

Bilanț termoeenergetic pe centrala termică a unei fabrici de bere

Breviar de calcul

Cluj-Napoca: 2013

Cuprins

1. DESCRIEREA ECHIPAMENTELOR	3
1.1. Descrierea centralei termice	3
1.2. Caracteristici tehnice și descrierea cazanului Viessmann	3
1.3. Caracteristici tehnice și descrierea cazanului Loos	5
1.4. Aparate de măsură	7
2. BILANȚ TERMOENERGETIC REAL PE CAZANE	10
2.1. Analiza compoziției gazelor de ardere	10
2.2. Calculul arderii	12
2.2.1. Ecuația arderii	12
2.2.2. Calculul debitelor componentelor participante și rezultate din ardere	13
2.2.3. Calculul participațiilor volumice ale componentelor gazelor de ardere	15
2.2.4. Calculul presiunilor parțiale ale componentelor gazelor de ardere	16
2.2.5. Calculul densității gazelor de ardere	17
2.2.6. Calculul participației masice a componentelor gazelor de ardere	18
2.2.7. Calculul entalpiei gazelor de ardere, evacuate pe coșul de fum	19
2.2.8. Calculul puterii termice exhaustate, care se poate recupera	20
2.2.9. Calculul puterii termice rezultate în urma arderii	22
2.3. Calculul puterii termice introduse cu combustibilul	23
2.4. Calculul puterii termice introduse cu aerul de combustie	24
2.5. Calculul puterii termice utile	25
2.6. Calculul puterii termice pierdute prin pereți	28
2.7. Puterea termică pierdută prin purjare	29
2.8. Bilanțul termoeenergetic real	30
2.8.1. Bilanțul termoeenergetic real pentru regimul mediu de funcționare	30
2.8.2. Bilanțul termoeenergetic real pentru regimul nominal de funcționare	32
2.8.3. Bilanțul termoeenergetic real pentru funcționarea la 75% din puterea nominală	34
2.8.4. Bilanțul termoeenergetic real pentru funcționarea la 50% din puterea nominală	36
3. IMPACTUL ASUPRA MEDIULUI	38
3.1. Considerații generale	38
3.2. Considerații privind emisiile de NO _x	39
3.3. Considerații privind emisiile de CO ₂	40
3.4. Concluzii privind impactul asupra mediului	40

1. DESCRIEREA ECHIPAMENTELOR

1.1. Descrierea centralei termice

Centrala termică deservește o fabrică de bere, iar în procesul de fabricație a berii este necesar consumul de abur, în diverse procese tehnologice: fierbere, pasteurizare, etc.

...

Principalele componente ale centralei termice sunt:

- Cazan abur saturat Viessmann tip Vitomax 200 HS (8 t/h; 10 bar)
- Arzător Weishaupt tip G70 / 1 – A
- Cazan abur saturat LOOS tip UL-6 (5 t/h; 10 bar)
- Arzător Weishaupt tip RGMS 11/1-D

1.2. Caracteristici tehnice și descrierea cazanului Viessmann

Principalele caracteristici tehnice ale cazanului de abur saturat Viessmann sunt:

Tip cazan: Viessmann Vitomax 200 HS
An: 2002
Debit abur (max): 8000 kg/h
Presiune abur: 10 bar
Volum: 16100 l
Temperatura abur: 184 °C
Putere: 5200 kW
Combustibil: Gaz metan

Arzător: Weishaupt tip G70 / 1 – A
Versiune; ZM
An: 2002
Putere: 1000...8200 kW
Presiune: 15...500 mbar
Gaz tip: N
Cat.: 112H3
Protecție: IP 40

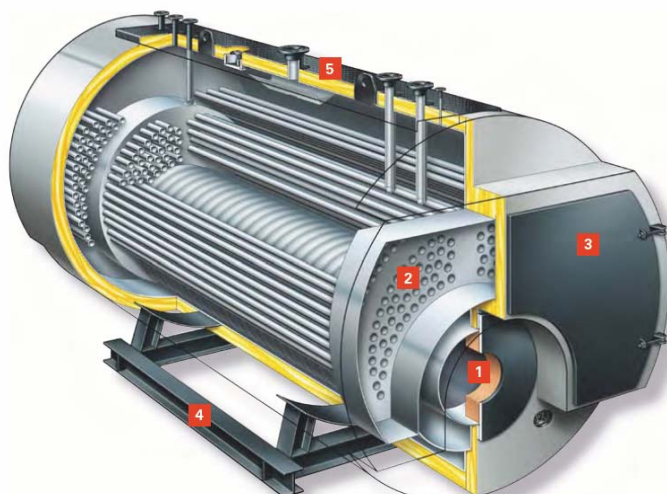
Economizor: Rosink
Tip: ECO 8TO
Putere: 276 kW
Temp. de lucru: 195°C
Volum nominal: 143 l

În figura alăturată este prezentat un cazan de tip Viessmann Vitomax 200 HS



Cazan de tip Viessmann Vitomax 200 HS

În figura alăturată este prezentată schema constructivă a unui cazan Viessmann Vitomax 200 HS



Schema constructivă a unui cazan Viessmann Vitomax 200 HS

1 – Cameră de ardere; 2 – Țevi de fum; 3 – Ușă vizitare; 4 – Suport; 5 – Izolație termică

În figurile alăturate este prezentat cazanul de abur saturat Viessmann Vitomax 200 HS din centrala termică a beneficiarului.



Cazanul de abur saturat Viessmann Vitomax 200 HS

1.3. Caracteristici tehnice și descrierea cazanului Loos

Principalele caracteristici ale cazanului de abur saturat Loos sunt:

Tip cazan:	LOOS tip UL-6 cu tub de flacara si tevi de fum http://www.bosch-industrial.com/en/
Debit maxim de abur:	5000 kg/h
Presiune abur:	10 bar
Volum:	6990 l
Temperatură de lucru:	184°C
Putere:	3262 kW
Combustibil:	Gaz metan

Principalele caracteristici ale arzătorului sunt:

Arzător:	Weishaupt tip RGMS 11/1-D
Putere:	900 ... 4750 kW
Presiune:	15 ... 600 mbar

Principalele caracteristici ale economizorului sunt:

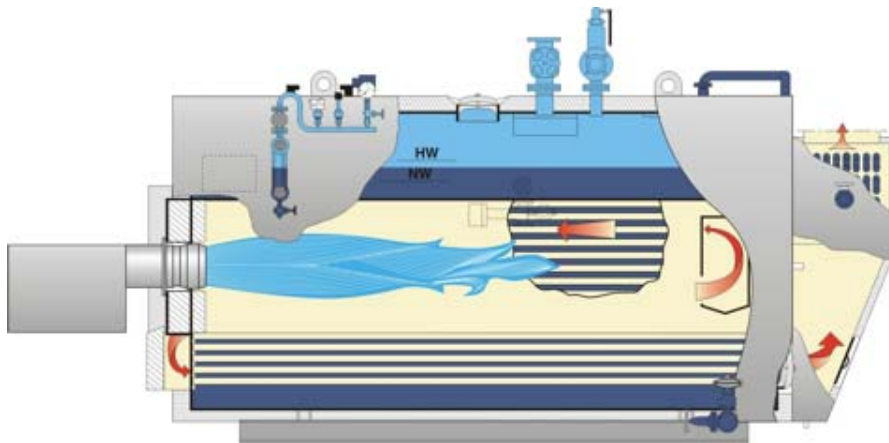
Economizor:	LOOS
Tip:	AWT 1
Putere:	173 kW
Temperatură:	235 °C
Presiune:	30 bar
Volum:	63 l

În figura alăturată este prezentat un cazan de abur LOOS de tip UL



Cazan de abur LOOS de tip UL

În figura alăturată este prezentată schema constructivă a cazanului de abur LOOS de tip UL.



Schema constructivă a cazanului LOOS de tip UL

În figurile alăturate este prezentat cazanul de abur LOOS tip UL-6 din centrala termică a beneficiarului.



Cazanul de abur tip UL-6

1.4. Aparate de măsură

În vederea realizării auditului termoenergetic au fost realizate măsurători, în data de ..., la sediul ... Au fost utilizate aparatele și instrumentele de măsură care echipează instalațiile analizate, precum și mai multe aparate și instrumente de măsură, după cum urmează.

Analizor de gaze de tip MAXILYZER NG, indicat în figura alăturată.



Analizor de gaze de tip MAXILYZER NG

Mărimi măsurate:

O₂, CO, NO, NO₂, SO₂, CO_{max}, temperatură gaze de ardere, temperatură aer de combustie, presiuni, etc.

Link informații suplimentare:

<http://www.afriso.ro/maxilyzer.html>

Camera de termoviziune tip HT 1160 pentru utilizări profesionale, recomandată pentru aplicații industriale diverse în construcții, electrotehnică, instalații, cuptoare industriale, etc.



Camera de termoviziune

Domeniu de măsurare: -10 ... 350°C;

Link informații suplimentare:

http://support.flir.com/DsDownload/Assets/49001-1601_en_50.pdf

Aparat pentru măsurarea temperaturii de la distanță fără contact de tip **RIDGID MicroRay IR-100 Infrared Thermometer**, pentru utilizări profesionale, recomandat pentru utilizare în instalații termice, frigorifice și condiționarea aerului, indicat în figura alăturată.



Aparat pentru măsurarea temperaturii de la distanță fără contact
RIDGID MicroRay IR-100 Infrared Thermometer

Domeniul de măsură: -30...+500°C

Link informații suplimentare:

<http://www.ridgid.com/Tools/IR100-Thermometer/index.htm>

Aparat pentru măsurarea temperaturii de la distanță fără contact de tip **DOSTMANN ScanTemp 440**, pentru utilizări profesionale, recomandat pentru utilizare în instalații termice, frigorifice și condiționarea aerului, indicat în figura alăturată.



