



APLICAȚII CU AUTOMATE PROGRAMABILE

CUPTOR INDUSTRIAL AUTOMAT

Control automat al temperaturii și gestionarea ciclurilor de funcționare

Student: Proaspătu Nicolae-Bogdan

Anul: IV

Grupa 1

CUPRINS

1. Introducere.....	3
1.1. Scopul lucrării.....	3
2. Arhitectura sistemului.....	4
2.1. Structura hardware.....	4
2.2. Schema de comunicare între PLC-uri.....	5
3. Mod de lucru.....	6
3.1. Principiul de funcționare.....	6
3.2. Contorizarea ciclurilor.....	6
4. Implementarea în LOGO! Soft Comfort.....	7
4.1. Subprocesul 1: Control termic (PLC1 - FBD).....	7
4.2. Subprocesul 2: Parte electrică și monitorizare (PLC2 - LAD).....	8
4.2.1. Structura diagramei LAD.....	8
4.3. Diagrama Ladder completă.....	15
5. Diagrama P&ID (Piping & Instrumentation)	17
5.1. Descrierea componentelor	17
6. Concluzii.....	18

1. Introducere

Proiectul urmărește realizarea unui sistem automat de control pentru un cuptor industrial, având ca scop principal menținerea temperaturii într-un interval sigur și controlat, precum și gestionarea eficientă a ciclurilor de funcționare. Sistemul utilizează o arhitectură distribuită bazată pe două automate programabile LOGO! interconectate, fiecare responsabil pentru un subproces distinct.

Implementarea este structurată în două subproces principale care rulează pe PLC-uri separate, comunicând prin conexiuni fizice între ieșiri și intrări:

- **Subprocesul 1 (PLC1 - FBD): Control termic** – gestionează fazele de preîncălzire, încălzire și răcire progresivă prin monitorizarea temperaturii și comandarea elementelor de execuție. Ieșirile Q1-Q5 reprezintă stările procesului termic.
- **Subprocesul 2 (PLC2 - LAD): Parte electrică și monitorizare** – primește semnalele de stare de la PLC1 prin intrările I1-I5 și gestionează alarmele, semnalizările, contorizarea ciclurilor și stările de funcționare ale sistemului.

Această arhitectură distribuită oferă mai multe avantaje: separarea clară a responsabilităților, posibilitatea de testare independentă a fiecărui subproces, redundanță în caz de defecțiune și flexibilitate în extinderea sistemului.

1.1. Scopul lucrării

Scopul acestei lucrări este de a realiza un sistem automat de control distribuit pentru cuptor industrial care să îndeplinească următoarele cerințe funcționale:

- Menținerea temperaturii în intervalele specificate pentru fiecare fază a procesului termic (preîncălzire sub 200°C, încălzire între 200-850°C, răcire progresivă peste 850°C)
- Declanșarea automată a sistemelor de răcire progresive: V1 pentru 850-900°C, V1+V2 pentru 900-950°C
- Protejarea echipamentului prin alarme de supraîncălzire (peste 950°C, cu temporizare 5 secunde) și limitare a timpului de încălzire (maximum 30 secunde)
- Monitorizarea ciclurilor complete și declanșarea alarmei de întreținere la 5 cicluri consecutive
- Asigurarea unei funcționări sigure cu posibilitate de reset manual prin butonul I6

2. Arhitectura sistemului

Sistemul de automatizare a cuptorului industrial este implementat pe o arhitectură distribuită, utilizând două automate programabile Siemens LOGO! interconectate fizic. Această abordare permite separarea clară între logica de control termic și logica de monitorizare și semnalizare.

2.1. Structura hardware

Sistemul este compus din două panouri didactice LOGO!, fiecare conținând un automat programabil Siemens LOGO! cu sursa de alimentare și module de intrări/ieșiri. Cele două PLCuri comunică prin conexiuni fizice realizate cu cabluri banana, care leagă ieșirile primului automat (Q1-Q5) la intrările celui de-al doilea automat (I1-I5).



Fig. 1 – Standul de lucru cu cele două panouri didactice LOGO! interconectate

În imaginea de mai sus se poate observa configurația fizică a sistemului: cele două panouri LOGO! sunt conectate prin cabluri colorate. Cablurile roșii asigură tensiunea pe ieșiri, cablul albastru reprezintă ground-ul comun, iar cablurile galbene realizează legătura efectivă între ieșirile Q1-Q5 (PLC1) și intrările I1-I5 (PLC2).



Fig. 2 – Vedere de ansamblu a conexiunilor dintre cele două PLC-uri

2.2. Schema de comunicare între PLC-uri

Comunicarea între cele două automate programabile se realizează prin conexiuni galvanice directe, conform următoarei mapări:

PLC1 (Ieșire)	→	PLC2 (Intrare)	Semnificație
Q1	→	I1	Status preîncălzire activă
Q2	→	I2	Status încălzire activă
Q3	→	I3	Status răcire V1 activă
Q4	→	I4	Status răcire V2 activă
Q5	→	I5	Flag temperatură peste prag (>950°C)

Această abordare cu două PLC-uri independente oferă avantajul că fiecare program poate fi dezvoltat, testat și modificat separat, fără a afecta funcționarea celuilalt. De asemenea, în caz de defecțiune a unuia dintre automate, celălalt poate continua să funcționeze parțial, oferind un nivel de redundanță.

