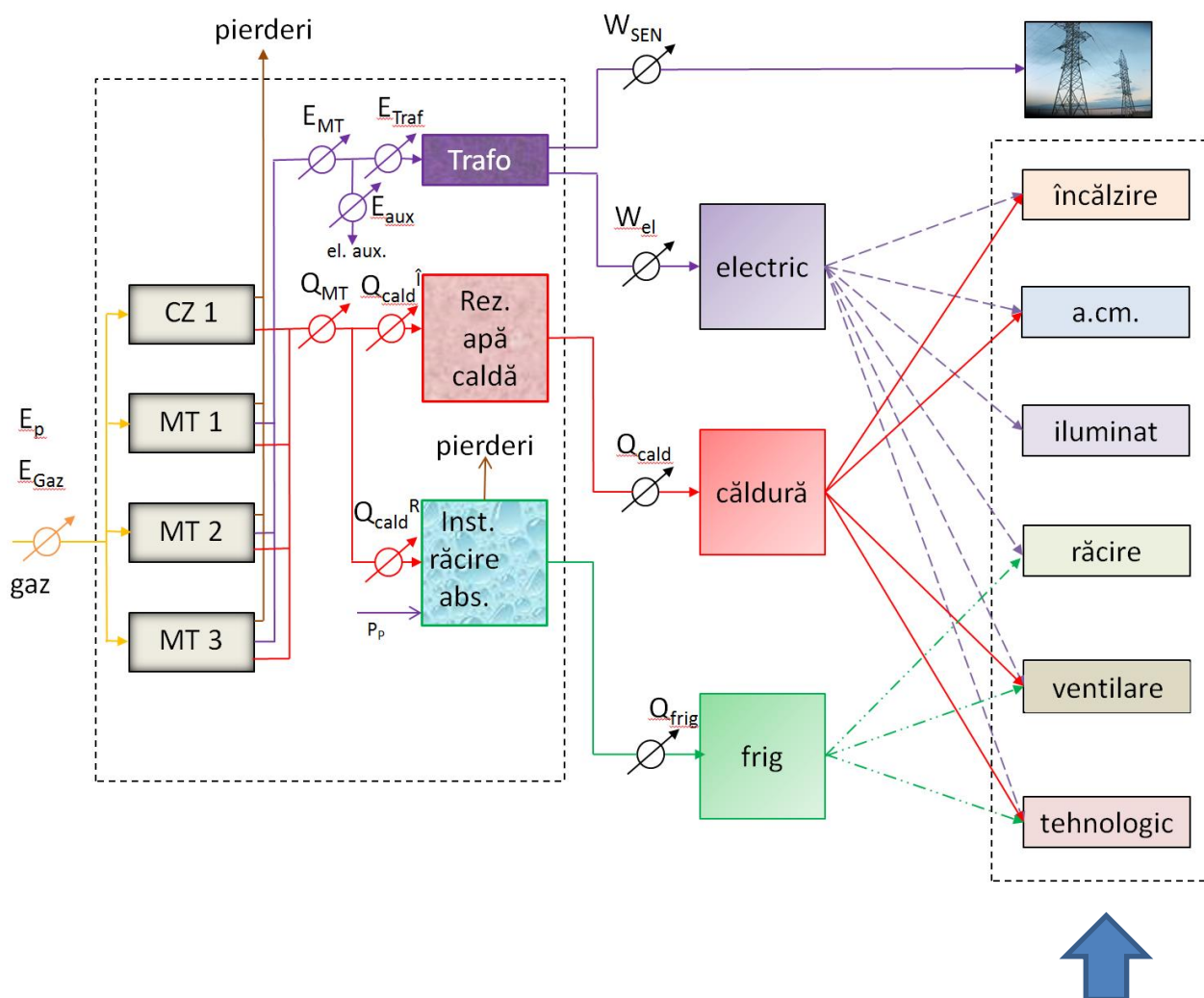




Figura 2.6 Profil consum electric - iluminat, rezidențial

Table 2-2 Consum orar de energie electrică, rezidențial

Ziua	Ora	ian.19		feb.19		dec.19	
		pondere din consumul lunii	consum orar kWh	pondere din consumul lunii	consum orar kWh	pondere din consumul lunii	consum orar kWh
Ziua 1	1	0,000968	1,229	0,001109	1,408	0,000936	1,189
Ziua 1	2	0,000948	1,203	0,001098	1,394	0,000895	1,137
Ziua 1	3	0,000927	1,177	0,001096	1,392	0,000878	1,115
Ziua 1	4	0,000910	1,155	0,001103	1,401	0,000865	1,099
Ziua 1	5	0,000910	1,156	0,001112	1,412	0,000860	1,092
Ziua 1	6	0,000939	1,193	0,001144	1,452	0,000870	1,105
Ziua 1	7	0,000984	1,250	0,001240	1,575	0,000904	1,147
Ziua 1	8	0,001087	1,380	0,001454	1,847	0,000982	1,247
Ziua 1	9	0,001225	1,555	0,001784	2,265	0,001091	1,386
Ziua 1	10	0,001338	1,699	0,002107	2,675	0,001181	1,500
Ziua 1	11	0,001370	1,740	0,002283	2,899	0,001208	1,534
Ziua 1	12	0,001333	1,693	0,002313	2,937	0,001200	1,523
Ziua 1	13	0,001243	1,578	0,002263	2,873	0,001151	1,461
Ziua 1	14	0,001134	1,440	0,002191	2,783	0,001073	1,362
Ziua 1	15	0,001054	1,339	0,002119	2,691	0,001006	1,278
Ziua 1	16	0,001026	1,302	0,002064	2,621	0,001017	1,292
Ziua 1	17	0,001061	1,347	0,002050	2,603	0,001098	1,394
Ziua 1	18	0,001115	1,415	0,002014	2,558	0,001173	1,489
Ziua 1	19	0,001139	1,447	0,001897	2,409	0,001183	1,502
Ziua 1	20	0,001104	1,401	0,001703	2,162	0,001133	1,438
Ziua 1	21	0,001039	1,319	0,001519	1,929	0,001065	1,352
Ziua 1	22	0,000990	1,257	0,001373	1,744	0,000998	1,267
Ziua 1	23	0,000962	1,221	0,001269	1,611	0,000948	1,204
Ziua 1	24	0,000941	1,195	0,001207	1,532	0,000909	1,154
Ziua 2	1	0,000968	1,229	0,001189	1,509	0,000881	1,118
Ziua 2	2	0,000948	1,203	0,001179	1,497	0,000859	1,091
.....						0,001051	1,335
						0,000972	1,235
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							
.....							

Table 2-3 Consum orar, oră medie a lunii, de energie electrică, rezidențial

Ziua	Ora	ian.19		feb.19		dec.19	
		consum orar kWh	media orei "i" kWh	consum orar kWh	media orei "i" kWh	consum orar kWh	media orei "i" kWh
Ziua 1	1	1,229	1,211	1,408	1,227	1,189	1,202
Ziua 1	2	1,203	1,188	1,394	1,217	1,137	1,169
Ziua 1	3	1,177	1,175	1,392	1,206	1,115	1,149
Ziua 1	4	1,155	1,165	1,401	1,204	1,099	1,139
Ziua 1	5	1,156	1,164	1,412	1,214	1,092	1,138
Ziua 1	6	1,193	1,208	1,452	1,247	1,105	1,181
Ziua 1	7	1,250	1,328	1,575	1,338	1,147	1,311
Ziua 1	8	1,380	1,570	1,847	1,562	1,247	1,567
Ziua 1	9	1,555	1,898	2,265	1,895	1,386	1,893
Ziua 1	10	1,699	2,196	2,675	2,201	1,500	2,169
Ziua 1	11	1,740	2,357	2,899	2,363	1,534	2,310
Ziua 1	12	1,693	2,386	2,937	2,383	1,523	2,329
Ziua 1	13	1,578	2,343	2,873	2,320	1,461	2,291
Ziua 1	14	1,440	2,271	2,783	2,229	1,362	2,236
Ziua 1	15	1,339	2,185	2,691	2,144	1,278	2,167
Ziua 1	16	1,302	2,105	2,621	2,083	1,292	2,119
Ziua 1	17	1,347	2,076	2,603	2,051	1,394	2,134
Ziua 1	18	1,415	2,035	2,558	2,002	1,489	2,116
Ziua 1	19	1,447	1,919	2,409	1,893	1,502	1,994
Ziua 1	20	1,401	1,725	2,162	1,719	1,438	1,790
Ziua 1	21	1,319	1,536	1,929	1,536	1,352	1,583
Ziua 1	22	1,257	1,389	1,744	1,391	1,267	1,417
Ziua 1	23	1,221	1,297	1,611	1,296	1,204	1,317
Ziua 1	24	1,195	1,239	1,532	1,245	1,154	1,245
Ziua 2	1	1,229		1,509		1,118	
Ziua 2	2	1,203		1,497		1,091	
.....							
⋮							
Ziua 31	23	1,319		0,000		1,335	
Ziua 31	24	1,252		0,000		1,235	
.....							

2.2.6 Profil de consum climatizare – termic (răcire)

Profilul de consum climatizare pentru consumatorul rezidențial - bloc de locuințe a fost construit prin metoda descrisă în Îndrumătorul de proiectare, Instalații de Ventilare și Climatizare [11]. Pentru un apartament mediu convențional apmc (60 m² suprafața utilă) a fost calculată sarcina termică orară, considerându-se 9 ore de funcționare a instalației de climatizare, respectiv între orele 10:00 și 18:00. Conform Mc001 [12], necesarul de energie pentru răcire se calculează prin însumarea aporturilor prin elementele de construcție opace și vitrate cu degajărilor de căldură provenite de la oameni, iluminat, echipamente de birou, degajări de la bucătăria de tip „open space” din care se scade energia totală transferată (prin aerul de ventilare și prin transmisie) între clădire și mediul exterior abreviată cu un factor de utilizare a pierderilor de căldură în situația răcirii.

Sarcina termică maximă pentru un a.m.c. a fost înregistrată la ora 12:00, respectiv 4347 W. Frigul consumat pentru răcirea de climatizare, pe ore, se calculează cu ecuațiile 2.20, 2.21, 2.22, 2.23 și 2.24.

$$Q_{clim_{oră}}^{rez} = \frac{\varphi_{surse} - \eta_R \cdot \varphi_{tr}}{1000} \cdot \tau \quad 2.20$$

$$\varphi_{surse} = N_{ap} \cdot (\varphi_{int} + \varphi_S) \quad 2.21$$

$$\varphi_{tr} = \varphi_T + \varphi_V \quad 2.22$$

$$\varphi_T = H_T \cdot (\theta_i + \theta_{med_{oră}}) \quad 2.23$$

$$\varphi_V = H_V \cdot (\theta_i + \theta_{med_{oră}}) \quad 2.24$$

unde:

$Q_{clim_{oră}}^{rez}$ - consum orar de energie ptr. Climatizare, (kWh/h);

φ_{surse} - fluxul total furnizat de sursele de căldură, în situația răcirii, (W);

φ_{tr} - fluxul total transferat între clădire și mediul exterior, în situația răcirii (W);

η_R - factorul de utilizare a pierderilor de căldură, în situația răcirii;

τ - perioada de timp pe care se face calculul, o oră (h);

N_{ap} - numărul de apartamente din bloc (ap);

φ_{int} - flux de căldură degajat de sursele interioare într-un apartament, 42503 (W/ap);

φ_S - flux de căldură provenit de la soare într-un apartament, 32259 (W/ap);

φ_T - flux de căldură transferat prin transmisie pe întreaga clădire, variabil (W);

φ_V - flux de căldură transferat prin aerul de ventilare pe întreaga clădire, variabil (W);

H_T - coeficient de transfer termic prin transmisie al clădirii, 1984,55 (W/K);

H_V - coeficient de transfer termic prin aerul ventilat al clădirii, 652,57 (W/K);

θ_i - temperatura interioară, 293,15 (K);

$\theta_{med,ora}$ - temperatura exterioară orară, medie lunară a orei, variabilă conform temperaturi orare București (K).

Profilurile orare de consum pentru climatizarea consumatorului de tip rezidențial, în kWh/h, pentru lunile iunie, iulie, august și septembrie sunt prezentate în Figure 2.7.



Figure 2.7 Profil de consum orar climatizare, rezidențial

2.2.7 Profil de consum climatizare - electric

Consumul de energie pentru vehicularea aerului se bazează pe calculul consumului specific de energie electrică [12]. Consumul specific de energie electrică pentru clădirea climatizată rezultă prin medierea consumului specific pentru fiecare încăpere prin intermediul suprafeței pardoselii. Consumul total de energie electrică pentru vehicularea aerului dintr-un sistem de climatizare se obține prin înmulțirea consumului specific de energie electrică a ventilatorului, cu suprafața totală a spațiilor climatizate din clădire.

Necesarul de energie pentru vehicularea aerului, conform Mc001 [12], se calculează cu ecuațiile 2.25, 2.26, 2.27, 2.28.

$$W_{clim_{or\grave{a}}}^{rez} = N_{ap} \cdot W_v \cdot S$$

2.25

$$W_v = P_v \cdot \frac{N_h}{1000} \quad 2.26$$

$$P_v = P_{sp} \cdot V' \quad 2.27$$

$$V' = \frac{n \cdot V}{S} \quad 2.28$$

unde:

$W_{\text{clim,oră}}^{\text{rez}}$ - consumul orar de energie electrică pentru climatizare (kWh/h);

N_{ap} - numărul de apartamente din bloc (-);

W_v - consumului specific orar de energie electrică a ventilatorului (kWh/m²h);

S - suprafața spațiului climatizat (m²);

P_v - putere electrică specifică pentru antrenarea ventilatorului (W/m²h);

N_h - număr de ore de funcționare la sarcină nominală, 0,3 ÷ 0,6 (h);

P_{sp} - putere specifică ventilator, 0,42 (W/m³), Anexa II.2.L [12];

V' - debit volumic specific de aer (raportat la suprafața încăperii, m³/m²h);

n - numărul de schimburi de aer (5 h⁻¹) [11];

V - volumul încăperii climatizate (m³).