Aparat pentru măsurarea temperaturii de la distanță fără contact
DOSTMANN ScanTemp 440

Domeniul de măsură: -33°C - +500°C ±2°C sau 2%.

Link informații suplimentare:

<http://www.barber-insys.co.uk/temp/microtemp2.html>

2. BILANȚ TERMOENERGETIC REAL PE CAZANE

2.1. Analiza compoziției gazelor de ardere

Analiza compoziției chimice a gazelor de ardere, a fost efectuată în data de ...

Alăturat, sunt prezentate buletinele de analiză a compoziției chimice a gazelor de ardere, pentru cele două cazane.

```
MAXILYZER
seria ap. 46
-----
Masurare curenta
-----
COMBUSTIBIL
gaz metan
-----
Masura completa
-----
Ora: 10:43:33
Data: 5.12.12
-----
O2 5.0 %
CO 7 PPM
CO2 9.0 %
NO 50 PPM
NOx 51 PPM
SO2 0 PPM
T.gaze 192 °C
T.aer 20.4 °C
Dif.t. 171.6 °C
Randam. 91.4 %
qA 8.6 %
Lambda 1.31
CO 0% 9 PPM
NO 0% 65 PPM
NOx 0% 67 PPM
SO2 0% 0 PPM
-----
Tiraj ---- hPa
Punct C 52.7 °C
Rand.C. 91.4 %
-----
T.cazan: 0°C
Funingine .-.
Reziduu comb. ..
```

Cazanul Loos

```
MAXILYZER
seria ap. 46
-----
Masurare curenta
-----
COMBUSTIBIL
gaz metan
-----
Masura completa
-----
Ora: 10:42:00
Data: 5.12.12
-----
O2 5.0 %
CO 4 PPM
CO2 9.0 %
NO 50 PPM
NOx 51 PPM
SO2 0 PPM
T.gaze 193 °C
T.aer 20.6 °C
Dif.t. 172.4 °C
Randam. 91.3 %
qA 8.7 %
Lambda 1.31
CO 0% 5 PPM
NO 0% 65 PPM
NOx 0% 67 PPM
SO2 0% 0 PPM
-----
Tiraj ---- hPa
Punct C 52.7 °C
Rand.C. 91.3 %
-----
T.cazan: 0°C
Funingine .-.
Reziduu comb. ..
```

Cazanul Loos

```
MAXILYZER
seria ap. 46
-----
Masurare curenta
-----
COMBUSTIBIL
gaz metan
-----
Masura completa
-----
Ora: 10:07:17
Data: 5.12.12
-----
O2 3.4 %
CO 4 PPM
CO2 9.9 %
NO 78 PPM
NOx 81 PPM
SO2 0 PPM
T.gaze 145 °C
T.aer 16.1 °C
Dif.t. 128.9 °C
Randam. 94.0 %
qA 6.0 %
Lambda 1.19
CO 0% 6 PPM
NO 0% 94 PPM
NOx 0% 96 PPM
SO2 0% 0 PPM
-----
Tiraj ---- hPa
Punct C 54.7 °C
Rand.C. 94.0 %
-----
T.cazan: 0°C
Funingine .-.
Reziduu comb. ..
```

Cazanul Viessmann

Buletinele de analiză a compoziției chimice a gazelor de ardere, pentru cele două cazane

În tabelul alăturat, sunt prezentate valorile celor mai importanți parametri ai analizei compoziției chimice a gazelor de ardere. Pentru cazanul Viessmann sunt prezentate valori extrase din buletinul de analiză, iar pentru cazanul Loos sunt prezentate valori medii calculate din cele două buletine de ardere.

Sinteza analizei compoziției chimice a gazelor de ardere, pentru cele două cazane

Parametru	Valoare cazanul Viessmann	Valoare cazanul Loos	u.m.
CO	4	5.5	ppm
CO ₂	9.9	9	%
NO	78	50	ppm
NO _x	81	51	ppm
t _{gaze}	145	193	°C
λ	1.19	1.31	-
η _{ardere}	94.0	91.4	%

Din analiza compoziției chimice a gazelor de ardere se constată următoarele:

- Prezența în gazele de ardere a CO, la ambele cazane
- Prezența în gazele de ardere a NO și NO_x, la ambele cazane
- Temperatura relativ scăzută a gazelor de ardere evacuate pentru cazanul Viessmann și temperatura relativ ridicată a gazelor de ardere pentru cazanul Loos
- Exces de aer prea mic pentru cazanul Viessmann și exces de ardere prea mare pentru cazanul Loos
- Randamentul arderii relativ bun pentru cazanul Viessmann și relativ scăzut pentru cazanul Loos

Observații:

Datorită prezenței în compoziția gazelor de ardere a CO, se recomandă revizia și reglarea arzătoarelor care echipează ambele cazane.

Pentru cazanul Viessmann, prezența în compoziția gazelor de ardere a CO, poate fi explicată prin valoarea relativ redusă a excesului de aer ($\lambda=1.19$), datorită căreia nu se poate asigura arderea completă a gazului metan.

Pentru cazanul Loos, prezența în compoziția gazelor de ardere a CO, poate fi explicată prin valoarea prea mare a excesului de aer ($\lambda=1.31$), datorită căreia aerul în exces îndepărtează flacăra de arzător și împiedică realizarea arderii complete a gazului metan.

Valorile recomandate pentru excesul de aer se încadrează în intervalul $\lambda=(1.2 - 1.25)$. În consecință se recomandă creșterea excesului de aer pentru cazanul Viessmann și reducerea excesului de aer pentru cazanul Loos.

Pentru cazanul Viessmann, randamentul relativ bun al arderii poate fi explicat prin faptul că analiza compoziției chimice a gazelor de ardere a fost realizată după economizor, unde temperatura gazelor de ardere este mai scăzută, deoarece gazele de ardere au contribuit și la preîncălzirea apei de alimentare a cazanului.

Pentru cazanul Loos, randamentul relativ scăzut al arderii poate fi explicat prin faptul că analiza compoziției chimice a gazelor de ardere a fost realizată înainte de economizor, unde gazele de ardere au contribuit și la preîncălzirea apei de alimentare a cazanului. Acest efect benefic al economizorului, nu este luat în considerare la calculul randamentului arderii, în cazul determinării compoziției gazelor de ardere între evacuarea din cazan și intrarea în economizor. În realitate, randamentul arderii în cazanul Loos este mai ridicat, datorită prezenței economizorului.

2.2. Calculul arderii

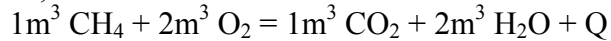
2.2.1. Ecuația arderii

Ecuația arderii metanului (CH_4) este:



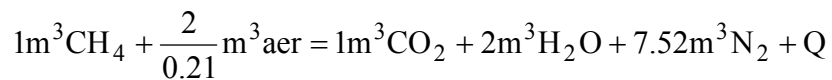
unde Q [kJ] reprezintă căldura rezultată în urma arderii.

Din punct de vedere cantitativ, această ecuație poate fi exprimată în moli sau unități volumice, deoarece $1 \text{ mol} = 22.414 \text{ l}$; $1 \text{ kmol} = 22.414 \text{ m}^3$.



Volumul minim de aer necesar arderii se determină considerând că aerul este compus din oxigen și azot, cu participația volumică a oxigenului în aer $v_{\text{O}_2} = 21\%$ și participația volumică a azotului în aer $v_{\text{N}_2} = 79\%$.

Astfel la $2\text{m}^3 \text{O}_2$ corespund $\frac{2}{0.21} = 9.52 \text{ m}^3$ aer, care conține $2\text{m}^3 \text{O}_2$ și 7.52 m^3 azot, care este inert, nu participă la ardere și se va regăsi în gazele de ardere.



2.2.2. Calculul debitelor componentelor participante și rezultate din ardere

Considerând debitul volumic de combustibil \dot{V}_{cb} [m³/s], se pot determina debitul de aer, precum și debitele componentelor din gazele de ardere și debitul volumic al gazelor de ardere rezultate.

Debitul de aer minim necesar arderii $\dot{V}_{aer,min}$ [m³/s] se determină cu relația:

$$\dot{V}_{aer,min} = 9.52 \cdot \dot{V}_{cb}$$

Având în vedere că în procesele reale de ardere nu poate fi asigurată arderea stoichiometrică, debitul real de aer participant la ardere (\dot{V}_{aer}), este mai mare decât cel minim necesar.

Coefficientul excesului de aer (λ) se determină cu relația:

$$\lambda = \frac{\dot{V}_{aer}}{\dot{V}_{aer,min}} [-]$$

Debitul real de aer care participă la ardere \dot{V}_{aer} [m³/s] se determină cu relația:

$$\dot{V}_{aer} = \lambda \cdot \dot{V}_{aer,min}$$

Pentru arderea metanului în procese de încălzire și industriale, valoarea recomandată pentru excesul de aer se încadrează în domeniul de valori $\lambda=(1.1 - 1.2)$ conform:

http://www.engineeringtoolbox.com/stoichiometric-combustion-d_399.html

În practica exploatării cazanelor de apă caldă, apă fierbinte și de abur, ca și în general în cazul exploatării arzătoarelor industriale, se recomandă pentru excesul de aer, încadrarea în intervalul $\lambda=(1.2 - 1.25)$.

