

BILANT TERMOENERGETIC AL UNEI INSTALAȚII DE COGENERARE CU BIOMASĂ SOLIDĂ



Cuprins

1. INFORMAȚII GENERALE	3
1.1. Obiectul lucrării.....	3
1.2. Amplasamentul.....	4
2. DESCRIEREA INSTALAȚIEI.....	5
2.1. Informații generale	5
2.2. Schema instalației.....	6
2.3. Etapele realizării bilanțului termoeenergetic	9
2.4. Parametrii nominali ai centralei de cogenerare	9
2.5. Instrumente de măsură utilizate.....	10
3. BILANȚUL TERMOENERGETIC.....	11
3.1. Principiul de funcționare a centralei termice cu cogenerare	11
3.2. Puterea calorică a biomasei utilizate ca și combustibil	14
3.3. Definirea conturului de bilanț	16
3.4. Definirea regimului de lucru	16
3.5. Bilanțului termoeenergetic real	17
3.5.1. Parametrii termodinamici ai aburului pe circuitele barei colectoare de abur viu... 17	
3.5.2. Debitele de abur din circuitele barei colectoare de abur viu	18
3.5.3. Analiza energetică a proceselor din turbina de abur și generatorul electric.....	18
3.5.4. Analiza proceselor termodinamice pe circuitul aburului care trece prin turbină ...	21
3.5.5. Analiza proceselor termodinamice pe circuitul de “By pass tehnologic”	22
3.5.6. Debitele pe colectorul de abur.....	24
3.5.7. Bilanțul energetic pe bara colectoare de abur	26
3.5.8. Componentele producției energetice si ponderile acestora	28
3.5.9. Consumurile de combustibil si ponderile acestora.....	31
4. CONCLUZII	34
4.1. Parametrii nominalii ai instalației	34
4.2. Concluzii	34

1. INFORMAȚII GENERALE

1.1. Obiectul

Obiectul bilanțului termoenergetic este determinarea ponderilor din consumul total de combustibil, corespunzătoare producției de energie electrică, respectiv producției de energie termică în cogenerare.

În vederea realizării obiectivului indicat, *conturul bilanțului termoenergetic*, este reprezentat de *bara colectoare de abur viu*, aceasta fiind elementul component al instalației în care aburul, ca agent termic, este colectat de la toate cazanele și distribuit spre toate zonele de conversie a energiei.

Conturul de bilanț este parte componentă a instalației de cogenerare energetică.

Caracteristici instalație termoenergetică de cogenerare:

Producator:	Urbas Maschinenfabrik GmbH Web : http://www.urbas.at
Combustibil:	Biomasă solidă din deseuri forestire Umiditatea admisă a biomasesi solide este de 30...67%
Cazane:	Tip: UR-HDD-R/Z-14000 Debit maxim de abur supraîncălzit: 13 t/h Putere termică maximă: 12730 kW Presiune maximă: 32 bar Temperatura maximă de supraîncălzire: 520°C Temperatura nominală de supraîncălzire: 480°C Număr cazane: 3
Turbină:	Tip: MAN; Model: MARC 2- H01 Destinație: Turbină pentru cogenerare Anul fabricației: 2008 Debit maxim de abur: 26 t/h Presiune maximă a aburului la intrare: 90 bar Presiune nominală a aburului la intrare: 26 bar Temperatura maximă a aburului la intrare: 520°C Temperatura nominală a aburului la intrare: 480°C Turație: 10000...12000 rot/min Putere: 4000...7200 kW
Generator electric	Tip: ELIN EBG Moteren EmbH; Model: HTM 171 D04 Putere electrică nominală: 5032 kW
Condensator 1	Model: ABH TERMO BEU-32 Putere termică: 18500 kW
Condensator 2	Model: ABH TERMO BEU-28 Putere termică: 11000 kW

1.2. Amplasamentul

În figura alăturată este prezentată o imagine a fabricii, cu localizarea centralei termice de cogenerare.



Imagine de ansamblu cu localizarea instalației de cogenerare

2. DESCRIEREA INSTALAȚIEI

2.1. Informații generale

Centrala termică de cogenerare funcționând cu biomasă solidă, este echipată cu trei cazane de abur având puterea termică nominală de 11,1 MW termici fiecare și o turbină de abur care antrenează un generator electric având puterea nominală de 5 MW electrici.

Instalația utilizează combustibil de tip *biomasă solidă* pentru a produce *SIMULTAN energie electrică și energie termică*. În acest context *instalația energetică în ansamblu* este o instalație de *COGENERARE ENERGETICĂ*. Din acest punct de vedere *energia electrică și energia termică, sunt produse integral prin cogenerare*.

Instalația de cogenerare analizată, utilizează ca și combustibil biomasă solidă, reprezentată preponderent de scoarță (coajă) a unor conifere (molid, pin, etc.). Combustibilul provine din procesul tehnologic de decojire a buștenilor utilizați ulterior la fabricarea unor sortimente diverse de cherestea.

Combustibilul utilizat este depozitat în aer liber și este supus intemperiilor, ceea ce determină prezența unei cantități semnificative de umiditate în compoziția biomasei solide cu care sunt alimentate cazanele instalației analizate.

Umiditatea admisă a biomasei solide este de 30...67%.

Din punct de vedere cronologic, la punerea în funcțiune, instalația a fost echipată cu două cazane care alimentau cu abur viu turbina conectată la generatorul electric. Aburul destins în turbină era condensat pentru prepararea de agent termic, iar condensul era recirculat în cazan cu ajutorul unor pompe. Traseul de abur viu era prevăzut cu un circuit de by pass care să permită ocolirea turbinei în situațiile în care aceasta nu ar putea să funcționeze.

Ulterior a fost montat un al treilea cazan, care poate să livreze abur viu atât în circuitul turbinei, cât și într-un circuit construit suplimentar, pentru prepararea de agent termic tehnologic. Acest agent termic tehnologic este preparat într-un al doilea condensator al instalației, montat și acesta ulterior.

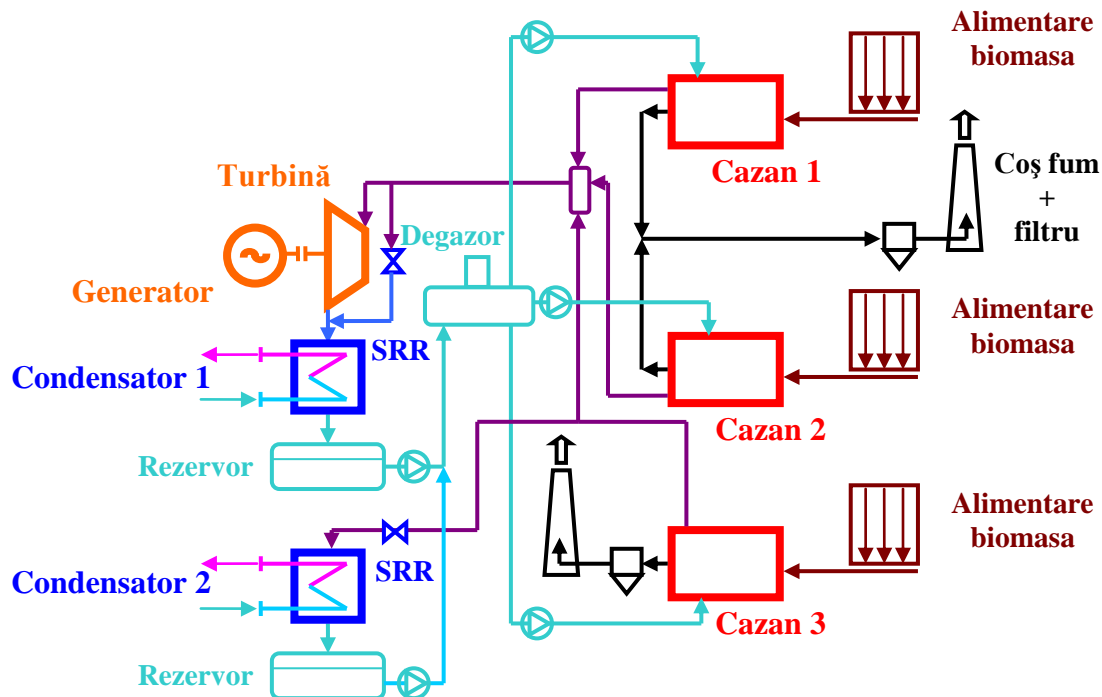
Instalația în ansamblu, este echipată cu un sistem modern de monitorizare a funcționării instalației, cu ajutorul calculatorului, iar datele furnizate de acesta, au fost utilizate la realizarea bilanțului termoenergetic.

Instalația, produce simultan energie electrică și termică într-un ciclu Rankine utilizând apa, respectiv aburul ca agent termic.

Energia electrică produsă de instalație este furnizată în sistemul energetic național, iar energia termică este produsă sub formă de agent termic (apă fierbinte), utilizat preponderent în procesul tehnologic de uscarea a cherestelei.

2.2. Schema instalației

În figura alăturată este prezentată o schemă a instalației. Circuitele de abur viu sunt reprezentate cu linie violet îngroșată.



Schema instalației

Pe schemă pot fi identificate părțile principale ale instalației.