Valorile indicate pentru puterea specifică a ventilatorului (pentru întregul sistem de climatizare) sunt date în Anexa II.2.L [12] în funcție de tipul instalației (destinația încăperii) și eficiența energetică a instalațiilor - 0,42 W/m³,h.

Numărul de ore de funcționare la sarcină nominală este considerat o oră pentru a rezulta consumul electric orar.

Debitul volumic specific de aer raportat la suprafața încăperii s-a calculat cu numărul orar de schimburi de aer pentru diverse încăperi, conform Tabelului 12.8 din Îndrumătorul de proiectare [11].

În calculul energiei electrice consumate pentru climatizare s-a considerat câte un ventilator pentru fiecare dintre cele 19 apartamente ale blocului de locuințe. Calculul energiei electrice consumate pentru climatizare, în kWh/h, pentru vehicularea aerului la consumatorul de tip rezidențial este exemplificat în Table 2-4.

Table 2-4 Consum orar energie electrică climatizare rezidențial

Psp	0,42	W/m3/h	
L	6,35	m	
l	4,75	m	
h	2,8	m	
S	30,163	m2	
V	84,455	m3	
n	5	sch/h	
V'	14,00	m3/m2,h	
Pv	5,88	W/m2,h	
Nh	0,3 ÷ 0,6	h	
Wv	0,001764	kWh/m ² ,h	
Qvt_ap	0,053207	kWh/h	1 living/h
Nr apmc	19		
W_{clim, ora_bloc_zi}	1,011	kWh/h	

Profilul orar de consum electric pentru climatizarea consumatorului de tip rezidențial, în kWh/h, este prezentat în Figure 2.8.

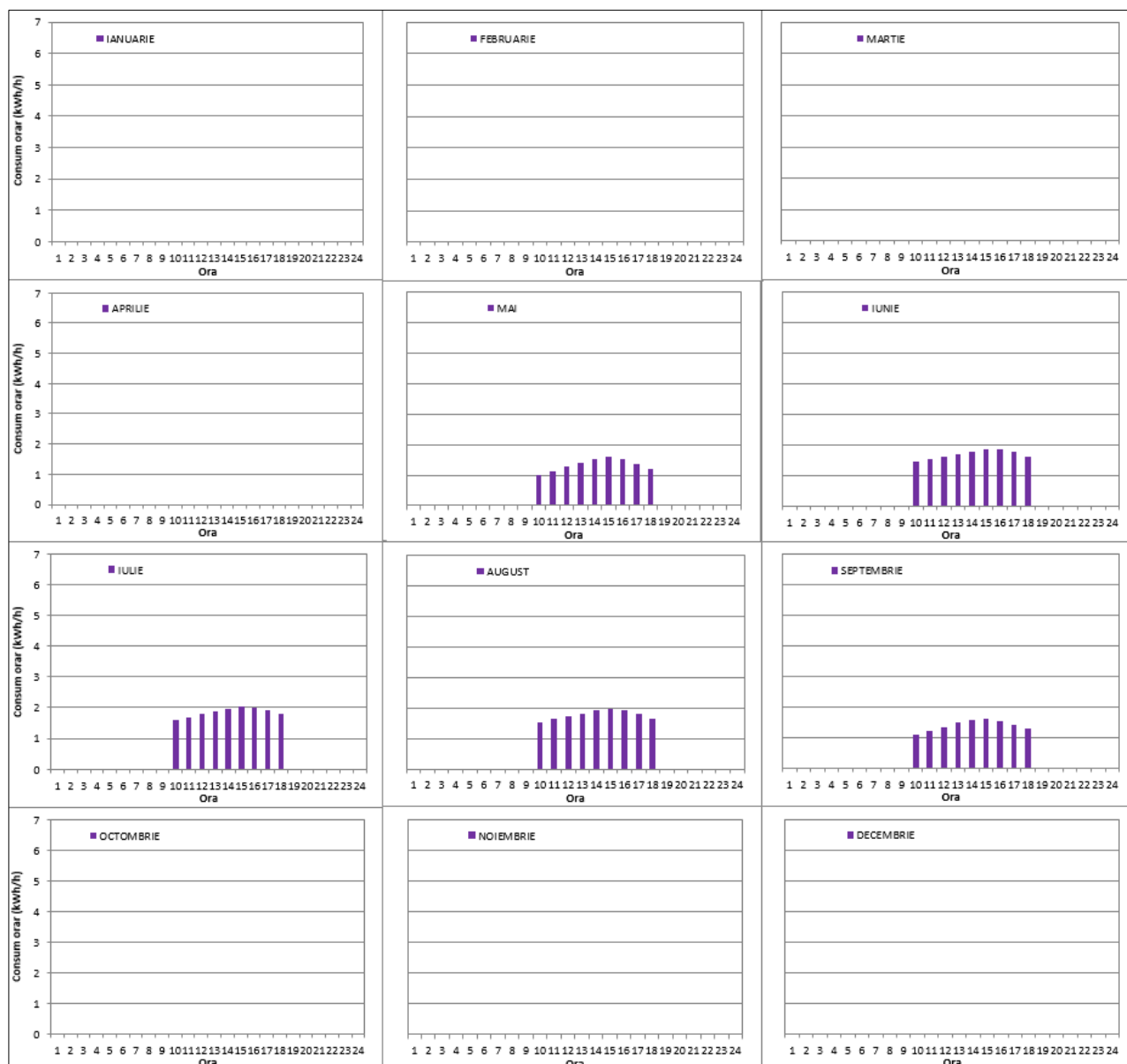


Figure 2.8 Profil de consum orar climatizare - electric, rezidențial

2.2.8 Profil de consum ventilare - încălzire

Profilul de consum ventilare - încălzire pentru consumatorul rezidențial a fost construit cu ajutorul temperaturilor medii orare pentru fiecare lună a anului, pentru București și al temperaturii de introducere a aerului, considerată cu 2 grade mai mare decât temperatura interioară, respectiv 22 °C. Ventilarea se face fără recuperare de căldură.

Consumul de căldură, în kWh/h, necesar încălzirii aerului ventilat iarna, se determină cu ecuația 2.29. Temperatura aerului interior, θ_i , iarna a fost considerată 20 °C. Debitul, $\dot{G}$, în m³/h, se calculează cu ecuația 2.30, unde debitul specific pe persoană, G_p , este 25 m³/h,pers iar debitul specific pe suprafață, G_s , este 2,52 m³/h,m².

$$Q_{vent,inc_{ora}}^{rez} = \frac{\dot{G}}{3600} \cdot \rho_{aer} \cdot c_{p_{aer}} \cdot (\theta_{intro} - \theta_{med_{ora}}) \cdot \tau \quad 2.29$$

$$\dot{G} = N_p \cdot N_{ap} \cdot G_p + S_u \cdot G_s \quad 2.30$$

unde:

$Q_{vent,inc_{ora}}^{rez}$ – consum orar de energie pentru ventilare - încălzire (kWh/h);

$\dot{G}$ - debitul de aer pentru ventilare - încălzire, 2774,2 (m³/h);

ρ_{aer} - densitatea aerului, 1,205 (kg/m³);

$c_{p,aer}$ - căldura specifică a aerului, 1004 (J/kgK);

θ_{intro} - temperatura interioară plus 2 grade, 295,15 (K);

$\theta_{med,ora}$ - temperatura exterioară orară, medie lunară a orei, variabilă conform temperaturi orare București (K);

τ - perioada de timp pe care se face calculul, 1 (h);

N_p - numărul de persoane dintr-un apartament, 2,8 (pers);

N_{ap} - numărul de apartamente din bloc, 19 (apt);

G_p - debit specific de persoană ptr. CAI=2 (m³/h,pers);

S_u - suprafața utilă ventilată (m²);

G_s - debit specific pe suprafață ptr. CAI=2 (m³/h,pers).

Profilul orar de consum ventilare - încălzire pentru consumatorul de tip rezidențial, în kWh/h, este prezentat în Figure 2.9.

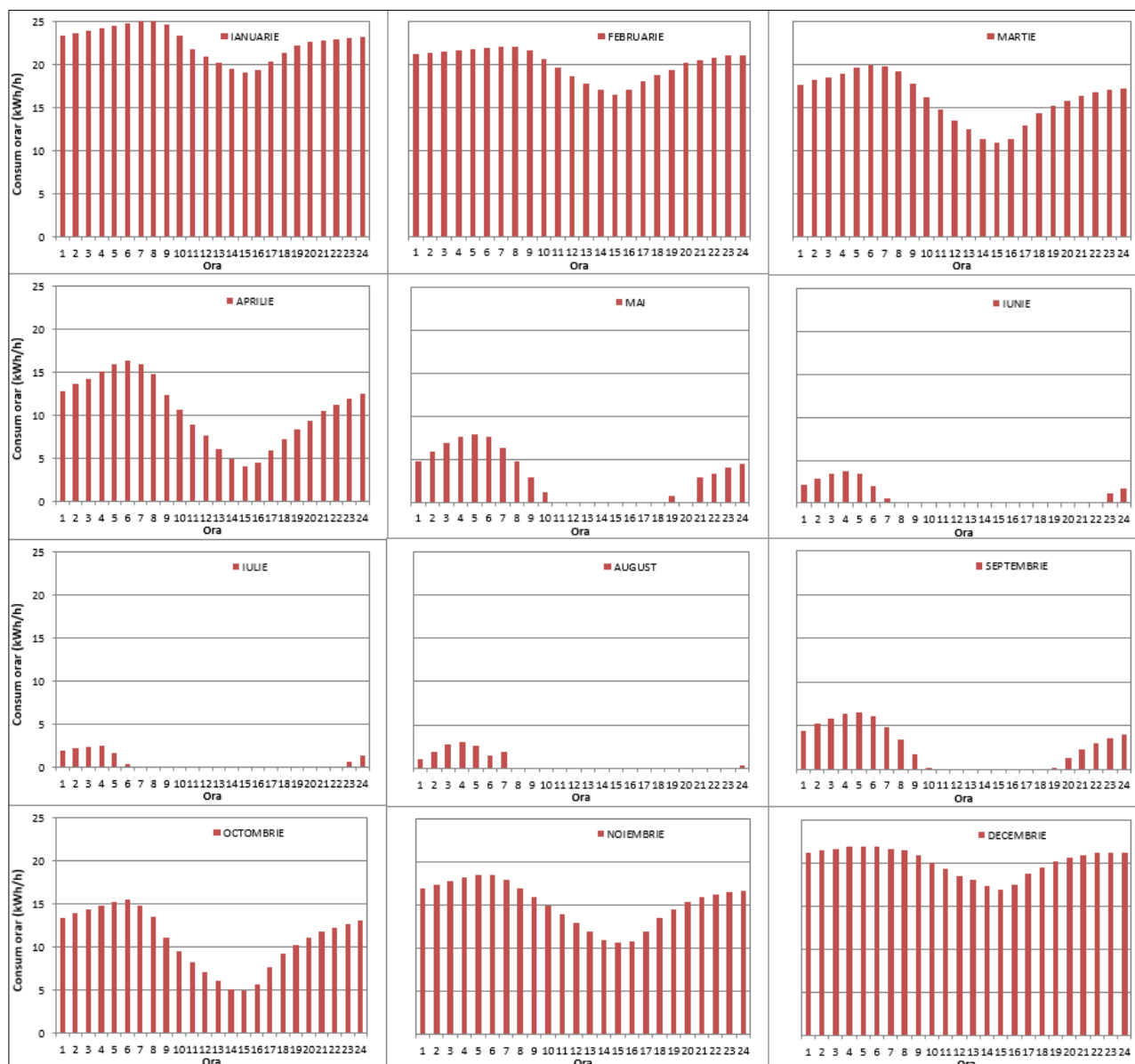


Figure 2.9 Profil de consum orar ventilare - încălzire, rezidențial

2.2.9 Profil de consum ventilare - răcire

Profilul de consum ventilare - răcire pentru consumatorul rezidențial a fost construit cu ajutorul temperaturilor medii orare pentru fiecare lună a anului, pentru București și al temperaturii de introducere a aerului, considerată cu 2 grade mai mică decât temperatura interioară, respectiv 18 °C. Ventilarea se face fără recuperare de căldură.

Consumul de căldură, în kWh/h, necesar răcirii aerului ventilat vara, se determină cu ecuația 2.31. Temperatura aerului interior, θ_i , vara a fost considerată 20 °C. Debitul, $\dot{G}$, în m³/h, se calculează conform ecuației 2.32. Profilul orar de consum ventilare - răcire pentru consumatorul de tip rezidențial, în kWh/h, este prezentat în Figure 2.10.

$$Q_{vent,rac_{ora}}^{rez} = \frac{\dot{G}}{3600} \cdot \rho_{aer} \cdot c_{p,aer} \cdot (\theta_{med_{ora}} - \theta_{intro}) \cdot \tau \quad 2.31$$

$$\dot{G} = N_p \cdot N_{ap} \cdot G_p + S_u \cdot G_s \quad 2.32$$

unde:

$Q_{vent,rac_{ora}}^{rez}$ – consum orar de energie pentru ventilare - răcire (kWh/h);

$\dot{G}$ - debitul de aer pentru ventilare - răcire, 2774,2 (m³/h);

ρ_{aer} - densitatea aerului, 1,205 (kg/m³);

$c_{p,aer}$ - căldura specifică a aerului, 1004 (J/kgK);

θ_{intro} - temperatura interioară minus 2 grade, 291,15 (K);

$\theta_{med,ora}$ - temperatura exterioară orară, medie lunară a orei, variabilă conform temperaturi orare București (K);

τ - perioada de timp pe care se face calculul, 1 (h);

N_p - numărul de persoane dintr-un apartament, 2,8 (pers);

N_{ap} - numărul de apartamente din bloc, 19 (apt);

G_p - debit specific de persoană ptr. CAI=2 (m³/h,pers);

S_u - suprafața utilă ventilată (m²);

G_s - debit specific pe suprafață ptr. CAI=2 (m³/h,pers).

