

# SISTEM INTEGRAT DE CONDUCERE ÎN TIMP REAL A PRODUCERII EFICIENTE A ENERGIEI ELECTRICE ȘI TERMICE ÎN CENTRALE COGENERATIVE PE GAZ

**Ion Miciu**

Societatea Comercială pentru Cercetare, Proiectare și Producție de Echipamente și Instalații de Automatizare - SC IPA SA

ionmiciu@ipa.ro

**Florin Hărțescu**

Institutul Național de Cercetare–Dezvoltare în Informatică - ICI, București

flory@ici.ro

**Rezumat:** Articolul prezintă funcționarea unui sistem automat de supraveghere și comandă al unei centrale co-generative pe gaz. Cogenerarea este producerea secvențial-termodinamică a două dintre cele mai utile forme de energie, pornind de la o singură sursă de energie primară. Obiectivul principal al sistemului de conducere în timp real este optimizarea furnizării de energie electrică în sistemul național energetic și energie termică către consumatorii aferenți.

**Cuvinte cheie:** Centrală electrică cogenerativă, sisteme în timp real, conducerea proceselor tehnologice, optimizarea proceselor industriale, sisteme cu parametri distribuiți, simularea proceselor industriale.

**Abstract:** The concept of co-generation means the combined production of electrical energy and of thermal energy based on the same primary energy source. The thermal energy can be used for heating, or for cooling. The real-time process control system, based on a modern architecture of software tools, is composed by classical algorithms running on a network of PLC-s and controlling algorithms implemented in a process computer. Some of them are typical numerical algorithms, and the others are adaptive control algorithms.

The purpose of the automatic control of the entire co-generative power plant is the optimization of the co-generative electrical energy provided in the national energy system and the thermal energy provided to the consumers.

**Keywords:** Electric power systems, real time systems, process control, optimization, control of distributed parameter systems, simulation, co-generative gas power plant.

## 1. Introducere

Cogenerarea este producerea secvențial-termodinamică a două dintre cele mai utile forme de energie, pornind de la o singură sursă de energie primară.

Cele mai cunoscute forme de energie sunt energia mecanică, energia electrică și energia termică. Energia mecanică este utilizată, în general, pentru funcționarea unui generator electric. Cogenerarea este producerea combinată de energie electrică (sau mecanică) și termică pe baza aceleiași surse de energie primară.

Energia mecanică produsă poate fi utilizată pentru funcționarea unor echipamente auxiliare (de exemplu, compresoare și pompe). Energia termică produsă poate fi întrebuințată fie pentru încălzire, fie pentru răcire. Procesul de răcire se efectuează prin intermediul unei unități de absorbție care operează cu apă fierbinte, abur sau gaz la temperaturi ridicate.

Pe parcursul operării într-o centrală electrică convențională, cantități însemnate de căldură sunt eliminate în atmosferă, fie prin intermediul circuitelor de răcire (condensatori de abur, turnuri de răcire, coolere de apă în motoarele Diesel sau Otto etc.), fie prin gaze reziduale. Cea mai mare parte din această cantitate de căldură poate fi recuperată și utilizată pentru necesități termice, crescând astfel eficiența de la 30-50%, în cazul unei centrale termoelectrice, la 80-90% în cazul unui sistem de cogenerare.

## 2. Prezentare generală

Modelul funcțional al unui sistem de monitorizare al proceselor termice și electrice dintr-o centrală electro-energetică este compus din următoarele elemente :

- nivelul 1: un calculator PC cuplat la nivelul 2 (automat programabil, PLC); în sistem, acesta are rolul de monitorizare a procesului tehnologic și a operațiilor electrice din centrală.
- nivelul 2: PLC (automat programabil interconectat la nivelul 1) care culege datele din proces prin elementele de câmp (nivelul 3) și, pe baza unui program de aplicație propriu, transmite la nivelul 1 informații și preia de la acest nivel comenzi pe care le transmite nivelului 3 (elemente de execuție); ca model funcțional acest PLC este cuplat la PC (nivel 1) și, prin modulele de intrare, la elementele de simulare.
- nivelul 3: transductoare și elemente de execuție sau elemente de câmp alcătuite din potențiometre cuplate la tensiune continuă de 0-10V și întreruptoare cuplate la 24Vcc care simulează parametrii de câmp (presiune, temperatură, nivel, putere electrică, etc.).

Funcționarea sistemului automat de supraveghere și comandă al unei centrale co-generative are ca obiectiv principal optimizarea furnizării de energie electrică în sistemul național energetic și energie termică către consumatorii aferenți.