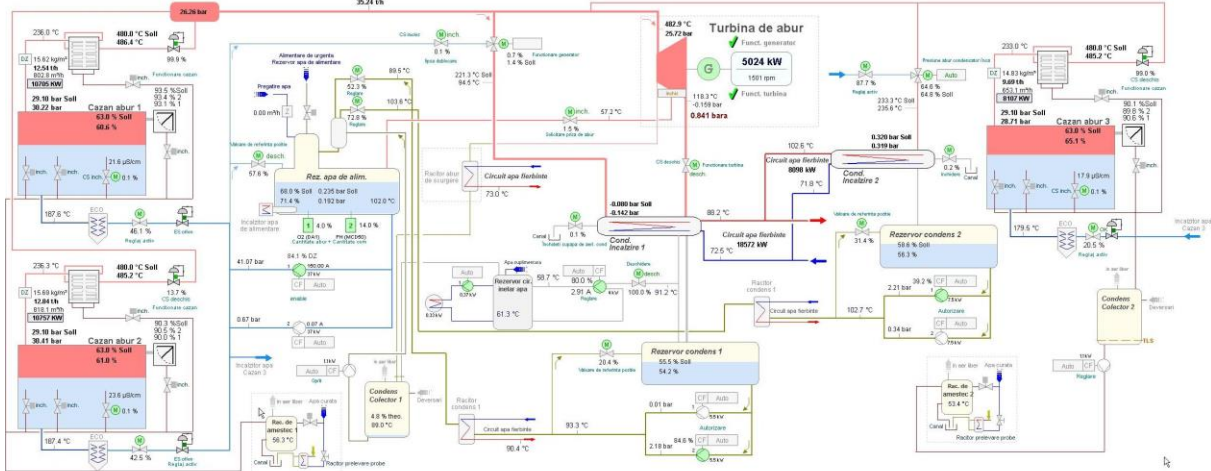
Cazanele de abur supraîncălzit, sunt amplasate în zona din dreapta a schemei. Se observă că primele două cazane (montate în varianta inițială a instalației) sunt conectate printr-un colector de abur pe circuitul de abur supraîncălzit, denumit și abur viu (reprezentat pe figură cu culoarea violet și linii îngroșate). Gazele de ardere sunt evacuate din cele două cazane printr-un singur coș de fum. Al treilea cazan (montat ulterior), a fost racordat pe circuitul de abur în același colector, comun cu al primelor două cazane. Pentru prepararea de agent termic tehnologic suplimentar, a fost prevăzut și un circuit de preparare a acestui agent, care ocolește turbina și este prevăzut cu o stație de reducere – răcire (SRR). Acest circuit va fi denumit în continuare „*By pass încălzire agent tehnologic*” sau mai simplu „*By pass tehnologic*”. Al treilea cazan este racordat la un coș de fum propriu.

Turbina de abur poate fi ușor identificată în partea de sus a imaginii, în zona din stânga a circuitului de abur viu (reprezentată pe figură cu culoarea portocalie și linii îngroșate). Turbina este racordată la *generatorul electric*. Se observă că instalația este prevăzută cu un circuit de siguranță, pentru ocolirea turbinei, denumit în continuare „*By pass turbină*”.

Condensatorul 1 este amplasat imediat după turbină, iar *condensatorul 2* este amplasat pe circuitul de „*By pass tehnologic*”.

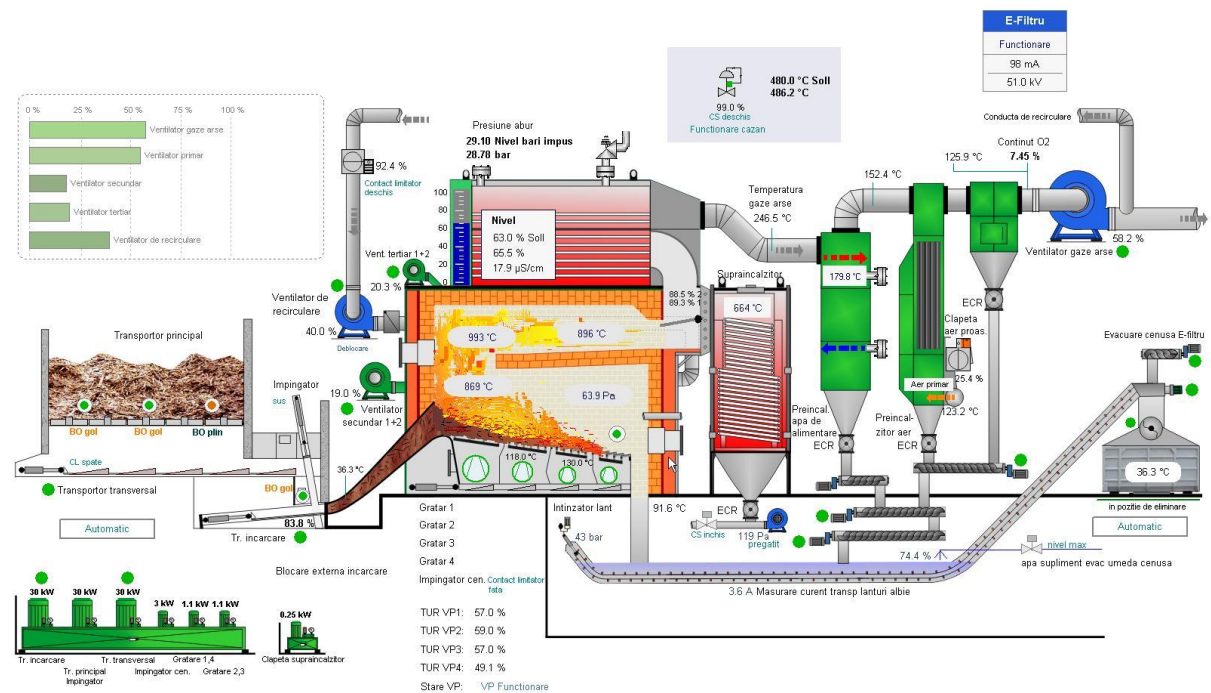
Producția de energie electrică este realizată în turbină, iar producția de energie termică este realizată în cele două condensatoare.

În figura alăturată este prezentată o schemă sinoptică a instalației de cogenerare, conform reprezentării utilizate în sistemul de monitorizare.



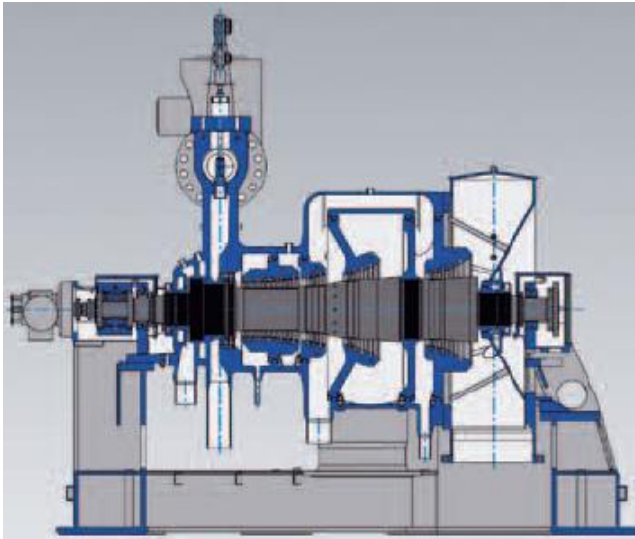
Schema instalației, reprezentată în sistemul de monitorizare

În figura alăturată este prezentat unul din cele trei cazane de tip UR-HDD-R/Z-14000, care echipează instalația de cogenerare.

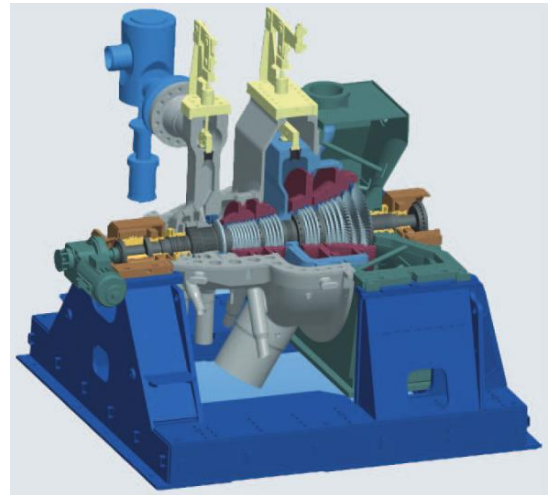


Schema constructivă și funcțională a unuia din cazanele de abur supraîncălzit

În figurile alăturate este prezentată o schemă constructivă a turbinei MAN, model MARC 2 - H01 care echipează instalația de cogenerare și un model 3D al unei turbine de abur MAN.



Reprezentare schematică a construcției turbinei de abur MAN, model MARC 2 - H01



Reprezentare 3D a unei turbine de abur MAN

În figura alăturată este prezentată o imagine a rotorului cu paletele al unei turbine de abur MAN.



Imagine a rotorului și paletelor unei turbine de abur MAN

http://turbomachinery.man.eu/images/librariesprovider4/Turbomachinery/products/tm-3-6-steam-turbines_620x230.jpg?sfvrsn=0

2.3. Etapele realizării bilanțului termoeenergetic

Bilanțul termoeenergetic a fost efectuat în două etape.

Etapa I a constat în determinarea obiectivului bilanțului și identificarea conturului optim pentru bilanțul termoeenergetic, urmată de colectarea de la beneficiar, a informațiilor și datelor necesare realizării obiectivului stabilit.

Etapa II a constat în realizarea bilanțului termoeenergetic, prin prelucrarea datelor, efectuarea calculului termodinamic, determinarea valorilor efective ale producției de energie electrică și termică, determinarea ponderilor energiilor electrică și termică, precum și a ponderii energiei termice produse din condensarea aburului destins fie în turbină, fie în stația de reducere – răcire (SRR).

Măsurătorile au fost realizate cu instrumentele de măsură din dotarea sistemului de monitorizare a funcționării instalației, se referă la luna decembrie 2011 și au fost puse la dispoziție de beneficiar.

Beneficiarul a pus la dispoziție date relevante privind funcționarea instalației în regim nominal, atât pentru cele trei cazane, cât și pentru turbină, în luna decembrie 2011.

Beneficiarul a pus la dispoziție informații cu privire la combustibilul utilizat în luna decembrie 2011.