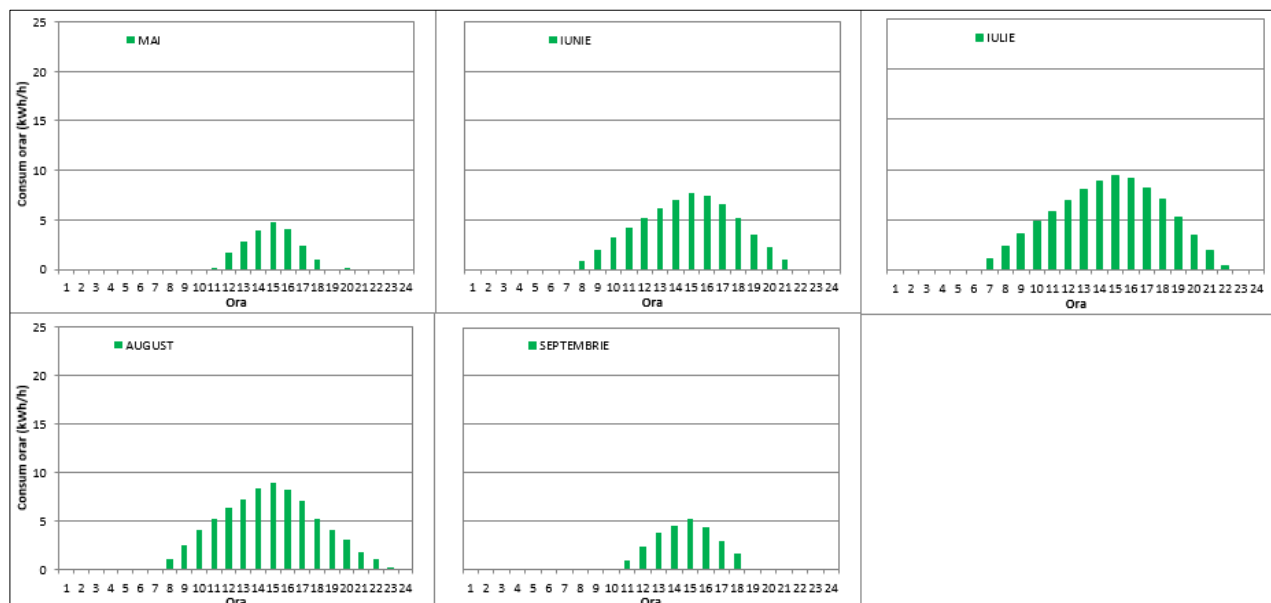


Figure 2.10 Profil de consum orar ventilare - răcire, rezidențial

2.2.10 Profil de consum ventilare - electric

Consumul de energie electrică pentru vehicularea aerului în instalația de ventilare este consumul electric al celor două pompe: ventilatorul de introducere a aerului proaspăt și ventilatorul de extracție a aerului viciat. Conform [13], [14], consumul electric orar al ventilatoarelor se calculează cu ecuațiile 2.33, 2.34.

$$W_{vent,ora}^{rez} = 2 \cdot \frac{\Delta p \cdot \dot{G}}{\eta_{vent}} \cdot \tau \quad 2.33$$

$$\dot{G} = N_p \cdot N_{ap} \cdot G_p + S_u \cdot G_s \quad 2.34$$

unde:

$W_{vent,ora}^{rez}$ - consum orar de energie electrică pentru antrenarea ventilatoarelor (kWh/h);

Δp - pierderea de presiune din sistemul de ventilare, 1,15 (kPa);

$\dot{G}$ - debitul volumic de aer pentru ventilare - încălzire/răcire, 2774,2 (m³/h);

η - randament ventilator, 0,7 (-);

τ - perioada de funcționare a ventilatoarelor într-o oră, 0,4 constant (h/h);

N_p - numărul de persoane dintr-un apartament, 2,8 (pers);

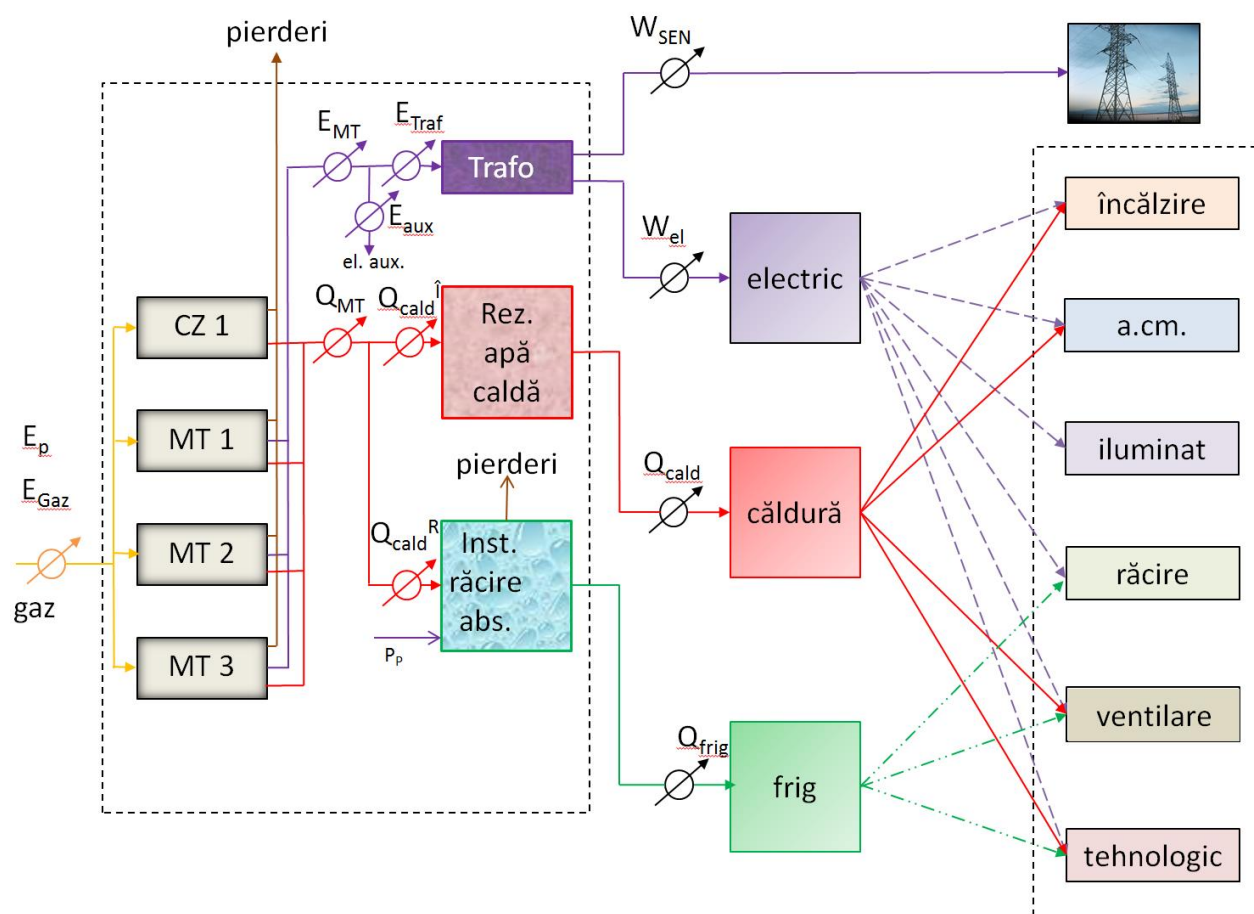
N_{ap} - numărul de apartamente din bloc, 19 (apt);

G_p - debit specific de persoană ptr. CAI=2, 25 (m³/h,pers);

S_u - suprafața utilă ventilată, 30,163 (m²);

G_s - debit specific pe suprafață ptr. CAI=2, 2,52 (m³/h,pers).

Profilul orar de consum ventilare - electric pentru consumatorul de tip rezidențial, în kWh/h, este identic pentru toate lunile anului și este reprezentat în Figure 2.11.



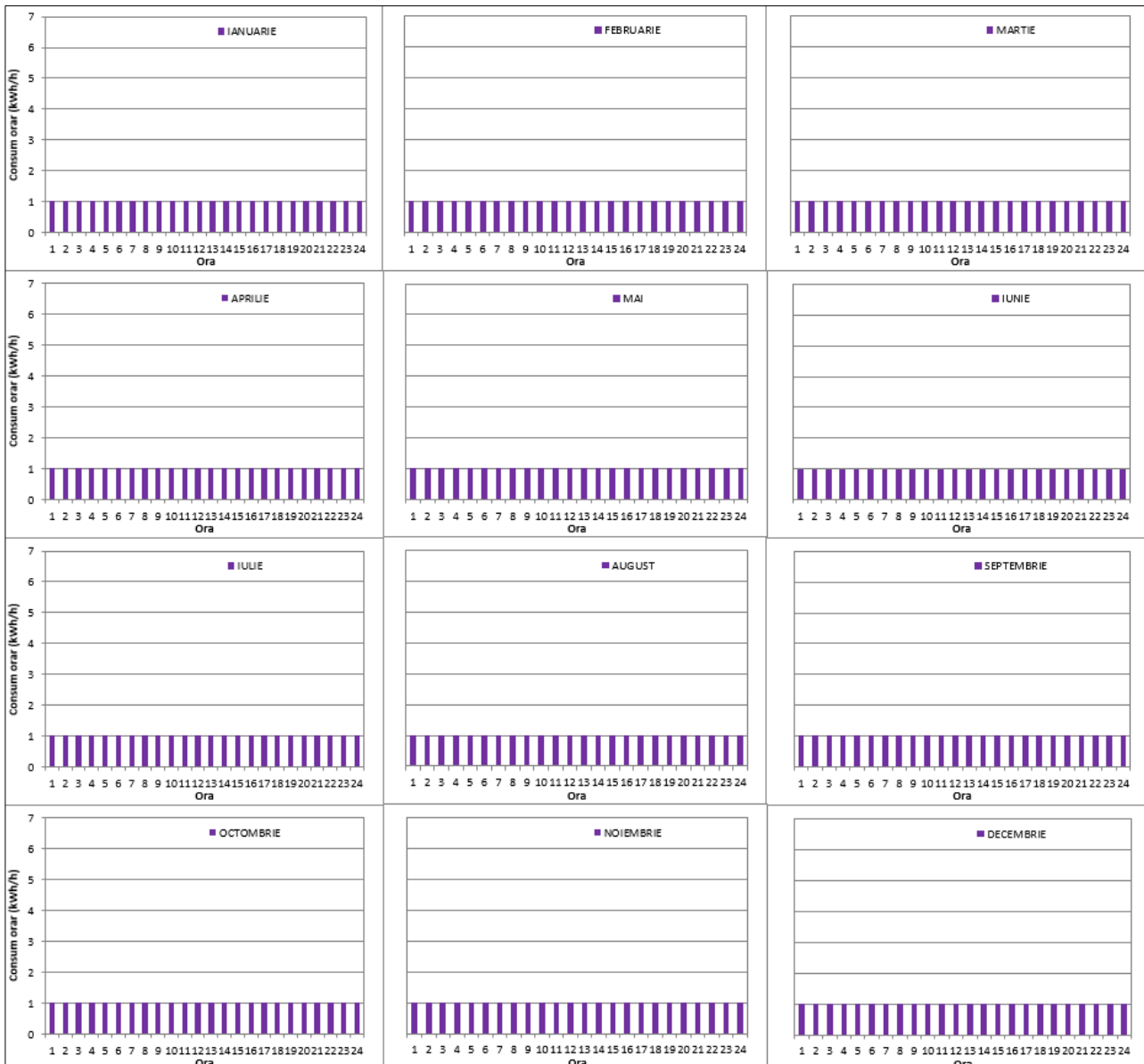


Figure 2.11 Profil de consum orar ventilare - electric, rezidențial

2.2.11 Profil de consum tehnologic

Profilul de consum de căldură tehnologică pentru consumatorul de tip rezidențial - bloc de locuințe este considerat nul, ecuația 2.35.

Profilul de consum de frig tehnologic pentru consumatorul de tip rezidențial - bloc de locuințe este considerat nul, ecuația 2.36.

Profilul de consum de energie electrică tehnologică pentru consumatorul de tip rezidențial - bloc de locuințe este considerat nul, ecuația 2.37.

$$Q_{cald_teh} = 0$$

2.35

$$Q_{frig_teh} = 0 \quad 2.36$$

$$W_{teh} = 0 \quad 2.37$$

2.3 ENERGIA TRANSFERATĂ DE SISTEMUL DE TRIGENERARE

2.3.1 Calculul consumului de energie transferată

Sistemul de trigenerare va produce și va transfera consumatorului rezidențial 3 tipuri de energii: energie electrică, căldură - energie termică pentru încălzire și frig - energie termică pentru răcire. Cele trei profile ale energiilor transferate au rezultat din însumarea consumurilor orare calculate și prezentate în capitolul 2.2. Formulele de calcul corespunzătoare sunt prezentate în ecuațiile 2.38, 2.39, 2.40.