Funcțiile îndeplinite de sistem sunt:

- furnizarea agentului termic în sistemul de termoficare în funcție de temperatura exterioară. Se stabilesc două regimuri de funcționare (ex. regim de iarnă, temperaturi exterioare  $\leq -5^{\circ}\text{C}$  - agent termic la temperatura de  $130^{\circ}\text{C}$ ; regim vară, temperaturi exterioare  $\geq -5^{\circ}\text{C}$  - agent termic la temperatura de  $90^{\circ}\text{C}$ ).
- asigurarea unei temperaturi constante a agentului termic furnizat sistemului de termoficare care se realizează prin:
  - a) reglajul grosier este realizat prin introducerea secvențială în circuit a cazanelor recuperatoare (comanda on/off a vanei de izolare) precum și a cazanelor clasice de apă fierbinte cu rol de preluare a vârfurilor de sarcină (comanda on/off vane izolare; comanda on/off arzătoare de gaz). Secvența de pornire a cazanelor este dictată de necesarul energetic din sistemul de termoficare, parametrul relevant fiind temperatura tur bară comună cazane.
  - b) reglajul fin este realizat de automatizarea locală a cazanelor (recuperatoare clasice de apă fierbinte). Pentru cazanele recuperatoare elementele de execuție sunt vanele de eşapare gaze, montate pe tubulatura cazanului (reglaj continuu ce urmărește temperatura tur apă fierbinte). Pentru cazanele de apă fierbinte elementele de execuție sunt arzătoarele de gaz (reglaj continuu - modular ce urmărește temperatura tur apă fierbinte).
- menținerea temperaturii retur din sistemul de termoficare în limite prestabilite cu rol de protecție cazane și eficientizare producție de energie termică;
- menținerea unei presiuni constante de furnizare a agentului termic - funcție realizată de grupul de pompe de circulație echipate cu un convertizor de frecvență.

Sistemul integrat tratează unitar funcționarea tuturor utilajelor și echipamentelor din centrală:

- grupuri turbogeneratoare (pentru fiecare din turbogeneratoare: consemn putere activă, putere activă, putere reactivă, tensiune la bornele statorului generatorului, frecvența generatorului, factor de putere, energia activă și reactivă, putere contractuală, etc.);
- stație de medie tensiune MT 20 kV (semnalizare poziție închis/deschis întreruptoare celule medie tensiune; comenzi de închidere/deschidere la întreruptoare celule medie tensiune; semnalizare funcționare releu protecție celula medie tensiune, etc.);

- stație de joasă tensiune TG-JT 0,4 kV (semnalizare poziție închis / deschis disjunctoare cuplă și secții de bare de tensiune);
- cazane recuperatoare (temperatură gaze arse, temperatură apă fierbinte tur/retur, poziție vană recirculare, stare funcționare/avarie pompă precirculare, prezență apă în circuitul de intrare, stare funcționare avarie/cazan, etc.);
- cazane apă fierbinte (temperatură apă fierbinte tur / retur, stare funcționare / avarie pompe recirculare, poziție vană recirculare, etc.);
- grup compresoare gaz;
- grup pompare circulație agent termic (stare funcționare/avarie pompe),
- stația de tratare apă (stare funcționare/avarie pompe adaos, poziție vane acționate electric).

Puterile instalate ale grupurilor energetice sunt de obicei de mărime mică spre medie (cele mai uzitate sunt puterile de 5 – 25 MW) ceea ce conduce la investiții și cheltuieli de instalare moderate. Cele mai multe aplicații sunt pentru producerea combinată de energie electrică și termică, dar foarte răspândite sunt și aplicațiile pentru producerea de energie mecanică și termică sau chiar de agent frigorific. De asemenea, energia termică produsă poate fi sub forma de abur tehnologic, la una sau mai multe secvențe presiune / temperatura, apa fierbinte pentru termoficare sau uz menajer ori gaze fierbinți pentru uscarea diferitelor produse. În unele scheme, denumite cu ciclu combinat, aburul este produs la parametri înalți, destins într-o turbină cu generare de energie electrică și, după aceea, utilizat în procesul tehnologic. Prin folosirea tehnicilor moderne, toate procesele tehnologice dintr-o centrală electrică pot fi conduse prin calculator.

### **3. Arhitectura unei centrale cogenerative**

#### **3.1 Descriere generală a funcționării unui sistem co-generator**

Controlul furnizării energiei electrice este realizat de unitatea de reglare-control a turbogeneratorului (GTU). Controlul este realizat cu automate programabile (PLC) configurate software pentru operare în regim autonom față de toate celelalte sisteme de control și reglare, prescrierea (setpoint) de energie ce se produce fiind stabilită, de către operator (dispecer).

Combustibilul folosit de turbogenerator este gazul natural care este adus la o presiune de 26,0 bar g de o unitate de comprimare (compresor) - GCU.

Ținând cont că producerea de energie electrică este prioritară, producerea de agent termic, respectiv de energie termică este dependentă de debitul de gaze rezultate de la turbogenerator, respectiv de energia electrică debitată de acesta în sistem.

Controlul cazanului de recuperare a gazelor arse de la turbogeneratoare este asigurat de un automat programabil (notat AP sau PLC).

#### **3.2 Sistemul de recuperare gaze arse și de preparare agent termic**

##### **A. Descriere generală a sistemului de recuperare gaze arse și de preparare agent termic**

Sistemul de extracție a gazelor arse în turbogenerator este realizat de un cazan de apă caldă care se comportă ca un schimbător de căldură ce are un circuit primar în care circulă gazele arse și un circuit secundar în care circulă apa.

Circuitul secundar al acestui cazan va livra agentul termic primar care va circula prin schimbătoare de căldură al cărui circuit secundar va fi racordat la rețeaua de apă caldă a orașului.

Temperatura standard a agentului termic primar furnizat de cazanul de recuperare este de

105°C pe tur și 85°C pe retur, având pe întregul circuit o presiune de 4,5 bar g.