2.4. Parametrii nominali ai centralei de cogenerare

Parametrii nominali ai instalației de cogenerare sunt:

Cazane:	Tip: UR-HDD-R/Z-14000 Debit maxim de abur supraîncălzit: 13 t/h Putere termică maximă: 12730 kW Presiune maximă: 32 bar Temperatura nominală de supraîncălzire: 480°C Număr cazane: 3
Turbină:	Tip: MAN; Model: MARC 2- H01 Destinație: Turbină pentru cogenerare Debit maxim de abur: 26 t/h Presiune nominală a aburului la intrare: 26 bar Temperatura nominală a aburului la intrare: 480°C Turație: 10000...12000 rot/min Putere mecanică: 4000...7200 kW
Generator electric	Tip: ELIN EBG Moteren EmbH; Model: HTM 171 D04 Putere electrică nominală: 5032 kW
Condensator 1	Model: ABH TERMO BEU-32 Putere termică: 18500 kW
Condensator 2	Model: ABH TERMO BEU-28 Putere termică: 11000 kW

2.5. Instrumente de măsură utilizate

Pentru determinarea parametrilor termodinamici au fost utilizate aparatele de măsură care echipează sistemul de monitorizare al instalației.

Au fost efectuate propuneri pentru montarea de noi instrumente de măsură, cu ajutorul cărora să poată fi interpretată mai ușor, comportarea instalației, având în vedere flexibilitatea ridicată a instalației.

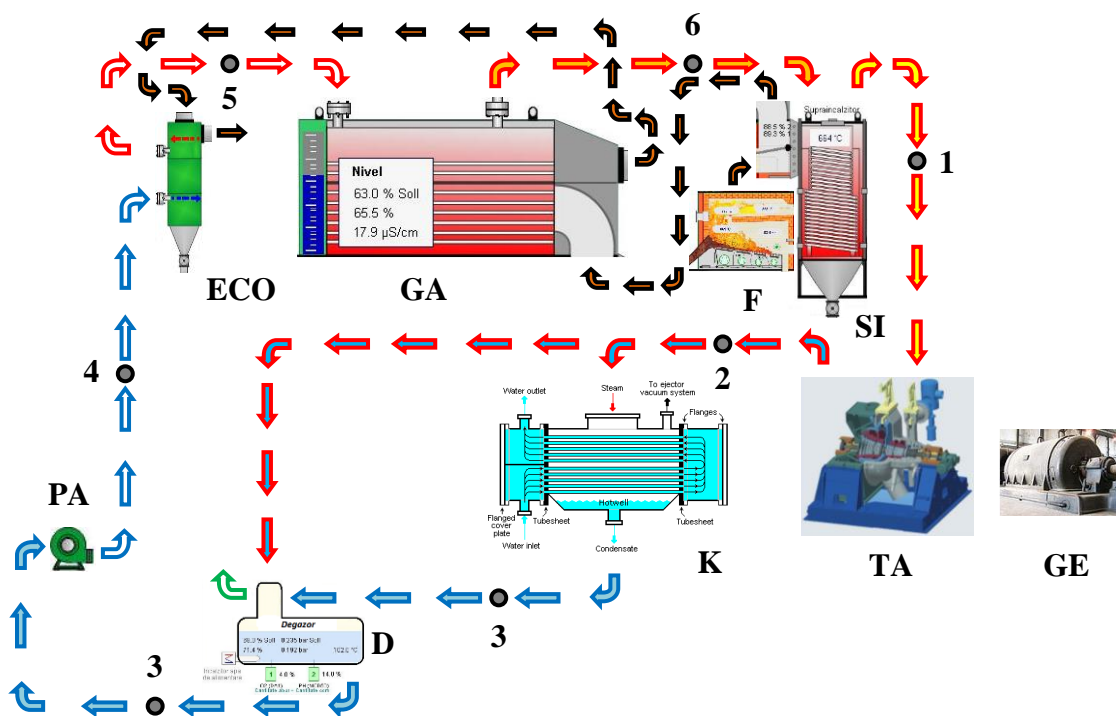
3. BILANȚUL TERMOENERGETIC

3.1. Principiul de funcționare a centralei termice cu cogenerare

Cogenerarea constă în producerea simultană a energiei electrice și termice.

Instalația de cogenerare analizată, are principiul de funcționare bazat pe un ciclu Rankine utilizând apa, respectiv aburul ca agent termic.

Schema de principiu a centralei termice de cogenerare, funcționând după ciclul Rankine, este prezentată alăturat.



Schema de principiu a unei centrale termice cu cogenerare

TA - Turbină de abur, GE - Generator electric, K - Condensator, D - Degazor,
PA - Pompă alimentare, F - Focar, ECO - Economizor, GA - Generator abur, SI – Supraîncălzitor

Semnificația culorilor

- | | | | |
|--|-----------------------------------|--|------------------------|
| | Apă caldă de joasă presiune | | Abur supraîncălzit |
| | Apă caldă de presiune ridicată | | Abur de joasă presiune |
| | Apă de presiune ridicată saturată | | Oxigen din apă |
| | Abur saturat | | Gaze de ardere |

Procesele termodinamice de lucru, din cadrul instalației de cogenerare sunt prezentate în diagrama h-s (entalpie-entropie) alăturată

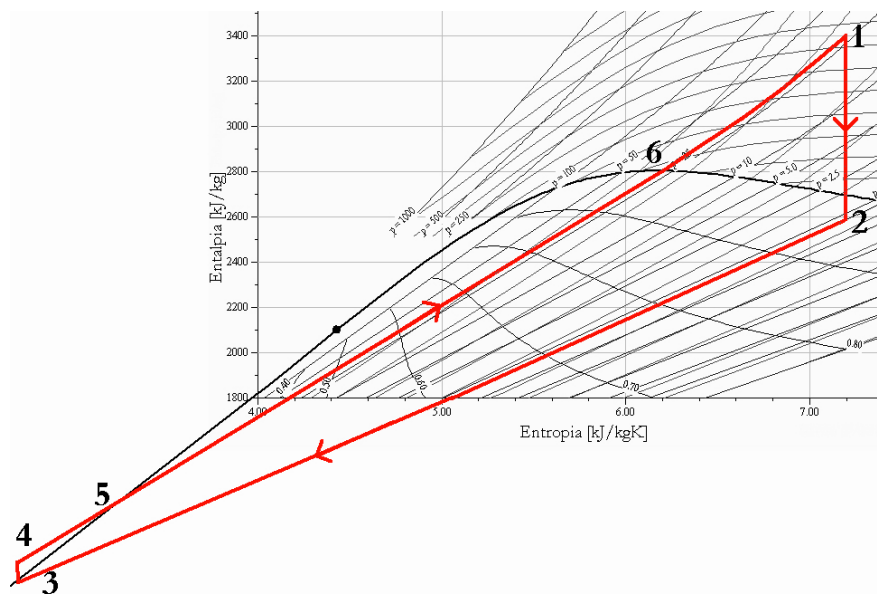


Diagrama entalpie - entropie de funcționare a centralei termice cu cogenerare

Agentul termic primar (apa) aflat la presiunea ridicată de lucru a cazanului, este preîncălzit într-un economizor (ECO) până aproape de temperatura de saturație (4-5).

Apa saturată (5) alimentează generatorul de abur (GA) în care se produce schimbarea de fază (5-6), apa transformându-se în abur saturat. Temperatura aburului, reprezintă temperatura de saturație corespunzătoare presiunii de lucru a cazanului.

Aburul saturat este supraîncălzit (6-1) într-un supraîncălzitor (SI), pentru a înmagazina energie termică suplimentară înainte de intrarea în turbină. Supraîncălzirea este necesară din două motive:

- Energia termică (internă) acumulată de abur în supraîncălzitor se poate transforma în energie mecanică, în turbina de abur (TA)
- Cu cât temperatura aburului este mai ridicată, cu atât destinderea în turbină (1-2) poate produce o cantitate mai mare de energie mecanică înainte ca aburul să ajungă în zona vaporilor umezi (2), caracterizată printr-un amestec de vapori și apă, în care picăturile de apă interacționează cu paletetele turbinei și pot produce deteriorări mecanice ale acestora.

Energia produsă de abur prin destinderea în turbină (1-2), asigură acționarea generatorului electric (GE), iar acesta produce energie electrică.

Vaporii umezi rezultați în urma destinderii în turbină (2) sunt condensați (2-3) într-un condensator (K). Agentul de răcire al acestui schimbător de căldură, este reprezentat de agentul termic utilizat în procesul de uscare a cherestelei. Agentul termic de răcire preia căldura latentă cedată de vapori în procesul de condensare (2-3).

Degazorul (D) asigură reducerea conținutului de oxigen dizolvat în apa de alimentare a cazanului, reducând în acest fel și agresivitatea apei, respectiv capacitatea acesteia de a produce rugină și "piting" în țevile cazanului.

Pompa de alimentare a cazanului (PA) realizează procesul de comprimare adiabatică a apei (3-4) și astfel asigură ridicarea presiunii apei de alimentare a cazanului, până la presiunea de lucru a cazanului de abur. Consumul energetic pentru creșterea presiunii apei de alimentare a cazanului este redus, la fel ca și variația conținutului energetic al apei, în timpul procesului de comprimare. De multe ori, în calcule de preliminară, acest consum de energie este neglijat.

Combustibilul utilizat pentru funcționarea acestei centrale termice în cogenerare este biomasa solidă (coaja de molid și pin), reprezentând resturi de exploatare și îndeosebi produsele conexe de la fabricile în care lemnul este supus prelucrării mecanice.

Utilizarea acestui tip de combustibil, reprezentând deșeuri din exploatare și din procesul de fabricație a cherestei, reprezintă un exemplu relevant de recuperare eficientă și valorificare superioară a unui material considerat ca deșeu pentru tehnologii asemănătoare, care față de exemplul considerat pot fi considerate învechite și depășite.

Valorificarea energetică a biomasei solide de tipul celei prezentate în instalația de cogenerare analizate, reprezintă și un răspuns adecvat exigențelor actuale privind protecția mediului înconjurător, având în vedere că deșeurile lemnoase reprezintă un factor poluant recunoscut.

3.2. Puterea calorică (căldura de ardere) a biomasei

Combustibilul utilizat în instalația de cogenerare studiată este biomasa solidă, reprezentată preponderent de scoartă (coajă) de rășinoase (molid, pin, etc.). Construcția cazanului permite funcționarea și cu alte categorii de deșeuri lemnoase: rumeguș, resturi de lemn, etc.