Profilurile orare, medii lunare, ale energiilor de transfer, în kWh/h, sunt prezentate pentru fiecare lună din an în graficele tip coloane din Figure 2.12, Figure 2.13, Figure 2.14 .

$$Q_{cald} = Q_{acm_{or\breve{a}}}^{rez} + Q_{inc_{or\breve{a}}}^{rez} + Q_{vent,inc_{or\breve{a}}}^{rez} + Q_{cald_teh} \quad 2.38$$

$$Q_{frig} = Q_{clim_{or\breve{a}}}^{rez} + Q_{vent,rac_{or\breve{a}}}^{rez} + Q_{frig_teh} \quad 2.39$$

$$W_{el} = W_{acm_{or\breve{a}}}^{rez} + W_{inc_{or\breve{a}}}^{rez} + W_{il_{or\breve{a}}}^{rez} + W_{clim_{or\breve{a}}}^{rez} + W_{vent_{or\breve{a}}}^{rez} + W_{teh} \quad 2.40$$

unde:

- Q_{cald} - consum orar de căldură transferată (kWh/h);
- $Q_{acm,or\breve{a}}^{rez}$ - consum orar de energie ptr. a.c.m. (kWh/h);
- $Q_{inc,or\breve{a}}^{rez}$ - consum orar de energie ptr. încălzire (kWh/h);
- $Q_{vent,inc,or\breve{a}}^{rez}$ - consum orar de energie pentru ventilare - încălzire (kWh/h);
- Q_{cald_teh} - consum orar de căldură tehnologic (kWh/h);
- Q_{frig} - consum orar de energie frigorifică transferată (kWh/h);
- $Q_{clim,or\breve{a}}^{rez}$ - consum orar de energie ptr. climatizare (kWh/h);
- $Q_{vent,rac,or\breve{a}}^{rez}$ - consum orar de energie pentru ventilare - răcire (kWh/h);
- Q_{frig_teh} - consum orar de frig tehnologic (kWh/h);
- W_{el} - consum orar de energie electrică transferată (kWh/h);
- $W_{acm,or\breve{a}}^{rez}$ - consum orar de energie electrică necesară acționării pompei de a.c.m. (kWh/h);
- $W_{inc,or\breve{a}}^{rez}$ - consum orar de energie electrică pentru pompare (kWh/h);
- $W_{il,or\breve{a}}^{rez}$ - consumul orar de energie electrică pentru iluminat (kWh/h);
- $W_{clim,or\breve{a}}^{rez}$ - consumul orar de energie electrică pentru climatizare (kWh/h);
- $W_{vent,or\breve{a}}^{rez}$ - consum orar de energie electrică pentru antrenarea ventilatoarelor (kWh/h).
- W_{teh} - consum orar de energie electrică tehnologică (kWh/h);

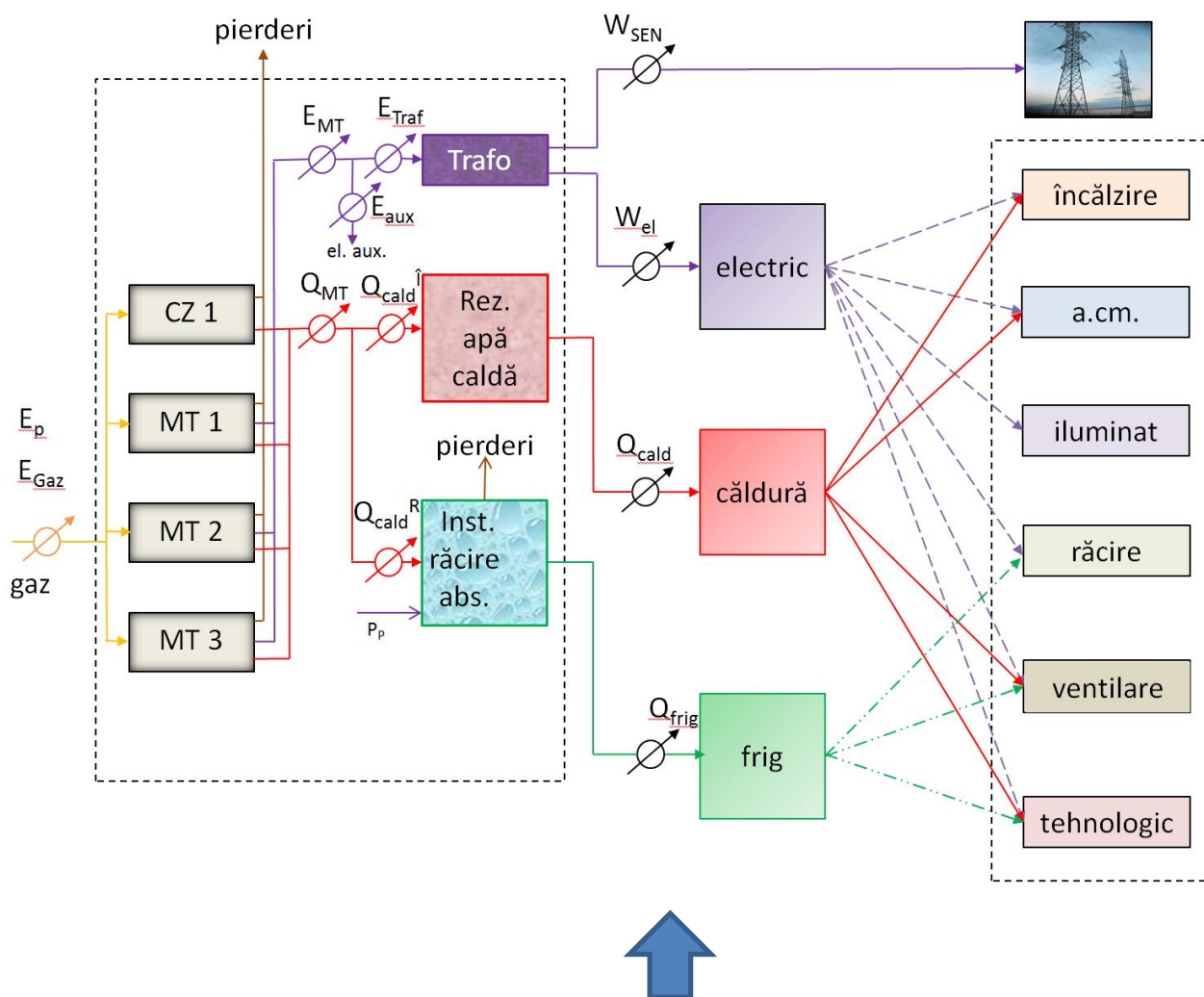




Figure 2.12 Profiluri orare de energii transferate - căldură, rezidențial



Figure 2.13 Profiluri orare de energii transferate - frig, rezidențial

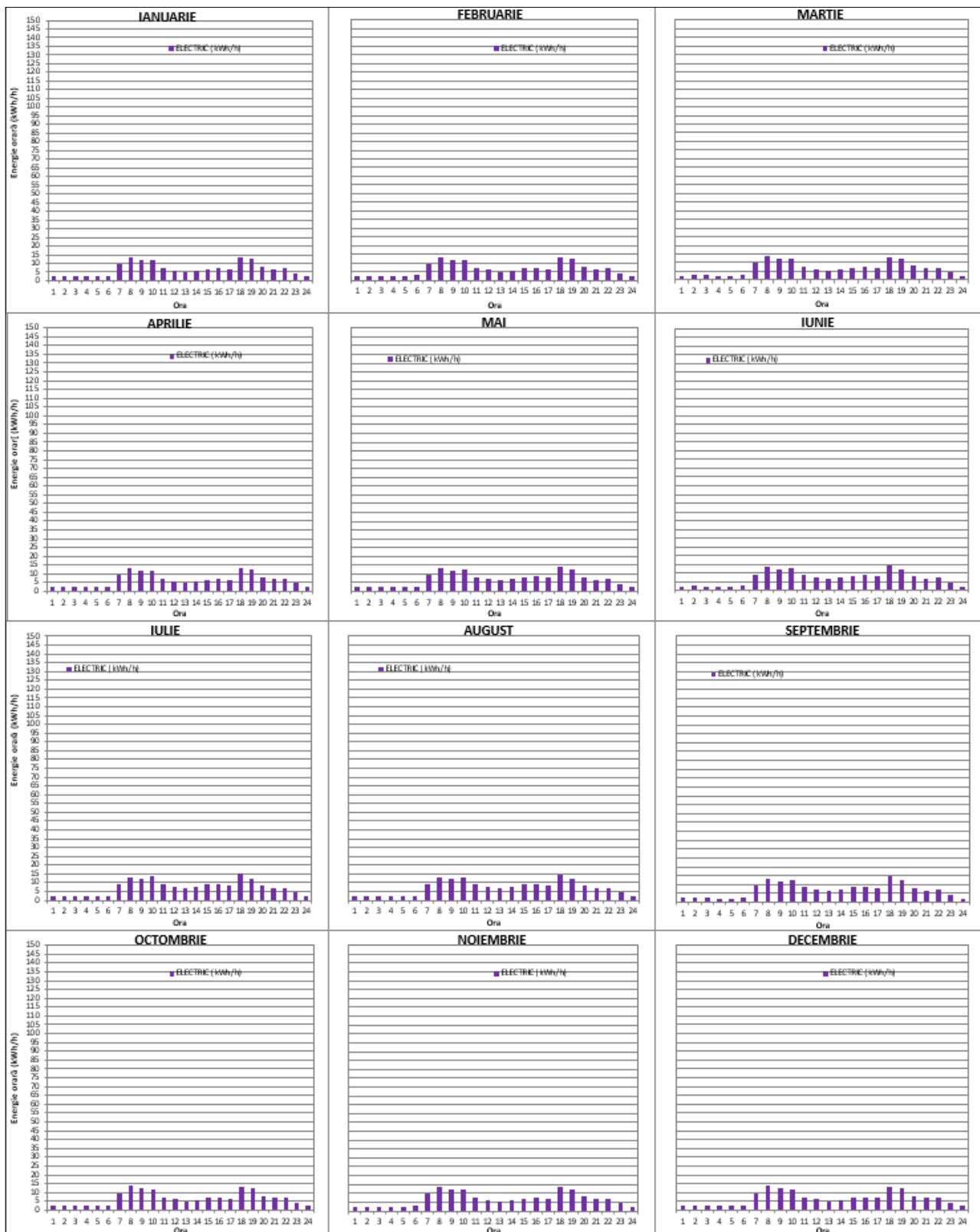


Figure 2.14 Profiluri orare de energii transferate - electric, rezidențial

2.4 ENERGIA PRODUSĂ DE SISTEMUL DE TRIGENERARE

Sursa de bază a sistemului de trigenerare - motoarele termice - va produce și va transfera consumatorului rezidențial 2 tipuri de energii de producție: energie electrică și căldură.

Căldura produsă de către motoarele termice, Q_{MT} , se divide pe timpul perioadei de răcire (vara) în căldura necesară producerii frigului pentru climatizare, Q_{Chill} , în instalația cu absorbție – chiller – și căldura necesară încălzirii și preparării apei calde de consum din rezervorul de apă caldă, Q_{Rez} .

Energia electrică produsă de către generatoarele electrice ale motoarelor termice are două componente energia electrică auxiliară, E_{aux} , consumul propriu din sistemul de trigenerare și energia electrică care se transformă în transformator ridicător de tensiune, E_{Traf} și se transportă către consumator, W_{el} și către rețeaua electrică (SEN), W_{SEN} .

2.4.1 Calculul căldurii necesare chillerului

Pentru elaborarea profilului orar energetic căldura necesară chillerului au fost stabilite următoarele ipoteze: factorul de eficiență energetică al instalației frigorifice cu absorbție (chiller) este 0,7 iar puterea instalată totală a pompelor (pompa de soluție, pompa de apă și pompa de purjă) este 3,7 kW. Formula de calcul corespunzătoare energiei termice (căldură) pentru fierbătorul chillerului este prezentată în ecuația 2.41.

$$Q_{cald}^R = \frac{Q_{frig} - EER \cdot P_p \cdot \tau}{EER} \quad 2.41$$

unde:

Q_{cald}^R - energia termică orară necesară în fierbătorul chillerului (kWh/h);

Q_{frig} - consum orar de energie frigorifică transferată consumatorului (kWh/h);

EER – coeficient de performanță energetică a chillerului, 0,7 (-);

P_p – puterea electrică a pompelor chillerului (în principal pompa de soluție), 3,7 (kW).

τ – perioada de funcționare a pompelor chillerului într-o oră, 1 (h).

Profilurile orare, medii lunare, pentru energia termică de producție (căldura) necesară în fierbătorul chillerului, în kWh/h, sunt prezentate pentru fiecare lună din an în graficele tip coloane din Figure 2.15.

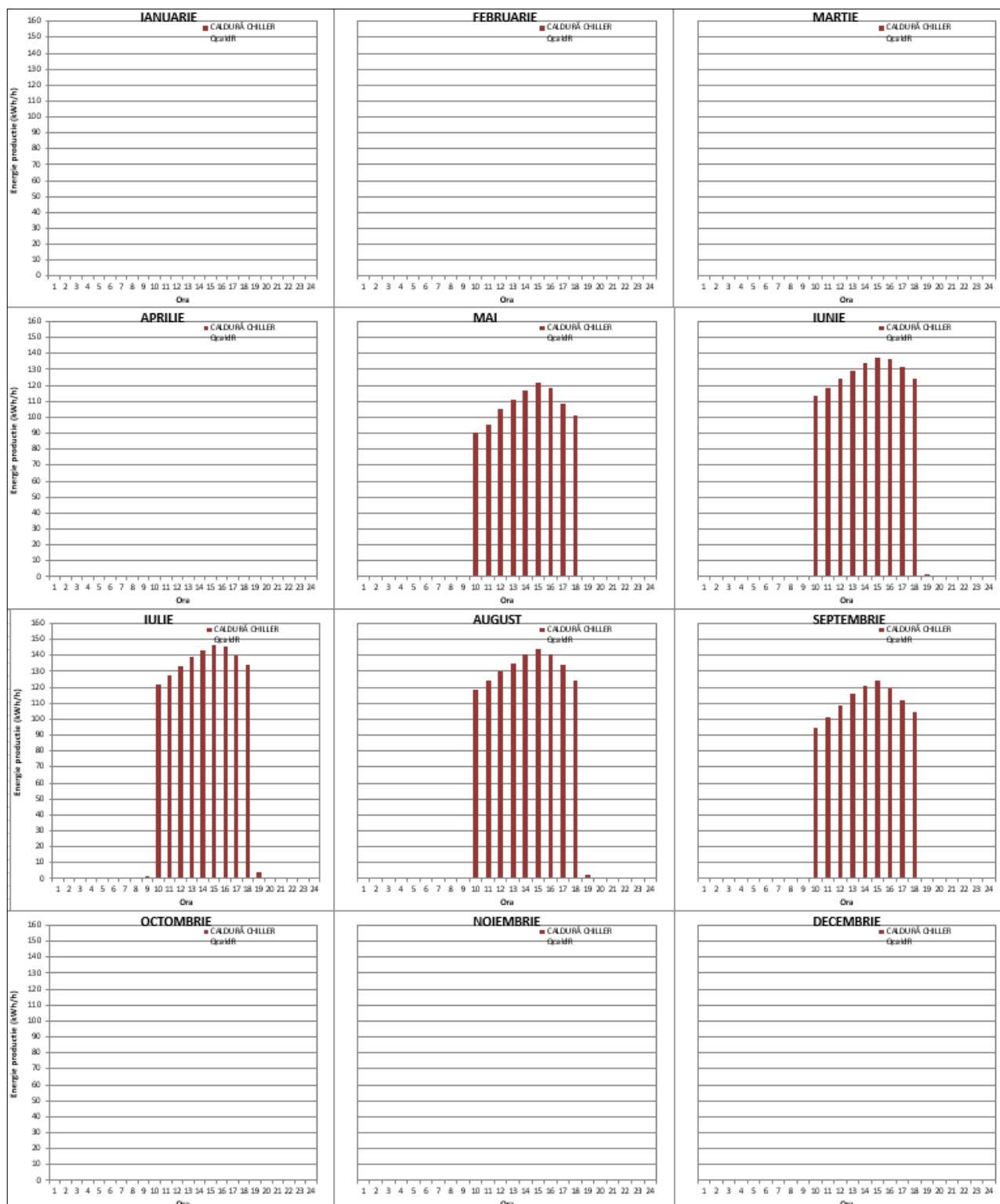


Figure 2.15 Profiluri orare de energie termică de producție necesară chillerului, rezidențial

2.4.2 Calculul căldurii necesare rezervorului de apă caldă

Pentru elaborarea profilului orar energetic căldura necesară rezervorului de apă caldă - agent termic necesar preparării a.c.m. și încălzirii, după caz - au fost stabilite următoarele ipoteze: pierderile de căldură prin carcasa rezervorului reprezintă 2 % din căldura transferată prin rezervor.