3. Mod de lucru

Sistemul de automatizare a cuptorului industrial funcționează pe baza unui ciclu de procesare termică bine definit, în care temperatura este monitorizată continuu de PLC1 prin intermediul senzorului analogic AI1. Stările procesului termic sunt transmise către PLC2 pentru monitorizare, semnalizare și gestionarea ciclurilor.

3.1. Principiul de funcționare

Procesul de control al temperaturii se bazează pe compararea continuă a valorii citite de senzorul de temperatură cu pragurile prestabilite. PLC1 activează ieșirile Q1-Q5 în funcție de intervalul de temperatură, iar PLC2 primește aceste semnale și reacționează corespunzător:

Faza de preîncălzire (temperatura < 200°C):

Când temperatura din cuptor este sub pragul de 200°C și sunt îndeplinite condițiile de pornire (ușa închisă, gaz disponibil), PLC1 activează ieșirea Q1 care corespunde fazei de preîncălzire. Acest semnal ajunge la intrarea I1 din PLC2, care actualizează statusul de preîncălzire activă.

Faza de încălzire principală (200°C - 850°C):

Odată ce temperatura depășește pragul de 200°C, PLC1 activează încălzirea principală prin ieșirea Q2. Semnalul ajunge la I2 din PLC2. Încălzirea rămâne activă până când temperatura atinge 850°C. PLC2 monitorizează durata încălzirii și dacă aceasta depășește 30 de secunde, generează o alarmă indicând o posibilă defecțiune.

Fazele de răcire (temperatura > 850°C):

După atingerea temperaturii de 850°C, PLC1 oprește încălzirea și activează sistemele de răcire progresiv:

- 850-900°C: Q3 activ (V1) → I3 activ în PLC2 → Răcire normală activată
- 900-950°C: Q3+Q4 active (V1+V2) → I3+I4 active în PLC2 → Răcire intensificată
- Peste 950°C: Q5 activ → I5 activ în PLC2 → Pornește temporizatorul de 5s pentru alarmă supraîncălzire

3.2. Contorizarea ciclurilor

Un ciclu complet de funcționare este definit ca parcurgerea secvențială a trei faze: preîncălzire (I1 activ), încălzire (I2 activ) și cel puțin o etapă de răcire (I3 sau I4 activ). Contorul C011 din PLC2 numără aceste cicluri complete utilizând un Up/Down Counter care se activează la tranziția în starea de răcire.

La atingerea a 5 cicluri consecutive, PLC2 activează ieșirea Q8 (alarmă întreținere) și blochează pornirea unui nou ciclu. Operatorul trebuie să efectueze verificările necesare și să apese butonul de reset I6 pentru a reseta contorul și a debloca sistemul.

4. Implementarea în LOGO! Soft Comfort

Sistemul a fost programat în LOGO! Soft Comfort utilizând două programe independente: unul în format FBD (Function Block Diagram) pentru controlul termic și unul în format LAD (Ladder Diagram) pentru partea electrică și monitorizare. Cele două programe rulează pe PLC-uri separate și comunică prin conexiunile fizice Q→I descrise anterior.

4.1. Subprocesul 1: Control termic (PLC1 - FBD)

Subprocesul 1 rulează pe primul PLC și este responsabil pentru controlul direct al temperaturii din cuptor. Acesta citește valoarea analogică de la senzorul de temperatură AI1, o compară cu pragurile prestabilite și comandă elementele de încălzire și răcire prin ieșirile Q1-Q5.