În cazul instalației analizate, combustibilul predominant este reprezentat de scoartă (coajă) de rășinoase, iar dintre aceste rășinoase predomină molidul (cca. 80% participare masică). Coaja este utilizată în amestec cu rumeguș, proporția acestuia fiind de maxim 30% (participare masică).

Pentru determinarea puterii calorice inferioare a biomasei solide, se determină analiza chimică a combustibilului, care exprimă participarea masică a elementelor care formează masa combustibilă (în cazul combustibililor solizi: carbon, hidrogen, sulf), dar și a celor care formează balastul (în cazul combustibililor solizi: azot, umiditate, etc.).

Unii combustibili conțin în structură și oxigen, care va participa la procesul de ardere ca și comburant.

Conform [1] puterea calorică inferioară (H_i) pentru coaja de molid variază în funcție de conținutul de umiditate și în funcție de compoziția chimică elementară a acestuia între limitele:

$$H_i = 2.988...16.564 \text{ MJ/kg}$$

Combustibilul studiat a fost considerat coaja de molid, iar compoziția elementară pentru aceasta poate fi considerată conform recomandărilor din [1].

Compoziția elementară pentru combustibilul utilizat este prezentată într-un tabel de tipul celui alăturat.

Compoziția elementară pentru biomasă solidă	
Elementul chimic	Participația masică [%]
C	c
H	h
O	o
N	n
A	a
W	w
Total	1 (100%)

unde:

- c - participația masică a carbonului
- h - participația masică a hidrogenului
- o - participația masică a oxigenului
- n - participația masică a azotului
- a - participația masică a cenușei
- w - participația masică a apei (umiditate)

Puterea calorică inferioară a combustibilului se poate determina cu relația:

$$H_i = 33900c + 120120 \left(h - \frac{o}{8} \right) + 9250s - 2510w \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Valoarea obținută din calcul trebuie să încadreze între limitele recomandate de literatura de specialitate [1].

Beneficiarul efectuează în mod sistematic analize ale probelor de combustibil, pentru determinarea experimentală a puterii calorice a combustibilului.

Pentru realizarea prezentului bilanț energetic beneficiarul a pus la dispoziție un buletin de analiză pe care îl consideră, reprezentativ pentru biomasa utilizată. Acest buletin este prezentat alăturat. Determinările au fost efectuate de o firmă autorizată.

BULETIN DE ANALIZĂ

Nr. 170 Data 15.12.2011

BENEFICIAR: [REDACTAT]
DESCRIEREA ȘI IDENTIFICAREA PROBEI: BIOMASĂ ALIMENTARE
PROBĂ PRELEVATĂ DE: BENEFICIAR [REDACTAT]
DATA PRIMIRII PROBEI: [REDACTAT]
DATA EXECUTĂRII ANALIZELOR: [REDACTAT]

Nr. crt	Caracteristici tehnice calitative	UM	Valori determinate	Metoda de analiză
1	Umiditate totală	%	48,1	SR ISO 5264/1995
4	Cenușa raportată la proba anhidră	%	4,2	SR ISO 1171/1993
5	Cenușa raportată la proba inițială	%	2,3	
7	Puterea calorică inferioară raportată la proba anhidră	Kcal/kg	4375	SR ISO 1928/1994
8	Puterea calorică inferioară raportată la proba inițială	Kcal/kg	2006	

Notă: Buletinul de analiză se referă numai la proba supusă încercării.

Puterea calorică a biomasei (H_{im}), corespunzătoare umidității acesteia de 48.1% este:

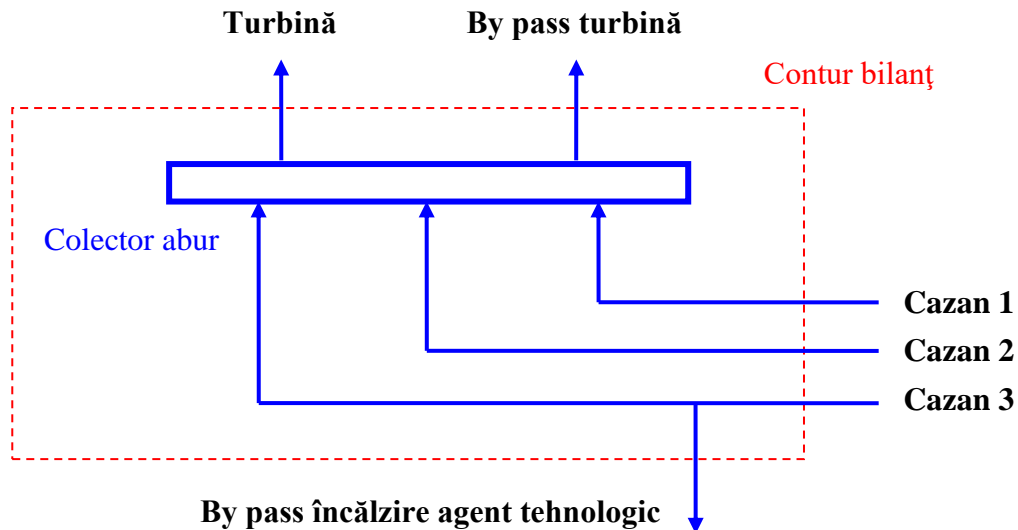
$$H_{im} = 2006 \text{ kcal/kg} = 8385 \text{ kJ/kg}$$

Această valoare este considerată reprezentativă și va fi utilizată în continuare în bilanțul termoenergetic.

3.3. Definirea conturului de bilanț

Conturul bilanțului termoenergetic, este reprezentat de *bara colectoare de abur viu*, aceasta fiind elementul component al instalației în care aburul, ca agent termic este colectat de la toate cazanele și distribuit spre toate zonele de conversie a energiei.

În figura alăturată este prezentată o schemă de calcul a conturului de bilanț termoenergetic.



Schema de calcul a circuitului aburului în interiorul conturului de bilanț

3.4. Definirea regimului de lucru

Pentru conturul de bilanț menționat, a fost întocmit bilanțul energetic real pentru *regimul de lucru real* caracterizat prin absența debitului de abur prin circuitul de „By pass turbină”

Regimul de lucru menționat este tipic pentru exploatarea normală a instalației de cogenerare. Circuitul de „By pass turbină” este normal închis, acesta fiind prevăzut inițial ca circuit de siguranță, pentru situațiile în care accidental, turbina nu ar putea fi utilizată.

3.5. Bilanțului termoenergetic real

3.5.1. Parametrii termodinamici ai aburului pe circuitele barei colectoare de abur viu

Regimul de lucru este caracterizat prin absența debitului de abur prin circuitul de „By pass turbină”, care este normal închis, acesta funcționând ca circuit de siguranță, pentru situațiile în care accidental, turbina nu ar putea fi utilizată.

Regimul de lucru este regimul tipic pentru exploatarea normală a instalației de cogenerare.

Pentru calculul ponderilor puterilor electrică și termică, respectiv pentru calculul defalcat al ponderilor puterilor termice rezultate separat din aburul destins în turbină și separat din aburul destins în circuitul denumit de “By pass tehnologic” pe schema de calcul a circuitului aburului în interiorul conturului de bilanț, ca și pentru determinarea ponderilor aferente de combustibil, vor fi utilizate valorile parametrilor termodinamici ale aburului, pe diversele circuite de abur care intră în, sau ies din conturul de bilanț, indicate în tabelul alăturat.

Valorile parametrilor termodinamici ale aburului pe circuitele conturului de bilanț

Nr. crt.	Denumire circuit	Presiune		Temperatură	
		Valoare	u.m.	Valoare	u.m.
1	Intrare în colector abur din cazan 1	26.26	bar	486.4	°C
2	Intrare în colector abur din cazan 2	26.26		485.2	
3	Intrare în colector abur din cazan 3	26.26		485.2	
4	Abur în colector	26.26		486	
5	Ieșire abur pentru alimentarea turbinei	26.26		486	
6	Intrare abur in turbină	25.70		483.7	
7	Abur pentru by pass turbină	26.26		486	
8	Abur pentru By pass tehnologic	26.26		486	

Observație 1: Valorile presiunilor corespunzătoare liniilor 1...3 au fost considerate egale cu *presiunea măsurată în colectorul de abur*

Observație 2: Valorile temperaturilor corespunzătoare liniilor 1...3, reprezintă valori măsurate la ieșirea din cazane, care au fost considerate egale cu cele de la intrarea în colector

Observație 3: Valoarea temperaturii aburului din colector (linia 4), reprezintă valoarea medie a temperaturilor de la ieșirea din cazane, rotunjită la valoare întreagă (fără zecimale)

Observație 4: Valoarea presiunii corespunzătoare liniei 6 nu reprezintă presiunea la ieșirea aburului din colector pe circuitul turbinei (egală cu presiunea din colector), ci presiunea aburului măsurată chiar la intrarea în turbină

3.5.2. Debitele de abur din circuitele barei colectoare de abur viu

În instalația de cogenerare, sunt monitorizate debitele de abur furnizate de cele trei cazane. Aceste debite sunt indicate de sistemul de monitorizare și au fost furnizate de beneficiar.

Debitele de abur de pe cele două circuite de by pass, denumite “*By pass turbină*”, respectiv “*By pass tehnologic*”, s-au determinat prin calcul.

În continuare au fost utilizate notațiile pentru debite, prezentate în tabelul alăturat, împreună cu valorile măsurate:

Notații pentru debitele de aburului pe circuitele conturului de bilanț și valorile măsurate

Denumire circuit	Notație debit	Valoare debit [t/h]
Abur produs de cazan 1	\dot{m}_1	12.54
Abur produs de cazan 2	\dot{m}_2	12.84
Abur produs de cazan 3	\dot{m}_3	9.69
Abur prin turbină	\dot{m}_t	-
Abur prin by pass turbină	\dot{m}_{bt}	0
Abur prin By pass tehnologic	\dot{m}_{bi}	-
Abur alimentare colector din cazan 3	\dot{m}'_3	-

3.5.3. Analiza energetică a proceselor din turbina de abur și generatorul electric

Debitul de abur la intrarea în tubină, reprezentând debitul de abur prin tubină, se determină din bilanțul energetic pe conturul reprezentat cu linie punctată pe figura alăturată. Acesta reprezintă o extensie a conturului de bilanț energetic, utilizată pentru determinarea debitului de abur prin turbină.



