

SOLUȚII DE CREȘTERE A EFICIENȚEI INSTALAȚIILOR CU ABUR, PE BAZA CICLURILOR COMBINATE GAZE-ABUR

Marcel DRĂGAN, Tănase PANAIT

UNIVERSITATEA „Dunărea de Jos”, Galați, e-mail: mdragan@ugal.ro

Abstract. This work present some solutions for increasing the thermodynamics efficiency for thermal plants by combined gas turbine cycle. The study is achieved at a thermal electric power plant belonging to the "Termoelectrica" society, a power station whose purpose is to produce the steam for industrial use, the thermal agent necessary to the urban thermofication as well as the electric energy.

1. INTRODUCERE

Superioritatea eficienței termodinamice a instalațiilor care funcționează în ciclu combinat gaze-abur, față de eficiența instalațiile termoenergetice cu abur sau cu gaze, este indiscutabilă, funcționarea acestor instalații bazându-se pe principiul utilizării căldurii în *cascadă termodinamică*, instalația termoenergetică cu abur recuperând căldura evacuate de instalația termoenergetică cu gaze.

Analiza exergetică a instalațiilor termoenergetice cu gaze și a celor cu abur, scoate în evidență un grad mare de ireversibilitate la sursa caldă a instalațiilor cu abur (arderea combustibililor și schimbul de căldură), respectiv o pierdere exergetică considerabilă la sursa rece a instalațiilor cu gaze (sunt evacuate gazele de ardere la temperaturi ridicate) [1].

Deoarece nu pot fi luate măsuri de ordin termodinamic pentru diminuarea ireversibilității proceselor din cazanele de abur și nici în privința reducerii pierderii exergetice specifice instalației cu gaze, combinaarea celor două cicluri rezolvă parțial aceste deficiențe.

Conceperea structuralității unei instalații termoenergetice care funcționează pe baza unui ciclu combinat gaze-abur se bazează pe modul de cuplare al instalațiilor, distingându-se cazurile:

(a) Cuplarea instalațiilor se realizează parțial la sursa caldă a instalației cu abur, gazele de ardere eșapând de instalația cu gaze preîncălzind apă de alimentare a generatorului de abur sau formând abur de presiune medie, vaporizarea și supraîncălzirea aburului de înaltă presiune efectuându-se pe baza arderii unui combustibil în generatorul de abur.

Ciclul combinat se va numi *ciclul paralel*, denumire determinată de nivelul mai redus al temperaturii gazelor evacuate de instalația cu gaze decât nivelul temperaturii la care au loc procesele din generatorul de abur.

(b) Cuplarea instalațiilor se realizează total, ciclul cu abur fiind un ciclu recuperator al căldurii evacuate de ciclul instalației cu gaze.

Ciclul mixt se va numi *ciclul suprapus*, principalul dezavantaj al acestuia fiind imposibilitatea realizării unor temperaturi ridicate la sursa caldă a ciclului cu abur.

Pentru diminuarea acestui inconvenient sunt prevăzute două situații:

(b.1) – pentru ciclul *suprapus exclusiv recuperator*, se va produce aburul la mai multe nivele de presiune, funcție de evoluția descendentală a temperaturii gazelor în cazanul recuperator

(b.2) – pentru ciclul *suprapus recuperator cu postardere*, se va produce abur viu de înaltă presiune, utilizând atât căldura evacuate de ciclul cu gaze cât și cea rezultată prin arderea unui combustibil. Soluția cea mai eficientă, desprinsă din studiile de realizare a ciclurilor combine gaze-abur, este aceia în care instalația cu abur este exclusiv recuperatoare, creșterea gradului de ardere suplimentară micșorând eficiența instalației combine [8].

2. SOLUȚII CONCRETE DE RETEHNOLORIZARE A CENTRALELOR TERMOELECTRICE DIN ROMANIA

În cazul retehnologizării centralelor termoelectrice existente prin aplicarea ciclului combinat gaze-abur, apar două probleme funcționale cauzate de existența generatorului de abur și a turbinei cu abur.

Este avantajos, din punct de vedere finanțiar, să nu se schimbe nici turbina cu abur și nici generatorul de abur, dar acest lucru nu este posibil în cele mai multe cazuri.