Debitul volumic de CO₂ din gazele de ardere \dot{V}_{CO_2} [m³/s] se determină cu relația:

$$\dot{V}_{CO_2} = \dot{V}_{cb}$$

Debitul volumic al vaporilor de apă din gazele de ardere \dot{V}_{H_2O} [m³/s] se determină cu relația:

$$\dot{V}_{H_2O} = 2 \cdot \dot{V}_{cb}$$

Debitul volumic de N₂ din gazele de ardere \dot{V}_{N_2} [m³/s] se determină cu relația:

$$\dot{V}_{N_2} = 7.52 \cdot \dot{V}_{cb}$$

Debitul de aer din gazele de ardere $\dot{V}_{aer,g}$ [m³/s] reprezintă debitul volumic de aer în exces:

$$\dot{V}_{aer,g} = (\lambda - 1) \cdot \dot{V}_{aer,min} = (\lambda - 1) \cdot 9.52 \cdot \dot{V}_{cb}$$

Debitul volumic al gazelor de ardere \dot{V}_g [m³/s] se determină cu relația:

$$\dot{V}_g = \dot{V}_{CO_2} + \dot{V}_{H_2O} + \dot{V}_{N_2} + \dot{V}_{aer,g} = [1 + 2 + 7.52 + (\lambda - 1) \cdot 9.52] \cdot \dot{V}_{cb}$$

$$\dot{V}_g = [10.52 + (\lambda - 1) \cdot 9.52] \cdot \dot{V}_{cb}$$

Debitele de gaz metan, pentru cele două cazane, sunt prezentate în tabelul alăturat

Debitele de gaz metan

Cazan		u.m.
Viessmann	Loos	
128.37	80.23	m ³ /h
2.14	1.34	m ³ /min
0.04	0.02	m ³ /s

Rezultatele calculului pentru debitul volumic al gazelor exhaustate, sunt prezentate în tabelul alăturat.

Rezultatele calculului pentru debitul volumic al gazelor exhaustate – din calculul arderii

Cazan		u.m.
Viessmann	Loos	
1582.65	1080.79	m ³ /h
26.38	18.01	m ³ /min
0.44	0.30	m ³ /s

Debitul volumic de gaze rezultate la arderea stoichiometrică, se determină cu relația:

$$\dot{V}_{gs} = 10.52 \cdot \dot{V}_{cb}$$

Debitul minim de aer, necesar pentru arderea stoichiometrică și debitul volumic minim de gaze de ardere, rezultat la arderea stoichiometrică, sunt prezentate în tabelele alăturat.

Debitul minim de aer, necesar pentru arderea stoichiometrică

Cazan		u.m.
Viessmann	Loos	
1350.45	844.02	m ³ /h
22.51	14.07	m ³ /min
0.38	0.23	m ³ /s

Excesul de aer a fost determinat experimental, iar valorile debitelor de aer utilizat în mod real pentru combustie sunt prezentate pentru fiecare cazan în parte, în tabelul alăturat.

Debitul de aer utilizat pentru combustie

Cazan		u.m.
Viessmann	Loos	
1607.04	1105.67	m ³ /h
277.49	189.50	m ³ /min
48.15	18.81	m ³ /s

2.2.3 Calculul participațiilor volumice ale componentelor gazelor de ardere

Cunoscând debitele componentelor din gazele de ardere, se pot determina participațiile volumice ale acestora.

Participația volumică a CO₂ din gazele de ardere r_{CO_2} [-] se determină cu relația:

$$r_{CO_2} = \frac{\dot{V}_{CO_2}}{\dot{V}_g} = \frac{1}{1 + 2 + 7.52 + (\lambda - 1) \cdot 9.52} = \frac{1}{10.52 + (\lambda - 1) \cdot 9.52}$$

Participația volumică a vaporilor de apă din gazele de ardere r_{H_2O} [-] se determină cu relația:

$$r_{H_2O} = \frac{\dot{V}_{H_2O}}{\dot{V}_g} = \frac{2}{1 + 2 + 7.52 + (\lambda - 1) \cdot 9.52} = \frac{2}{10.52 + (\lambda - 1) \cdot 9.52}$$

Participația volumică a N₂ din gazele de ardere r_{N_2} [-] se determină cu relația:

$$r_{N_2} = \frac{\dot{V}_{N_2}}{\dot{V}_g} = \frac{7.52}{1 + 2 + 7.52 + (\lambda - 1) \cdot 9.52} = \frac{7.52}{10.52 + (\lambda - 1) \cdot 9.52}$$

Participația volumică a aerului din gazele de ardere $r_{aer,g}$ [-] se determină cu relația:

$$r_{aer,g} = \frac{\dot{V}_{aer,g}}{\dot{V}_g} = \frac{(\lambda - 1) \cdot 9.52}{1 + 2 + 7.52 + (\lambda - 1) \cdot 9.52} = \frac{(\lambda - 1) \cdot 9.52}{10.52 + (\lambda - 1) \cdot 9.52}$$

Pentru calculul participațiilor volumice a componentelor gazelor de ardere fost realizat un program de calcul, iar rezultatele acestuia sunt prezentate alăturat.

Rezultatele calculului participațiilor volumice ale componentelor gazelor exhaustate, sunt prezentate în tabelul alăturat.

Rezultatele calculului participațiilor volumice ale componentelor gazelor exhaustate

Component	Cazan		u.m.
	Viessmann	Loos	
CO ₂	8.11	7.42	%
H ₂ O	16.22	14.85	%
N ₂	61.00	55.82	%
Aer exces	14.67	21.91	%
Suma	100.00	100.00	%

2.2.4. Calculul presiunilor parțiale ale componentelor gazelor de ardere

Presiunile parțiale (p_i [bar]) ale fiecărei componente din gazele de ardere, se determină în funcție de presiunea gazelor de ardere p_g [bar] și de participația volumică r_i a fiecărei componente, cu relația:

$$p_i = p_g \cdot r_i$$

Se consideră $p_g \approx 1$ bar.

Rezultatele calculului presiunilor parțiale ale componentelor gazelor exhaustate, sunt prezentate în tabelul alăturat.

Rezultatele calculului presiunilor parțiale ale componentelor gazelor exhaustate

Component	Cazan		u.m.
	Viessmann	Loos	
CO ₂	0.08	0.07	bar
H ₂ O	0.16	0.15	bar
N ₂	0.61	0.56	bar
Aer exces	0.15	0.22	bar
Pres. totală	1.00	1.00	bar

2.2.5. Calculul densității gazelor de ardere

Densitatea gazelor de ardere (ρ [kg/m^3]), considerate ca amestec de gaze perfecte, s-a determinat cu relația:

$$\rho = \sum \rho_i r_i \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

unde:

- ρ_i [kg/m^3] este densitatea fiecărui componente din gazele de ardere, considerat ca gaz perfect și a fost determinată cu ajutorul unui program de calcul, în funcție de temperatura gazelor de ardere și de presiunea parțială a fiecărui component în parte.

Rezultatele calculului densității componentelor gazelor exhaustate, sunt prezentate în tabelul alăturat.

Rezultatele calculului densității componentelor gazelor exhaustate

Component	Cazan		u.m.
	Viessmann	Loos	
CO ₂	0.10	0.08	kg/m ³
H ₂ O	0.08	0.07	kg/m ³
N ₂	0.49	0.40	kg/m ³
Aer exces	0.12	0.16	kg/m ³
Dens. totală	0.34	0.28	kg/m ³

2.2.6. Calculul participației masice a componentelor gazelor de ardere

Participațiile masice ale componentelor gazelor de ardere (g_i [-]), considerate ca gaze perfecte, s-au determinat cu relația:

$$g_i = r_i \frac{\rho_i}{\rho} [-]$$

unde:

- r_i [-] este participația volumică a componentelor gazelor de ardere
- ρ_i [kg/m^3] este densitatea fiecărui componente din gazele de ardere, considerat ca gaz perfect și a fost determinată cu ajutorul unui program de calcul, în funcție de temperatura gazelor de ardere și de presiunea parțială a fiecărui component în parte
- ρ [kg/m^3] este densitatea gazelor de ardere, considerată ca amestec de gaze perfecte

Rezultatele calculului participației masice a componentelor gazelor exhaustate, sunt prezentate în tabelul alăturat.

Rezultatele calculului participației masice a componentelor gazelor exhaustate

Component	Cazan		u.m.
	Viessmann	Loos	
CO ₂	2.45	2.25	%
H ₂ O	4.02	3.70	%
N ₂	88.25	81.13	%
Aer exces	5.28	12.92	%
Suma	100.00	100.00	%

2.2.7. Calculul entalpiei gazelor de ardere, evacuate pe coșul de fum

Entalpia gazelor de ardere (h_g [kJ/kg]) se determină cu relația:

$$h_g = \sum h_i \cdot g_i \text{ [kJ/kg]}$$

unde

- h_i [kJ/kg] este entalpia specifică a fiecărui component din gazele de ardere, considerat ca gaz perfect și a fost determinată cu ajutorul unui program de calcul, la temperatura și presiunea gazelor de ardere
- g_i [-] este participația masică a fiecărui component din gazele de ardere, considerat ca gaz perfect și a fost determinată cu ajutorul unui program de calcul

Rezultatele calculului entalpiei componentelor gazelor exhaustate, sunt prezentate în tabelul alăturat.