Punctele de măsură pentru parametrii de funcționare ai turbinei și exemple de valori

Pentru determinarea prin calcul, a debitului de abur care circulă prin turbină, vor fi utilizate valorile parametrilor termodinamici ai aburului la intrarea, respectiv ieșirea din turbină.

Valorile presiunilor și temperaturilor aburului la intrarea și ieșirea din turbină, vor fi considerate cele preluate din sistemul de monitorizare al centralei energetice, care au fost puse

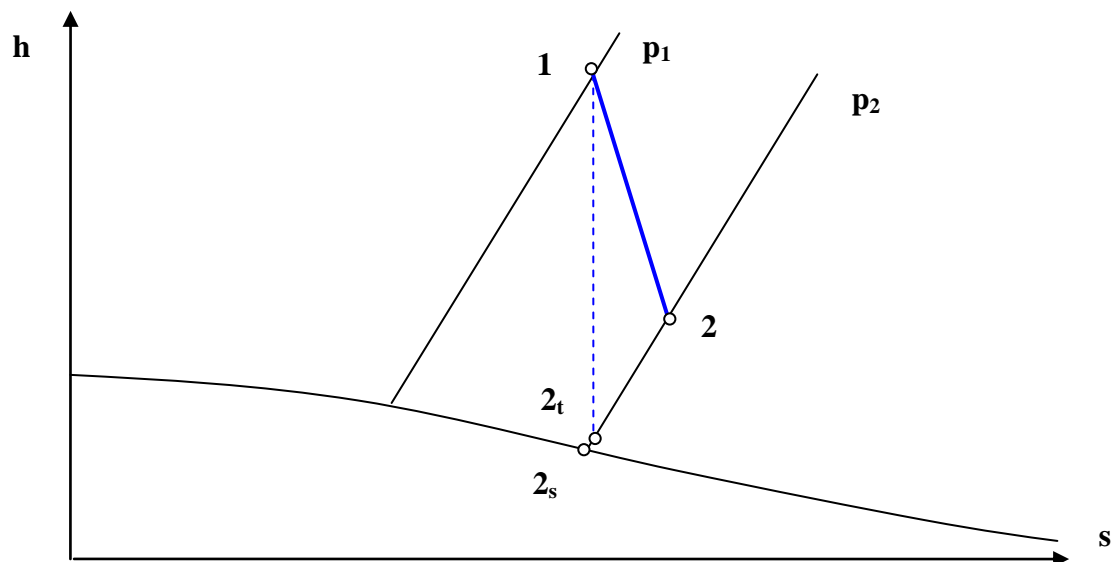
la dispoziție de beneficiar. Punctele de măsură ale parametrilor menționați, împreună cu un set de valori, sunt prezentate pe figură.

Parametrii termodinamici (presiune și temperatură), caracteristici pentru funcționarea turbinei, au fost determinați prin medierea valorilor furnizate de sistemul de monitorizare și puse la dispoziție de beneficiar, sunt prezentați în tabelul alăturat. Temperaturile au fost rotunjite la valori întregi.

Presiunea și temperatura aburului la intrarea și ieșirea din turbină

Nr. crt.	Parametru	u.m.	Valoare	Notații
1	Presiunea aburului la intrarea în turbină	bar	25.7	p_1
2	Temperatura aburului la intrarea în turbină	°C	483	t_1
3	Presiunea aburului la ieșirea din turbină	bar	0.84	p_2
4	Temperatura aburului la ieșirea din turbină	°C	118	t_2

Procesul real de destindere a aburului în turbină, este reprezentat în figura alăturată.



Procesul real de destindere a aburului în turbină

Valorile parametrilor termodinamici entalpie și entropie, la intrarea și ieșirea din turbină, pot fi determinați din diagrame termodinamice, sau cu ajutorul unor programe de calcul specializate, cu ajutorul valorilor parametrilor termodinamici presiune și temperatură, măsurați și prezentați anterior.

Valorile determinate ale entalpiei și entropiei la intrarea și ieșirea din turbină, sunt prezentate în tabelul alăturat. Notațiile corespund cu cele de pe figură.

Entalpia și entropia aburului la intrarea și ieșirea din turbină

Nr. crt.	Parametru	u.m.	Valoare	Notații
1	Entalpia aburului la intrarea în turbină	kJ/kg	3423	h_1
2	Entropia aburului la intrarea în turbină	kJ/kgK	7.26	s_1
3	Entalpia aburului la ieșirea din turbină (destindere teoretică – adiabatică)	kJ/kg	2609	h_{2t}
4	Entropia aburului la ieșirea din turbină (destindere teoretică – adiabatică)	kJ/kgK	7.26	s_{2t}
5	Entalpia aburului la ieșirea din turbină (destindere reală – politropică)	kJ/kg	2714	h_2
6	Entropia aburului la ieșirea din turbină (destindere reală – politropică)	kJ/kgK	7.54	s_2

Randamentul intern al turbinei, care ține seama de abaterea destinderii reale de la destinderea teoretică și de pierderile corespunzătoare de lucru mecanic, se determină cu relația:

$$\eta_i = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2t}} = 0.87 = 87\%$$

unde valorile entalpiilor sunt cele indicate în tabel.

Puterea termică a turbinei se determină în funcție de puterea electrică furnizată de generator, care este măsurată și indicată de sistemul de monitorizare.

Puterea electrică furnizată de generatorul electric este: $P_g = 5024 \text{ kW}$

Randamentul generatorului electric, indicat de producător este: $\eta_g = 0.96 = 96\%$

Puterea termică a turbinei (P_t [kW]) se calculează cu relația:

$$P_t = \frac{P_g}{\eta_g} \text{ [kW]}$$

Înlocuind valorile numerice în relația anterioară se obține: $P_t = 5233 \text{ kW}$

Debitul de abur prin turbină (\dot{m}_t), se determină cu relația:

$$\dot{m}_t = \frac{P_t}{h_1 - h_2} \text{ [kg/s]}$$

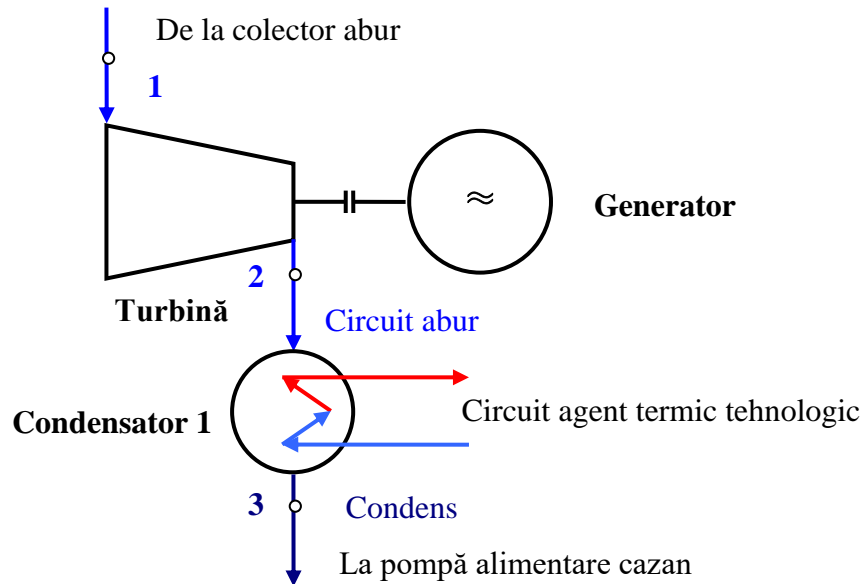
Înlocuind valorile numerice, se obține în relația anterioară se obține:

$$\dot{m}_t = 7.376 \text{ kg/s} = 26.55 \text{ t/h}$$

3.5.4. Analiza proceselor termodinamice pe circuitul aburului care trece prin turbină

Debitul de abur care parcurge turbina, după ieșirea din aceasta (în urma destinderii reale), este condensat integral în condensatorul 1.

În figura alăturată este prezentată o schemă a circuitului de abur, care parcurge turbina, de la ieșirea din colectorul de abur, la intrarea în pompa de alimentare a cazanului.



Schema circuitului de abur prin turbină

Valorile parametrilor termodinamici ai condensului (3), se determină din diagrame termodinamice, sau cu ajutorul unor programe de calcul specializate și sunt prezentate în tabelul alăturat.

Parametrii termodinamici ai condensului

Nr. crt.	Parametru	u.m.	Valoare	Notații
1	Presiunea	bar	0.84	p_3
2	Temperatura	°C	95	t_3
3	Entalpia	kJ/kg	397.2	h_3
4	Entropia	kJ/kgK	1.248	s_3

Valoarea puterii termice furnizate în condensatorul 1 (P_{C1} [kW]), se determină cu relația:

$$P_{C1} = \dot{m}_t \cdot (h_2 - h_3) [\text{kW}]$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

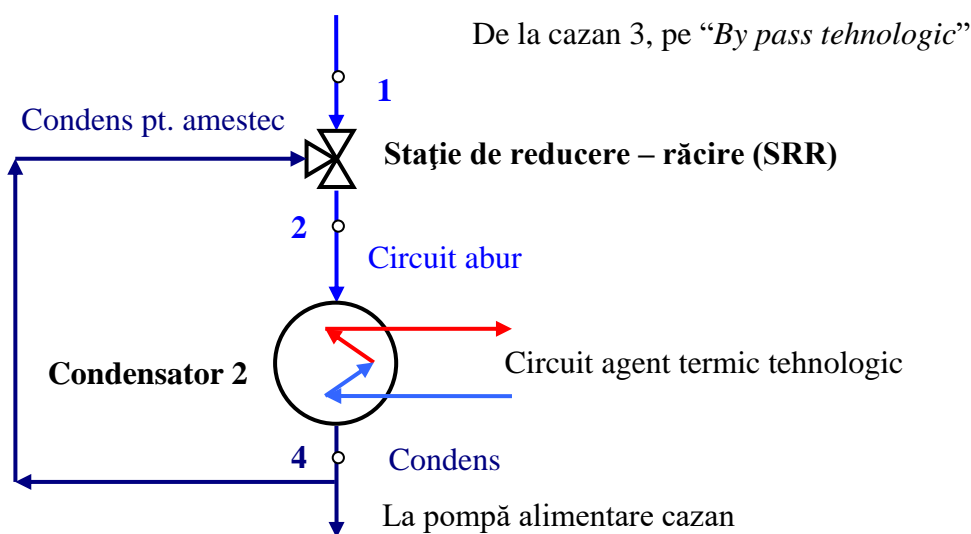
$$P_{C1} = 17088 \text{ kW}$$

Se observă că valoarea obținută este foarte apropiată de puterea termică nominală a condensatorului (18500 kW) indicată și pe schema instalației, pusă la dispoziție de beneficiar, respectiv de valoarea (17359 kW) furnizată de sistemul de monitorizare.