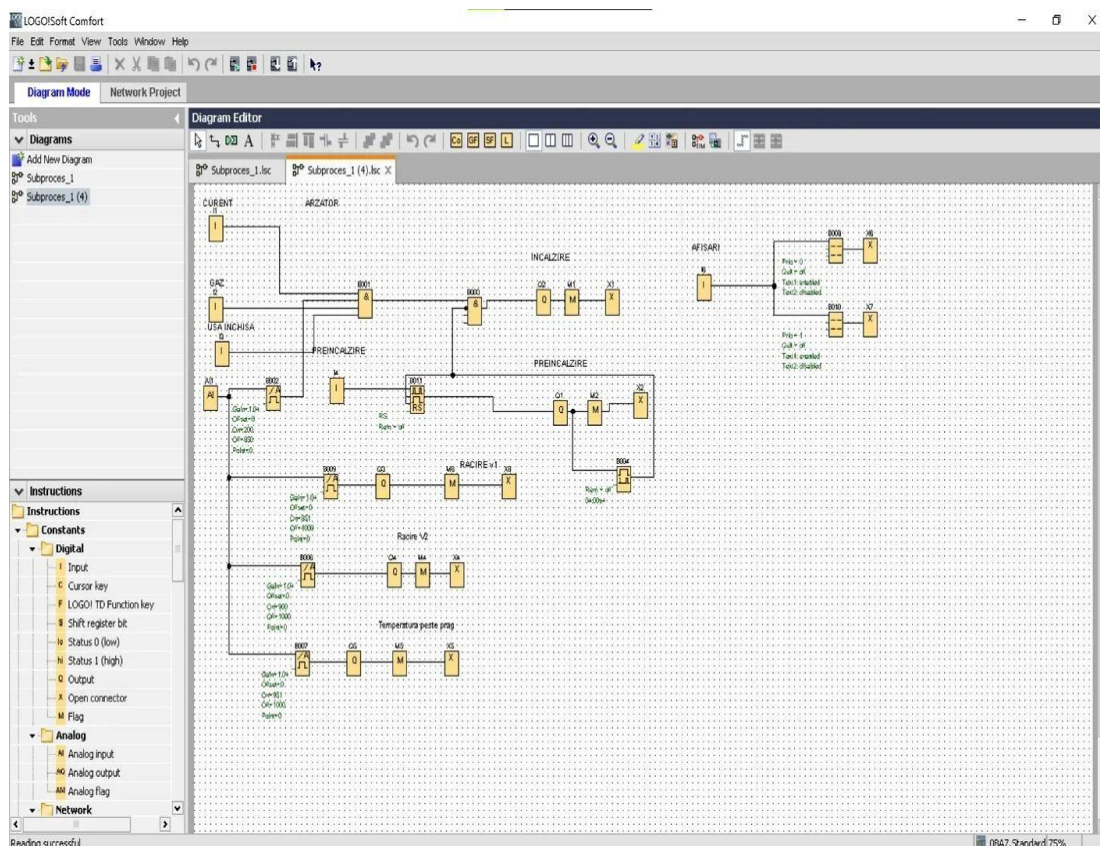


Fig. 3 – Subprocesul 1 (PLC1): Controlul temperaturii în format FBD

Schema de mai sus prezintă implementarea Subprocesului 1 în format Function Block Diagram (FBD). Blocurile principale utilizate sunt:

- **Analog Threshold (B002-B007):** Compară valoarea temperaturii cu pragurile 200°C, 850°C, 900°C și 950°C
- **AND Gate (&):** Verifică îndeplinirea simultană a condițiilor de pornire (ușa închisă, gaz disponibil)
- **RS Flip-Flop:** Menține starea de activare a încălzirii/răcirii până la îndeplinirea condiției de oprire
- **Ieșiri Q1-Q5:** Conectate fizic la intrările I1-I5 ale PLC2 pentru transmiterea stărilor

Logica de funcționare pe intervale de temperatură:

Interval temperatură	Preîncălzire (Q1)	Încălzire (Q2)	Răcire	Supraîncălzire (Q5)
0-200°C	ON	OFF	OFF	OFF
200-850°C	OFF	ON	OFF	OFF
850-900°C	OFF	OFF	Q3 (V1)	OFF
900-950°C	OFF	OFF	Q3+Q4 (V1+V2)	OFF
>950°C	OFF	OFF	Q3+Q4	ON (Q5)

4.2. Subprocesul 2: Parte electrică și monitorizare (PLC2 - LAD)

Subprocesul 2 rulează pe al doilea PLC și este implementat în format Ladder Diagram (LAD). Acesta primește semnalele de stare de la PLC1 prin intrările I1-I5 și gestionează alarmele, semnalizările, contorizarea ciclurilor și indicarea stărilor de funcționare ale sistemului.

Funcțiile principale ale Subprocesului 2 sunt:

- Monitorizarea stărilor primite de la PLC1 (preîncălzire, încălzire, răcire, supraîncălzire)
- Activarea răcirii normale când oricare dintre răcirile V1 sau V2 este activă în PLC1
- Generarea alarmei de supraîncălzire după 5 secunde de I5 activ
- Generarea alarmei de încălzire prelungită dacă I2 rămâne activ peste 30 secunde
- Contorizarea ciclurilor complete și generarea alarmei de întreținere la 5 cicluri
- Indicarea stării sistem fără erori când nu exista alarme active

4.2.1. Structura diagramei LAD

Diagrama Ladder a Subprocesului 2 este structurată în mai multe rețele (rungs) care implementează funcționalitățile distincte ale sistemului. Mai jos sunt prezentate capturile de ecran ale implementării în LOGO! Soft Comfort:

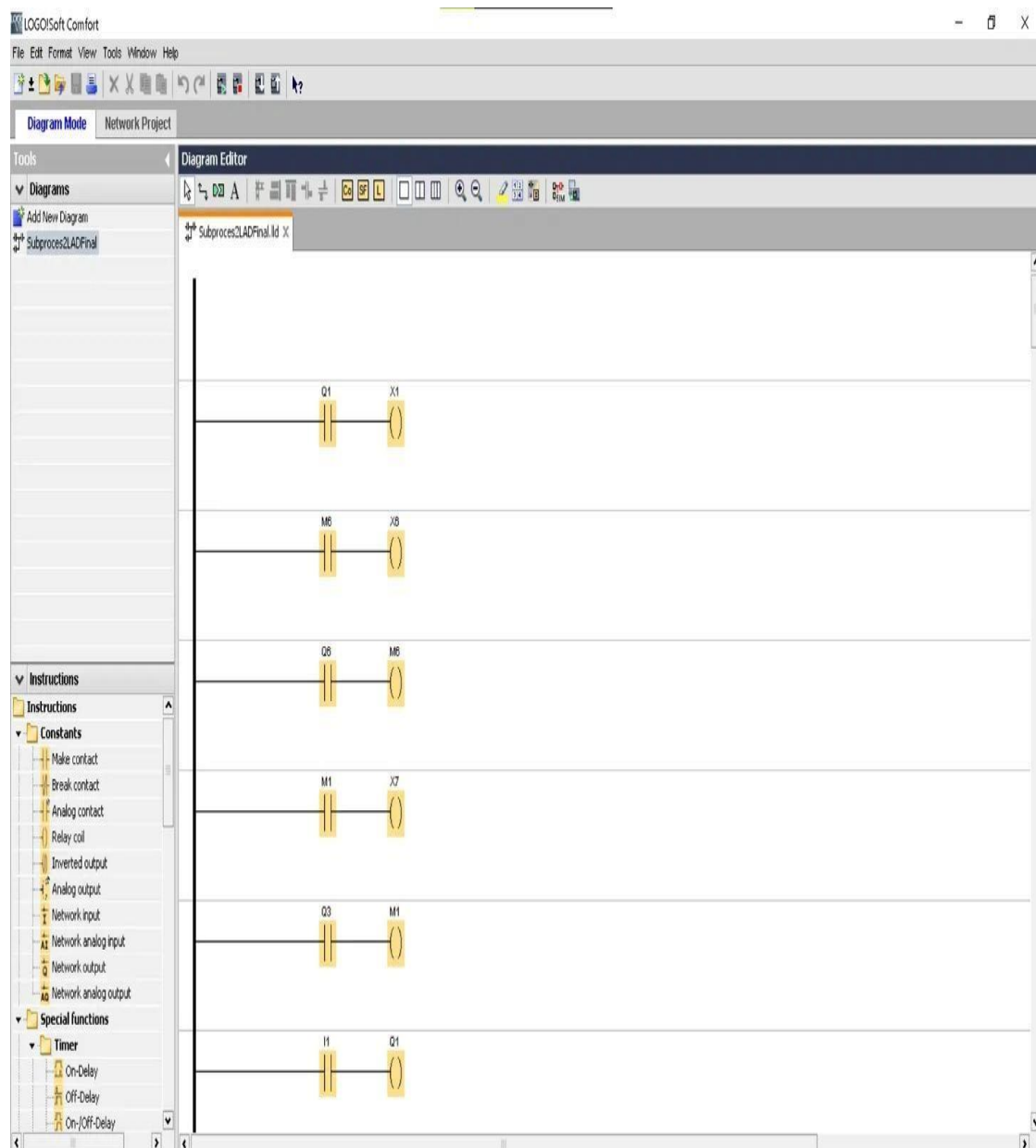


Fig. 4 – Subprocesul 2 LAD (PLC2): Rețelele de transfer status ($Q1 \rightarrow X1$, $M6 \rightarrow X6$, $Q6 \rightarrow M6$, $M1 \rightarrow X7$, $Q3 \rightarrow M1$, $I1 \rightarrow Q1$)

Prima parte a diagramei LAD prezintă rețelele de monitorizare a statusurilor primite de la PLC1. Intrarea I1 (corespunzătoare Q1 din PLC1 - preîncălzire activă) controlează ieșirea Q1 a PLC2. Similar, celelalte contacte monitorizează și transferă stările către memoriile și ieșirile interne ale PLC2.

