

ANALIZA PERFORMANTELOR UNEI INSTALAȚII DE COGENERARE, CU CICLU COMBINAT, ÎNTR-O SITUAȚIE DE „OFF-DESIGN”

Lecturer, PhD. ing. Nicușor NACU

UNIVERSITY DUBLIN, Ireland

Abstract. In this paper the design performances of a combined and cogenerative plant are compared to the performances corresponding to a situation caused by the constraints coming from both thermal and electrical loads, in terms of various parameters. These parameters are: the electrical efficiency, the thermal efficiency, the first law efficiency, the second law efficiency, the energy saving index, the electrical index, the equivalent electrical efficiency and the power-to-heat ratio. The results demonstrate that such a comparison is important, significant departures of the actual performances from the values calculated with the data supplied by the Manufacturer being observed.

1. INTRODUCERE

În această lucrare, cogenerarea reprezintă ansamblul de operații relative la producerea combinată de energie mecanică/electrică și căldură, amândouă considerate efecte utile plecând de la o sursă primară oarecare. Acest proces trebuie să realizeze o folosire mai rațională a energiei (primare), față de acelea în care s-ar obține separat lucru mecanic și căldură. Mai mult, cogenerarea implică procese de obținere a energiei mecanice/electrice și a căldurii interconectate în cascadă [1]. În continuare este descrisă și analizată o instalație de cogenerare, cu ciclu combinat, cu turbină cu gaze de derivație aeronautică LM 2500, amplasată în Verona (Italia) și pusă în funcțiune în 1994. Pentru a evalua performanțele unui sistem de cogenerare este necesar să determinăm, prin măsurători sau prin modelare pe computer, parametrii caracteristici ai acestei instalații. Opt astfel de parametri, anterior prezentați [2, 3, 4], au fost calculați utilizând măsurătorile efectuate în condiții de operare, iar rezultatele obținute au fost comparate cu cele „garantate” de proiectantul și executantul centralei. Prezintă interes, fiind comentată în aceasta lucrare, situația din timpul nopții în cazul în care există, sau nu, restricție pentru producerea de energie electrică.

2. DESCRIEREA INSTALAȚIEI

Instalația (centrala) de cogenerare amplasată în Verona e constituită dintr-un ansamblu turbină cu gaze, cazan recuperator, turbină cu abur și dintr-un sistem de „completare” a cantității de căldură necesară în rețeaua (circuitul) urbană (pentru încălzire sau condiționarea aerului și pentru prepararea apei calde menajere, potrivit proiectului inițial) aferentă orașului, dotat cu două cazane auxiliare. Atât turbină cu gaze, cât și cazanele auxiliare, pot funcționa cu gaz natural sau cu combustibil lichid. Mai mult, turbină cu gaze poate opera numai cu combustibil gazos (gaz natural), numai cu combustibil lichid, ori cu o combinație a celor doi [2, 3]. Principalele caracteristici ale componentelor de bază ale centralei sunt:

- turbină cu gaze (TG), de 21,653 MW [5], furnizată de „FiatAvio”, de tipul General Electric LM 2500;
- un cazan recuperator, furnizat de „Ruths”, alimentat de gazele de ardere ale turbinei. Cazanul recuperator (generatorul de abur) este cu două nivele de presiune, unul de „înaltă”, de circa 50 bar și unul de „joasă”, de circa 5,5 bar. În partea finală a generatorului de abur este amplasat un preîncălzitor pentru condensat și un recuperator final. Acesta din urmă servește pentru preîncălzirea apei ce sosește din rețeaua urbană;
- turbină cu abur (TA), cu condensatie, de 8,347 MW [6], cu dublă admisie și prelevare de vapori, furnizată de „Ansaldo Componenti”;
- două cazane auxiliare (CA), cu țevi de fum, de 10 MW fiecare, pentru producerea de apă supraîncălzită pentru rețeaua urbană. Ele sunt de producție „Ivar” Verona.

În fig. 1 este prezentată schema generală, simplificată, a circuitului termic al centralei. Situațiile de funcționare sunt:

a) *La puterea termică nominală:* turbină cu gaze este în funcțiune în condițiile de sarcină nominală. Toată cantitatea de vapori produsă în cazanul recuperator alimentează turbină cu abur. De la turbină cu abur vine prelevat debitul maxim de vapori pentru utilizare termică, până la circa 23 MW. Cazanele auxiliare completează cantitatea de căldură necesară rețelei urbane, până la un maxim de 20 MW, puterea termică totală fiind de 43 MW.

b) *La puterea termică maximă:* turbină cu gaze e în funcțiune în condiții de sarcină nominală. Turbină cu abur este oprită. Vaporii produși de cazanul recuperator sunt complet utilizați pentru furnizarea căldurii necesare circuitului urban, traversând prin by-pass-uri turbină cu vapori; este vorba de circa 31 MW. Cazanele auxiliare joacă același rol ca la pct. a).

c) *La puterea electrică nominală:* turbină cu gaze e în funcțiune în condițiile de sarcină nominală (rezultând circa 21,4-21,65 MW). Vaporii produși în cazanul

recuperator alimentează turbina cu abur. Puterea termică furnizată de la prizele de presiune este nulă. Toată cantitatea de vapori se destinde în turbină, apoi trece în

condensator, obținându-se astfel circa 8,4 MW. Puterea electrică dezvoltată la temperatura mediului ambiant de 15°C este, în acest caz, de circa 30 MW [6].