## B. Sistemul de control și reglare a cazanului de recuperare

Extragerea gazelor arse furnizate de turbogenerator și transferul de căldură în agent termic furnizat în rețeaua de termoficare a consumatorului se efectuează pentru o temperatură de 95°C pe tur și cca 75°C pe retur.

Controlul temperaturii agentului termic furnizat se face în funcție de temperatura principală de ieșire a cazanului de recuperare (temperatură măsurată de un traductor de temperatură) pentru reglarea în buclă, care comandă vanele automate de pe circuitele primare ale cazanului de recuperare.

Controlul cazanului de recuperare și a parametrilor agentului termic furnizat în rețeaua de termoficare este completat de un control automat al parametrilor pe circuitele fiecărui schimbător de căldură.

Înainte de pornirea cazanului de recuperare, cel puțin unul din circuitele cu schimbători de căldură trebuie să fie în funcțiune. Sistemul schimbătoarelor de căldură este considerat pentru o operare redundantă  $k+1$ , aceasta însemnând că trebuie să funcționeze  $k$  schimbătoare și unul este considerat rezervă și va fi introdus în mod automat, în cazul în care un schimbător în funcțiune intră în avarie, furnizând un semnal de oprire avarie.

Controlul introducerii gazelor arse în cazanul de recuperare este limitat.

În cazul în care temperatura apei calde la ieșirea din cazanul de recuperare depășește 110°C, se închid clapeteii pe circuitul de gaze intrare cazan.

### B.1. Cazanul principal de recuperare CPAF

#### B.1.1 Descriere generală

Gazele arse provenite de la turbogenerator sunt introduse în cazanul de recuperare. Funcție de cererea de agent termic pentru rețeaua de termoficare, gazele arse sunt dirijate către cazanul de recuperare sau pe bypass, către coșul de evacuare în atmosferă.

Pentru a se realiza acest control, cei doi clapeteii pe gaze (unul către cazanul de recuperare și celălalt pe bypass, către coșul de evacuare în atmosferă) trebuie să funcționeze în mod invers la aceeași comandă.

Principalele caracteristici tehnice:

- debitul nominal al gazelor arse la intrare 179,280 Nm<sup>3</sup>/h (la o putere de 15.58 MW a turbogeneratorului);
- temperatura gazelor arse la intrare 540°C;
- energia termică extrasă este de până la 22,0 MW<sub>th</sub> (la o putere nominală a turbogeneratorului, temperatura gazelor arse la intrare este de 501°C iar la ieșire de 92°C);
- circuitele de agent termic (apă caldă):
- temperatura nominală tur  $\theta_{SF} = 105^{\circ}\text{C}$ ,
- temperatura nominală retur  $\theta_{RF} = 85^{\circ}\text{C}$ ,
- debitul nominal  $Q_N = 950 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- energie termică nominală la ieșire:  $E_N 22.0 \text{ MW}_{th}$  la o diferență de temperatură: 20°C ( $\theta_{SF} - \theta_{RF}$ ).

În timpul funcționării turbogeneratoarelor, se consideră că se extrage un maxim posibil de energie din gazele arse pentru agentul termic furnizat, astfel că poziția clapetului de gaze la intrare în cazan este complet deschis, iar cel de pe bypass, către coșul de evacuare în atmosferă, este închis. Numai în cazul reducerii cerinței de agent termic pentru rețeaua de termoficare, va apare o reducere a debitului de gaze arse la intrarea în cazanul de recuperare.

Dacă din anumite motive, se ajunge la situația în care se bypasează cazanul de recuperare, clapetul de pe circuitul de gaze arse la intrare în regim complet închis, va mai rămâne un debit minim de intrare în cazan corespunzând la 1% din debitul maxim, deci o putere calorică minimă.

Pentru a preveni o creștere excesivă a temperaturii agentului termic, la ieșirea din cazanul de recuperare, este prevăzut un sistem de răcire de urgență.

#### B.1.2 Principalele componente ale cazanului de recuperare

- Clapet automat pentru gazele de intrare în cazanul de recuperare - CP- AA050
- Clapet automat pentru gazele ce bypasează cazanul de recuperare, către coșul de gaze CP- AA051
- Vană automată (CV) pe circuitul de răcire urgență ieșire cazan - V1-AA001
- Pompă pe circuitul de răcire urgență ieșire cazan - V1-AP001
- Ventilatoare răcire 1 - V1-AN001
- Ventilatoare răcire 2 - V1-AN002
- Traductor temperatură ieșire cazan - CP-TTO-CT003
- Traductor debit ieșire cazan - CP-TDO-CF001