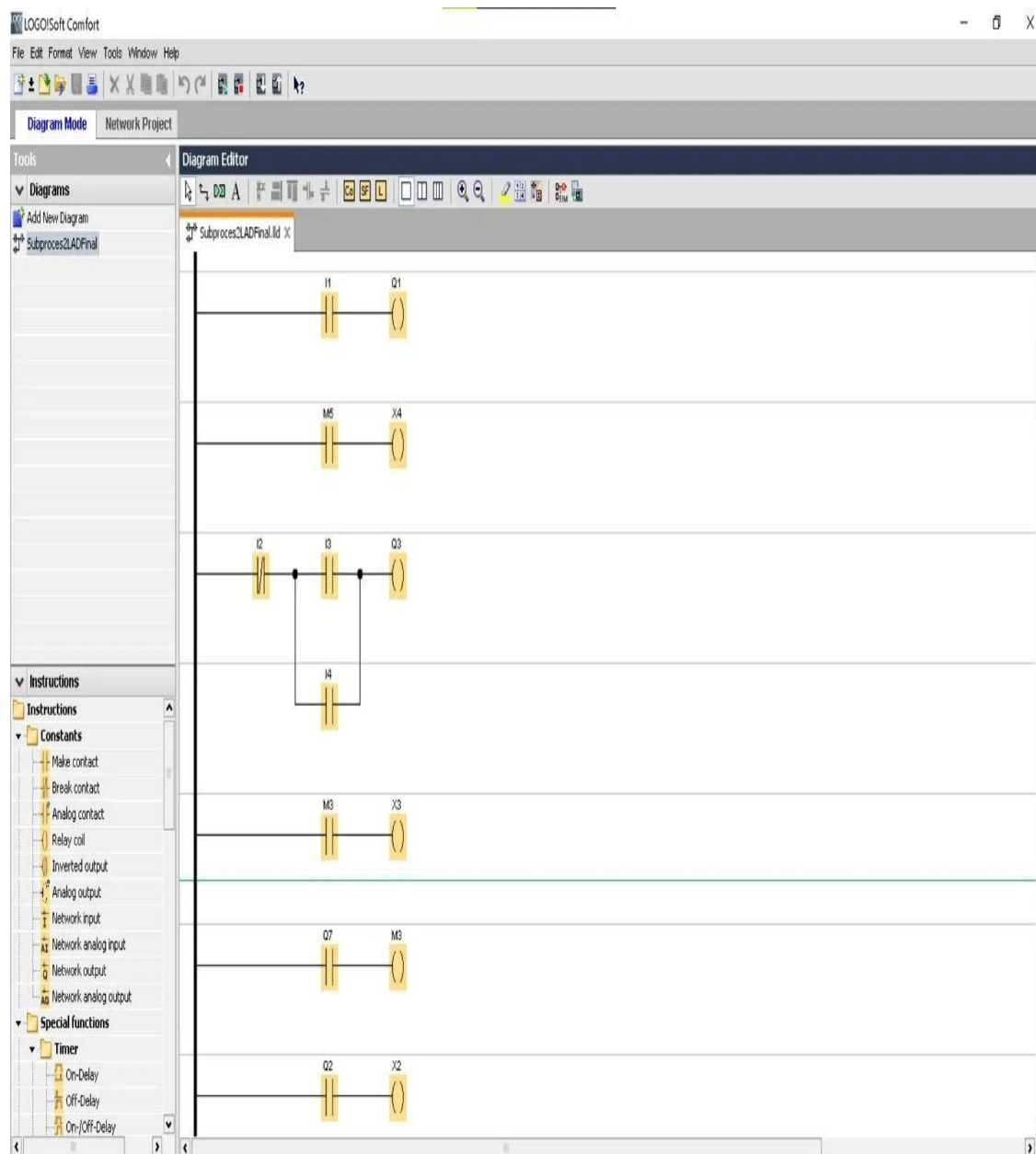


Fig. 5 – Subprocesul 2 LAD (PLC2): Rețele status și răcire normală ($I1 \rightarrow Q1$, $M5 \rightarrow X4$, $I2 || I3 || I4 \rightarrow Q3$, $M3 \rightarrow X3$, $Q7 \rightarrow M3$, $Q2 \rightarrow X2$)

A doua parte prezintă logica pentru activarea răcirii normale ($Q3$ din $PLC2$). Aceasta se bazează pe o structură OR: dacă oricare dintre intrările $I3$ sau $I4$ este activă (corespunzând răcirilor $V1$ sau $V2$ din $PLC1$), ieșirea $Q3$ se activează pentru a semnaliza răcirea normală în funcțiune.