Rezultatele calculului entalpiei componentelor gazelor exhaustate

Component	Cazan		u.m.
	Viessmann	Loos	
CO ₂	107.7	154.5	kJ/kg
H ₂ O	2766.0	2861	kJ/kg
N ₂	434.4	484.8	kJ/kg
Aer exces	419.7	468.7	kJ/kg
Gaze ex.	519.4	563.0	kJ/kg
		511.3*	kJ/kg

* La temperatura estimată la ieșirea din economizor (145 °C)

2.2.8. Calculul puterii termice exhaustate, care se poate recupera

Debitul masic al gazelor de ardere (\dot{m}_g [kg/s]) se calculează cu relația:

$$\dot{m}_g = \rho_g \cdot \dot{V}_g$$

Sarcina (puterea) termică pierdută pe coșul de fum \dot{Q}_g [kW] și care se poate recupera prin utilizarea unui economizor, se determină cu relația:

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_g \cdot \Delta h_g$$

unde:

- Δh_g [kJ/kg] reprezintă variația entalpiei gazelor de ardere, între temperaturile considerate

Se consideră că recuperarea de căldură ar putea fi realizată până la temperatura gazelor exhaustate de 120°C.

Rezultatele calculului pentru debitul masic al gazelor exhaustate, sunt prezentate în tabelul alăturat.

Rezultatele calculului debitului masic al gazelor exhaustate

Cazan		u.m.
Viessmann	Loos	
537.63	302.62	kg/h
8.96	5.04	kg/min
0.15	0.08	kg/s

Valorile entalpiilor gazelor exhaustate, la temperatura de 120°C, sunt prezentate în tabelul alăturat. Sub 120°C, există pericolul de condensare a umidității din aer pe suprafața interioară a coșului de fum și combinarea chimică cu anumite componente din gazele de ardere, care pot determina un caracter acid al umidității. Fenomenul este cunoscut sub denumirea de rouă acidă și trebuie evitat.

Valorile entalpiilor gazelor exhaustate, la temperatura de 120°C

Cazan		u.m.
Viessmann	Loos	
492.4	484.5	kJ/kg

Valorile puterilor termice pierdute prin gazele de ardere evacuate, sunt prezentate în tabelul alăturat.

Valorile puterilor termice pierdute prin gazele de ardere evacuate

Cazan		u.m.
Viessmann	Loos	
64.94	35.88	kW

Rezultatele calculului pentru puterea termică pierdută pe coșul de fum și care se poate recupera sunt prezentate în tabelul alăturat.

Rezultatele calculului pentru puterea termică recuperabilă pierdută pe coșul de fum

Cazan		u.m.
Viessmann	Loos	
4.03	2.93	kW

Se observă că potențialul de recuperare a căldurii din gazele de ardere evacuate este foarte redus.

2.2.9. Calculul puterii termice rezultate în urma arderii

Puterea calorică inferioară a gazelor naturale este $q_i = 35850 \text{ kJ/m}^3\text{N}$
(cf. CORINAIR 1995 - Ghidul Agenției Europene de Mediu)

http://www.afm.ro/main/venituri_stuf/anaxa002_tarife_calculate_pentru_procese_de_combustie.pdf

Debitul volumic normal de combustibil $\dot{V}_{N,cb} [\text{m}^3\text{N/s}]$ se determină cu relația:

$$\dot{V}_{N,cb} = \dot{V}_{cb} \frac{p_{cb} \cdot T_N}{p_N \cdot T_{cb}}$$

unde:

p_{cb} reprezintă presiunea combustibilului [bar]

p_N reprezintă presiunea normală $p_N = 1.1325 \text{ bar}$

T_{cb} reprezintă temperatura combustibilului [K]

T_N reprezintă temperatura normală $T_N = 273.15 \text{ K}$

Puterea (sarcina) termică $\dot{Q}_a [\text{kW}]$ obținută în urma arderii combustibilului, se determină cu relația:

$$\dot{Q}_a = \dot{V}_{N,cb} \cdot q_i$$

Rezultatele calculului pentru puterea termică obținută în urma arderii combustibilului

Cazan		u.m.
Viessmann	Loos	
1278.35	798.96	kW

2.3. Calculul puterii termice introduse cu combustibilul

Puterea termică introdusă în cazan prin combustibil (\dot{Q}_{cb}), se calculează cu relația:

$$\dot{Q}_{cb} = \dot{m}_{cb} \cdot c_{cb} \cdot t_{cb} \text{ [kW]}$$

unde

\dot{m}_{cb} [kg/s] este debitul masic de combustibil

$c_{cb} = 2.2 \text{ kJ/kgK}$ este căldura specifică a combustibilului

$t_{cb} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ este temperatura combustibilului la intrarea în arzătorul cazanului

Debitul masic de combustibil (\dot{m}_{cb}), se determină cu relația:

$$\dot{m}_{cb} = \rho_{cb} \cdot \dot{V}_{cb} \text{ [kg/s]}$$

unde

$\rho_{cb} = 0.67 \text{ kg/m}^3$ este densitatea combustibilului

\dot{V}_{cb} este debitul volumic de combustibil

Rezultatele calculului puterii termice a introduse în cazan prin combustibil, sunt prezentate în tabelul alăturat.

Rezultatele calculului puterii termice a introduse în cazan prin combustibil

Parametru	Cazan		u.m.
	Viessmann	Loos	
Debit masic combustibil	0.02	0.01	kg/s
Putere termică introdusă cu combustibilul	1.05	0.66	kW

2.4. Calculul puterii termice introduse cu aerul de combustie

Puterea termică introdusă în cazan prin aerul de combustie (\dot{Q}_{aer}), se calculează cu relația:

$$\dot{Q}_{\text{aer}} = \dot{m}_{\text{aer}} \cdot c_{\text{aer}} \cdot t_{\text{aer}} \text{ [kW]}$$

unde

\dot{m}_{aer} [kg/s] este debitul masic de aer pentru combustie

$c_{\text{aer}} = 1 \text{ kJ/kgK}$ este căldura specifică a combustibilului

$t_{\text{aer}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ este temperatura combustibilului la intrarea în arzătorul cazanului

Debitul masic de aer pentru combustie (\dot{m}_{aer}), se determină cu relația:

$$\dot{m}_{\text{aer}} = \rho_{\text{aer}} \cdot \dot{V}_{\text{aer}} \text{ [kg/s]}$$

unde

$\rho_{\text{aer}} = 1.29 \text{ kg/m}^3$ este densitatea aerului de combustie

\dot{V}_{aer} este debitul volumic al aerului de combustie

Rezultatele calculului puterii termice a introduse în cazan prin aerul de combustie, sunt prezentate în tabelul alăturat.

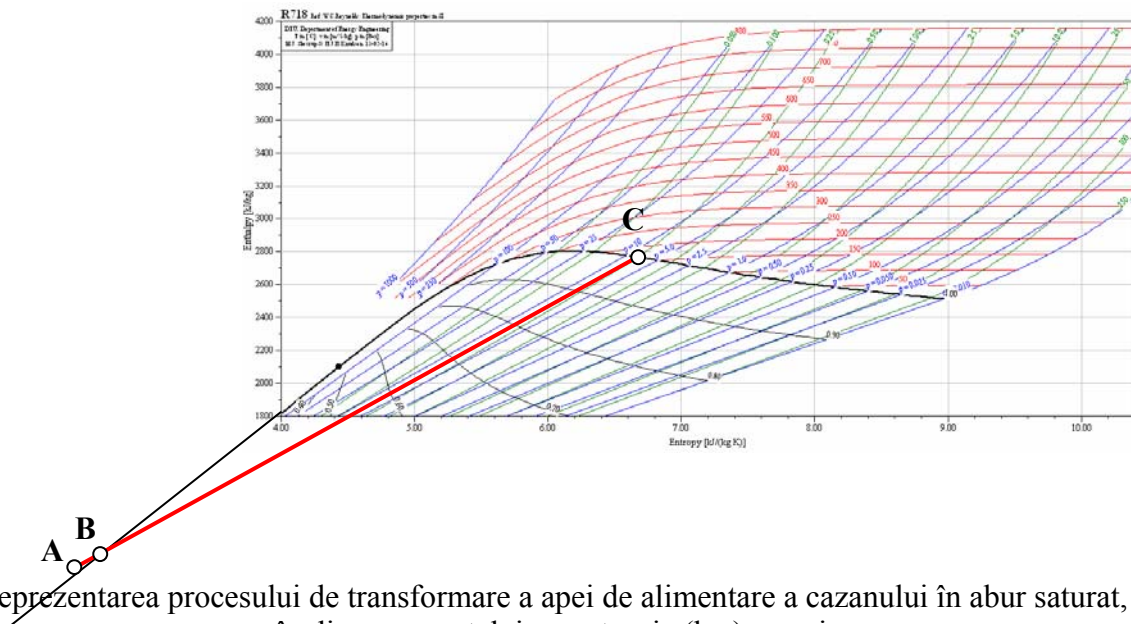
Rezultatele calculului puterii termice a introduse în cazan prin aerul de combustie

Parametru	Cazan		u.m.
	Viessmann	Loos	
Debit masic aer de combustie	0.58	0.40	kg/s
Putere termică introdusă cu aerul de combustie	11.52	7.92	kW

2.5. Calculul puterii termice utile

Puterea termică utilă, reprezintă puterea termică utilizată pentru transformarea apei de alimentare a cazanului în abur saturat. Puterea termică utilă realizează încălzirea apei de alimentare a cazanului până la saturație, urmată apoi de vaporizarea propriu-zisă a apei, respectiv transformarea acesteia în abur saturat.

Procesele termodinamice de lucru, din cazan sunt prezentate în diagrama h-s (entalpie-entropie) alăturată.



Stările termodinamice reprezentate pe diagramă au următoarea semnificație:

- A reprezintă apa de alimentare a cazanului
- B reprezintă apă saturată la presiunea de alimentare a cazanului
- C reprezintă aburul saturat livrat de cazan

Transformările termodinamice reprezentate pe diagramă au următoarea semnificație:

- A-B reprezintă procesul de încălzire a apei de alimentare până la saturație
- B-C reprezintă procesul de vaporizare propriu-zisă a apei

Valorile parametrilor termofizici ai apei și aburului în stările reprezentate pe diagramă, sunt prezentate în tabelul alăturat.