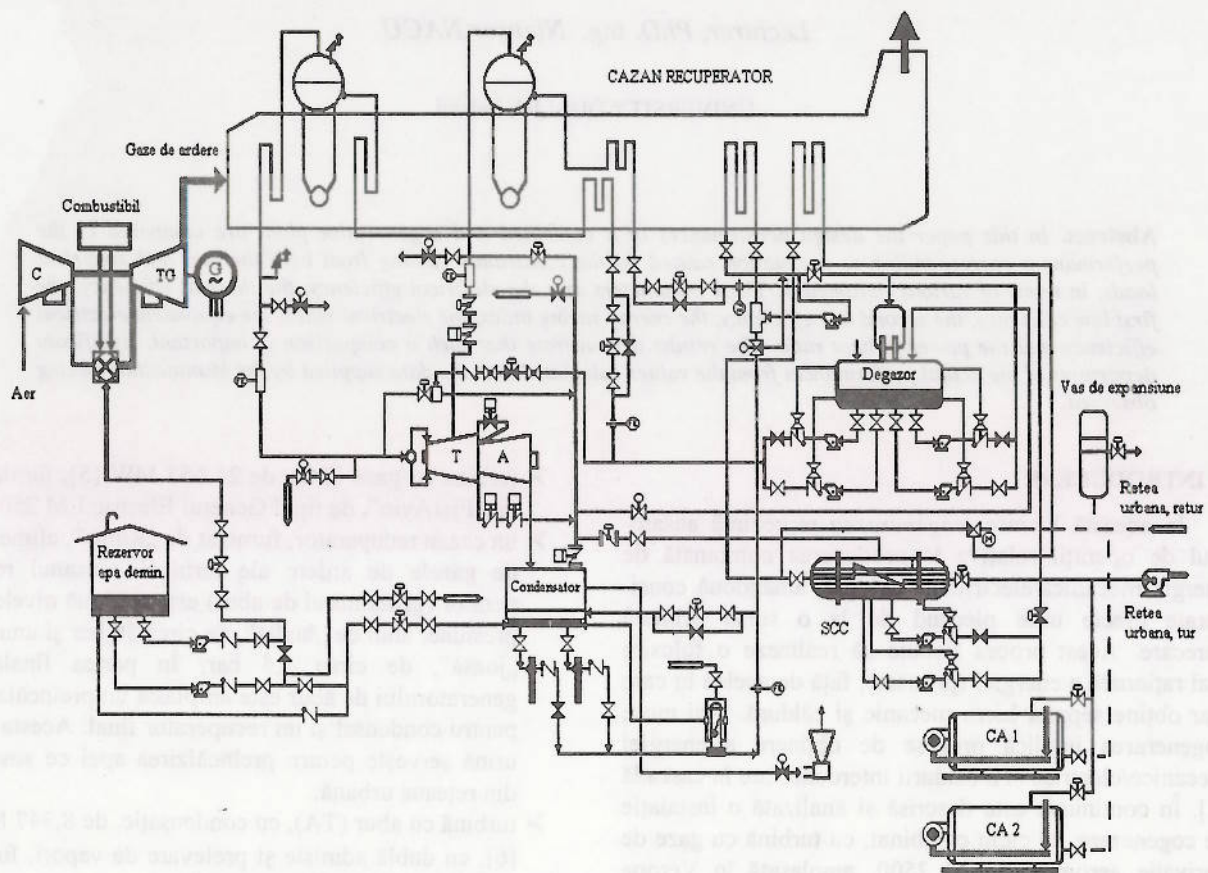


Fig. 1

3. PERFORMANȚE „GARANTATE” DE PRODUCĂTOR

Condițiile ambientale și alte valori de referință, corespunzătoare performanțelor „garantate” pentru centrala de la Verona, sunt: temperatura aerului și a gazului combustibil 15°C; presiunea aerului (atmosferică) 1,013 mbar; umiditatea relativă 60%; temperatura apei de răcire la condensator 12°C; presiunea relativă a gazului combustibil 23 bar; puterea calorifică inferioară a gazului combustibil (LHV) 52 800 kJ/kg; densitatea gazului combustibil 0,686 kg/m³; temperatura apei din circuitul urban de încălzire pe „retur” 60°C, pe „tur” 120°C; presiunea relativă a apei din circuitul urban de încălzire pe „retur” 10 bar, pe „tur” 19 bar; debitul de apă pentru rețeaua urbană 93,6 kg/s; emisiile de NO_x (NO₂) la 15 % O₂ < 150 mg/m³; emisiile de CO < 60 mg/m³; factorul de putere 0,9.