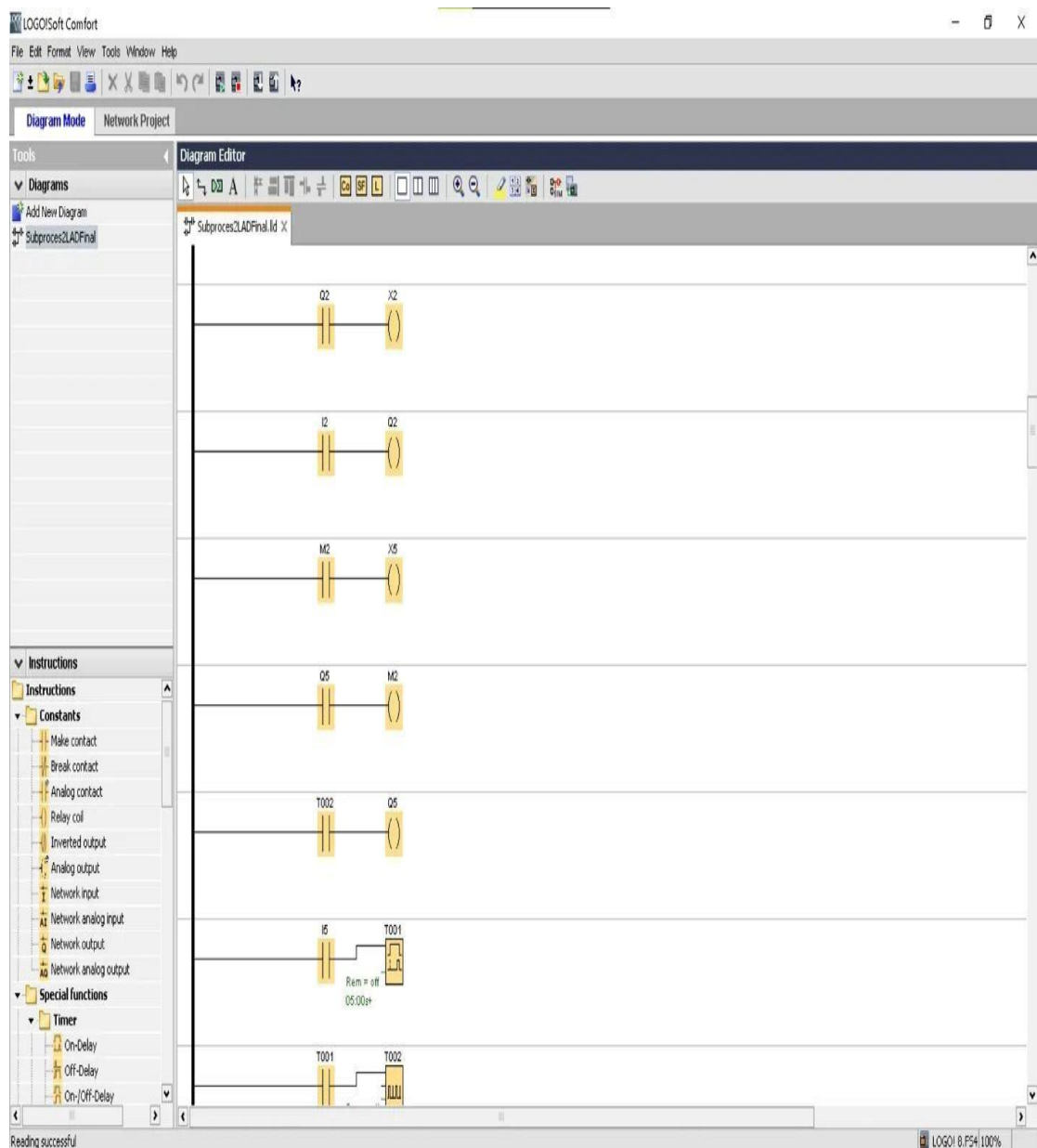


Fig. 6 – Subprocesul 2 LAD (PLC2): Monitorizare încălzire și temporizatoare ($Q2 \rightarrow X2$, $I2 \rightarrow Q2$, $M2 \rightarrow X5$, $Q5 \rightarrow M2$, $T002 \rightarrow Q5$, $I5 \rightarrow T001$)

A treia parte a diagramei LAD implementează logica de monitorizare a încălzirii și temporizatoarele pentru alarme. Când intrarea I5 (temperatură peste prag, de la Q5 din PLC1) devine activă, se pornește temporizatorul T001 cu o întârziere de 5 secunde. După expirarea acestui timp, se activează alarma de supraîncălzire Q5 din PLC2.