3.5.5. Analiza proceselor termodinamice pe circuitul de “By pass tehnologic”

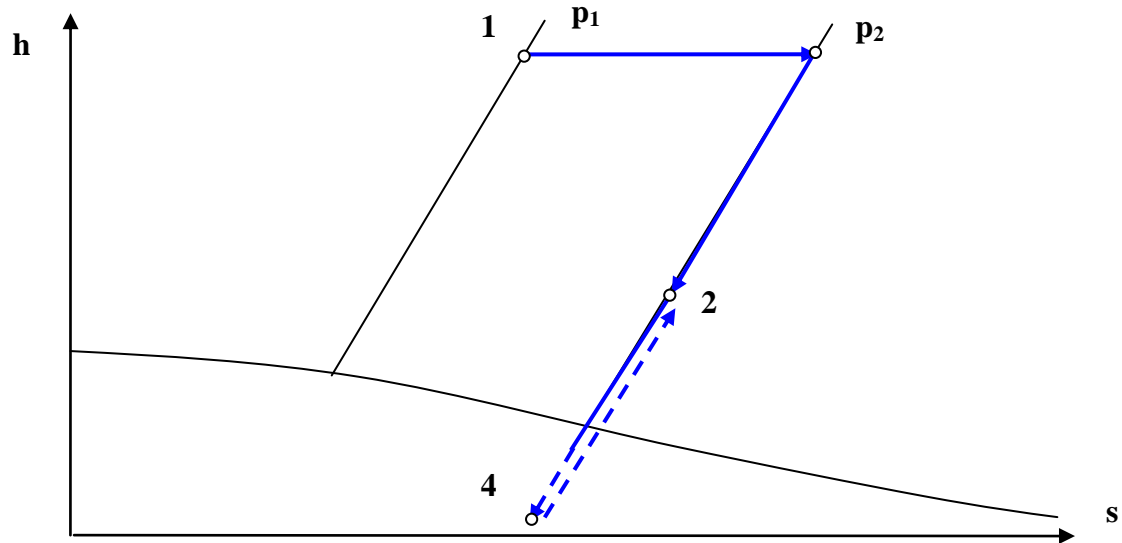
Debitul de abur care parcurge circuitul de “By pass tehnologic” este condensat integral în condensatorul 2.

În figura alăturată este prezentată o schemă a circuitului de de “By pass tehnologic”, de la ieșirea din colectorul de abur, la intrarea în pompa de alimentare a cazanului.



Schema circuitului de “By pass tehnologic”

O schemă a proceselor termodinamice de pe circuitul de “By pass tehnologic”, este prezentată în figura alăturată.



Procesele termodinamice de pe circuitul de “By pass tehnologic”

Valorile parametrilor termodinamici, la ieșirea din stația de reducere – răcire (SRR) și la ieșirea din condensatorul 2, sunt prezentate în tabelul alăturat, fiind determinate din diagrame termodinamice, sau cu ajutorul unor programe de calcul specializate și sunt prezentate în tabelul alăturat..

Valorile parametrilor termodinamici, la ieșirea din (SRR) și la ieșirea din condensatorul 2

Starea	Presiune [bar]	Temperatura [°C]	Entalpie [kJ/kg]	Entropie [kJ/kgK]
2	0.3	236	2949	8.54
4	0.3	102	449	1.39

În continuare au fost utilizate notațiile pentru debite, prezentate în tabelul alăturat, împreună cu valorile măsurate:

Notații pentru debitele de aburului pe circuitele conturului de bilanț și valorile măsurate

Denumire debit	Notație debit
Abur prin By pass tehnologic	\dot{m}_{bi}
Abur prin condensator 2	\dot{m}_{C2}
Condens recirculat	\dot{m}_{cr}

Puterea termică a condensatorului 2 (P_{C2}), considerată ca medie a valorilor instantanee furnizate de sistemul de monitorizare este $P_{C2} = 8060$ kW (pentru un debit de abur furnizat de cazanul 3, $\dot{m}_3 = 9.69$ t/h), iar ca valoare medie a valorilor înregistrate în fișierul de istoric, pus la dispoziție de beneficiar este $P_{C2} = 4520$ kW (pentru un debit mediu de abur furnizat de cazanul 3, $\dot{m}_3 = 10.98$ t/h). Aceste valori indică unele neconcordanțe între valorile instantanee și cele rezultate din istoric.

În continuare s-a considerat termică a condensatorului 2 (P_{C2}):

$$P_{C2} = 7000 \text{ kW}$$

Debitul masic de abur prin condensatorul 2 (\dot{m}_{C2}) se determină din ecuația de bilanț termic pe condensatorul 2:

$$\dot{m}_{C2} = \frac{P_{C2}}{h_2 - h_4} \text{ [kg/s]}$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

$$\dot{m}_{C2} = 2.805 \text{ kg/s} = 10.1 \text{ kg/h}$$

Debitul masic de prin circuitul de “*By pass tehnologic*” (\dot{m}_{bi}) se determină din ecuația de bilanț energetic pe stația de reducere-răcire (SRR):

$$\dot{m}_{bi} = \dot{m}_{C2} \frac{h_2 + h_4}{h_1 + h_4} \text{ [kg/s]}$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

$$\dot{m}_{bi} = 2.352 \text{ kg/s} = 8.47 \text{ t/h}$$

Debitul masic de condens recirculat (\dot{m}_{cr}) se calculează cu relația de bilanț masic pe SRR:

$$\dot{m}_{cr} = \dot{m}_{C2} - \dot{m}_{bi} \text{ [kg/s]}$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

$$\dot{m}_{cr} = 0.452 \text{ kg/s} = 1.63 \text{ t/h}$$

3.5.6. Debitele pe colectorul de abur

Debitul de abur care intră în colectorul de abur (\dot{m}'_3), pe conducta de aducțiune de la cazanul 3, se calculează din ecuația de bilanț masic, pe ramificația aflată pe acest circuit:

$$\dot{m}'_3 = \dot{m}_3 - \dot{m}_{bi} \text{ [kg/s]}$$

Înlocuind valorile numerice, se obține:

$$\dot{m}'_3 = 0.339 \text{ kg/s} = 1.22 \text{ t/h}$$

Pentru verificarea calculelor se întocmește bilanțul masic pe colectorul de abur.

Suma debitelor intrate (\dot{m}_i) este:

$$\dot{m}_i = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}'_3 \text{ [kg/s]}$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

$$\dot{m}_i = 7.389 \text{ kg/s} = 26.6 \text{ t/h}$$

Debitul de abut ieșit din colector (\dot{m}_e) este:

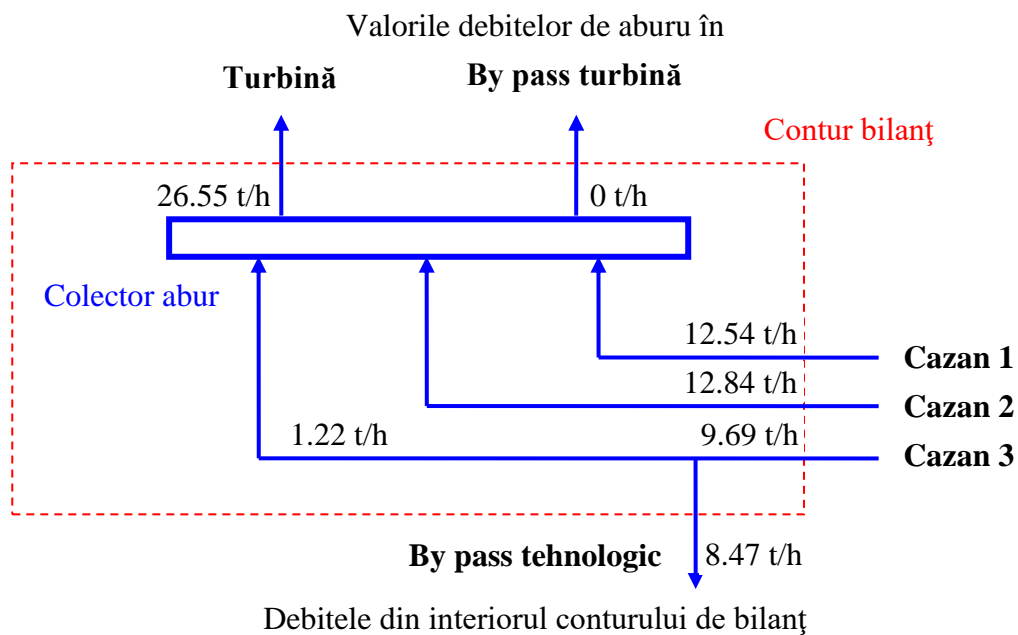
$$\dot{m}_e = \dot{m}_t \text{ [kg/s]}$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

$$\dot{m}_e = 7.376 \text{ kg/s} = 26.55 \text{ t/h}$$

Diferența dintre debitul total intrat și ieșit în colectorul de abur, este de 1.8%, valoare care se încadrează în limitele admise de maxim (3...5)%.