În cele ce urmează se vor prezenta principalele caracteristici legate de retehnologizarea centralelor termoelectrice cu abur, prin cuplarea cu o I.T.G. Siemens.

2.1. Realizarea unei instalații bazate pe un ciclu suprapus recuperator

Suprapunerea unei I.T.G. peste o C.E.T. (în configurația actuală), nu este posibilă datorită structurii generatorului de abur. Este necesar ca generatorul de abur să fie schimbat și înlocuit cu un cazan recuperator care produce abur la două, trei presiuni diferite.

O altă problemă care apare la alegerea acestei soluții de retehnologizare, este legată de existența și funcționarea turbinei cu abur.

Turbina, proiectată să aibă un anumit regim de curgere și încărcare mecanică, va lucra în regimuri total

opuse celor de proiectare, existând pericolul supraîncărcării mecanice (turbina din C.E.T. lucrează cu debit maxim la intrare și debit minim la evacuarea în condensator, contrar condițiilor de lucru în urma retehnologizării).

Din aceste cauze, modalitatea de retehnologizare prezentată nu este viabilă din punct de vedere tehnic, soluția fiind și deosebit de costisitoare, ciclul suprapus recuperator fiind indicat a se realiza într-o nouă instalație.

2.2. Realizarea unei instalații bazate pe un ciclu suprapus cu postardere

Suprapunerea unei I.T.G. peste o C.E.T. este posibilă datorită păstrării neschimbate a regimurilor de curgere și de încărcare mecanică din turbina cu abur, precum și păstrării acualei configurații a generatorului de abur.

În generatorul de abur va arde combustibil folosind oxigen din gazele de ardere eșapate din I.T.G. Deoarece concentrația în oxigen a comburantului este mai mică decât a aerului atmosferic, actualele arzătoare se vor schimba și înlături cu altele adaptate noului comburant. Preîncălzitorul de aer (PAR) se va elimina, căldura gazelor de ardere (rămasă astfel disponibilă) se va transmite apei de alimentare a cazonului sau se va produce agent termic pentru termoficare.

Modalitatea de retehnologizare prezentată este viabilă din punct de vedere tehnic și economic, mai ales din cauza modificărilor neînsemnante aduse cazonului de abur, precum și economisirii combustibilului consumat de CET.

2.3. Realizarea unei instalații bazate pe un ciclu paralel

Și în acest caz, retehnologizarea este viabilă datorită păstrării generatorului de abur și a turbinei cu abur, nouă investiție referindu-se exclusiv la schimbătorul de căldură recuperator.

Sunt posibile două variante de retehnologizare, și anume:

- schimbătorul de căldură recuperator (cazanul recuperator) produce abur de presiune medie, abur care va fi injectat în corpul de medie presiune al turbinei cu abur;

- schimbătorul de căldură recuperator este utilizat la preîncălzirea apei de alimentare.

3. RETEHNOLORIZAREA INSTALAȚIEI TERMOENERGETICE STUDIATE

Soluția de retehnologizare aleasă constă în conceperea unei instalații realizată pe baza unui ciclu paralel, instalație în care schimbătorul de căldură recuperator va continua procesul de preîncălzire a apei de alimentare a cazonelor.

Instalația termoenergetică cu abur are drept scop furnizarea către consumatori a următorilor produsi energetici:

- abur industrial de 40 bar (flux nr. 41)
- abur industrial de 13 bar (flux nr. 43)

- agent termic pentru termoficare urbană (flux nr. 37)
- energie electrică pentru Sistemul Energetic Național (flux nr. 50)

În cadrul instalației termoenergetice cu abur se va renunța la preîncălzirea regenerativă pe traseul degazor-cazanele de abur (acest lucru se va obține obturând prizele nereglabile care alimentau preîncălzitoarele de înaltă presiune), saltul termic al apei de alimentare a cazanelor fiind asigurat de gazele de ardere eșapate din turbina cu gaze.