În condițiile menționate și la funcționarea în cogenerare, Ansaldo asigură atingerea următorilor parametri pentru instalația din Verona: puterea electrică totală netă, P_{Eg} = 24,137 MW; randamentul obținerii energiei electrice, η_{eg} = 0,376; randamentul primului

principiu, η_{1g} = 0,744. Valorile menționate au fost stabilite de către Ansaldo în situația în care puterea termică utilă, restituită la temperatura T_u = 113 °C, este de Q_{ug} = 23,6 MW, iar debitul masic de combustibil, pentru turbina cu gaze, este de 1,215 kg/s. Temperatura T_u este temperatura condensatului la ieșirea din schimbătorul de căldură de cogenerare (SCC).

Ceilați parametri (indici) caracteristici pentru instalația (centrala) de cogenerare, prezentați și în [2, 3, 4] și rezultați în urma calculului ulterioare, în condițiile de mai sus, au valorile din tabelul 1.

Obs. Rezultatele pentru indicele de economisire a energiei primare, I_{ECO2}, din tabelul 1, s-au obținut pentru randamentul ipotetic de „producere” separată a energiei electrice, η_p = 0,374 (randamentul mediu ENEL = 0,374, vezi [2, 3, 4]), η_Q fiind randamentul ipotetic al obținerii separate de căldură (energie termică), pentru care se poate considera o valoare de 0,85, 0,9 sau 0,92.

În vederea analizei instalației de la Verona s-au efectuat două serii de măsurători: una în iarna lui 1996/1997, este vorba de lunile decembrie 1996 și ianuarie 1997, iar cealaltă în intervalul mai-septembrie 1995, folosind moderna aparatură de control cu care a fost dotată centrala, sistemul Bailey INFI90 [2].

În realitate, instalația funcționează majoritatea timpului în așa-numitele condiții de „off-design”, în principal datorită variației sarcinii termice, atât pe durata celor 24 de ore, cât și de la o lună la alta, a valorii puterii calorifice inferioare a gazului natural diferită de cea prevăzută de constructor (49 158 kJ/kg-33 929 kJ/m³, față de 52 800 kJ/kg sau 52 816 kJ/kg, ambele citate de Ansaldo [6]), dar și a perioadelor de restricție pentru „producerea” energiei electrice, în unele perioade din timpul nopții sau al zilelor nelucrătoare limitându-se „producerea” de energie electrică, dar asigurându-se urmărirea sarcinii termice aferente consumatorului de căldură.

Ținând cont de acestea s-au identificat, în perioada de iarnă, două perioade „negative” în funcționarea instalației: una cuprinsă între orele 23-23³⁰ și 4³⁰-5, și alta în jurul orei 10-10³⁰, pentru care sarcina termică pe durata zilei este minimă. În continuare ne propunem să comensurăm parametrii (indicii) caracteristici pentru sistemele de cogenerare, anterior definiți, pentru prima din cele două situații defavorabile amintite, în două situații distincte: cu și fără restricție pentru „producerea” de energie electrică.

4. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Rezultatele măsurătorilor efectuate, împreună cu valorile calculate ale parametrilor (indiciilor) caracteristici ai sistemelor de cogenerare, adică acelea de pe durata „restricției” pentru „producerea” de energie termică dar și electrică, în jurul orei 24, în condiții permanente (staționare) de funcționare a instalației, sunt sintetizate în tabelul 1. Analiza acestor rezultate ne permite să formulăm următoarele concluzii:

- Niciodată puterea resursei energetice, P_C , nu a egalat sau depășit valoarea „garantată” de Ansaldo ($P_{Cg} = 64,15$ MW).
- În timpul situațiilor de „restricție” privind producerea de electricitate, valoarea medie pentru puterea electrică totală netă a fost $P_E = 20,25$ MW.
- Randamentul obținerii energiei electrice, η_e , s-a situat între 0,414 și 0,452; dacă facem referință la valorile lui medii, intervalul este $0,429 \pm 0,441$, valori sensibil mai mari decât cea garantată $\eta_{eg} = 0,376$.