Parametrii termofizici ai apei și aburului

Starea termodinamică	p [*] [bar]	t [°C]	x [-]	h [kJ/kg]
A	8.2	88.0	-	369.10
B	8.2	171.5	0	725.70
C	8.2	171.5	1	2770.00

* Presiunea absolută

Puterea termică utilă poate fi calculată în două moduri:

- Cu ajutorul randamentului arderii (din analiza compoziției gazelor de ardere)
- Cu ajutorul entalpiilor stărilor termodinamice caracteristice procesului din cazan

Cu ajutorul randamentului arderii, puterea termică utilă (\dot{Q}_u) se determină cu relația:

$$\dot{Q}_u = \dot{Q}_a \cdot \eta_a \text{ [kW]}$$

unde

\dot{Q}_a este puterea termică rezultată prin arderea combustibilului

$\eta_a = 94\%$ este randamentul arderii (din analiza compoziției gazelor de ardere)

În tabelul alăturat sunt prezentate rezultatele calculului puterii termice utile, cu ajutorul randamentului arderii.

Rezultatele calculului puterii termice utile, cu ajutorul randamentului arderii

Parametru	Cazan		u.m.
	Viessmann	Loos	
Puterea termică rezultată prin ardere	1278.35	798.96	kW
Puterea termică utilă	1201.65	751.02	kW

Cu ajutorul entalpiilor stărilor termodinamice caracteristice procesului din cazan, puterea termică utilă (\dot{Q}_u) se determină cu relația:

$$\dot{Q}_u = \dot{m} \cdot (h_C - h_A) \text{ [kW]}$$

unde

\dot{m} [kg/s] este debitul masic de apă, respectiv abur

h_A [kJ/kg] este entalpia aburului saturat produs de cazan

h_C [kJ/kg] este entalpia apei de alimentare a cazanului

În tabelul alăturat sunt prezentate rezultatele calculului puterii termice utile, cu ajutorul entalpiilor stărilor termodinamice caracteristice procesului din cazan.

Rezultatele calculului puterii termice utile, cu ajutorul entalpiilor stărilor termodinamice

Parametru	Cazan		u.m.
	Viessmann	Loos	
Debit masic apă / abur	1.80	1.13	t/h
	0.50	0.31	kg/s
Puterea termică utilă	1200.45	753.62	kW

Comparând rezultatele obținute, se observă că valorile puterilor termice utile, calculate prin cele două metode, sunt foarte apropiate ca valoare, deoarece prin cele două metode de calcul s-au obținut practic aceleași rezultate.

2.6. Calculul puterii termice pierdute prin pereți

Puterea termică pierdută prin pereți (\dot{Q}_p), se calculează cu relația:

$$\dot{Q}_p = S \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_p^4 - T_a^4) [\text{kW}]$$

unde:

S [m^2] este suprafața laterală a cazanului

ε este coeficientul de emisivitate al materialului suprafeței radiante, care în cazul tablei din oțel, care acoperă cuptorul, se consideră că are valoarea $\varepsilon = 0.80$

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ este constanta lui Stefan – Boltzmann

T_p este temperatura suprafeței laterale a cazanului, exprimată în K

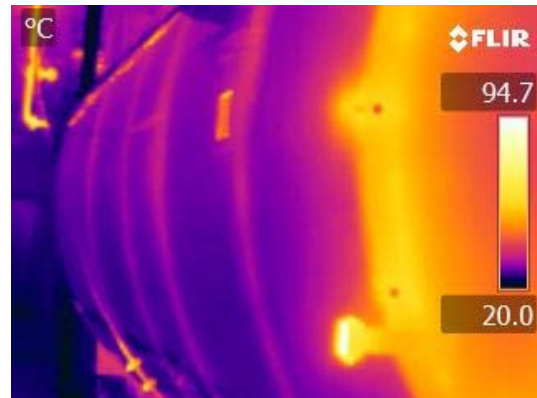
T_a este temperatura ambiantă, exprimată în K

Temperatura medie a suprafețelor laterale ale cazanelor, au fost determinate prin termoviziune.

În figurile alăturate sunt prezentate câteva imagini în domeniul vizibil și în infraroșu, ale suprafețelor laterale ale cazanelor.



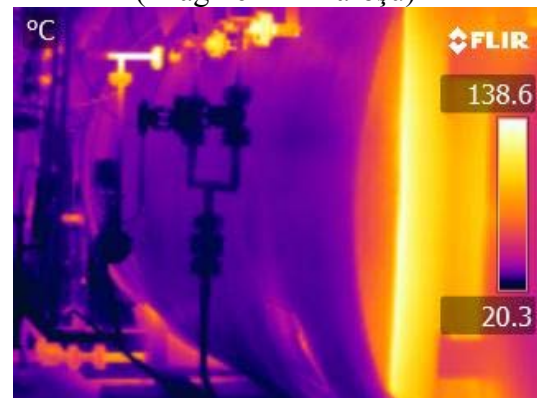
Cazanul Viessmann
(imagine în domeniul vizibil)



Cazanul Viessmann
(imagine în infraroșu)



Cazanul Loos
(imagine în domeniul vizibil)



Cazanul Loos
(imagine în infraroșu)

Având în vedere că regimul de funcționare al cazanelor este caracterizat prin numeroase întreruperi, temperatura medie a suprafețelor laterale nu este foarte ridicată.

În tabelul alăturat, sunt prezentate valorilor calculate ale puterilor termice pierdute prin pereți.

Valorile puterilor termice pierdute prin pereți

Parametru	Cazan		u.m.
	Viessmann	Loos	
Suprafața laterală a cazanului	51.27	30.76	m ²
Temperatura medie a suprafeței pereților	42	42	°C
Temperatura ambiantă	20	20	°C
Puterea termică pierdută prin pereți	19.50	11.70	kW

2.7. Puterea termică pierdută prin purjare

Puterea termică pierdută prin purjare (\dot{Q}_{pj}) a fost estimată ca pondere din puterea termică utilă a cazanului.

Valorile estimate ale puterilor termice pierdute prin purjare, sunt prezentate în tabelul alăturat.

Valorile puterilor termice pierdute prin purjare

Parametru	Cazan		u.m.
	Viessmann	Loos	
Puterea termică pierdută prin purjare	7.00	4.00	kW

2.8. Bilanțul termooenergetic real

2.8.1. Bilanțul termooenergetic real pentru regimul mediu de funcționare

În tabelul alăturat sunt prezentate în mod sintetic, valorile puterilor termice participante la bilanțul termooenergetic, pentru cele două cazane.

Regimurile de lucru reale ale celor două cazane, pentru care a fost determinat bilanțul termooenergetic de puteri, corespunde regimului mediu de funcționare a cazanelor și unei ponderi de 23% din puterea nominală, respectiv din debitul nominal de abur saturat.

Puterile termice participante la bilanțul termooenergetic real,
pentru regimul mediu de funcționare (23% din puterea nominală)

Putere	Valori absolute		Ponderi		u.m.
	Viessmann	Loos	Viessmann	Loos	
Puteri termice intrate în cazan					
Puterea termică rezultată în urma arderii	1278.35	798.96	99.0%	98.9%	kW
Puterea termică introdusă cu aerul de combustie	11.52	7.92	0.9%	1.0%	kW
Puterea termică introdusă cu combustibilul	1.05	0.66	0.1%	0.1%	kW
Puterea termică totală introdusă în cazan	1290.92	807.54	100.0%	100.0%	kW
Puteri termice evacuate din cazan					
Puterea termică utilă	1201.65	751.02	92.9%	93.6%	kW
Puterea termică pierdută prin gazele evacuate	64.94	35.88	5.0%	4.5%	kW
Puterea termică pierdută prin pereți	19.50	11.70	1.5%	1.5%	kW
Puterea termică pierdută prin purjare	7.00	4.00	0.5%	0.5%	kW
Puterea termică totală evacuată din cazan	1293.09	802.59	100.0%	100.0%	kW

În figura alăturată este prezentată diagrama Sankey de puteri pentru cazanul Viessmann, pentru regimul mediu de funcționare (23% din puterea nominală).

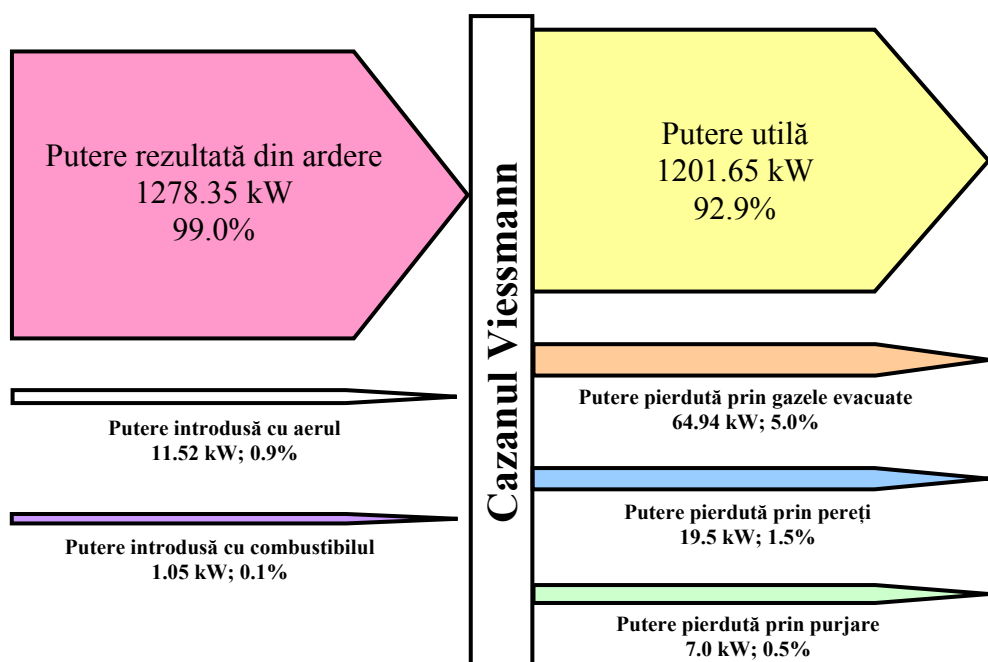


Diagrama Sankey a bilanțului termooenergetic real puteri pentru cazanul Viessmann pentru regimul mediu de funcționare (23% din puterea nominală)

În figura alăturată este prezentată diagrama Sankey de puteri pentru cazanul Loos, pentru regimul mediu de funcționare (23% din puterea nominală).