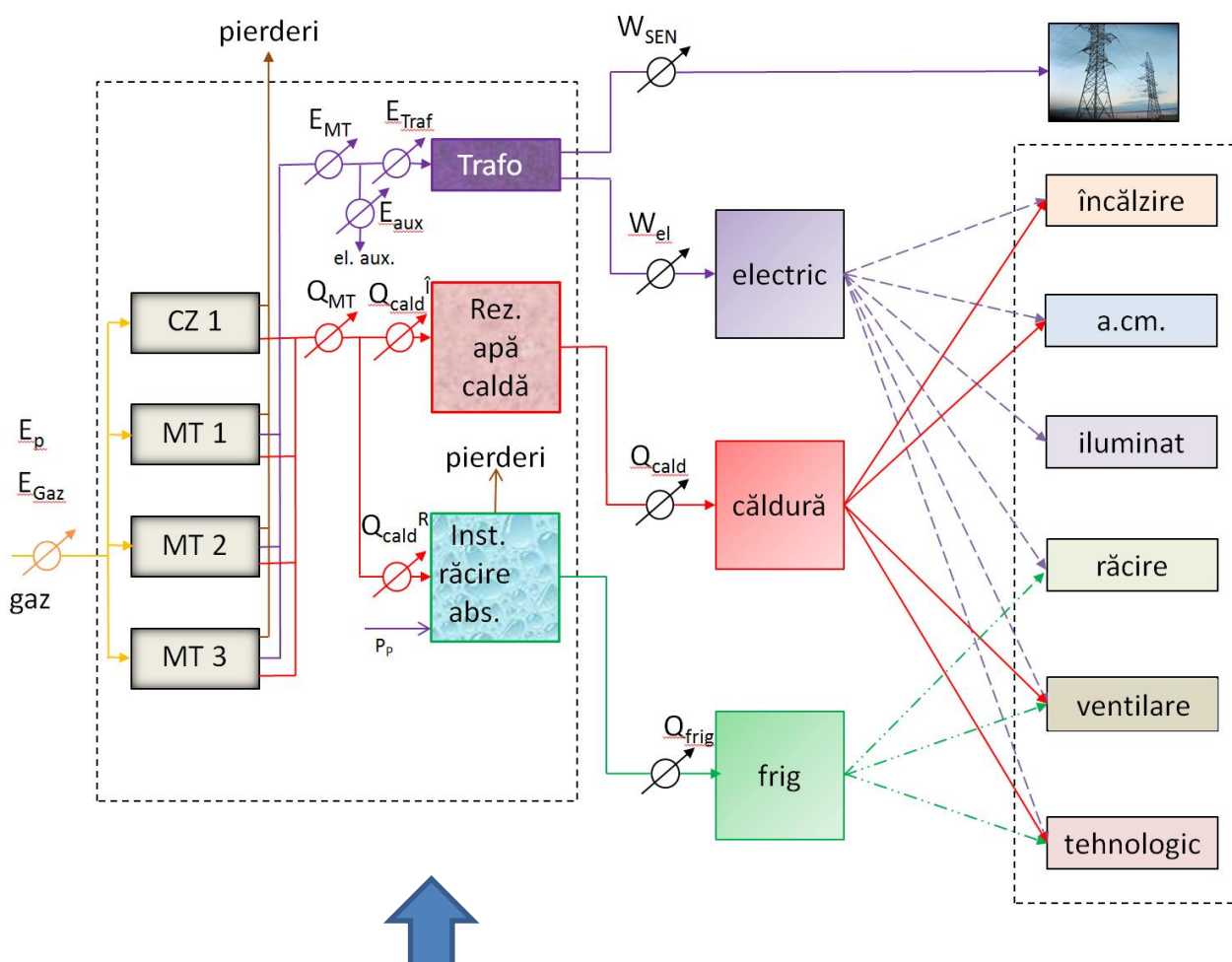
Formula de calcul corespunzătoare energiei termice (căldură) necesară rezervorului de apă caldă este prezentată în ecuația 2.42.

$$Q_{cald}^{\hat{}} = \frac{Q_{cald}}{\eta} \quad 2.42$$

unde:

Q_{cald} - consum orar de căldură transferată către consumator (kWh/h);

Profilurile orare, medii lunare, pentru energia termică de producție (căldura) necesară în rezervorul de apă caldă, în kWh/h, sunt prezentate pentru fiecare lună din an în graficele tip coloane din Figure 2.16.



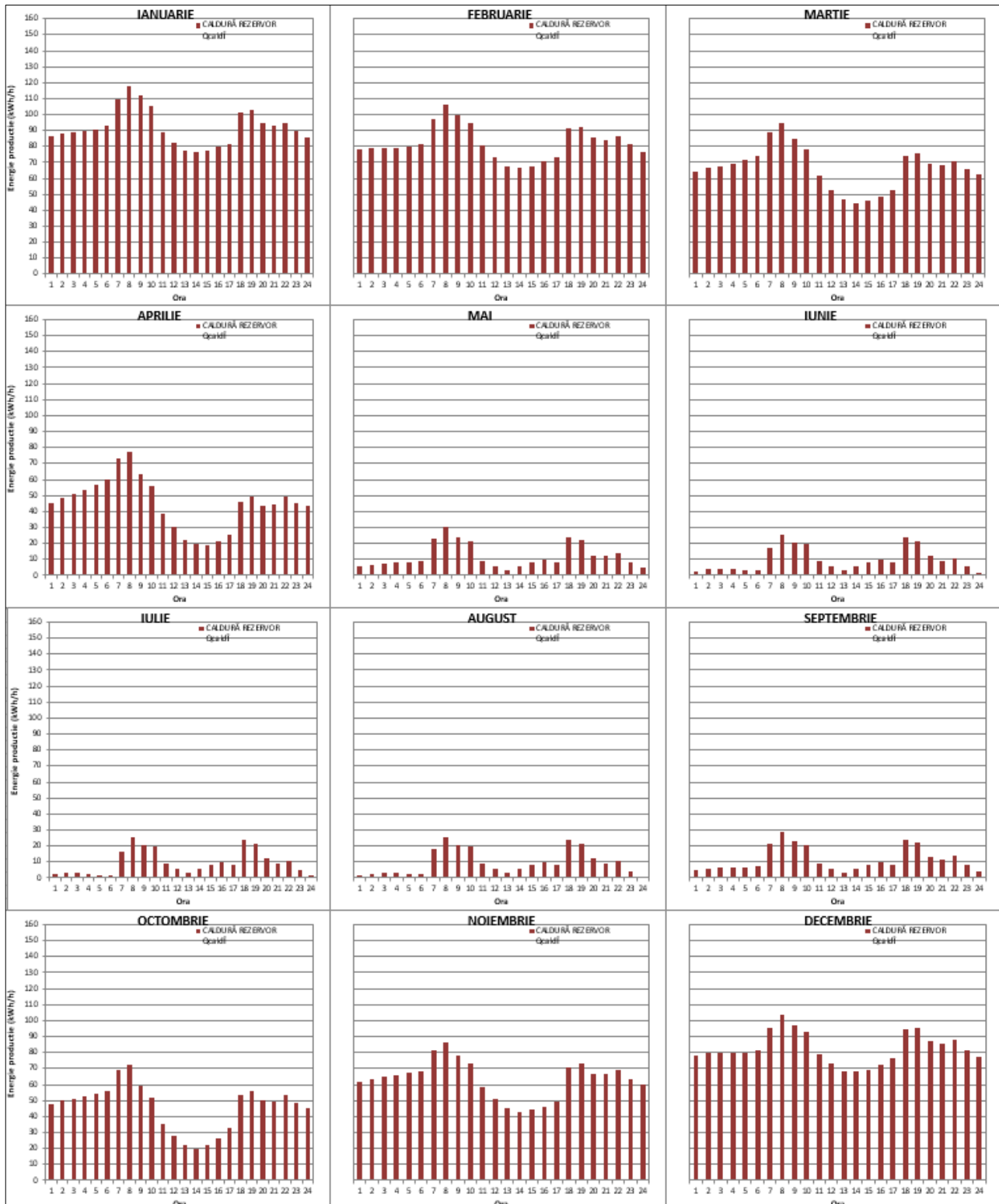


Figure 2.16 Profiluri orare de energie termică de producție necesară rezervorului de apă caldă, rezidențial

2.4.3 Calculul căldurii produse de motorul termic

Formula de calcul corespunzătoare elaborării profilului orar de energie termică (căldură) produsă de către sursa de bază - motorul termic - este prezentată în ecuația 2.43.

$$Q_{MT} = Q_{cald}^{\hat{I}} + Q_{cald}^R \quad 2.43$$

unde:

Q_{MT} - energia termică orară produsă de motorul termic (kWh/h);

$Q_{cald}^{\hat{I}}$ - energia termică orară necesară în rezervorului de agent termic (kWh/h);

Q_{cald}^R - energia termică orară necesară în fierbătorul chillerului (kWh/h).

Profilurile energetice orare, ore medii lunare, pentru energia termică de producție sunt prezentate în **Error! Reference source not found..**

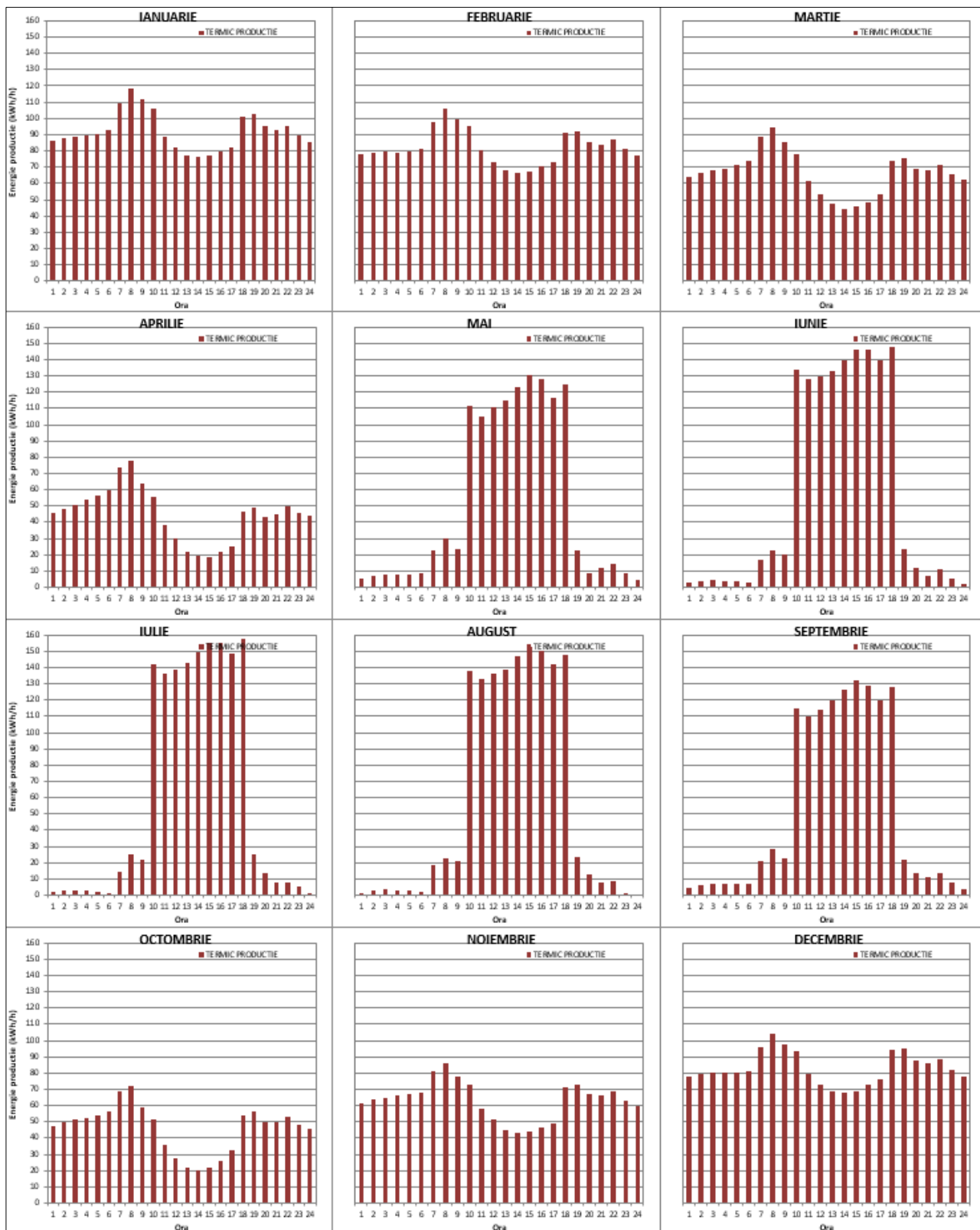


Figure 2.17 Profiluri orare de energie termică de producție

2.4.4 Descriere strategie de functionare a sistemului de trigenerare

În urma estimării valorilor de consum pentru consumatorul de tip condominiu pe baza profilelor de consum orare pentru ziua medie a fiecărei luni, s-a trecut la dimensionarea sistemului în funcție de necesarul termic. A fost ales pe baza coeficientului de cogenerare anual, $\alpha_{\text{cog}}=0,5$, motorul termic MAN E2676 E, cu putere nominală termică de 86 kW și putere nominală electrică de 140 kW. Sistemul de trigenerare, cuprinde două motoare termice identice M1 și M2, un cazan termic RIMA BES series de 145 kW pentru acoperirea sarcinii de vârf și un chiller cu absorbție cu soluție de H₂O-LiBr CARRIER SANYO 16LJ 11 cu putere de răcire de 264 kW.