Tabelul 1. Valorile parametrilor studiați pentru cele două cazuri investigate

Parametrul	Cazul 1	Cazul 2	Cazul 1 (valori medii)	Cazul 2 (valori medii)	Valori pt. cazul garantat
P_C , MW	44,767-49,235	60,686-62,241	47,142	61,496	$P_{Cg} = 64,15$
P_E , MW	19-22	27-28	20,25	27,1	$P_{Eg} = 24,137$
Q_{u1} , MW	6,8-13,2	7,1-12,6	9,1	10,3	$Q_{ug} = 23,6$
Q_{u2} , MW	6,8-11,7	6,2-11,8	8,25	9,4	$Q_{ug} = 23,6$
η_e	0,414-0,452	0,434-0,45	0,429	0,441	$\eta_{eg} = 0,376$
η_{t1}	0,14-0,273	0,114-0,203	0,192	0,168	$\eta_{tg} = 0,368$
η_{t2}	0,14-0,242	0,1-0,191	0,175	0,153	$\eta_{tg} = 0,368$
η_{11}	0,574-0,688	0,561-0,639	0,622	0,608	$\eta_{1g} = 0,744$
η_{12}	0,573-0,657	0,549-0,627	0,604	0,593	$\eta_{1g} = 0,744$
η_{21}	0,456-0,492	0,468-0,483	0,471	0,478	$\eta_{2g} = 0,469$
η_{22}	0,452-0,488	0,466-0,479	0,467	0,475	$\eta_{2g} = 0,469$
I_{ECO11}	0,699-0,755	0,712-0,756	0,728	0,727	$I_{ECOg1} = 0,695$
I_{ECO12}	0,705-0,761	0,719-0,76	0,735	0,733	$I_{ECOg2} = 0,707$
I_{ECO13}	0,707-0,763	0,721-0,762	0,737	0,735	$I_{ECOg3} = 0,712$
I_{ECO21}	0,711-0,761	0,719-0,764	0,739	0,737	$I_{ECOg1} = 0,695$
I_{ECO22}	0,716-0,767	0,726-0,768	0,745	0,742	$I_{ECOg2} = 0,707$
I_{ECO23}	0,718-0,769	0,728-0,769	0,748	0,744	$I_{ECOg3} = 0,712$
I_{E1}	0,602-0,755	0,682-0,798	0,6925	0,726	$I_{Eg} = 0,506$
I_{E2}	0,631-0,755	0,696-0,819	0,712	0,7445	$I_{Eg} = 0,506$
$\eta_{el.ech.11}$	0,519-0,611	0,514-0,572	0,556	0,55	$\eta_{el.ech.g1} = 0,6625$
$\eta_{el.ech.12}$	0,513-0,595	0,51-0,562	0,547	0,542	$\eta_{el.ech.g2} = 0,636$
$\eta_{el.ech.13}$	0,511-0,59	0,508-0,559	0,544	0,54	$\eta_{el.ech.g3} = 0,626$
$\eta_{el.ech.21}$	0,516-0,58	0,506-0,562	0,541	0,538	$\eta_{el.ech.g1} = 0,6625$
$\eta_{el.ech.22}$	0,51-0,567	0,502-0,553	0,533	0,531	$\eta_{el.ech.g2} = 0,636$
$\eta_{el.ech.23}$	0,508-0,562	0,501-0,55	0,531	0,529	$\eta_{el.ech.g3} = 0,626$
α_1	1,52-3,09	2,14-3,94	2,3	2,73	$\alpha_g = 1,02$
α_2	1,71-3,09	2,29-4,52	2,52	3,03	$\alpha_g = 1,02$

- Cea mai importantă influență asupra parametrilor (indicilor) sistemelor de cogenerare o are variația puterii termice utile, Q_u . Intervalul de variație a puterii termice utile a fost $Q_{u1} = 6,8 + 13,2$ MW (Q_{u1} reprezentând puterea termică utilă măsurată la schimbătorul de căldură de cogenerare sau la ieșirea din cel plasat în coada cazanului recuperator), ea având valori destul de mici, dacă ținem cont de cea „garantată” ($Q_{ug} = 23,6$ MW).
- Datorită valorilor mai mici decât cea garantată ale puterilor termice utile (Q_{u1} și Q_{u2}) pentru cazurile studiate, 1 și 2 (media înregistrată în primul caz fiind de 9,1 MW, respectiv 8,25 MW, iar în al doilea caz 10,3 MW, respectiv 9,4 MW), sunt influențate negativ randamentele obținerii energiei termice, η_{t1} și η_{t2} .
- În ceea ce privește randamentul primului principiu sau factorul de utilizare a combustibilului, $\eta_{11} = 0,561 + 0,688$; dacă ne referim la media valorilor înregistrate pentru cele două situații studiate, $\eta_{11} = 0,608 + 0,622$, față de $\eta_{1g} = 0,744$.

- Relația de calcul pentru randamentul primului principiu, η_1 , în cazul sistemelor de cogenerare poate fi scrisă sub forma

$$\eta_1 = \frac{P_E + Q_u}{P_C} = \eta_e + \eta_t = \eta_e \cdot \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

ceea ce evidențiază că dacă α este foarte mare, η_1 se apropie de η_e .