### 3.3 Modul de reglare

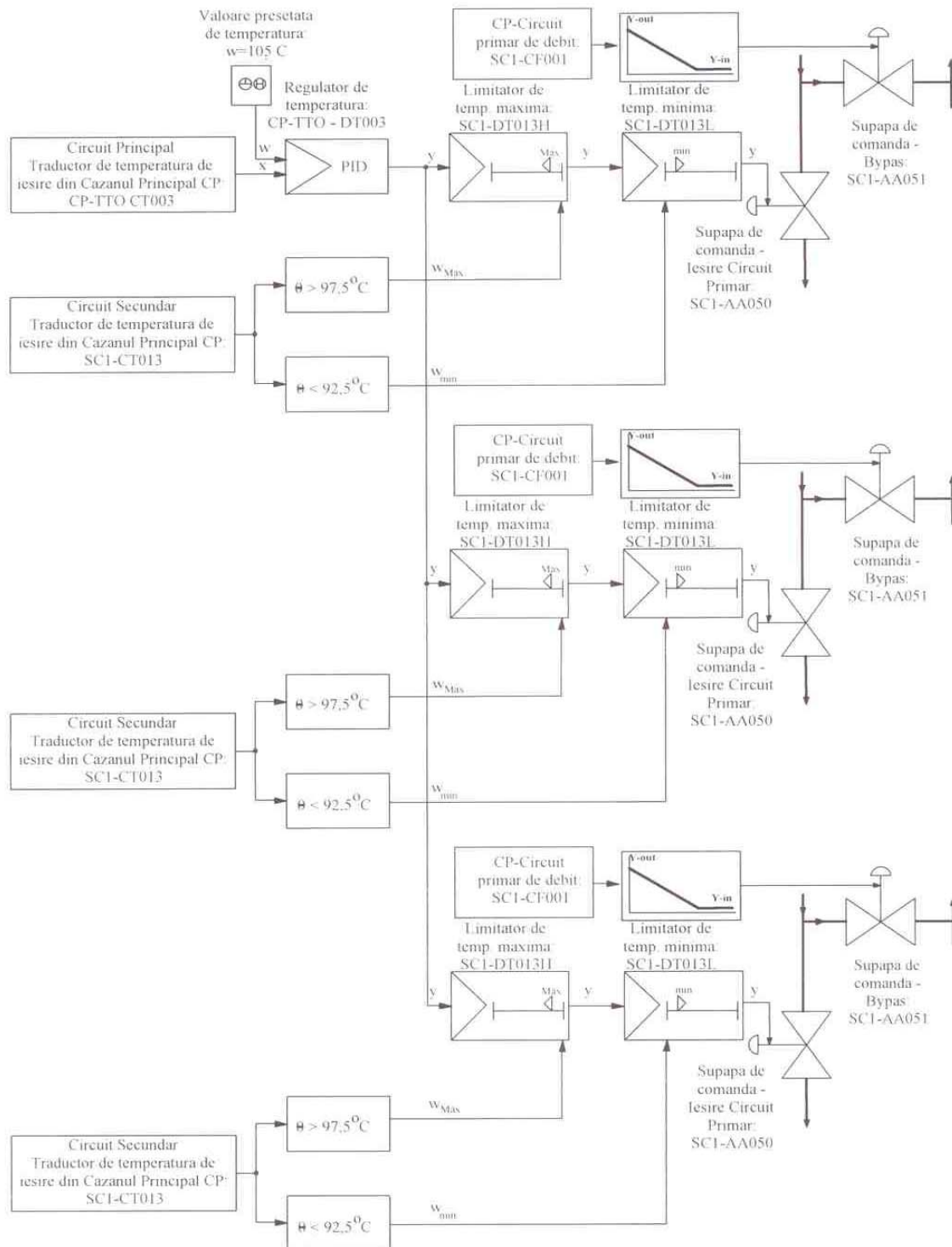
#### **a. Controlul temperaturii pe Circuitul Secundar (ieșire) al schimbătoarelor de căldură cu acțiune pe Circuitul Primar (intrare)**

Funcționarea schimbătoarelor de căldură este realizată printr-un control al temperaturii apei (agentului termic) la ieșirea din schimbător CP-TTO-CT003 (circuitul secundar). Aceasta se realizează când clapetul de gaze intrare cazan CP-AA050 este deschis în poziție de 100% iar clapetul de gaze bypasare cazan, către coș CP-AA051 este închis în poziție de 0%.

Regulatorul de temperatură CP-TTO-DT003 menține temperatura apei la ieșirea din schimbător la o valoare prescrisă de 105°C comandând vanele automate din circuitul primar (intrare) a schimbătoarelor (SC1, SC2-sau/și SC3).

Dacă temperatura crește peste valoarea prescrisă, semnalul de ieșire a regulatorului (y) care este mărime de comandă pentru vanele automate, (SC1-AA050, SC2-AA050 sau/și SC3-AA050) crește pentru a asigura un debit mai mare prin schimbătoarele de căldură.

Modul de reglare în buclă închisă este prezentat în desenul de mai jos (indicele regulatorului fiind CP-TTO-DT003):



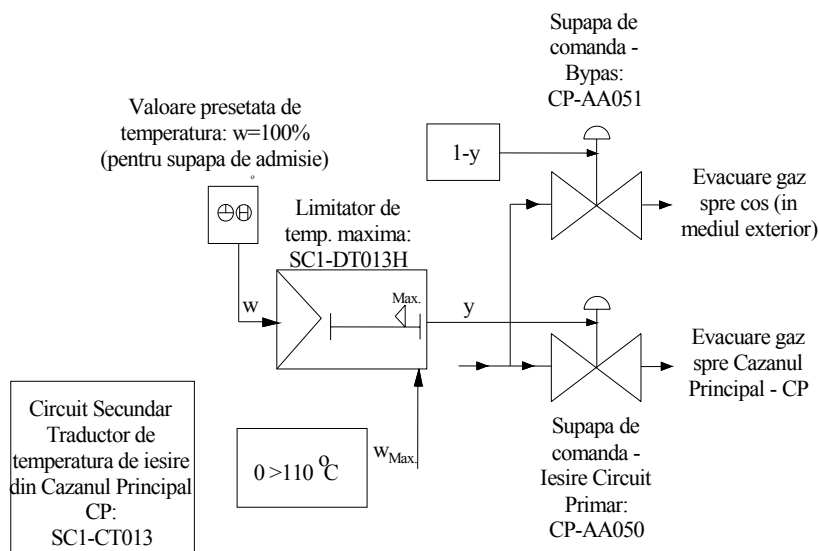
**Figura 3.1. Controlul temperaturii pe circuitul secundar (ieșire) al schimbătoarelor de căldură cu acțiune pe circuitul primar (intrare)**