În figura alăturată este reprezentat conturul de bilanț, cu valorile măsurate sau calculate ale debitelor, corespunzătoare regimului 1 de funcționare a instalației de cogenerare.



3.5.7. Bilanțul energetic pe bara colectoare de abur

Puterile termice ale fiecărui circuit de abur viu, se determină cu ajutorul entalpiei aburului, pe aceste circuite, care se determină din diagrame termodinamice, sau cu ajutorul unor programe de calcul specializate și sunt prezentate în tabelul alăturat.

Valorile parametrilor termodinamici ale aburului pe circuitele conturului de bilanț

Nr. crt.	Denumire circuit	Presiune		Temperatură		Entalpie	
		Valoare	u.m.	Valoare	u.m.	Valoare	u.m.
1	Intrare în colector abur din cazan 1	26.26	bar	486.4	°C	3430	kJ/kg
2	Intrare în colector abur din cazan 2	26.26		485.2		3428	
3	Intrare în colector abur din cazan 3	26.26		485.2		3428	
4	Abur pt by pass tehnologic	26.26		485.2		3428	
5	Ieșire abur pentru alimentarea turbinei	26.26		486		3430	
6	Ieșire abur pentru by pass turbină	26.26		486		3430	

Se observă că diferențele reduse de temperatură caracteristice aburului de pe circuitele colectorului, nu influențează valorile entalpiei, astfel încât se poate considera că pe toate aceste circuite, entalpia aburului din colector (h_c) are valoarea:

$$h_c = 3430 \text{ kJ/kg}$$

Puterile termice ale oricăror debite de abur viu (P_{ai}), se determină cu relația:

$$P_{ai} = \dot{m}_i \cdot h_c \text{ [kW]}$$

unde \dot{m}_i [kg/s] este debitul de abur pe circuitul respectiv.

Valorile puterilor aburului viu, pe fiecare circuit în parte, sunt prezentate în tabelul alăturat.

Valorile puterilor aburului viu

Nr. crt.	Denumire circuit	Debit		Putere [kW]
		[t/h]	[kg/s]	
1	Intrare în colector abur din cazan 1	12.54	3.48	11948
2	Intrare în colector abur din cazan 2	12.84	3.57	12234
3	Iesire abur din cazanul 3	9.69	2.69	9232
4	Intrare în colector abur din cazan 3	1.22	0.34	1162
5	Abur pt by pass tehnologic	8.47	2.35	8070
6	Ieșire abur pentru alimentarea turbinei	26.55	7.38	25296
7	Ieșire abur pentru by pass turbină	-	-	-

În figurile alăturate sunt prezentate diagramele Sankey ale bilanțurilor energetice pe colectorul de abur și pe conturul de bilanț.

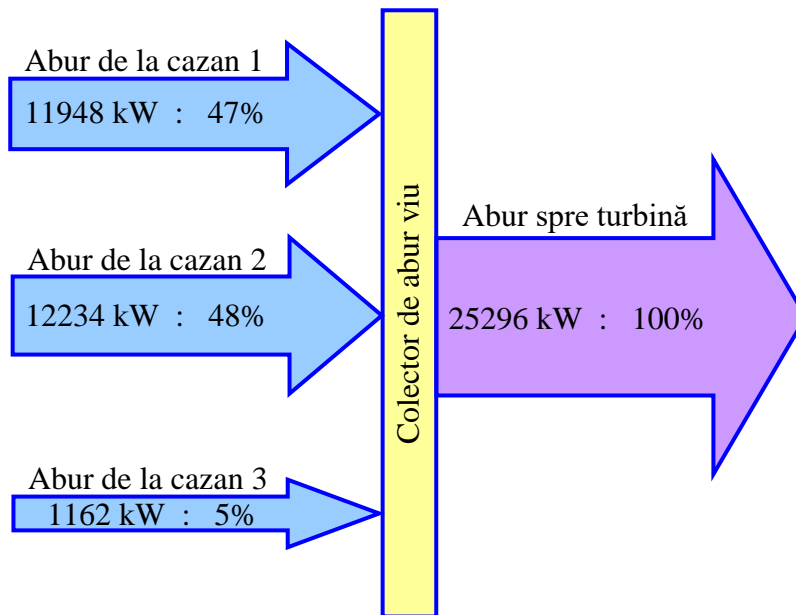


Diagrama Sankey a bilanțului energetic pe colectorul de abur
(Diferență bilanț 0.2%)

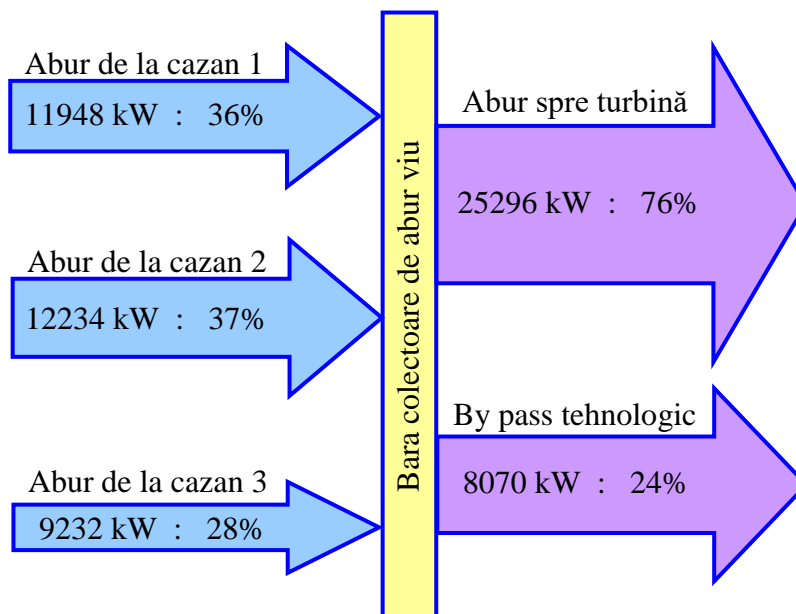


Diagrama Sankey a bilanțului energetic pe conturul de bilanț
(Diferență bilanț 0.1%)

3.5.8. Componentele producției energetice și ponderile acestora

Din punct de vedere energetic, debitul de abur care se destinde în turbină și apoi condensează în condensatorul 1, produce putere electrică (P_e) (reprezentată de puterea generatorului electric) și putere termică (P_{C1}) (reprezentată de puterea condensatorului 1) după cum urmează:

$$P_e = 5024 \text{ kW}$$
$$P_{C1} = 17088 \text{ kW}$$

Puterea totală produsă de debitul de abur care circulă prin turbină (P_{tt}) este:

$$P_{tt} = P_e + P_{C1}$$
$$P_{tt} = 22112 \text{ kW}$$

Puterea termică produsă în condensatorul 2 (P_{C2}) de către debitul de abur care se destinde în stația de reducere – răcire (SRR), este:

$$P_{C2} = 7000 \text{ kW}$$

Puterea termică totală, produsă în cele două condensatoare (P_{term}) este:

$$P_{term} = P_{C1} + P_{C2}$$
$$P_{term} = 24088 \text{ kW}$$

Puterea totală electrică și termică (P), produsă de instalație este:

$$P = P_e + P_{C1} + P_{C2}$$
$$P = 29112 \text{ kW}$$

În tabelul alăturat sunt prezentate valorile și ponderile puterilor electrică și termică, produse în instalația de cogenerare:

Valorile și ponderile puterilor electrică și termică, produse în instalația de cogenerare

Nr. crt.	Denumire	Notație	Valoare [kW]	Pondere [%]
1	Putere totală (<i>electrică și termică produsă de instalație</i>)	P	29112	100
2	Putere electrică	P_e	5024	17
3	Putere termică în condensatorul 1 (<i>prin cogenerare</i>)	P_{C1}	17088	59
4	Putere termică în condensatorul 2	P_{C2}	7000	24
5	Putere termică totală	P_{term}	24088	83
6	Putere totală cogenerare (<i>electrică și termică prin cogenerare</i>)	P_{tt}	22112	76

Puterea termică degajată prin arderea combustibilului (\dot{Q}_a [kW]), se determină cu relația:

$$\dot{Q}_a = \frac{P_{cz}}{\eta_{cz}} \text{ [kW]}$$

unde:

P_{cz} [kW] este puterea cazanului
 η_{cz} [-] este randamentul cazanelor

Valoarea considerată pentru randamentul cazanelor (η_{cz}), este cea indicată de beneficiar ca fiind furnizată de producător:

$$\eta_{cz} = 87\%$$

Valorile puterilor termice ale cazanelor (furnizate de sistemul de monitorizare), sunt prezentate în tabelul alăturat.

Puterile termice ale cazanelor

Nr. crt.	Denumire	Valoare	u.m.
1	Putere termică pentru cazanul 1	10705	kW
2	Putere termică pentru cazanul 2	10757	kW
3	Putere termică pentru cazanul 3	8107	kW
4	Putere termică totală cazane	29569	kW

Înlocuind valorile numerice, se obține puterea termică totală, degajată prin arderea combustibilului:

$$\dot{Q}_a = 33987 \text{ kW}$$

Valoarea pierderilor totale de energie termică în cazane (P_{pcz}) se determină cu relația:

$$P_{pcz} = \dot{Q}_a \cdot (1 - \eta_{cz})$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

$$P_{pcz} = 4418 \text{ kW}$$

Valoarea pierderilor din generatorul electric, se determină cu relația:

$$P_{ge} = P_e \cdot (1 - \eta_g)$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

$$P_{ge} = 201 \text{ kW}$$

Valoarea randamentului electric al instalației (η_{el}) se poate calcula cu relația:

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{\dot{Q}_a}$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

$$\eta_{el} = 14.8 \%$$

Randamentul de producere a energiei termice (η_{term}) se poate calcula cu relația:

$$\eta_{term} = \frac{P_{term}}{\dot{Q}_a}$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

$$\eta_{term} = 70.9 \%$$

Randamentul global de producere a energiei electrice și termice (η_g) se poate calcula cu relația:

$$\eta_g = \frac{P_{el} + P_{term}}{\dot{Q}_a}$$

Înlocuind valorile numerice se obține:

$$\eta_g = 85.7 \%$$

În figura alăturată este prezentată diagrama Sankey a bilanțului energetic pe întreaga instalație.