Sistemul operează în modul 3 de operare „simultan la aceeași sarcină fără intervenția cazanului”, conform [1]. Modul 3 de operare presupune ca la depășirea capacității (termice) a motorului M1 valoarea sarcinii termice cerute de consumator să fie distribuită egal la cele două motoare M1 și M2 fără utilizarea cazanului termic. Practic, la o valoare a sarcinii termice cerute egală cu 1.1 din capacitatea nominală nu vom mai avea cazanul în funcțiune ci ambele motoare funcționând la 55% din capacitate.

2.4.5 Calculul energiei electrice produse de motorul termic

Formula de calcul corespunzătoare elaborării profilului orar de energie electrică produsă de către sursa de bază – motorul termic - este prezentată în ecuațiile 2.44, 2.45.

$$E_{MT} = E_{M1} + E_{M2} \quad 2.44$$

$$E_{Mi} = \frac{q_{el,nom} \cdot P_{th} U_{Mi}}{q_{th,nom}} \cdot \tau \quad 2.45$$

unde:

E_{MT} - energia electrică orară totală produsă de motoarele termice (kWh/h);

E_{M1} - energia electrică orară produsă de motorul 1 (kWh/h);

E_{M2} - energia electrică orară produsă de motorul 2 (kWh/h);

$q_{el,nom}$ - putere electrică nominală a motorului (kW);

$P_{th} U_{Mi}$ - putere termică utilă data de motorul „i” la sarcina parțială corespunzătoare cererii termice din momentul calculării (kW);

$q_{th,nom}$ - putere termică nominală a motorului (kW);

τ – perioada de funcționare a motorului, 1 (h).

Profilurile energetice orare, ore medii lunare, pentru energia electrică de producție a motoarelor sunt prezentate în Figure 2.21.

Comentarii:

În regim de funcționare la sarcină parțială motoarele termice funcționează bine, fără modificarea semnificativă a randamentului, până la 50% din capacitatea nominală. Diferențele procentuale de randament global la funcționarea între aceste încărcări se situează în jurul a 8 procente (6 % în cazul *A1 var 12 MOD 3 FINAL* și 10 % în cazul *R1 var 2 Concluzii*). Funcționarea sub această limită de capacitate (50 %) este interzisă în specificațiile tehnice ale producătorilor de motoare termice pentru cogenerare.

În cazul nostru, al dimensionării în funcție de profilul termic orar al consumatorului, cererea de agent termic pe anumite intervale orare impune oprirea motoarelor pentru a nu funcționa sub capacitatea recomandată și funcționare doar a cazanului termic. Intervalele orare în cauză sunt: orele 11:00 ÷ 17:00 în lunile de tranziție aprilie și octombrie când temperatura exterioară în jurul amiezii este în jurul valorii temperaturii interioare convenționale de calcul și nu se impune nici încălzire și nici răcirea spațiilor - sarcina termică asigură în principal necesarul scăzut pe aceste ore de a.c.m. și ventilare de încălzire, Figura 2.2, Figure 2.9 - și orele 19:00 ÷ 09:00 în lunile de vară când pe parcursul nopții nu este necesară climatizarea - sarcina termică asigură deasemenea necesarul scăzut pe aceste ore de a.c.m. și ventilare de încălzire, Figura 2.2, Figure 2.9.

Pe intervalele orare mai sus amintite, în care va funcționa numai cazanul termic, nu se va produce energie electrică și nu putem vorbi de cogenerare. Funcționarea sistemului va fi similară funcționării unui sistem clasic de producere separată, randamentul va fi doar randamentul termic al cazanului și nu putem pune problema unui randament global, neexistând un randament electric. Graficul profilurilor orare de energie electrică de producție, pentru ziua medie lunară, Figure 2.18, reflectă aceste intervale orare cu lipsa producției de energie electrică.

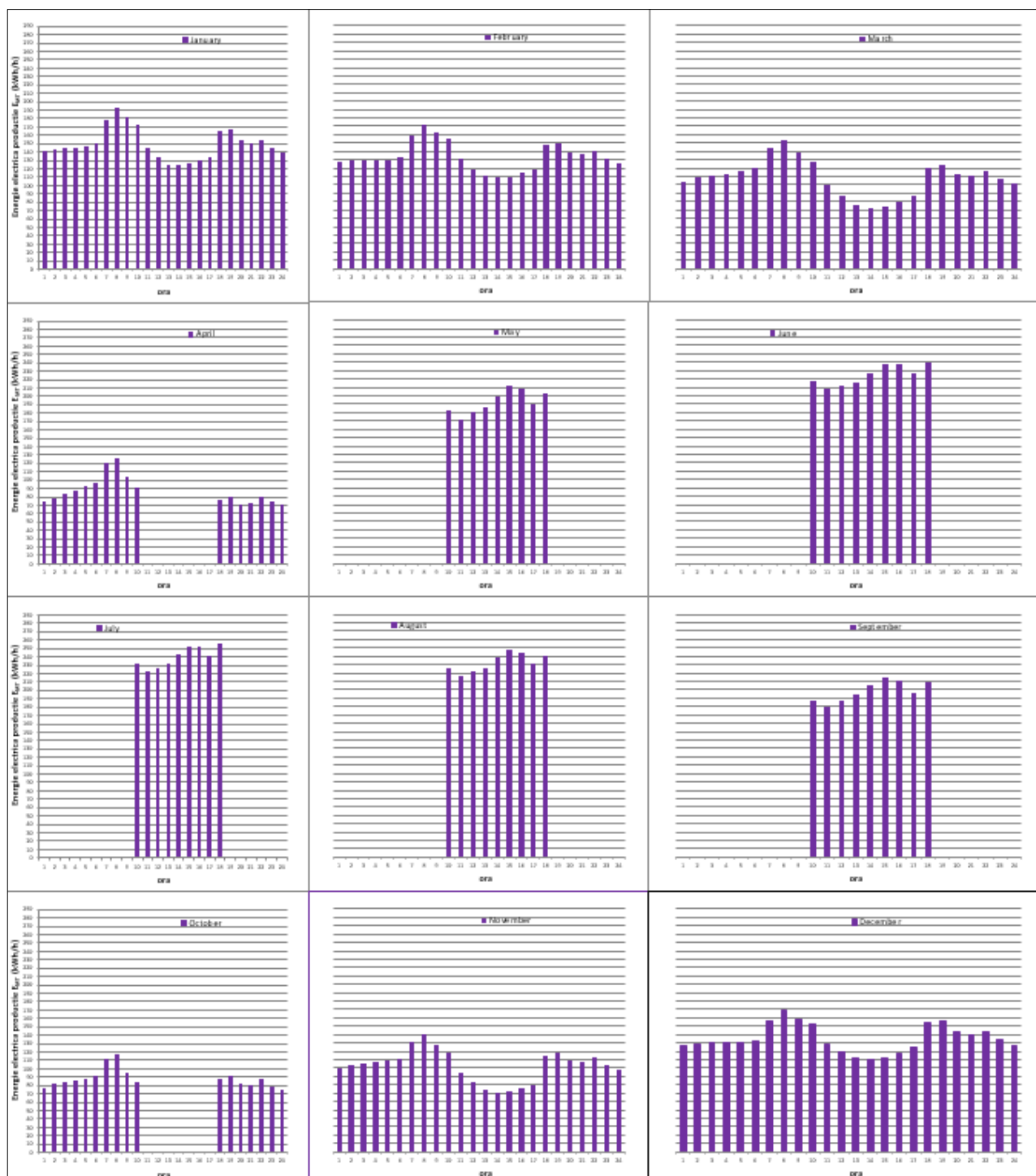


Figure 2.18 Profiluri orare de energie electrică de producție motoare

2.4.6 Calculul energiei electrice auxiliare

Pentru energia electrică consumată intern în sistemul de trigenerare s-a considerat că energie electrică consumată în interiorul sistemului la pompele care vehiculează agentul termic spre Rezervorul de apă caldă și spre chiller (numită energie auxiliară) este egală cu suma energiilor electrice calculate la profilurile de la consumator pentru pompele de circulație ale sistemului de încălzire (cap. 2.2.4) și pompele sistemului de preparare a.c.m. (cap. 2.2.2) (aceste pompe

vehiculând practic debitele însumate ce vor ajunge la instalațiile consumatorului - înc. și acm) și energia electrică consumată de pompele chillerului pe perioada când acesta funcționează.

$$W_{Rez_{ac}} = W_{acm_{or\breve{a}}}^{rez} + W_{inc_{or\breve{a}}}^{rez} \quad 2.46$$

unde:

Profilurile energetice orare, ore medii lunare, pentru energia electrică auxiliară consumată în sistemul de trigenerare sunt prezentate în Figure 2.19.





Figure 2.19 Profiluri orare de energie electrică auxiliară

2.4.7 Calculul energiei electrice a transformatorului

Pentru transportul energiei electrice la consumator, energia trifazată la 0,4 kV produsă se transformă în transformator ridicător de tensiune la înaltă tensiune, 20 kV, în scopul reducerii pierderilor de tensiune pe rețeaua de transport. La consumator se montează transformatoare coborâtore de tensiune și energia transportată se transformă înapoi în energie electrică de joasă tensiune, la 0,4 kV, pentru a putea fi consumată.

Formula de calcul pentru energia transformatorului este prezentată în ecuația 2.48.

$$E_{Traf} = E_{MT} - E_{aux} \quad 2.48$$

unde:

E_{Traf} - energia electrică ce se transformă spre a fi transportată spre SEN și consumator (kWh/h);

E_{MT} - energia electrică orară produsă de motoarele termice (kWh/h);

E_{aux} - energia electrică auxiliară orară consumată în centrală (kWh/h);

Profilurile energetice orare, ore medii lunare, pentru energia electrică transformată în Transformator sunt prezentate în Figure 2.20.



Figure 2.20 Profiluri orare de energie electrică prin Transformator

2.4.8 Calculul energiei electrice furnizată în SEN

Energia electrică vândută Sistemului Energetic Național (SEN) rezultă prin diferența dintre energia transformată în Transformatorul electric și consumul de energie electrică transferată consumatorului. Formula de calcul corespunzătoare este prezentată în ecuația 2.49.

$$W_{SEN} = E_{Traf} - W_{el} \quad 2.49$$

W_{SEN} - energia electrică orară vândută Sistemului Energetic Național (kWh/h);

E_{Traf} - energia electrică ce se transformă spre a fi transportată spre SEN și consumator (kWh/h);

W_{el} - consum orar de energie electrică transferată consumatorului (kWh/h).

Profilurile energetice orare, ore medii lunare, pentru energia electrică furnizată Sistemului Energetic Național sunt prezentate în Figure 2.21.

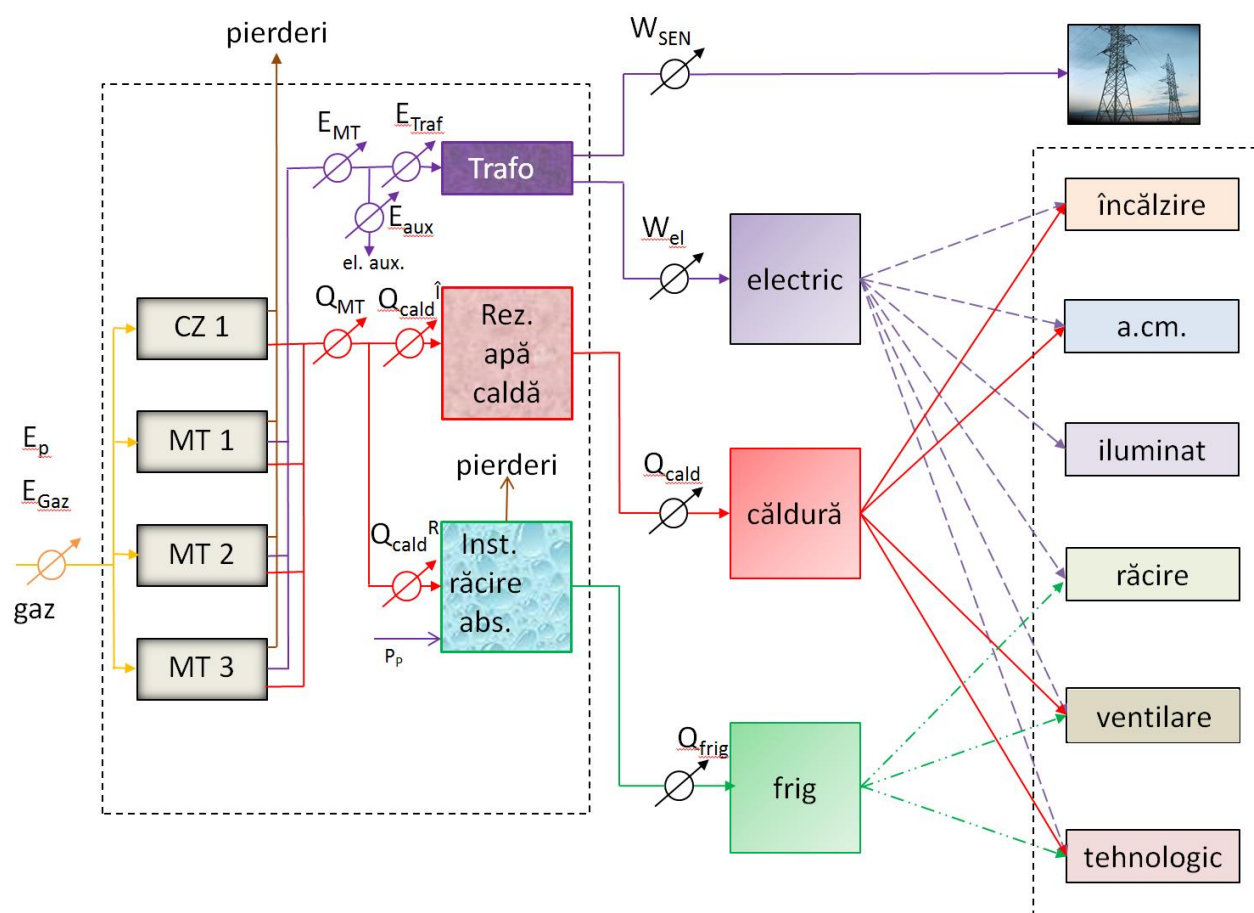




Figure 2.21 Profiluri orare de energie electrică furnizată în SEN

2.5 ENERGIA PRIMARĂ A SISTEMUL DE TRIGENERARE

2.5.1 Energia gazului metan

Alcătuirea profilului orar energetic al combustibilului – gaz metan – consumat de sistemul de trigenerare a fost construit prin adaptarea ecuației variației randamentului global modelat pentru sistem format din două motoare termice, stabilită în lucrarea [3], respectiv ecuația 2.50, obținut pe baza sarcinii parțiale de funcționare a sistemului de motoare, 2.51.