Dacă vanele automate din circuitul (circuitele) primar(e) ale schimbătoarelor sunt complet deschise (100%), sau acestea sunt în poziția de maxim limitată de reguletoarele de pe circuitul secundar și temperatura reglată crește în continuare, controlerul pentru limitare intervine și închide parțial clapetul automat de pe circuitul de gaze intrare cazan și va deschide în mod proporțional clapetul automat pe circuitul de bypasare cazan, către coș evacuare, pentru a reduce debitul de gaze la intrarea cazanului.

Regulatorul de limitare a temperaturii la ieșirea din cazan cu acțiune asupra clapetelor de pe circuitele de gaze arse a cazanului.

În funcționare normală, regim automat al regulatorului de temperatură CP-TTO-DT003 se asigură un schimb de căldură suficient acționându-se asupra reglării pe fiecare schimbător de căldură. Dacă acest schimb de căldură nu asigură menținerea temperaturii la ieșirea din cazan sub o valoare prescrisă maxim de 110°C, regulatorul de limitare CP-TTO-DT003H scade limita debitului de introducere a gazelor în cazan prin acționarea asupra clapetului de pe circuitul de intrare cazan CP-AA050 (închizându-l) și a clapetului pe circuitul de bypass CP-AA051 (deschizându-l).

În figura 3.2 este prezentat modul de funcționare a acestui regulator (CP-TTO-DT003H):



**Figura 3.2. Funcționarea regulatorului de limitare a temperaturii la ieșirea din cazanul principal**

### 3.4 Interblocaje

#### a. Sistemul de răcire de urgență

În modul de control STOP al cazanului de recuperare, există un sistem de răcire de urgență activ pentru a compensa intrarea gazelor arse (scăpări datorate neetanșeității) în cazan în poziția de închis a clapetului de pe circuitul de intrare gaze cazan. Așa cum s-a prezentat în paragraful B.2.-a. Modul OPRIT, sistemul de răcire de urgență intră automat în funcțiune când cazanul este în modul de lucru OPRIT și temperatura CP-TTO-CT003 este peste 110 °C.

Modul automat de operare a sistemului de răcire de urgență se realizează prin următoarele:

- Vana automată pe circuitul de răcire de urgență: V1-AA001 – DESCHISA 100% (comanda 20 mA)
- Pompă pe circuitul de răcire urgență ieșire cazan: V1-AP001 - PORNITĂ
- Ventilator răcire 1: V1-AN001- PORNIT
- Ventilator răcire 2: V1-AN002- PORNIT

Sistemul de răcire de urgență va fi dezactivat automat dacă temperatura CP-TTO-CT003 va scădea sub valoarea minimă de urgență de 95°C.

#### b. Controlul clapetelor pe circuitele de gaze arse

În modul automat de funcționare a cazanului de recuperare comenzile date celor doi clapetei de intrare CP-AA050 și bypass CP-AA051 sunt de valori inverse ca în diagrama de mai jos:

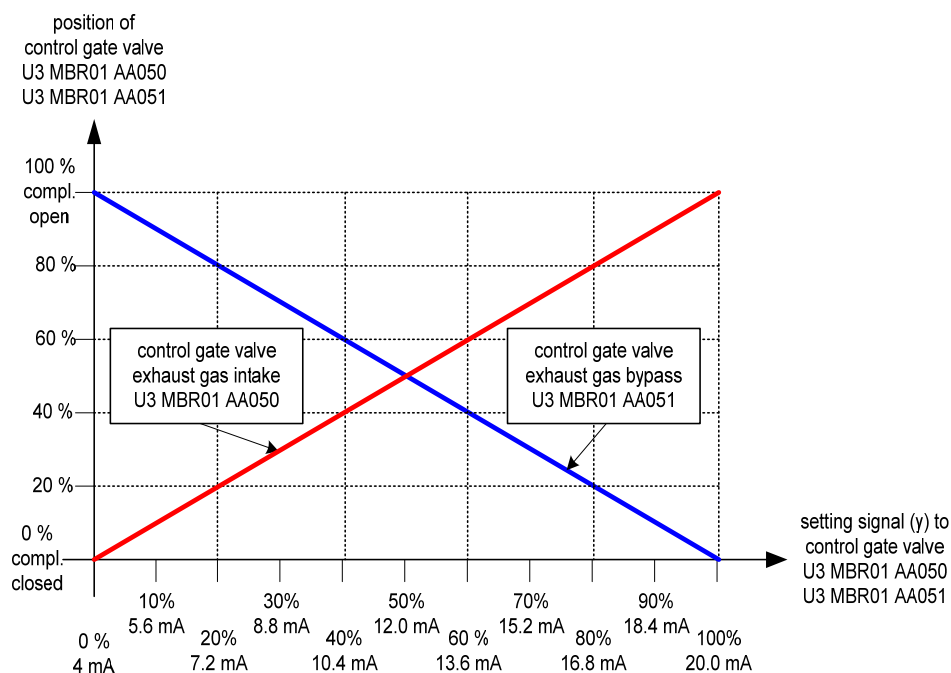


Figura 3.3. Diagrama privind controlul clapetilor pe circuitele de gaze arse

## 4. Sistemul de monitorizare și control

### 4.1 Generalități

Domenii de aplicare: Industriile care folosesc cantități mari de energie electrică de la rețea și abur tehnologic produs în centrale proprii. Agenții economici care pot beneficia de cogenerare sunt: rafinării și combinate chimice, agenți economici de prelucrare a alimentelor, fabrici de produse lactate, fabrici de bere, spitale, hoteluri, centre de sănătate, combinate de prelucrare a lemnului, fabrici de celuloză și hârtie, întreprinderi de materiale de construcție și produse ceramice, fabrici textile, campusuri universitare, etc. În plus, consiliile locale, municipale și orașenești, prin întreprinderile din subordine, pot fi interesate în modernizarea centralelor termice de zonă prin transformarea lor în CET-uri.

Protecția mediului:

Emisiile poluante ale turbinelor cu gaze sunt recunoscute ca fiind extrem de scăzute, sub limitele actuale ale normativelor în vigoare;

Unitatea generatoare este închisă de o încălțăminte fonoabsorbantă. Acesta face ca în apropierea instalației, pe traseul de vizitare al operatorului, zgomotul să se încadreze perfect în normativele actuale;

Consumul de ulei sau alte substanțe poluante este extrem de scăzut, rezultând posibilități minime de contaminare a mediului cu aceste produse sau cu vapori.

### 4.2 Sistemul de reglare

Sistemul informatic integrat de management tehnologic permite conducerii centralelor de producție energie electrică și termică, precum și personalului calificat din cadrul dispeceratelor de distribuție, să cunoască starea curentă a instalațiilor și echipamentelor în funcțiune, să ia hotărâri cu privire la modul economic și eficient de funcționare al acestora, să calculeze valoarea optimă de producere și distribuție a celor două forme de energie.



Având la baza un sistem SCADA performant, aplicația oferă posibilități de comandă directă a buclelor de reglare, iar toate calculele tehnologice și economice legate de resurse, consumuri și producție se realizează on-line, asigurând în acest mod o imagine permanent actualizată a stării de funcționare.

Aplicația software realizată în cadrul proiectului are la bază un model matematic, adaptat nevoilor impuse de schema termo-mecanică a unei centrale pilot și de metodologia de repartizare a cheltuielilor între serviciile și produsele de bază și secundare, pe baza metodologiei A.N.R.E.

S-au folosit următoarele prescurtări:

- AP : automat programabil (PLC) cuplat la instalație și la PC,
- HMI: Human Machine Interface (interfață om-mașină: PC din camera de comandă pentru monitorizare),
- PC: calculator personal în camera de comandă cuplat la AP prin PROFIBUS,
- PCS7: program sursă pentru echipament SIEMENS al aplicației de control prin AP – 416 și monitorizare prin calculator industrial IL 43.
- PROFIBUS: tip de conexiune între diferite unități conectate la AP, pentru transfer date,
- AI, AO: intrare, respectiv ieșire analogică în (din) AP,
- DI, DO: intrare, respectiv ieșire numerică în (din) AP,
- CAF: cazan de apă fierbinte,
- CR : cazan recuperator,
- CG : compresor de gaz,
- PA : pompa de alimentare,
- CC : camera de comandă

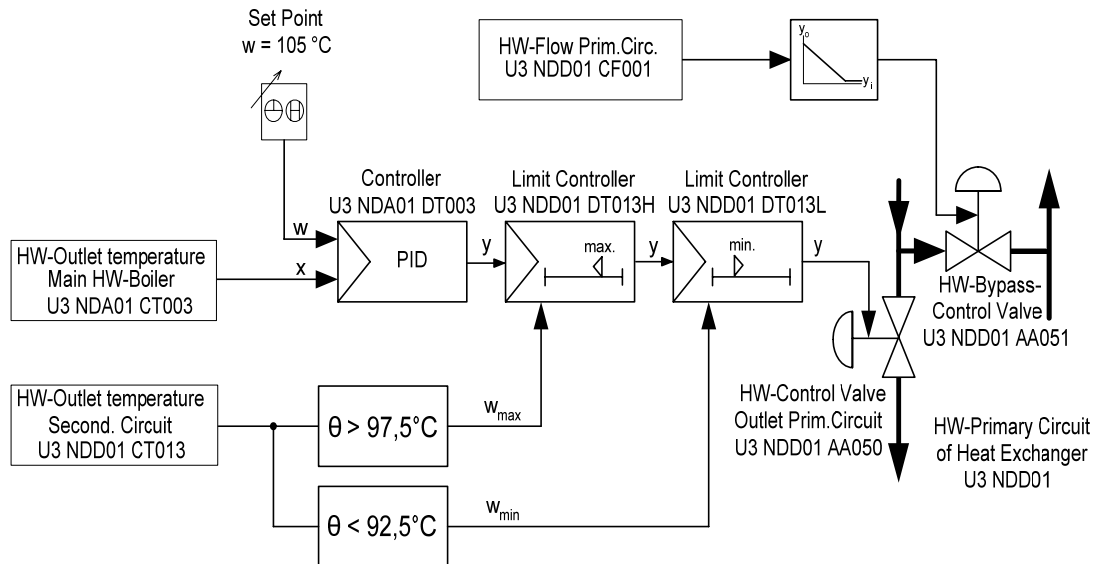


Figura 4.1. Diagrama cu modul de reglare (regulator CP-TTO-DT003)