Instalația termoenergetică cu gaze este produsă de firma Siemens, fiind caracterizată de următorii parametri funcționali:

Mărime		Valoare	Mărime		Valoare [bar]
Temperatura agentului termodinamic	t_1	25 °C	Presiunea agentului termodinamic	p_1	0,963
	t_{III}	1160 °C		p_{II}	15,119
	t_{IV}	570 °C		p_{III}	14,061
Raportul de aer		3,4		p_{IV}	1,063

Dimensiunea instalație termoenergetice cu gaze adecvată acestei soluții de retehnologizare a C.E.T., se va alege funcție de debitul de gaze de ardere, debit calculat pe baza bilanțului energetic pe schimbătorul de căldură recuperativ (fluxul energetic conținut de gazele de ardere va realiza preîncălzirea apei de alimentare de la 161 °C la 210 °C).

4. CALCULUL TERMODINAMIC AL INSTALAȚIEI TERMOENERGETICE RETEHNOLORIZATE

4.1. Calculul debitelor instalației și a puterii electrice utile

Întrucât eliminarea preîncălzitoarelor de înaltă presiune va conduce la modificarea regimurilor de curgere prin turbină, se vor determina noile debitele de abur care circulă prin turbină, precum și puterea electrică produsă.

Cele cinci prize de prelevare împart turbina în sase regiuni, străbătute de debite diferite, realizându-se puterea interioară:

$$\begin{aligned}
 P_i = & (\dot{m}_{18} + \dot{m}_{19} + \dot{m}_{20} + \dot{m}_{21} + \dot{m}_{22} + \dot{m}_{24} + \dot{m}_{25})(i_{14} - i_{18}) + \\
 & + (\dot{m}_{19} + \dot{m}_{20} + \dot{m}_{21} + \dot{m}_{22} + \dot{m}_{24} + \dot{m}_{25})(i_{18} - i_{19}) + \\
 & + (\dot{m}_{20} + \dot{m}_{21} + \dot{m}_{22} + \dot{m}_{24} + \dot{m}_{25})(i_{19} - i_{20}) + \\
 & + (\dot{m}_{21} + \dot{m}_{22} + \dot{m}_{24} + \dot{m}_{25})(i_{20} - i_{21}) + \\
 & + (\dot{m}_{24} + \dot{m}_{25})(i_{21} - i_{24}) + \dot{m}_{25}(i_{24} - i_{25})
 \end{aligned} \quad (1)$$

Puterea electrică produsă în acest caz, fiind:

$$P_{49} + P_{50} = \eta_m \eta_{ge} P_i \text{ [kW]} \quad (2)$$

Conform ecuațiilor de bilanț energetic pe preîncălzitoarele regenerative de joasă presiune și pe degazor, se vor determina debitele de abur, obținându-se valorile:

$$\dot{m}_{15} = 0 \text{ kg/s}; \dot{m}_{16} = 0 \text{ kg/s}; \dot{m}_{17} = 0 \text{ kg/s};$$