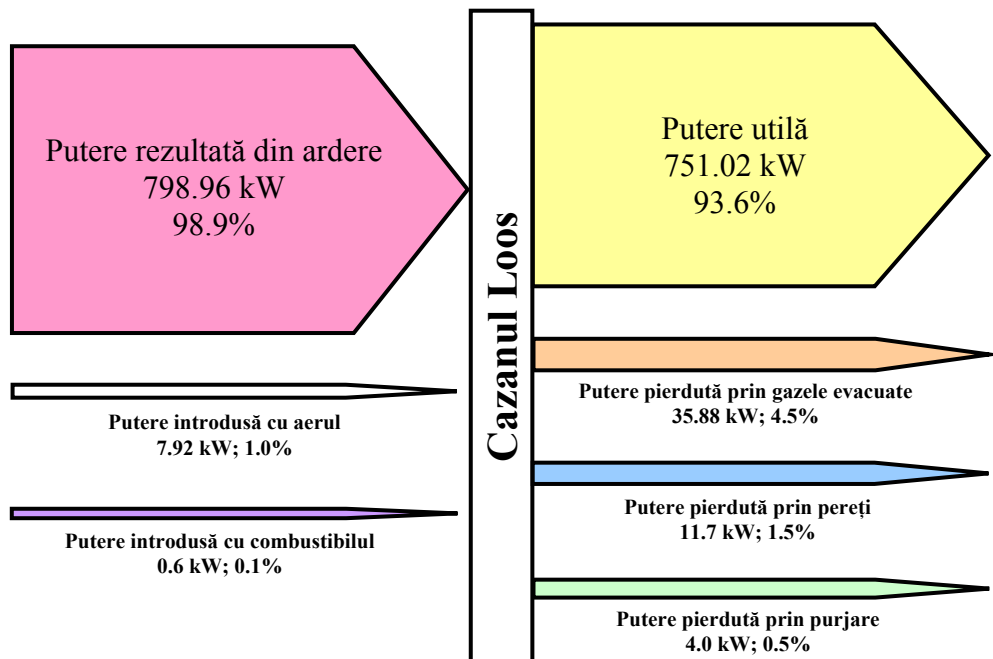


Diagrama Sankey a bilanțului termoenenergetic real puteri pentru cazanul Loos pentru regimul mediu de funcționare (23% din puterea nominală)

2.8.2. Bilanțul termoenergetic real pentru regimul nominal de funcționare

În tabelul alăturat sunt prezentate în mod sintetic, valorile puterilor termice participante la bilanțul termoenergetic, pentru cele două cazane, în regimul nominal de funcționare.

Puterile termice participante la bilanțul termoenergetic real, pentru regimul nominal de funcționare (la puterea nominală)

Putere	Valori absolute		Ponderi		u.m.
	Viessmann	Loos	Viessmann	Loos	
Puteri termice intrate în cazan					
Puterea termică rezultată în urma arderii	5560.00	3470.00	99.3%	99.1%	kW
Puterea termică introdusă cu aerul de combustie	35.00	27.00	0.6%	0.8%	kW
Puterea termică introdusă cu combustibilul	5.00	3.00	0.1%	0.1%	kW
<i>Puterea termică totală introdusă în cazan</i>	5600.00	3500.00	<i>100.0%</i>	<i>100.0%</i>	kW
Puteri termice evacuate din cazan					
Puterea termică utilă	5200.00	3260.00	92.9%	93.1%	kW
Puterea termică pierdută prin gazele evacuate	285.00	175.00	5.1%	5.0%	kW
Puterea termică pierdută prin pereți	85.00	50.00	1.5%	1.4%	kW
Puterea termică pierdută prin purjare	30.00	15.00	0.5%	0.4%	kW
<i>Puterea termică totală evacuată din cazan</i>	5600.00	3500.00	<i>100.0%</i>	<i>100.0%</i>	kW

În figura alăturată este prezentată diagrama Sankey de puteri pentru cazanul Viessmann, pentru regimul nominal de funcționare (la puterea nominală).

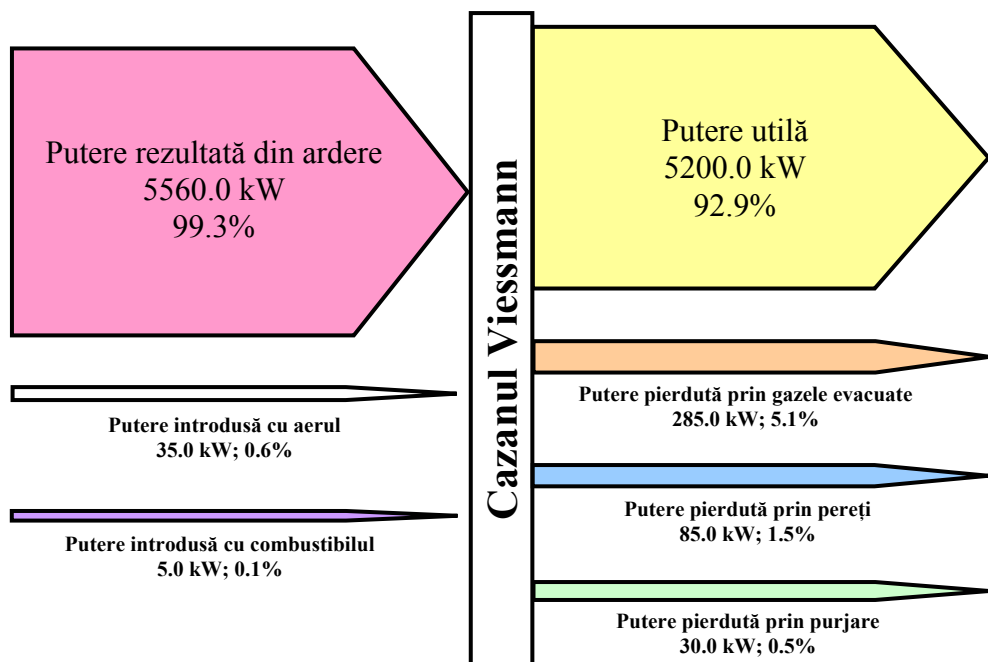


Diagrama Sankey a bilanțului termoenergetic real puteri pentru cazanul Viessmann pentru regimul nominal de funcționare (la puterea nominală)

În figura alăturată este prezentată diagrama Sankey de puteri pentru cazanul Loos, pentru regimul nominal de funcționare (la puterea nominală).

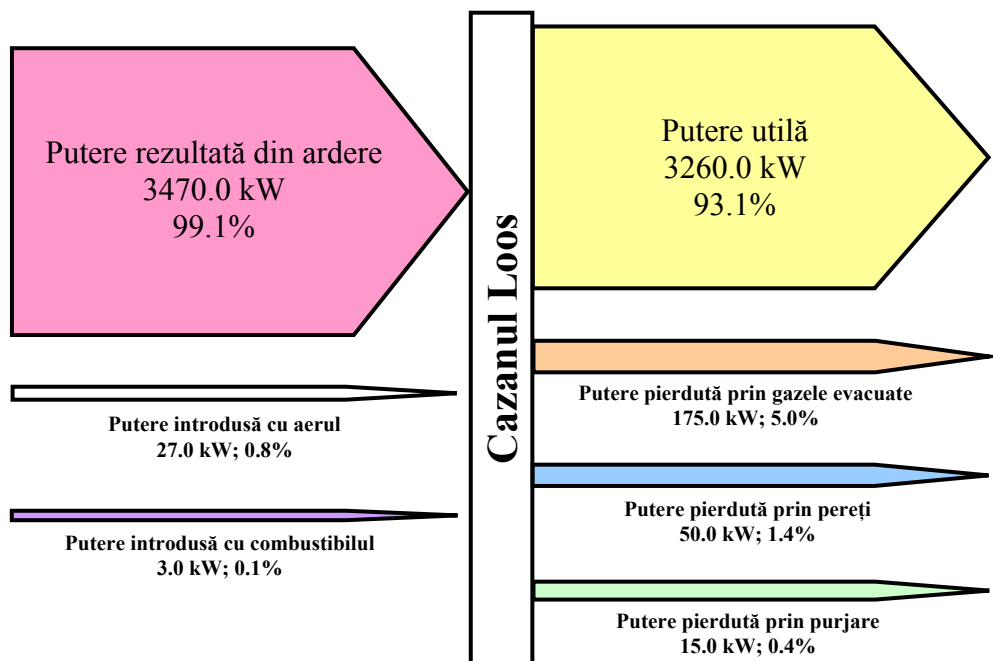


Diagrama Sankey a bilanțului termoenergetic real puteri pentru cazanul Loos pentru regimul nominal de funcționare (la puterea nominală)

2.8.3. Bilanțul termooenergetic real pentru funcționarea la 75% din puterea nominală

În tabelul alăturat sunt prezentate în mod sintetic, valorile puterilor termice participante la bilanțul termooenergetic, pentru cele două cazane, în regimul de funcționare la 75% din puterea nominală.