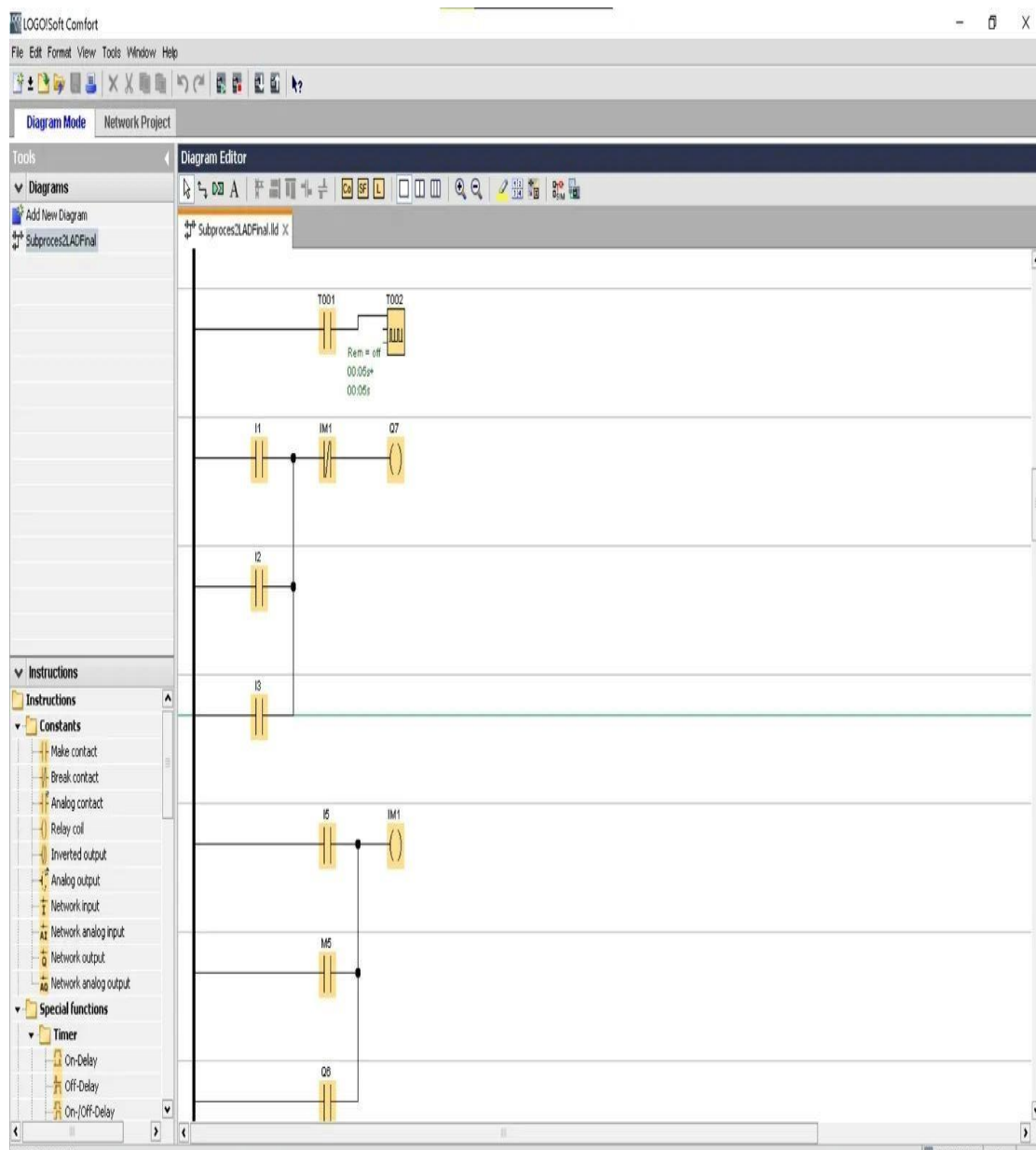


Fig. 7 – Subprocesul 2 LAD (PLC2): Temporizatoare alarme și verificare sistem (T001→T002, I1 && !M1 && I2 → Q7)

Rețeaua pentru ieșirea Q7 (sistem fără erori) utilizează o logică AND: condițiile de funcționare normală trebuie să fie îndeplinite și nu trebuie să existe alarme active. Această ieșire poate fi conectată la un indicator luminos pentru a semnaliza operatorului că sistemul funcționează corect.

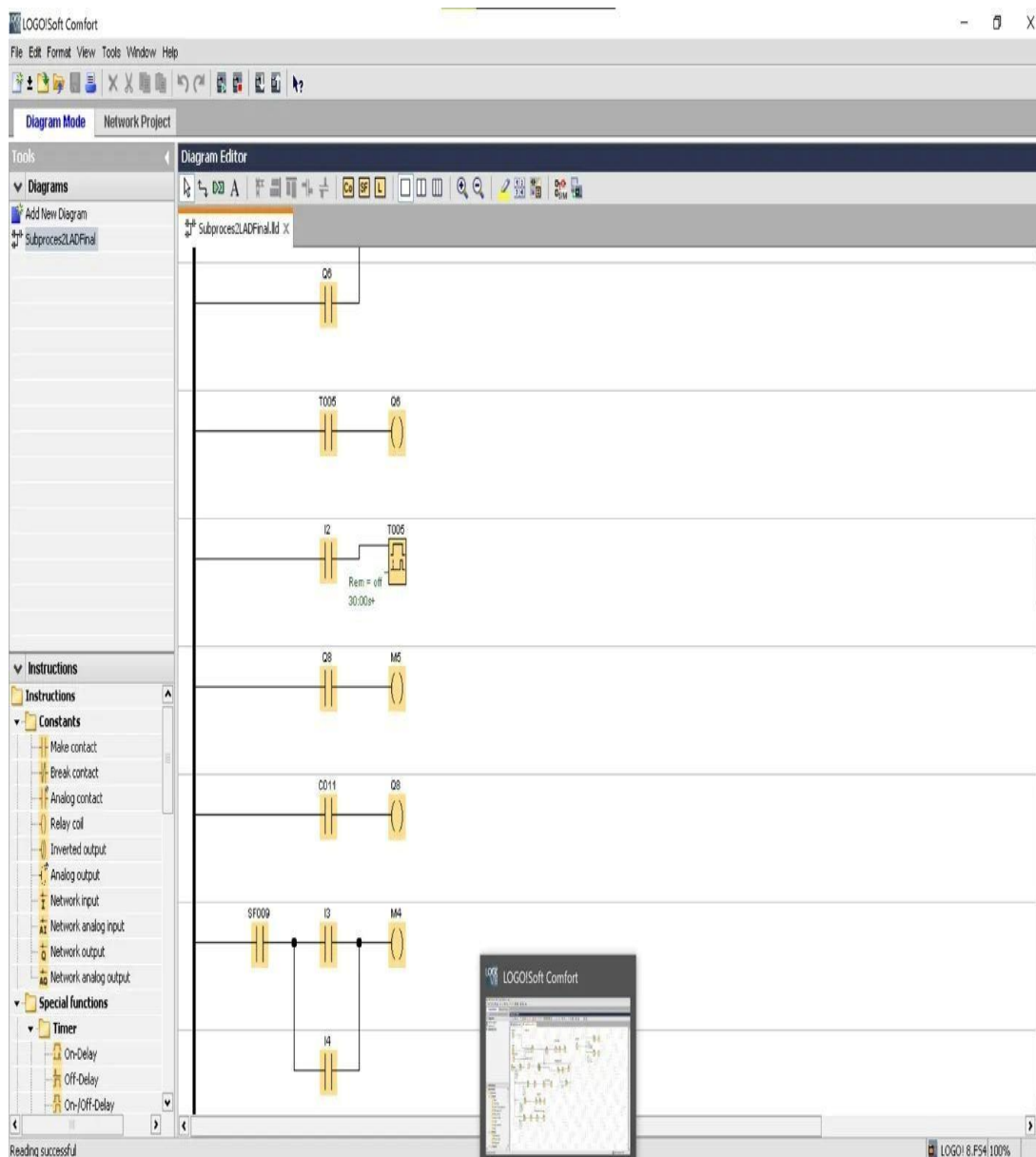


Fig. 8 – Subprocesul 2 LAD (PLC2): Monitorizare timp încălzire și contorizare (Q6, T005→Q6, I2→T005[30s], Q8→M5, C011→Q8)

Această secțiune implementează monitorizarea timpului de încălzire prin temporizatorul T005. Când intrarea I2 (încălzire activă, de la Q2 din PLC1) rămâne activă mai mult de 30 de secunde, se activează ieșirea Q6 indicând o alarmă de încălzire prelungită. De asemenea, contorul C011 numără ciclurile complete și la atingerea a 5 cicluri activează Q8 pentru întreținere.