$$\dot{m}_{18} = 10,87491 \text{ kg/s}; \dot{m}_{19} = 3,05823 \text{ kg/s};$$

$$\dot{m}_{20} = 1,329994 \text{ kg/s}; \dot{m}_{21} = 2,47884 \text{ kg/s};$$

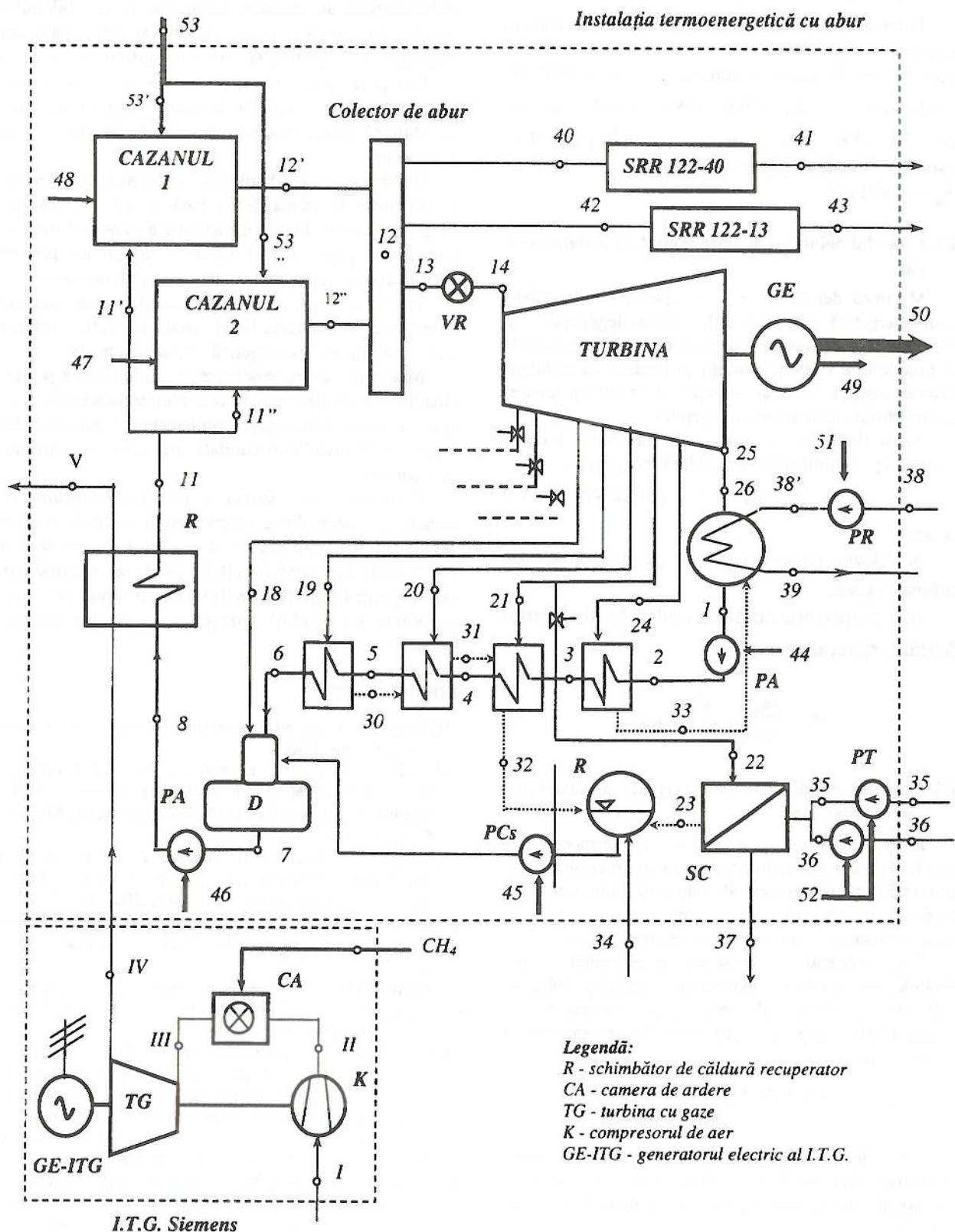


Fig. 1. Schema instalației retehnologizate.

$$\dot{m}_{22} = \dot{m}_{23} = 22,449 \text{ kg/s}; \dot{m}_{24} = 3,15188 \text{ kg/s};$$

$$\dot{m}_{25} = \dot{m}_{26} = 47,7671 \text{ kg/s}.$$

Puterea consumată de centrală va crește datorită creșterii puterii necesare vehiculării unei cantități mai mari de apă de răcire la condensator ($P_{51} = 1570 \text{ kW}$ comparativ cu $P_{51} = 1300 \text{ kW}$), având valoarea, $P_{49} = 8470 \text{ kW}$, iar puterea electrică utilă produsă de instalația termoenergetică studiată, va deveni: $P_{50} = 76980 \text{ kW}$.

4.2. Calculul debitului de gaze eșapat de instalația cu gaze

Mărimea debitului de gaze eșapate din instalația termoenergetică cu gaze se utilizează la alegerea dimensiunii minime a instalației respective, astfel încât aceasta să funcționeze în bune condiții în tandem cu instalația termoenergetică cu abur, precum și la dimensionarea schimbătorului de căldură recuperativ.