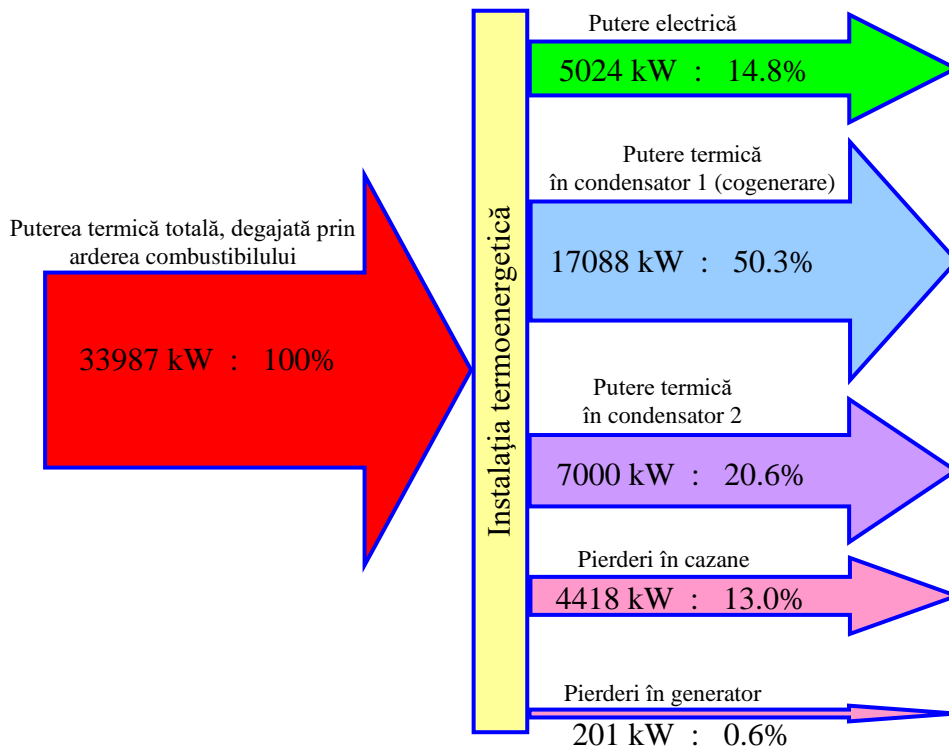


Diagrama Sankey a bilanțului energetic pe instalația termoelectrică (Diferență bilanț 0.8%)

Suma puterilor ieșite din bilanț, reprezintă 33731 kW, adică 99.2% din puterea termică totală degajată prin arderea combustibilului.

3.5.9. Consumurile de combustibil și ponderile acestora

Debitul (sau consumul) de combustibil (\dot{m}_{cb}), se calculează cu relația:

$$\dot{m}_{cb} = \frac{\dot{Q}_a}{\eta_a \cdot H_i} \text{ [kg/s]}$$

unde

η_a [-] este randamentul arderii

H_i [kJ/kg] este puterea calorică a combustibilului

Pentru randamentul arderii (η_a), a fost considerată valoarea:

$$\eta_a = 95\%$$

Pentru puterea calorică a combustibilului (H_i), a fost considerată valoarea pentru care beneficiarul a pus la dispoziție buletinul de analiză:

$$H_i = 8385 \text{ kJ/kg}$$

Debitul (sau consumul) de combustibil (\dot{m}_{cb}), se calculează direct în funcție de puterea cazanului cu relația:

$$\dot{m}_{cb} = \frac{P_{Cz}}{\eta_{Cz} \cdot \eta_a \cdot H_i} \text{ [kg/s]}$$

Înlocuind valorile numerice, se obțin valorile prezentate în tabelul alăturat.

Valorile calculate pentru consumurile de combustibil aferente cazanelor

Nr. crt.	Denumire	Valoare	u.m.
1	Consum combustibil cazan 1	1.54	kg/s
		5.56	t/h
2	Consum combustibil cazan 2	1.55	kg/s
		5.59	t/h
3	Consum combustibil cazan 3	1.17	kg/s
		4.21	t/h
4	Consum total combustibil	4.27	kg/s
		15.36	t/h

Valorile și ponderile consumului de combustibil, corespunzătoare producției de energie electrică, respectiv producției de energie termică, sunt în concordanță cu ponderile producției de energie electrică, respectiv producției de energie termică. Producția de energie termică, precum și consumurile de combustibil au fost defalcate astfel încât să corespundă energiei termice produse de aburul care s-a destins în turbină (cogenerativă), respectiv energiei termice produse de aburul care s-a destins în circuitul de “*By pass tehnologic*”.

Consumurile defalcate, se obțin prin înmulțirea consumului total cu ponderea corespunzătoare tipului de energie produsă. Rezultatele obținute, sunt prezentate în tabelul alăturat.

Valorile și ponderile consumului de combustibil, pe tipuri de utilizări

Nr. crt.	Denumire	Valoare [t/h]	Pondere [%]
1	Consum pt. producere putere totală (<i>electrică și termică produsă de instalație</i>)	15.36	100
2	Consum pt. producere putere electrică	2.65	17
3	Consum pt. producere putere termică în condensatorul 1 (<i>prin cogenerare</i>)	9.02	59
4	Consum pt. producere putere termică în condensatorul 2	3.69	24
5	Consum pt. producere putere termică totală	12.71	83
6	Consum pt. producere putere totală cogenerare (<i>electrică și termică prin cogenerare</i>)	11.67	76

Observație: Consumul total de combustibil calculat și ponderile aferente diverselor tipuri de producție energetică, reprezintă valorile corespunzătoare regimului de funcționare a instalației de cogenerare, analizat în cadrul bilanțului energetic. Aceste consumuri nu reprezintă valori medii și nu pot fi extrapolate la alte regimuri de funcționare a instalației, sau la perioade îndelungate de funcționare, decât dacă pentru acele perioade de timp, regimurile de funcționare sunt caracterizate prin aceiași parametri: debite de abur, presiuni și temperaturi de lucru, aceleași debite de abur pe circuitele de by pass, aceeași calitate și umiditate a combustibilului, etc. Orice modificări ale acestor parametri, pot determina variații ale consumului de combustibil. Se estimează că în alte regimuri de funcționare pot fi întâlnite consumuri de combustibil diferite cu până la cca. (25...30)%, față de consumul corespunzător regimului de lucru considerat în cadrul prezentului bilanț energetic.

4. CONCLUZII

4.1. Parametrii nominalii ai instalației

Parametrii nominali ai instalației de cogenerare, care au fost identificați sunt:

Cazane:	Tip: UR-HDD-R/Z-14000 Debit maxim de abur supraîncălzit: 13 t/h Putere termică maximă: 12730 kW Presiune maximă: 32 bar Temperatura nominală de supraîncălzire: 480°C Număr cazane: 3
Turbină:	Tip: MAN; Model: MARC 2- H01 Destinație: Turbină pentru cogenerare Debit maxim de abur: 26 t/h Presiune nominală a aburului la intrare: 26 bar Temperatura nominală a aburului la intrare: 480°C Turație: 10000...12000 rot/min Putere: 4000...7200 kW
Generator electric	Tip: ELIN EBG Moteren EmbH; Model: HTM 171 D04 Putere electrică nominală: 5032 kW
Condensator 1	Model: ABH TERMO BEU-32 Putere termică: 18500 kW
Condensator 2	Model: ABH TERMO BEU-28 Putere termică: 11000 kW

4.2. Concluzii

În urma realizării bilanțului energetic se pot sintetiza următoarele concluzii.

Scopul bilanțului și anume *identificarea ponderilor din consumul total de combustibil, corespunzătoare producției de energie electrică, respectiv producției de energie termică, defalcat în energie termică produsă din aburul destins în turbină și din aburul care ocolește turbina prin circuitele de by pass, a fost realizat integral.*

Pentru realizarea bilanțului energetic a fost definit regim de lucru.

Bilanțul energetic a fost realizat în condițiile în care numărul debitelor de abur, care au fost măsurate, a fost minim. Astfel au fost măsurate numai cele 3 (trei) debite de abur, produse de cele 3 (trei) cazane. În consecință, deși inițial s-a propus analiza numai la nivelul barei comune de abur viu, **conturul de bilanț a fost extins practic la întreaga instalație.**

Pentru realizarea bilanțului energetic, au fost utilizate exclusiv măsurători realizate de sistemul de monitorizare și control al instalației de cogenerare, puse la dispoziție de beneficiar.

Raportul bilanțului energetic menționează câțiva dintre cei mai importanți parametri de performanță ai instalației.

Nr. crt.	Denumire	u.m.	Valoare [%]
1	Randamentul cazanelor	%	87.0
2	Randament producere energie electrica	%	14.8
3	Randament producere energie termica	%	70.9
3	Randament global	%	85.7

Faptul că a fost posibilă realizarea bilanțului termic, arată că este posibilă analiza funcționării instalației, cu sistemul de monitorizare și control, în configurația existentă.

Pentru a reduce numărul calculelor necesare pentru interpretarea și înțelegerea modului de comportare a instalației, *se pot realiza următoarele puncte de măsură* a debitelor, presiunii și temperaturii aburului, în următoarea ordine a importanței:

- Ieșirea aburului din colector, pe circuitul de „By pass tehnologic”
- Ieșirea aburului din colector, pe circuitul de „By pass turbină”
- Intrarea aburului în colector dinspre cazanul 3

Aceste investiții nu sunt obligatorii, dar dacă vor fi realizate, vor permite un control mai performant al instalației și posibilitatea de analiză mai rapidă a fenomenelor din instalației.

Referințe bibliografice

1. Pănoiu N., Cazacu C., Mihăescu L., - Instalații de ardere cu combustibili solizi, București (1985)
2. Mădărășan T., Bălan M. – Termodinamică tehnică, Ed. Sincron, Cluj-Napoca, 1999
3. <http://www.engineeringtoolbox.com>
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_of_combustion