Puterile termice participante la bilanțul termooenergetic real, pentru regimul nominal de funcționare (la 75% din puterea nominală)

Putere	Valori absolute		Ponderi		u.m.
	Viessmann	Loos	Viessmann	Loos	
Puteri termice intrate în cazan					
Puterea termică rezultată în urma arderii	4170.00	2602.50	99.3%	99.1%	kW
Puterea termică introdusă cu aerul de combustie	26.25	20.25	0.6%	0.8%	kW
Puterea termică introdusă cu combustibilul	3.75	2.25	0.1%	0.1%	kW
<i>Puterea termică totală introdusă în cazan</i>	4200.00	2625.00	<i>100.0%</i>	<i>100.0%</i>	kW
Puteri termice evacuate din cazan					
Puterea termică utilă	3900.00	2445.00	92.9%	93.1%	kW
Puterea termică pierdută prin gazele evacuate	213.75	131.25	5.1%	5.0%	kW
Puterea termică pierdută prin pereți	63.75	37.50	1.5%	1.4%	kW
Puterea termică pierdută prin purjare	22.50	11.25	0.5%	0.4%	kW
<i>Puterea termică totală evacuată din cazan</i>	4200.00	2625.00	<i>100.0%</i>	<i>100.0%</i>	kW

În figura alăturată este prezentată diagrama Sankey de puteri pentru cazanul Viessmann, pentru regimul de funcționare (la 75% din puterea nominală).

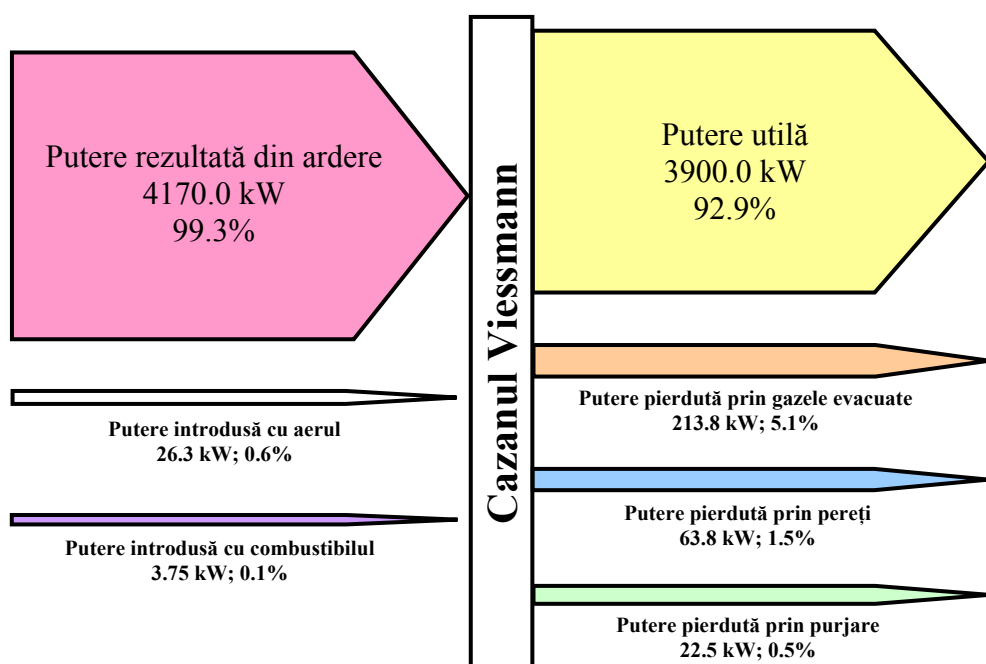


Diagrama Sankey a bilanțului termooenergetic real puteri pentru cazanul Viessmann pentru regimul de funcționare (la 75% din puterea nominală)

În figura alăturată este prezentată diagrama Sankey de puteri pentru cazanul Loos, pentru regimul de funcționare (la 75% din puterea nominală).

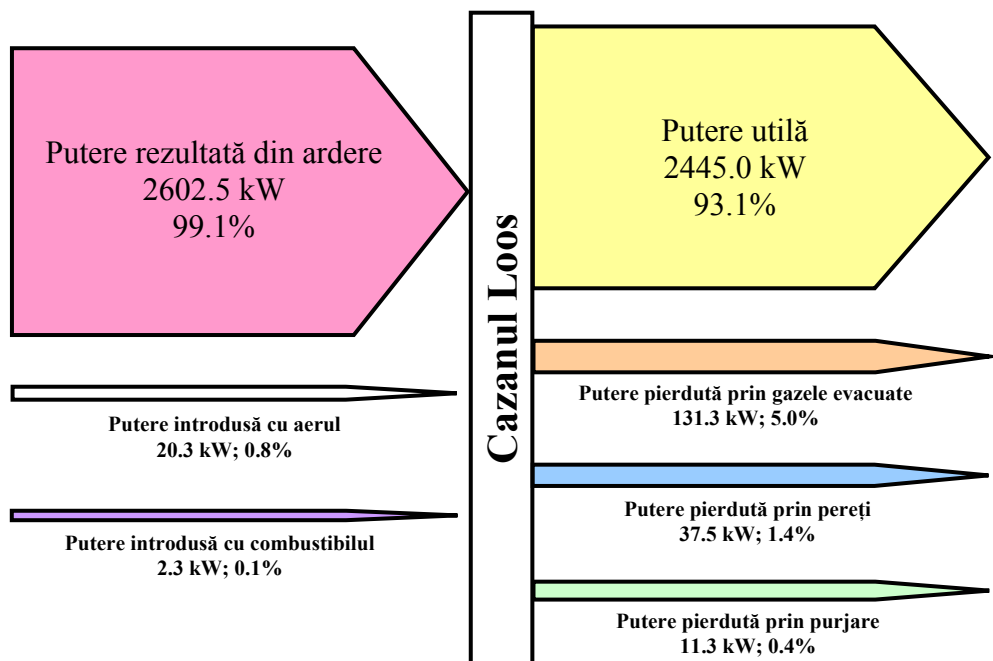


Diagrama Sankey a bilanțului termoenenergetic real puteri pentru cazanul Loos pentru regimul de funcționare (la 75% din puterea nominală)

2.8.4. Bilanțul termooenergetic real pentru funcționarea la 50% din puterea nominală

În tabelul alăturat sunt prezentate în mod sintetic, valorile puterilor termice participante la bilanțul termooenergetic, pentru cele două cazane, în regimul de funcționare la 50% din puterea nominală.

Puterile termice participante la bilanțul termooenergetic real, pentru regimul nominal de funcționare (la 50% din puterea nominală)

Putere	Valori absolute		Ponderi		u.m.
	Viessmann	Loos	Viessmann	Loos	
Puteri termice intrate în cazan					
Puterea termică rezultată în urma arderii	2780.00	1735.00	99.3%	99.1%	kW
Puterea termică introdusă cu aerul de combustie	17.50	13.50	0.6%	0.8%	kW
Puterea termică introdusă cu combustibilul	2.50	1.50	0.1%	0.1%	kW
<i>Puterea termică totală introdusă în cazan</i>	2800.00	1750.00	<i>100.0%</i>	<i>100.0%</i>	kW
Puteri termice evacuate din cazan					
Puterea termică utilă	2600.00	1630.00	92.9%	93.1%	kW
Puterea termică pierdută prin gazele evacuate	142.50	87.50	5.1%	5.0%	kW
Puterea termică pierdută prin pereți	42.50	25.00	1.5%	1.4%	kW
Puterea termică pierdută prin purjare	15.00	7.50	0.5%	0.4%	kW
<i>Puterea termică totală evacuată din cazan</i>	2800.00	1750.00	<i>100.0%</i>	<i>100.0%</i>	kW

În figura alăturată este prezentată diagrama Sankey de puteri pentru cazanul Viessmann, pentru regimul de funcționare (la 50% din puterea nominală).

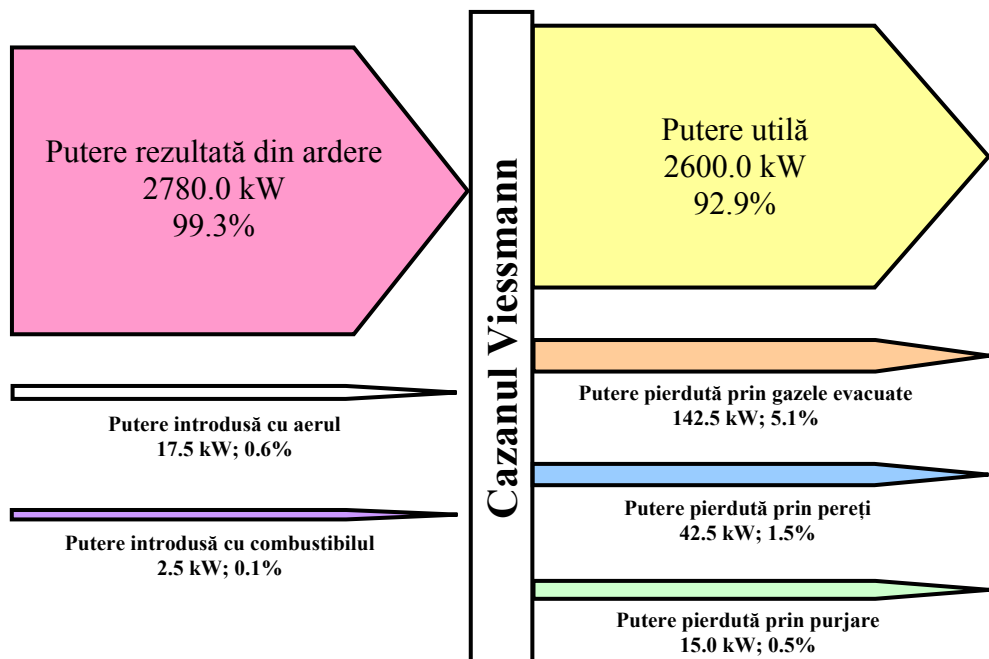


Diagrama Sankey a bilanțului termooenergetic real puteri pentru cazanul Viessmann pentru regimul de funcționare (la 50% din puterea nominală)

În figura alăturată este prezentată diagrama Sankey de puteri pentru cazanul Loos, pentru regimul de funcționare (la 50% din puterea nominală).