- Randamentul celui de-al doilea principiu ia valorile $\eta_{21} = 0,456 + 0,492$; dacă ne referim la media valorilor înregistrate pentru cele două situații studiate, $\eta_{21} = 0,471 + 0,478$, față de $\eta_{2g} = 0,469$.
- Randamentul primului principiu, η_1 , este unul dintre parametrii sistemelor de cogenerare cel mai des utilizat. Folosirea acestui indice, izolat de ceilalți, în special în absența randamentului principului al doilea, η_2 , înseamnă o analiză incompletă a instalației studiate. Considerând, după observații preliminare, că randamentul principului al doilea al termodinamicii, η_2 , este puțin afectat de înlocuirea, în relația sa de calcul, a temperaturii mediului ambiant cu cea a aerului la intrarea în compresorul turbinei cu gaze, în continuare sunt prezentate rezultatele obținute pentru cazurile anterior analizate și pentru această ipoteză. De remarcat, în situația în care temperatura mediului ambiant este sub cea a aerului aspirat de compresorul sus-amintit și în cazul în care celelalte mărimi care intervin în relația de calcul rămân constante, valoarea

randamentului principului al doilea, al sistemelor de cogenerare crește.

Să remarcăm că relația de calcul pentru randamentul principului al doilea η_2 , în cazul sistemelor de cogenerare, poate fi scrisă sub forma

$$\eta_2 = \frac{P_E + Q_u \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_u}\right)}{P_C} = \eta_e + \eta_t \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_u}\right)$$

în care $(1 - T_0/T_u) < 1$, deoarece $T_0 < T_u$.

Mai mult, reamintind că $\eta_1 = \eta_e + \eta_t$ rezultă $\eta_2 = \eta_1 - \eta_t \cdot (T_0/T_u)$, ceea ce indică, din nou, că $\eta_2 < \eta_1$.

Notând raportul putere/căldură cu $\alpha = P_E/Q_u$, rezultă

$$\eta_2 = \eta_1 - \frac{\eta_e \cdot T_0}{\alpha \cdot T_u}$$

Această relație arată că dacă α este foarte mare, η_2 se apropie de η_1 , iar dacă randamentul obținerii energiei termice este foarte mic, adică α este foarte mare, η_2 se apropie de η_e (vezi fig. 3).

- Indicele de economisire a energiei primare, fac pentru început referință la I_{ECO11} , ajunge la 0,756 (creșterea lui fiind o tendință nefavorabilă), valoarea lui minimă fiind de 0,699 față de $I_{ECOg1} = 0,695$. Cât despre situația cea mai defavorabilă pentru indicele de economisire a energiei primare, I_{ECO23} , acesta s-a situat între 0,718 și 0,769. Dacă facem referință la mediile valorilor înregistrate pentru indicele de economisire a energiei primare (vezi tabelul 1), $I_{ECO11} = 0,727 + 0,728$, iar pentru cazul cel mai defavorabil, 0,744 + 0,748. Menționăm, din nou, că diferența $(1 - I_{ECO})$ reprezintă economia de energie primară realizată față de situația în care electricitatea și căldura ar fi obținute separat, prima în centralele ENEL-ului, cu un randament mediu, $\eta_P = 0,374$, iar căldura utilă în cazane convenționale, cu randamentul η_Q .
- Ținând cont de relațiile parametrilor sistemelor de cogenerare [2, 3, 4] în condițiile în care ne aflăm, putem scrie

$$I_{ECO} = \frac{\frac{P_E + Q_u}{\eta_1}}{\frac{Q_u \cdot \alpha}{\eta_P} + \frac{Q_u}{\eta_Q}} = \frac{1}{\alpha + \frac{\eta_P}{\eta_Q}} \cdot (\alpha + 1) \cdot \eta_P$$

expresia rezultată punând în evidență faptul că indicele de economisire a energiei primare, I_{ECO} , este invers proporțional cu η_1 (vezi fig. 4 și 5) și direct proporțional cu cantitatea $\frac{(\alpha + 1) \cdot \eta_P}{\alpha + \eta_P/\eta_Q}$,

cantitate care va scădea cu creșterea lui α , de vreme ce $\eta_P < \eta_Q$.

- Randamentul electric echivalent are valorile $\eta_{el.ech.11} = 0,514 + 0,611$, iar mediile valorilor înregistrate se situează între 0,55 și 0,556. Pentru situația cea mai defavorabilă randamentul electric echivalent are valorile, $\eta_{el.ech.23} = 0,501 + 0,562$, respectiv între 0,529 și 0,531, dacă ne referim la mediile valorilor înregistrate.
Dacă scriem randamentul electric echivalent funcție de η_1 rezultă

$$\eta_{el.ech.} = \eta_1 \cdot \frac{P_E}{P_E + Q_u - \frac{\eta_1 \cdot Q_u}{\eta_Q}}$$

relație care ne arată că $\eta_{el.ech.}$ este mare dacă η_1 este mare (vezi, de exemplu, fig. 3).