$$\eta_{TRI}^{2E} = 0,4372 \cdot PL_{TRI}^{2E} + 0,4152 \quad 2.50$$

$$PL_{TRI}^{2E} = \frac{Q_{MT}}{2 \cdot q_{th,nom}} \quad 2.51$$

unde:

η_{TRI}^{2E} - randamentul global al sistemului de trigenerare cu două motoare, variabil (%);

PL_{TRI}^{2E} - sarcina parțială de funcționare a sistemului de trigenerare, variabilă (%);

Formula de calcul a energiei combustibilului, gazul metan, este prezentată în ecuația 2.52.

Profilurile energetice orare, ore medii lunare, pentru energiile de intrare: energia gazului natural și energia primară sunt prezentate în Figure 2.22.

$$E_{Gaz} = \frac{Q_{MT} + E_{MT}}{\eta_{TRI}^{2E}} \quad 2.52$$

Luând în considerare ecuațiile 2.44, 2.45, 2.50 și 2.52, energia orară a combustibilului gaz natural, când se cunoaște energia termică orară Q_{MT} produsă de sistemul de motoare termice pe baza energiei termice necesare rezervorului de agent termic și fierbătorului chillerului, are formula dată de ecuația 2.53:

$$E_{Gaz} = \frac{Q_{MT} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_{el,nom_{Mi}} \cdot P_{th} U_{Mi}}{q_{th,nom_{Mi}}} \cdot \tau \right)}{0,4372 \cdot PL_{TRI}^{nE} + 0,4152} \quad 2.53$$

unde:

Q_{MT} - energia termică totală orară produsă de motoarele termice în funcțiune (kWh/h);

n - numărul de motoare termice al sistemului de trigenerare în funcțiune (-);

$q_{el,nom_{Mi}}$ - putere electrică nominală a motorului „i” (kW);

$P_{th} U_{Mi}$ - putere termică utilă data de motorul „i” la sarcina parțială corespunzătoare cererii termice din momentul calculării (kW);

$q_{th,nom_{Mi}}$ - putere termică nominală a motorului „i” (kW);

τ - perioada de funcționare a motorului, 1 (h);

PL_{TRI}^{nE} - sarcina parțială de funcționare a sistemului de trigenerare cu “n” motoare, la momentul calculării, variabilă (%);

Profilurile energetice orare, ore medii lunare, pentru energia electrică de producție a motoarelor sunt prezentate în Figure 2.21.

2.5.2 Energia primară

Calculul energiei primare consumată de sistemul de trigenerare se face prin multiplicarea energiei combustibilului cu factorul de conversie în energie primară, conform Mc 001, [9], cu ecuația 2.54.

$$E_p = E_{Gaz} \cdot f_{gn} \quad 2.54$$

unde:

$f_{gn}=1,1$ – factor de conversie a gazului natural în energie primară.

Profilurile energetice orare, ore medii lunare, pentru energiile de intrare: energia gazului natural și energia primară sunt prezentate în Figure 2.22.

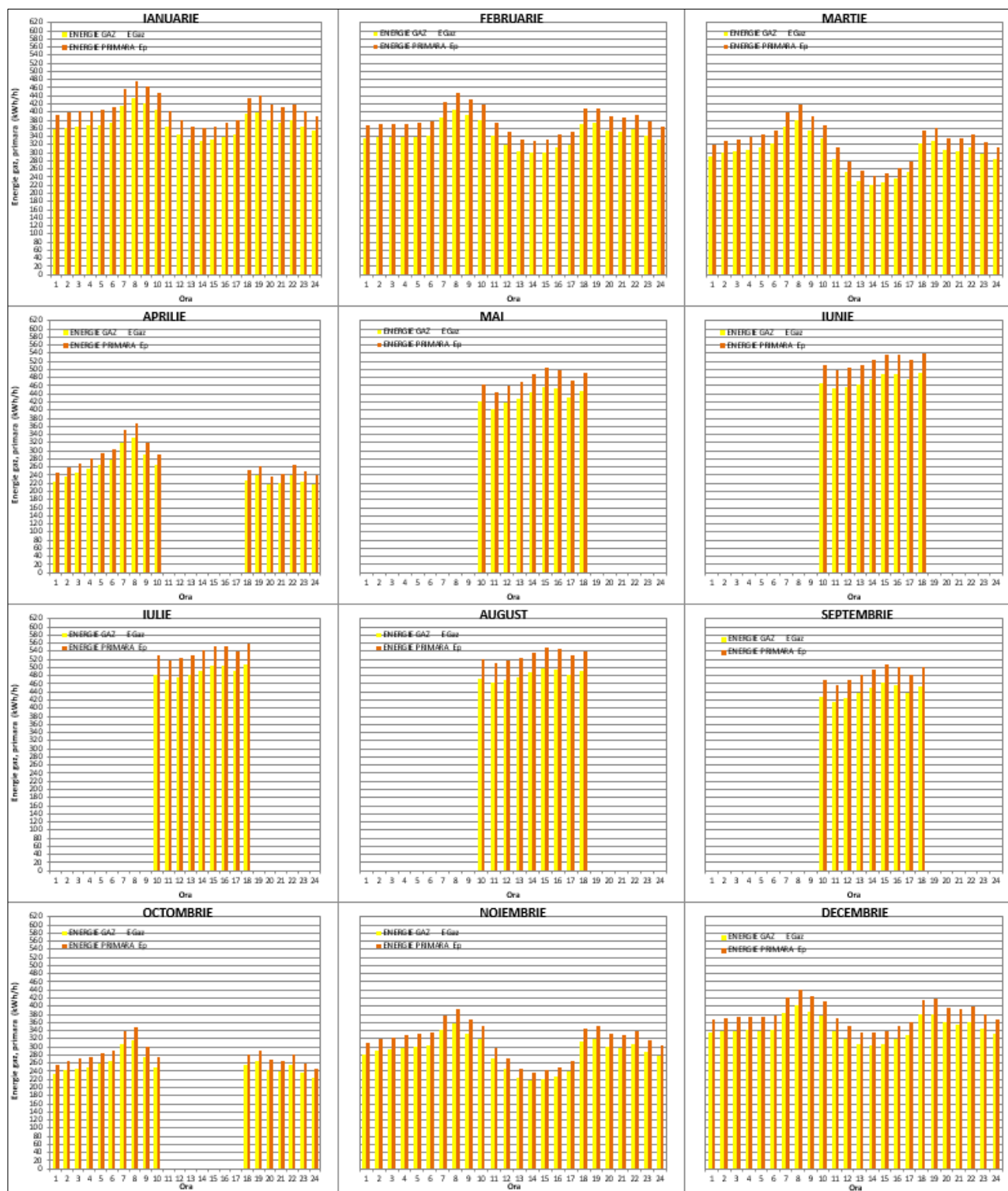


Figure 2.22 Profiluri orare de energie gaz natural și energie primară

2.5.3 Rezolvarea analitică

Pentru calculul energiei orare sub formă de căldură, a energiei electrice orare, a pierderilor de energie orară și a energiei orare a gazului natural, în kWh/h, s-a procedat la rezolvarea sistemului de ecuații 2.55:

$$\begin{cases} \eta_{th} + \eta_{el} = \eta_{gl} \\ \frac{\eta_{el}}{\eta_{th}} = y_0 \end{cases} \quad 2.55$$

unde:

η_{th} - randamentul termic al sistemului de trigenerare cu două motoare, variabil (%);

η_{el} - randamentul electric al sistemului de trigenerare cu două motoare, variabil (%);

η_{gl} - randamentul global al sistemului de trigenerare cu două motoare, variabil conform ecuației 2.56 (%);

y_0 - indicele de cogenerare de referință, constant conform ecuației 2.57, 1,63 (-);

$$\eta_{gl} = 0,4372 \cdot PL_{TRI}^{2E} + 0,4152 \quad 2.56$$

$$y_0 = \frac{E_E}{E_C} = \frac{\eta_{el}}{\eta_{th}} \quad 2.57$$

unde:

PL_{TRI}^{2E} - sarcina parțială de funcționare a sistemului de trigenerare format din două motoare (2Engines), variabilă conform ecuației 2.58 (%);

E_E - energia electrică produsă de motorul termic în regim de cogenerare, (kWh/h);

E_C - energia sub formă de căldură produsă de motorul termic în regim de cogenerare, (kWh/h);

$$PL_{TRI}^{2E} = \frac{Q_{MT}}{2 \cdot q_{th,nom}} \quad 2.58$$

unde:

Q_{MT} - energia termică orară totală produsă de cele două motoare termice (kWh/h);

$q_{th,nom}$ - sarcina termică nominală a motorului; $2 \cdot q_{th,nom}$ = sarcina nominală a sistemului de trigenerare (kWh/h);

Au rezultat:

$$\begin{cases} \eta_{th} = f(\eta_{gl}, y_0) = \frac{\eta_{gl}}{1 + y_0} \\ \eta_{el} = f(\eta_{gl}, y_0) = \frac{y_0 \cdot \eta_{gl}}{1 + y_0} \end{cases} \quad 2.59$$

Energia orară sub formă de căldură, E_C în kWh/h, este energia termică orară rezultată în urma elaborării profilelor de consum, de transfer și de producție (în baza căreia s-a făcut dimensionare “după termic”) dată de egalitatea 2.60:

$$E_C = Q_{MT} \quad 2.60$$

Energia orară a combustibilului, gazul natural, E_{gaz} în kWh/h, rezultă din definiția randamentului termic, ecuația 2.61:

$$E_{gaz} = \frac{E_C}{\eta_{th}} \quad 2.61$$

Energia electrică orară, E_E în kWh/h, rezultă din definiția randamentului electric, ecuația 2.62:

$$E_E = E_{gaz} \cdot \eta_{el} \quad 2.62$$

Pierderile de energia orară, P în kWh/h, rezultă din ecuația de bilanț ca diferență între energia intrată a gazului natural și energiile utile căldură și electrică, ecuația 2.63:

$$P = E_{gaz} - (E_C + E_E) \quad 2.63$$

Profilurile orare (ore medii lunare) ale energiilor sistemului de trigenerare în strategia de operare Modul 3 de operare „simultan la aceeași sarcină fără intervenția cazanului”, pentru energiile sub formă de căldură, energii electrice și pierderi energetice, în kWh/h, sunt prezentate în Figure 2.23

Comentarii:

Așa cum se arată și în subcap. 2.4.5., motoarele termice sunt lăsate să funcționeze până la o sarcină minimă egală cu 50% din capacitatea nominală. Am arătat în același subcap. 2.4.5. că cererea de agent termic pe anumite intervale orare impune oprirea motoarelor pentru a nu funcționa sub capacitatea recomandată și funcționarea doar a cazanului termic. Pe intervalele orare menționate nu există producție energie electrică și nu putem vorbi de cogenerare. Funcționarea sistemului va fi similară funcționării unui sistem clasic de producere separată, randamentul va fi doar randamentul termic al cazanului și nu putem pune problema unui randament global (orar), neexistând un randament electric.

Graficul profilurilor orare de energie sub formă de căldură - E_C , energie electrică - E_E și pierderi energetice - P ale sistemului de trigenerare format 2 motoare termice în strategia Mod 3 “simultan la aceeași sarcină fără intervenția cazanului” de producție, pentru ziua medie lunară, Figure 2.23, reflectă aceste intervale orare cu lipsa cogenerării și lipsa producției de energie electrică, respectiv orele 11:00 ÷ 17:00 în lunile de tranziție aprilie și octombrie când temperatura exterioară în jurul amiezii este în jurul valorii temperaturii interioare convenționale de calcul și nu se impune nici încălzire și nici răcirea spațiilor (sarcina termică este asigurată doar de cazan pentru preparare a.c.m. și ventilarea de încălzire) și orele 19:00 ÷ 09:00 în lunile de vară când pe parcursul nopții nu este necesară climatizarea (sarcina termică este asigurată doar de cazan pentru preparare a.c.m. și ventilare de încălzire).