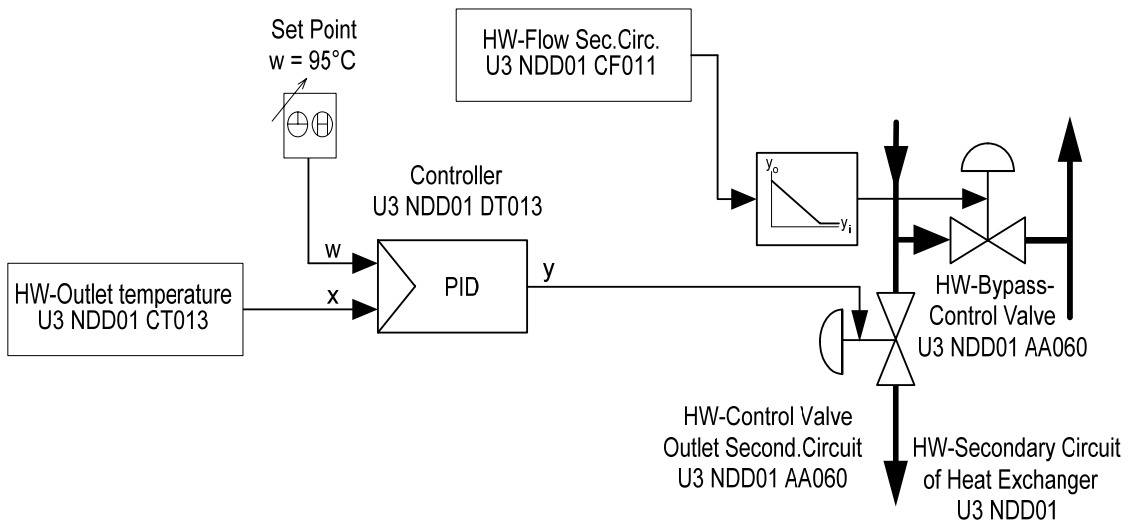


Figura 4.2 Schema de reglare (SC1-DT013)