O altă relație pentru randamentul electric echivalent este

$$\eta_{el.ech.} = \frac{P_E}{P_C - \frac{Q_u}{\eta_Q}} = \frac{P_E}{P_C - \frac{P_E}{\alpha \eta_Q}} = \frac{1}{\frac{1}{\eta_e} - \frac{1}{\alpha \cdot \eta_Q}}$$

expresie care ne arată că dacă raportul putere/căldură, α , este foarte mare, $\eta_{el.ech.}$ tinde către randamentul obținerii energiei electrice, η_e .

- Indicele electric caracteristic I_{E1} , care ne indică câtă energie electrică se poate obține pentru o cerere termică dată, are valorile cuprinse între 0,602 și 0,798, iar dacă ne raportăm la valorile medii, între 0,6925 și 0,726, față de $I_{Eg} = 0,506$.
- Raportul putere/căldură α_1 variază, de la 1,52, la 3,94.
- Datorită valorilor ridicate ale randamentului obținerii energiei electrice, η_e , în comparație cu cea „garantată” ($\eta_{eg} = 0,376$), influența negativă a valorilor mici ale puterii termice utile, Q_u , se

reduce în cazul randamentului primului principiu, η_{11} și η_{12} . Acest lucru devine și mai evident în cazul indicelui de economisire a energiei primare, I_{ECO} , și a randamentului principiiului al doilea, η_2 ; o tendință asemănătoare, de diminuare a influenței valorilor scăzute ale puterii termice utile în raport cu cea „garantată”, se manifestă și în cazul randamentului electric echivalent, $\eta_{el.ech.}$.

- Nu există o diferență între tendințele de variație a valorilor parametrilor sistemelor de cogenerare studiate în cazul situațiilor de „restricție” și în cazul neproducerii de energie electrică. Nu există o diferență de „substanță” (esențială) între situațiile de „restricție” sau de neproducere de energie electrică în eventualitatea în care puterile termice utile, Q_u , sunt apropiate și în ceea ce privește valorile medii ale următorilor parametri (indici) ai sistemelor de cogenerare: I_{ECO} , $\eta_{el.ech.}$, η_1 , η_2 , η_u și η_e . Se poate astfel aprecia că restricția asupra puterii electrice totale nete, P_E , pe timpul nopții sau, în general, al zilelor nelucrătoare, în perioada de iarnă, nu are un impact negativ decât asupra câștigurilor proprietarului instalației provenite din vânzarea de electricitate.

În fig. 2, a) și b) sunt prezentate pentru cele două situații variația: puterii resursei energetice, P_C , puterii termice utile Q_{u1} , respectiv puterii electrice totale netă, P_E , funcție de raportul putere/căldură α_1 .

În fig. 3 a) și b) sunt prezentate, pentru fiecare caz, variația randamentului obținerii energiei termice η_{11} , randamentului primului principiu η_{11} , randamentului electric echivalent $\eta_{el.ech.11}$, indicelui de economisire a energiei primare I_{ECO11} și randamentului principiiului al doilea η_{21} , funcție de raportul putere/căldură α_1 . Se observă că la mărirea raportului putere/căldură α_1 există tendința de micșorare a η_{11} , η_{11} , $\eta_{el.ech.11}$ și una extrem de ușoară a randamentului η_{21} , în condițiile în care el a fost calculat, însoțite de o creștere a indicelui I_{ECO11} .

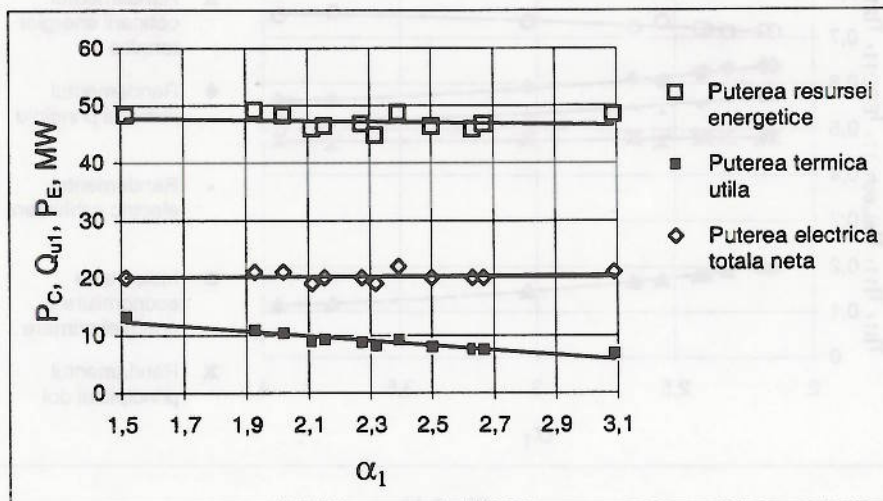


Fig. 2, a)