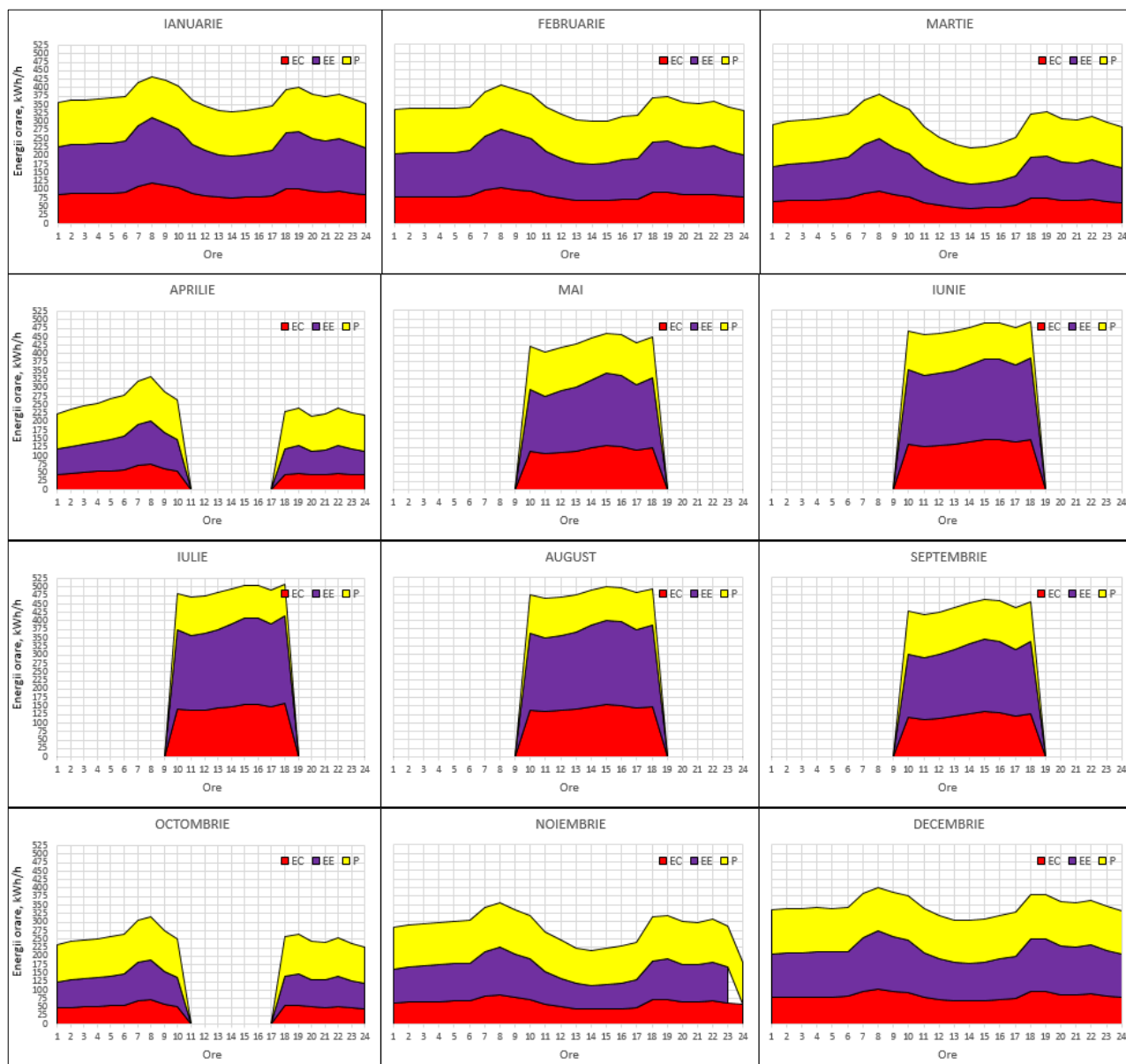


Figure 2.23 Profiluri orare energetice ale sistemului de trigenerare cu 2 motoare termice în strategia Mod 3 “simultan la aceeași sarcină fără intervenția cazanului”

2.5.4 Calcul iterativ

Pentru calculul randamentului global orar al sistemului de trigenerare când se cunoaște energia termică orară, E_C , produsă de sistemul de motoare termice pe baza energiei termice necesare rezervorului de agent termic și fierbătorului chillerului, s-au efectuat următoarele secvențe de calcul, ecuațiile 2.64÷2.84:

$$E_C^{I0} = 86,29 \text{ kWh/h} = \text{const.}$$

2.64

$$\eta_{gl}^{I0} = 80\% = \text{estimat} \quad 2.65$$

$$\eta_{th}^{I0} = \frac{\eta_{gl}^{I0}}{1 + y_0} \quad 2.66$$

$$y_0 = 1,63 = \frac{q_{el,nom_{Mi}}}{q_{th,nom_{Mi}}} = \text{const.} \quad 2.67$$

$$\eta_{el}^{I0} = \frac{y_0 \cdot \eta_{gl}^{I0}}{1 + y_0} \quad 2.68$$

$$E_{gaz}^{I0} = \frac{E_C^{I0}}{\eta_{th}^{I0}} \quad 2.69$$

$$E_E^{I0} = E_{gaz}^{I0} \cdot \eta_{el}^{I0} \quad 2.70$$

$$P^{I0} = E_{gaz}^{I0} - (E_C^{I0} + E_E^{I0}) \quad 2.71$$

$$q_{th,nom} = 86 \text{ kW} = \text{const.} \quad 2.72$$

$$PL_{TRI}^{I0} = \frac{E_C^{I0}}{2 \cdot q_{th,nom}} \quad 2.73$$

$$\eta_{gl}^{I1} = 0,4372 \cdot PL_{TRI}^{I0} + 0,4152 \quad 2.74$$

$$\eta_{gl}^{I1} = 63,45\% = \text{calculat} \quad 2.75$$

$$E_C^{I1} = 86,29 \text{ kWh/h} = \text{const.} \quad 2.76$$

$$\eta_{th}^{I1} = \frac{\eta_{gl}^{I1}}{1 + y_0} \quad 2.77$$

$$\eta_{el}^{I1} = \frac{y_0 \cdot \eta_{gl}^{I1}}{1 + y_0} \quad 2.78$$

$$E_{gaz}^{I1} = \frac{E_C^{I1}}{\eta_{th}^{I1}} \quad 2.79$$

$$E_E^{I1} = E_{gaz}^{I1} \cdot \eta_{el}^{I1} \quad 2.80$$

$$P^{I1} = E_{gaz}^{I1} - (E_C^{I1} + E_E^{I1}) \quad 2.81$$

$$PL_{TRI}^{I1} = \frac{E_C^{I1}}{2 \cdot q_{th,nom}} = \text{const.} \quad 2.82$$

$$\eta_{gl}^{I2} = 0,4372 \cdot PL_{TRI}^{I1} + 0,4152 = 63,45\% = \textit{calculat} \quad 2.83$$

$$\eta_{gl}^{I1} = \eta_{gl}^{I2} = 63,45\% = \textit{calculat} \quad 2.84$$

3 CONCLUZII

Raportul 3 analizează pe baza profilurilor energetice de consum, de transfer și de producție posibilitatea aplicării tehnologiei de trigenerare având motoare termice ca primă sursă asupra unui consumator de mici dimensiuni, de tip rezidențial. Prin alegerea unui tip de motor de mică capacitate, cu o putere nominală termică de 86 kW și o putere nominală electrică de 140 kW, termice diferite și simularea funcționării în modul simultan de funcționare „simultan la aceeași sarcină fără intervenția cazanului”, conform [1], se pot trage concluzii asupra posibilităților de aplicare și se pot face analize și recomandări în ceea ce privește eficiența sistemului de trigenerare.

Randamentul global orar al sistemului atinge valori maxime de 85,24 %, în lunile de vară: iunie, iulie și august, când sarcina de frig necesară climatizării împreună cu sarcina de căldură necesară apei calde de consum determină în mai multe rânduri funcționarea ambelor motoare la capacitate nominală. Producția de energie termică și energie electrică a motoarelor va fi maximă în aceste cazuri. Randamentul trigenerării în aceste intervale orare, 85,24 %, va fi net superior producerii separate, prin metoda clasică, a energiei termice în centrale termice și a energiei electrice în centrale termoelectrice, estimat în literatura de specialitate la 58 %, [15]. Randamentul global minim rezultat, 63,40 %, este deasemenea mai mare decât randamentul producerii separate (clasice) menționat în literatura de specialitate.

Orele de funcționare la capacitate redusă, pe timpul nopții în lunile mai, iunie, iulie, august și septembrie, precum și orele din mijlocul zilei în lunile de tranziție: aprilie și octombrie determină oprirea motoarelor termice și funcționarea doar a boilerului. Acesta nu produce energie electrică și prin urmare nu au fost analizate valorile de randament pe aceste intervale orare, nefiind vorba de co/trigenerare. Pe aceste intervale orare discuția ar fi fost doar despre randamentul cazanului, în afara scopului tezei.

Media eficienței globale orare anuale, calculată doar pentru orele în care a funcționat cel puțin unul dintre motoarele termice este 74,16 %

Perspectivă pentru cercetarea viitoare sunt: analiza aplicabilității sistemului în condiții climatice variabile (alte zone climatice decât zona II, București) și asupra unor tipuri diferite de consumatori (altele decât rezidențial) precum și studiul optimizării sistemelor de trigenerare cu surse de bază motoare cu combustie internă.

4 REFERINȚE

- [1] V. I. R. F. F. I. G. Mărcuș, „Efficiency analysis of a CHP plant, based on reciprocating engines as prime movers and a hot water boiler as peak source,” *RRIC*, vol. 9, nr. 3, pp. 278-291, 2018.
- [2] C. P. M. G. P. N. Negurescu, *Motoare cu aprindere internă, Procese*, București: Matrix Rom, 1996.
- [3] V. I. F. I. A. I. G. Mărcuș, „Energy analysis of a CHP plant with internal combustion engines, for a district heating system, based on the information from the annual database,” în *1st Conference of the UTCB Doctoral School*, București, 2018.
- [4] C. I. L. G. Mărcuș, „Partial load efficiency analysis of a CCHP plant with RICE and H₂O-LiBr absorption chiller,” în *REHVA 13th HVAC World Congress CLIMA 2019*, Bucharest, 2019.
- [5] L. D. I. C. R. D. T. C. G. B. T. M. L. D. j. A. R. D. T. M. S. V. P. V. V. V. V. Șt. Vintilă, „Enciclopedie Tehnică de Instalații,” în *Manualul de Instalații, Instalații Sanitare*, București, ARTECNO, 2010, p. 46.
- [6] L. A. J. S. E. Fuentes, „A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis,” *Renewable and Sustainable Energz Reviews*, nr. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.229>, 2017.
- [7] U. U. C. N. U. G. A. I. U. T. U. T. B. I. B. UTCB, „Partea II-3, Performanța energetică a instalațiilor din clădiri,” în *Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor*, București, MDRAP, 2006, pp. Partea II-3 apa caldă.
- [8] „Enciclopedie Tehnică de Instalații,” în *Manualul de Instalații, Instalații de Încălzire*, București, ARTECNO, 2010, p. 66.
- [9] U. U. C. N. U. G. A. I. U. T. U. T. B. I. B. UTCB, „Partea II-1, Performanța energetică a instalațiilor din clădiri,” în *Metodologia de calcul al performanței energetice a clădirilor*, București, MDRAP, 2006, pp. Partea II-1 încălziri.
- [10] „<https://www.e-distributie.com>,” Enel, Operator de rețea Muntenia, [Interactiv]. Available: <https://www.e-distributie.com/ro-RO/Pagini/muntenia.aspx>. [Accesat 16 03 2019].
- [11] A. D. I. C. D. Enache, „Îndrumător de proiectare vol. I,” în *Instalații de Ventilare și Climatizare*, București, MATRIX ROM, 2005.
- [12] U. U. C. N. U. G. A. I. U. T. U. T. B. I. B. UTCB, „Partea II-2, Performanța energetică a instalațiilor din clădiri,” în *Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor*, București, MDRAP, 2006, pp. Partea II-2 ventilații.
- [13] V. I. Iolanda Colda, Autor, *Consum energetic al instalațiilor de ventilare*. [Performance]. FII UTCB, 2013.
- [14] G. Tausan, „Cap. 2 Noțiuni aer uscat umed .pdf,” [Interactiv]. Available: https://www.academia.edu/.../CAP_2_NOTIUNI_AER_USCAT_SI_UMED_def.pdf. [Accesat 07 iulie 2019].
- [15] under co-ordination of dr. Bruce Ramsay, „The European Educational Tool on Cogeneration,” în *EDUCOGEN*, vol. Second Edition, European Commission, December 2001, p. 8.
- [16] Natural Resources Canada, „RETScreen Expert (free version) download for PC,” 19 September 2016. [Interactiv]. Available: <https://en.freedownloadmanager.org/.../RETScreen-Expert.ht...> [Accesat 26 February 2019].

- [17] Ț. S. M. U. L. FRUNZULICĂ Rodica, „Modalitatea optima si exemplu de selectie a solutiei de cogenerare de mica putere pentru consumatorii de tip condominiu,” în *Conferinta Eficienta, confort, conservarea energiei si protectia mediului (editia a XIV-a*, București, 2010.
- [18] R. H. System, „<http://www.calor.ro/documents/products/32660/Cazane%20fonta%20Rima%20RS%20-%20Manual%20date%20tehnice%20limba%20engleza.pdf>,” Rima Heating Systems. [Interactiv]. [Accesat 08 IUNIE 2019].
- [19] M. Engines, „https://www.engines.man.eu/man/.../Power_Gas_EN_150927...,” MAN Engines. [Interactiv]. [Accesat 08 iunie 2019].
- [20] C. SANYO, „acare.eu/CarrierCD/Litt/11615_PSD_11_05.pdf,” CARRIER SANYO. [Interactiv]. [Accesat 15 DECEMBRIE 2018].
- [21] „Enciclopedie Tehnică de Instalații,” în *Manualul de Instalații - Instalații de Ventilare și Climatizare*, București, ARTECNO, 2010, p. 14.
- [22] P. B. G. F. P. F. P. Arcuri, „Optimal design of a small size trigeneration plant in civil users: A MINLP (Mixed Integer Non Linear Programming Model),” *ELSEVIER*, vol. Energy 80 (2015), p. 631, 2014.