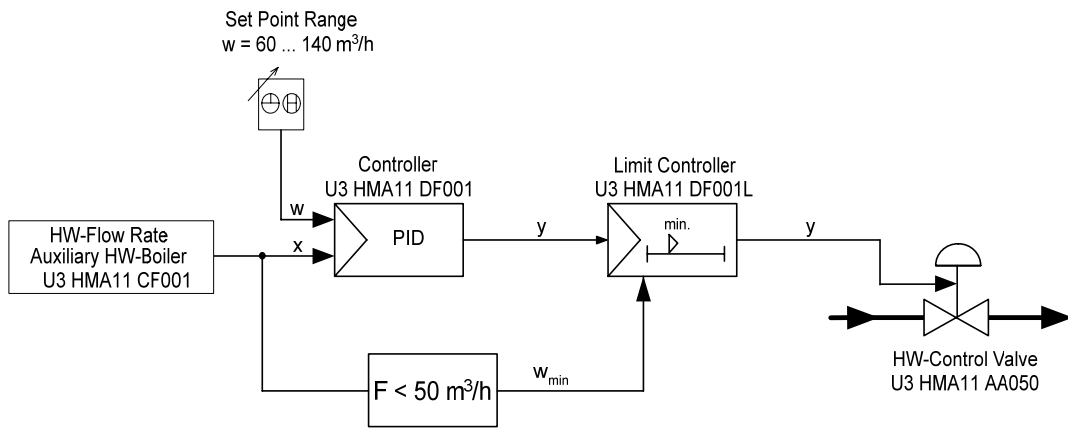


Figura 4.3. Schema privind reglarea debitului apei calde

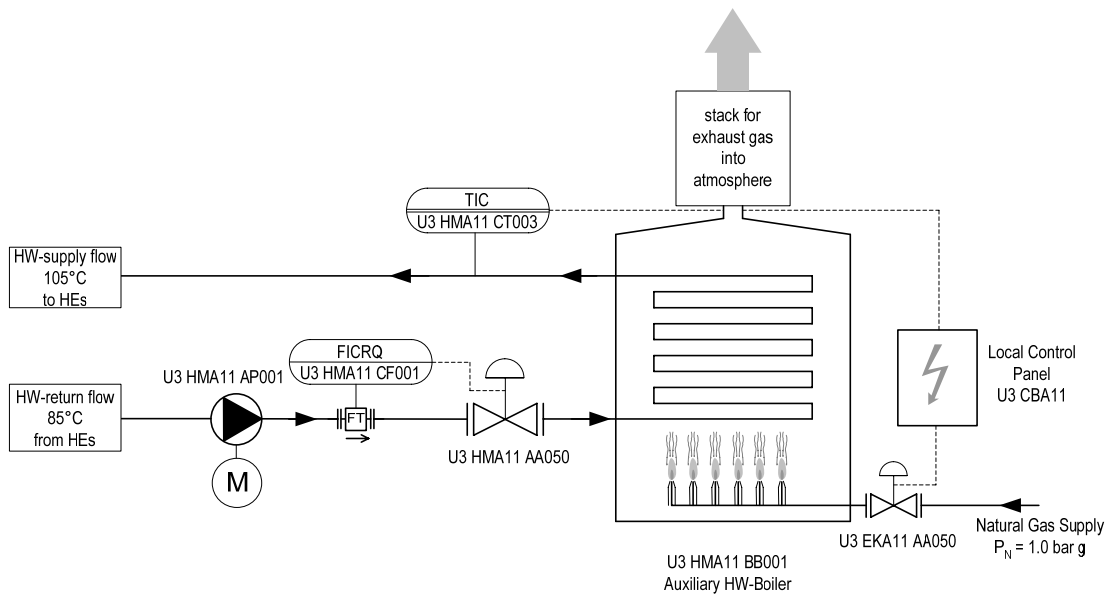


Figura 4.4. Schema simplificată a diagramei P&I a cazanului auxiliar CA-BB001

## 5. Concluzii

Proiectul „Sistem integrat de conducere în timp real a producerii eficiente a energiei electrice și termice în centrale cogenerative pe gaz” a fost realizat în cadrul Programului de Cercetare PN II. A fost elaborat un sistem de monitorizare, diagnoza și optimizare a parametrilor tehnici specifici unei centrale cogenerative pe gaz. Rezultatele obținute au fost prezentate în sesiuni de comunicări științifice, la mese rotunde și în articole publicate în reviste de specialitate. Proiectul a fost realizat în cadrul unui consorțiu alcătuit din trei unități de C-D (două institute privatizate și un institut național) în colaborare cu un institut de învățământ superior și un centru din cadrul Academiei Române precum și o unitate IMM. Complexitatea proiectului derivă din diversitatea domeniilor abordate (mediu, energie electrică, energetică, informatică, automatică, electrotehnică, etc.), precum și a aplicațiilor software dezvoltate.

Prin utilizarea acestui sistem se vor obține efecte care vor conduce la creșterea rentabilității centralelor care produc energie electrică și termică prin reducerea consumurilor energetice specifice și totale, ceea ce conduce la scăderea prețului de cost al produsului sau serviciului (producerea de energie electrică și de apă caldă), investiții reduse pentru o gamă largă de produse, costuri reduse pentru exploatare și întreținere, crearea de noi locuri de muncă pentru personal tehnic cu înaltă calificare, creșterea gradului de confort în exploatarea și întreținerea echipamentelor de acționare electrică.

## BIBLOGRAFIE

1. **MICIU, I.; HĂRȚESCU FL.** Proiect PN II, Sistem integrat de conducere în timp real a producerii eficiente a energiei electrice și termice în centrale cogenerative pe gaz, 2010.
2. **EREMIA, M.** Electric Power Systems. Editura Academiei Române, București, 2006.
3. **EREMIA, M.; TRECĂT J.; GERMOND A.** Reseaux electriques. Aspects actuels. Editura Tehnică, București, 2000.
4. **EREMIA, M.; PASERBA J.; LIU C. C. (EDS.).** Electric Power Systems. Vol. III, Advanced techniques and Technologies în power systems: FACTS and I. A. Editura Academiei Române, București, 2009.
5. **CHINDRIS.** Reducerea poluării armonice a rețelelor electrice industriale.
6. **EREMIA, M.; SONG Y. H.; HATZIARGYRIOU N.** Electric Power Systems. Vol. I. Electric Networks, Editura Academiei Române, 2006.
7. **EREMIA, M.; CRISCIU M.; UNGUREANU B.; BULAC C.** Analiza asistată pe calculator a regimurilor sistemelor electroenergetice. Editura Tehnică, București, 1985.
8. **VETTER, M.; WITTWER C.** Model-based development of controller strategies for domestic fuel cell cogeneration plants.
9. **MANOLAS, D. A.; FRANGOPOULOS C. A.; GIALAMAS T. P.; TSAHALIS D. T.** Operation optimization of an industrial cogeneration system by a genetic algorithm.
10. **MASAHIDE, Y.; TSUNEO U.; JUN'ICHI Y.; KASUMASA S.** Optimal design of cogeneration systems by using hamiltonian algorithm.
11. **AZIT, A. H.; NOR K. M.** Optimal Design of a Cogeneration System for Typical Hospitals în Malaysia.
12. **ITO, K.; YOKOYAMA R., ET. AL.** Optimal Operation of a Cogeneration Plant in Combination with Electric Heat Pumps.

13. **KITAGAWA, S.; NAKAZAWA C.; FUKUYAMA Y.** Particle Swarm Optimization for Optimal Operational Planning of a Cogeneration System.
14. **HORI, S.; ITO K.; PAK P. S.; SUZUKI Y.** Optimal planning of gas turbine co-generation plants based on mixed-integer linear programming.
15. **YOKOYAMA, R.; ITO K.** Optimal Design of Gas Turbine Cogeneration Plants in Consideration of Discreteness of Equipment Capabilities.