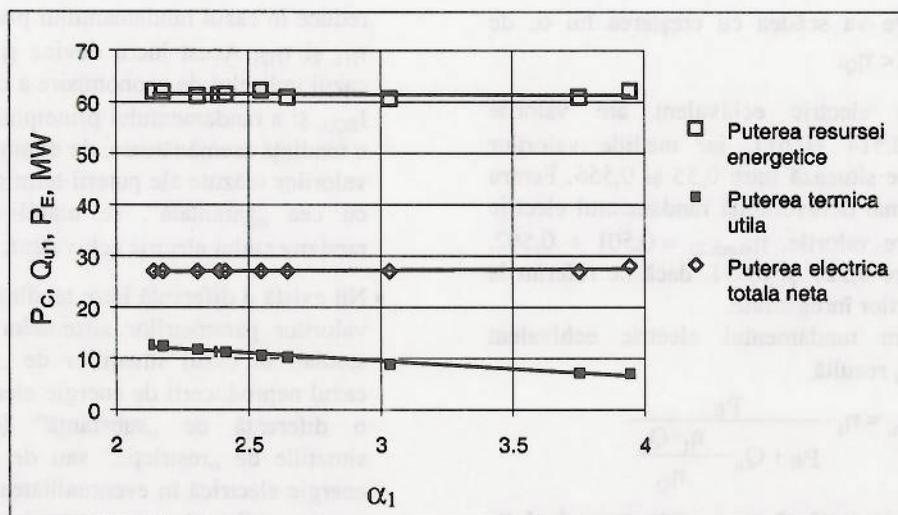


Fig. 2, b)

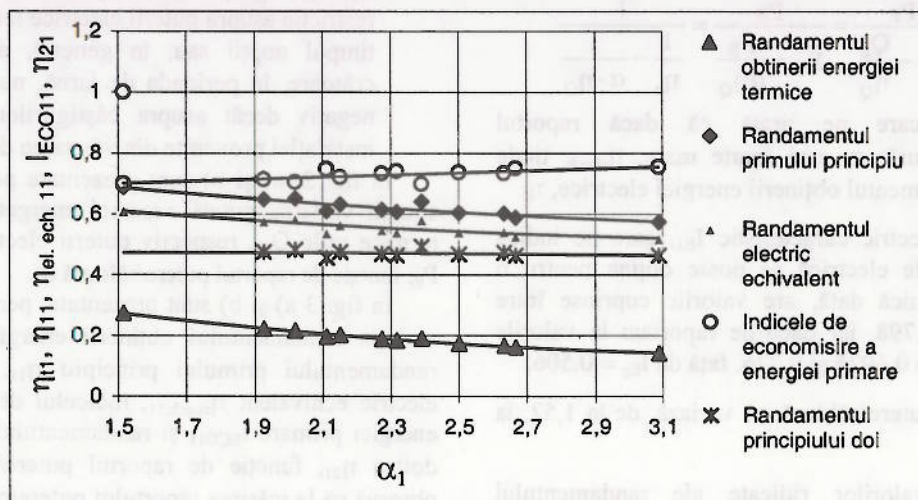


Fig. 3, a)

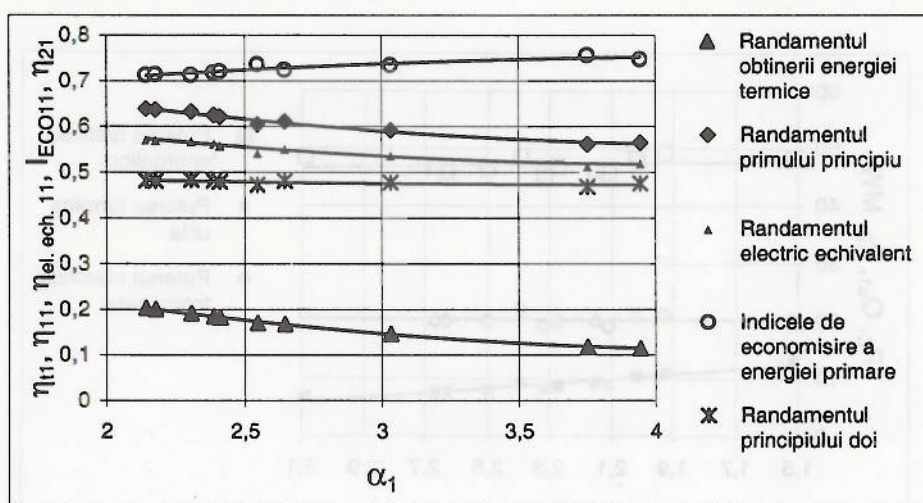


Fig. 3, b)

5. CONCLUZII

În această lucrare, performanțele de proiect ale unei instalații de cogenerare, cu ciclul combinat, cu turbină cu gaze de derivație aeronautică LM 2500, din Verona, sunt comparate cu cele ce corespund unei situații de „off-design” datorată constrângerilor impuse atât de sarcina termică, cât și de cea electrică. Această comparație se face cu ajutorul a opt parametri, definiți pentru a caracteriza sistemele cogenerative.