Acest debit se va determina întocmînd bilanțul energetic pe schimbătorul de căldură recuperativ,

$$\dot{m}_1(i_1 - i_8) = \eta_R \cdot \dot{m}_g(i_V - i_{IV}) \quad [kW] \quad (3)$$

în care:

\dot{m}_g [kg/s], reprezintă debitul de gaze eșapate de turbina cu gaze;

η_R , reprezintă randamentul schimbătorului de căldură recuperativ.

$$\dot{m}_g = \frac{\dot{m}_1(i_1 - i_8)}{\eta_R(i_V - i_{IV})} \quad [\text{kg/s}] \quad (4)$$

4.3. Calculul randamentului exergetic al instalației retehnologizate

Retehnologizarea actualelor centrale termoelectrice prin funcționarea în ciclu combinat gaze-abur, din cauza unui mai bun management al combustibilului, este o soluție care merită o deosebită atenție mai ales din cauza scăderii costurilor cu care sunt generate produsele.

Drept criteriu de apreciere a eficienței termodinamice se va utiliza randamentul exergetic global de utilizare al combustibilului, mărime care va arăta modul în care fluxul exergetic al combustibilul se regăsește în produsele instalației,

$$\eta_{ex CET} = \frac{\dot{E}_{41} + \dot{E}_{43} + (\dot{E}_{37} - \dot{E}_{36} - \dot{E}_{35}) + P_{50}}{\dot{E}_{53} + \dot{E}_{53'}} \quad (5)$$

Conform parametrilor funcționali ai instalației termoenergetice cu abur, specifici celor două variante funcționale, se va obține pentru randamentul exergetic valorile:

- pentru instalația neretehnologizată, $\eta_{ex CET} = 32,099\%$;
- pentru instalația retehnologizată, $\eta_{ex CET} = 34,589\%$.

CONCLUZII

Pe baza considerentului că nu pot fi luate măsuri de ordin termodinamic pentru diminuarea ireversibilităților instalațiilor termoenergetice cu abur și nici a reducerii pierderilor exergetice specifice instalațiilor cu gaze, au fost prezentate condițiile care stau la baza conceperii structuralității instalațiilor termoenergetice capabile să funcționează pe baza ciclurilor combinate gaze-abur.

Referitor la retehnologizarea centralelor termoelectric din România, astfel încât acestea să funcționeze în ciclu combinat cu instalații termoenergetice cu turbine cu gaze, a fost efectuat un studiu privind posibilitățile practice de realizare a acestui deziderat.

În mod concret, a fost studiat cazul în care instalația termoelectrică analizată funcționează în ciclu combinat cu o instalație termoenergetică cu gaze Siemens.

Modul în care retehnologizarea influențează pozitiv eficiența termodinamică a centralei termoelectric cu abur se va evidenția prin compararea randamentului exergetic al instalației studiate, în cele două variante funcționale.

Conform acestui studiu se pot trage concluzii cu caracter de generalitate referitoare la soluțiile tehnice care au drept scop creșterea gradului de conversie energetică din combustibil în produse, reușindu-se astfel, pentru o piață a energiei în continuă evoluție, generarea de produși energetici la costuri competiționale.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bejan A., *Advanced engineering thermodynamics*. John Wiley & Sons, 1988.
- [2] Drăgan M., Panait T., *Economic analysis of a combined heat and power plant with condensing turbine*. The 13th International Expert Meeting Power Engineering, Maribor, Slovenia, 2004.
- [3] Drăgan M., Ciucescu E., *Analiza exergoeconomică a instalațiilor termoenergetice cu gaze*. A XII-a Conferință Națională de Termotehnică, Constanța, 2002, p. 187.
- [4] Drăgan M., *Contribuții la optimizarea exergoeconomică a centralelor termoelectric*. Teza de doctorat, Galati, 2004.
- [5] Ioniță I., *The close connection between cost and quality of energy products*, 2nd International Heat Powered Cycles Conference, Paris, Franța, 2001.
- [6] Ioniță I., Ion V. I., *Cost/Quality Ratio (CQR), a procedure to minimize both the products costs and noxious emissions of the power plant*, Conference on Heat Engines and Environmental Protection, Balatonfured, Ungaria, 1999.
- [7] Moran M., Shapiro H., *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, John Wiley & Sons, 2000.
- [8] Panait T., Uzunianu K., Drăgan M., *Some aspects of optimisation of gas-steam combined plants with additional burning*, International Journal of Heat Transfer, 2003.
- [9] Panait T., Uzunianu K., Drăgan M., *Cogeneration – principe du développement durable*, COFRET-2004, Université Henri Poincaré, Nancy, France, 2004.