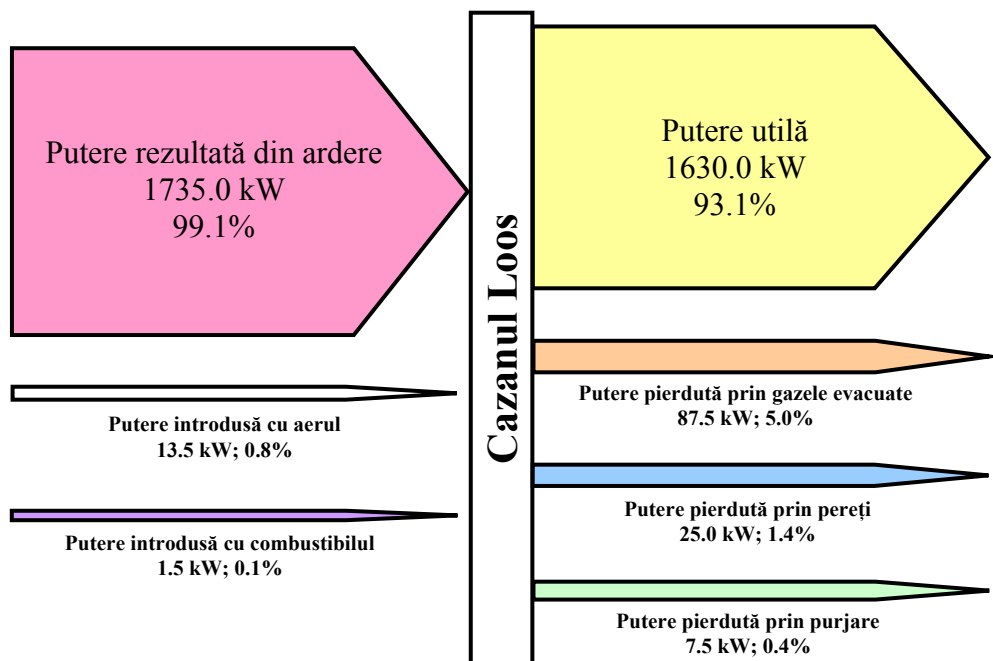


Diagrama Sankey a bilanțului termoenenergetic real puteri pentru cazanul Loos pentru regimul de funcționare (la 50% din puterea nominală)

3. IMPACTUL ASUPRA MEDIULUI

3.1. Considerații generale

Impactul asupra mediului, a fost calculat pentru regimul mediu de funcționare a cazanelor, corespunzător ponderii de 23% (adică foarte aproape de 25%) din puterea termică nominală a fiecăruia din cele două cazane.

Principalele emisii de poluanți evacuate la coșurile de fum ale cuptoarelor, cazanelor și uscătoarelor sunt emisiile de CO₂, NO_x și CO.

În cazul instalațiilor analizate, emisiile sunt produse de cazanele pentru abur saturat.

În cadrul prezentului audit au fost determinate emisiile prin analize ale compoziției gazelor exhaustate și gazelor de ardere.

Sinteza compoziției gazelor exhaustate și a gazelor de ardere, pe consumatori, este prezentată în tabelul alăturat.

Sinteza compoziției gazelor exhaustate și a gazelor de ardere

Cazan	CO ₂ [%]	CO [ppm]	NO [ppm]	NO _x [ppm]	NO _x total [ppm]
Viessmann	9.9	4.0	78	81	129
Loos	9.0	5.5	50	51	101

Considerând sarcina (puterea) termică a consumatorului $\dot{Q} = yy \text{ kW}$ și durata totală de funcționare a cazanului τ [s] de 355 zile pe an, câte 6.7 h pe zi adică:

$$\tau = 355 \cdot 6.7 \cdot 3600 = 8562600 \text{ s} = 2378.5 \text{ h}$$

Energia termică dezvoltată anual de un consumator Q [kJ] se calculează cu relația:

$$Q = \dot{Q} \cdot \tau$$

$$Q = yy \text{ kW} \cdot \tau \text{ s} = aa \text{ kJ} = bb \text{ GJ} = cc \text{ MWh} = dd \text{ tep}$$

unde tep reprezintă o tona echivalentă de petrol care conform International Energy Agency se calculează cu relația:

$$1 \text{ tep} = 11.63 \text{ MWh}$$

Energia termică dezvoltată anual de fiecare consumator, este prezentată în tabelul alăturat.

Energia termică dezvoltată anual de fiecare consumator

Cazan	Putere termică medie efectivă [kW]	Q [GJ]	Q [MWh]	Q [tep]
Viessmann	1200	10275	2854	245
Loos	750	6422	1784	153

3.2. Considerații privind emisiile de NO_x

Factorul de emisie pentru NO_x, pentru cuptoare și cazane care utilizează ca și combustibil gazele naturale, are limita maximă de 130g/GJ, adică 1.3·10⁻⁷ kg/kJ.

Pentru o emisie de NO_x de r_{NO_x} ppm, factorul de emisie se determină cu relația:

$$\varepsilon_{\text{NO}_x} = \frac{r_{\text{NO}_x} \cdot \rho_{\text{NO}_x}}{H_i} = \frac{r_{\text{NO}_x} \cdot 10^{-6} \cdot 1.34}{35581} = yy \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{kJ}}$$

Factorul de emisie pentru NO_x, este calculat în tabelul alăturat, pentru fiecare consumator în parte.

Factorul de emisie pentru NO_x, calculat pentru fiecare consumator în parte

Consumator	r _{NO_x} [ppm]	ε _{NO_x} [kg/kJ]
Viessmann	129	4.86E-09
Loos	101	3.80E-09

Se constată că factorul de emisie de NO_x se încadrează în valorile admise, conform normelor în vigoare, pentru toți consumatorii.

Nivelul emisiilor de NO_x E_{NO_x} [kg/an] se determină cu relația:

$$E_{\text{NO}_x} = \varepsilon_{\text{NO}_x} \cdot Q$$

$$E_{\text{NO}_x} = yy \cdot 10^{-7} \text{ kg/kJ} \cdot aa \text{ kJ} = nn \text{ kg/an}$$

Nivelul emisiilor de NO_x este calculat în tabelul alăturat, pentru fiecare consumator în parte.

Nivelul emisiilor de NO_x pentru fiecare consumator

Cazan	E _{NO_x} [kg/an]
Viessmann	49.92
Loos	24.43
Total	74.35

Se constată că emisiile de NO_x se încadrează în valorile admise, conform normelor în vigoare și nivelul total al emisiilor de NO_x este 74.35 kg/an = 0.074 t/an.

4.3. Considerații privind emisiile de CO₂

Factorul de emisie pentru CO₂ pentru gaze naturale are limita maximă de 50000 g/GJ, adică 500·10⁻⁷ kg/kJ.

Pentru o emisie de CO₂ de r_{CO2} %, factorul de emisie este:

$$\varepsilon_{\text{CO}_2} = \frac{r_{\text{CO}_2} \cdot \rho_{\text{CO}_2}}{H_i} = \frac{r_{\text{CO}_2} \cdot 10^{-2} \cdot 1.97}{35581} = \text{yyy} \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{kJ}}$$

Factorul de emisie pentru CO₂, este calculat în tabelul alăturat, pentru fiecare consumator în parte.

Factorul de emisie pentru CO₂, calculat pentru fiecare consumator în parte

Cazan	r _{CO2} [ppm]	ε _{CO2} [kg/kJ]
Viessmann	2.1	1.16E-06
Loos	2	1.11E-06

Se constată că factorul de emisie de CO₂ se încadrează în valorile admise, conform normelor în vigoare, pentru toți consumatorii.

Nivelul emisiilor de CO₂ E_{CO2} [kg/an] se determină cu relația:

$$E_{\text{CO}_2} = \varepsilon_{\text{CO}_2} \cdot Q$$
$$E_{\text{CO}_2} = \text{yyy} \cdot 10^{-7} \text{ kg/kJ} \cdot \text{aa kJ} = \text{mm kg/an}$$

Nivelul emisiilor de CO₂ este calculat în tabelul alăturat, pentru fiecare consumator în parte.

Nivelul emisiilor de CO₂ pentru fiecare consumator

Cazan	E _{CO2} [kg/an]
Viessmann	11946.87
Loos	7111.23
Total	19058.11

Se constată că emisiile de CO₂ se încadrează în valorile admise, conform normelor în vigoare și nivelul total al emisiilor de CO₂ este 19058.11 kg/an = 19.0 t/an.

4.4. Concluzii privind impactul asupra mediului

Nivelul emisiilor atât pentru NO_x, cât și pentru CO₂ se încadrează în limitele admise