Motivul pentru care, de multe ori, funcționarea centralei se face departe de așa-numita condiție de „design”, situații traduse prin diferențe, uneori apreciabile, ale parametrilor sistemelor de cogenerare față de cele „garantate”, este, în principal, neîncadrarea utilizatorului în consumul prezumtiv de energie termică, inclusiv pe durata verii, de care s-a ținut cont la proiectarea instalației, situație ce s-ar fi putut evita dacă exista o formă contractuală în acest sens.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Macchi, E., *Quadro di riferimento tecnologico per la cogenerazione oggi in Italia*, în cadrul cursului „Sistemi de cogenerazione: valutazione economica, impatto ambientale, metodologia di collaudo”, organizat de Departamentul de energetică al Politehnicii din Milano, Octombrie 1991.
- [2] Nacu, N., *Analiza parametrilor sistemelor de cogenerare pentru instalația cu ciclul combinat, cu turbină cu gaze de derivație aeronautică LM 2500, din Verona, în condiții de off-design*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași – Universită degli Studi di Padova, 1997.
- [3] Nacu, N., Mirandola, A., *Parametric analysis of the off-design performances of a combined cogenerative plant*, Conferința internațională TURBO '98, București, 1998.
- [4] Nacu, N., *Câteva considerații legate de cogenerare și de parametrii caracteristici ai sistemelor de cogenerare*, Conferința Națională de Termotehnică, Sibiu, 2000.
- [5] * * * *LM 2500G Series and P Series; On-Site Operation and Maintenance Manual*, General Electric (GEK 97310) vol. I, 1988.
- [6] * * * *Ansaldo Industria-Centrale di cogenerazione di Verona (Borgo Trento)*, Manuale di operazione e manutenzione, vol. 1-33.

CONFERINȚA NAȚIONALĂ DE TERMOTEHNICĂ Ediția a-X-a, SIBIU 2000

Ediția a-X-a a CONFERINȚEI NAȚIONALE DE TERMOTEHNICĂ s-a desfășurat în stațiunea Păltiniș, Județul Sibiu între 25-27 mai 2000 sub egida Ministerului Educației Naționale, Societății Române a Termotehnicienilor și a Universității „Lucian Blaga” din Sibiu. Comitetul de organizare a fost coordonat de prof. dr. ing. Vsevolod Radcenco, prof. dr. ing. Stoian Petrescu, prof. dr. ing. Cornel Mihăilă, prof. dr. ing. Radu Reff.

Lucrările Conferinței au fost împărțite în 3 secțiuni:

I. Secțiunea Termodinamică Generală

Președinte: Prof.dr.ing. Stoian Petrescu, Universitatea Politehnică București;

Membri: Acad. Mircea Bologa - Institutul de Fizică Aplicată Chișinău; Prof.dr.ing. Ion Ioniță - Universitatea „Dunărea de Jos” Galați; Prof.dr.ing. Constantin Iosifescu - Universitatea „Dunărea de Jos” Galați; Prof.dr.ing. Radu Reff - Universitatea „Lucian Blaga” din Sibiu.

În această secțiune au fost prezentate 22 de lucrări pe 126 pagini.

II. Secțiunea Transfer de căldură și masă

Președinte: Prof.dr.ing. Cornel Mihăilă - Universitatea Tehnică de Construcții București

Membri: Prof.dr.ing. Ștefan Sterie - Academia Tehnică Militară București; Conf.dr.ing. Marin Bică - Universitatea din Craiova; Conf.dr.ing. Tudor Sajin - Universitatea Tehnică a Moldovei Chișinău.

În această secțiune au fost prezentate 35 de lucrări pe 206 de pagini.

III. Secțiunea Mașini și echipamente Termice

Președinte: Prof.dr.ing. Teodor Mădărășan - Universitatea Tehnică Cluj-Napoca;

Membri: Prof.dr.ing. Sava Porneală - Universitatea „Dunărea de Jos” Galați; Prof.dr.ing. Victor Benche - Universitatea „Transilvania” Brașov; Prof.dr.ing. Lucian Mihăescu - Universitatea Politehnică București;

În această secțiune au fost prezentate 65 de lucrări pe 356 de pagini.

S-a acordat Premiul Special al Societății Române a Termotehnicienilor pe anul 2000
D-lui prof. Michel FEIDT,
Universitatea „Henri Poincaré”, Institutul Politehnic Național din Lorena, Nancy, Franța.