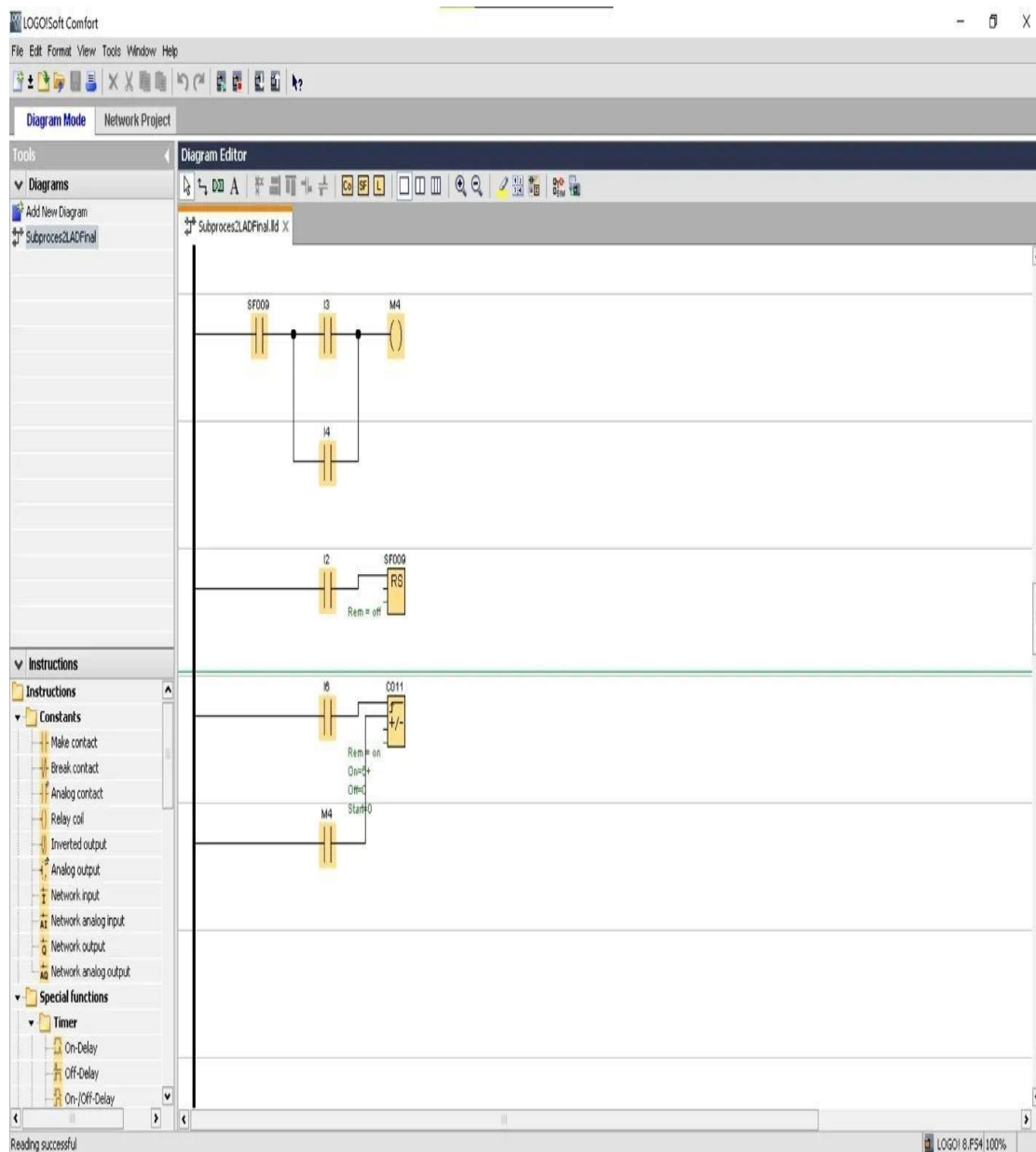


Fig. 9 – Subprocesul 2 LAD (PLC2): Contorizare cicluri, flip-flop și reset (SF009, I2→SF009[RS], I6→Reset)

Ultima parte a diagramei LAD prezintă logica de contorizare a ciclurilor și mecanismul de reset. Blocul SF009 este un flip-flop RS care se setează la activarea încălzirii (I2 activ). Contorul C011 incrementează la fiecare ciclu complet. Butonul de reset I6 (conectat direct la PLC2) permite resetarea tuturor temporizatoarelor și a contorului de cicluri.

4.3. Diagrama Ladder completă

Pentru o viziune de ansamblu asupra logicii de control, mai jos este prezentată diagrama Ladder completă care integrează ambele subprocesse într-o reprezentare unificată. Această reprezentare permite înțelegerea fluxului logic complet al sistemului.

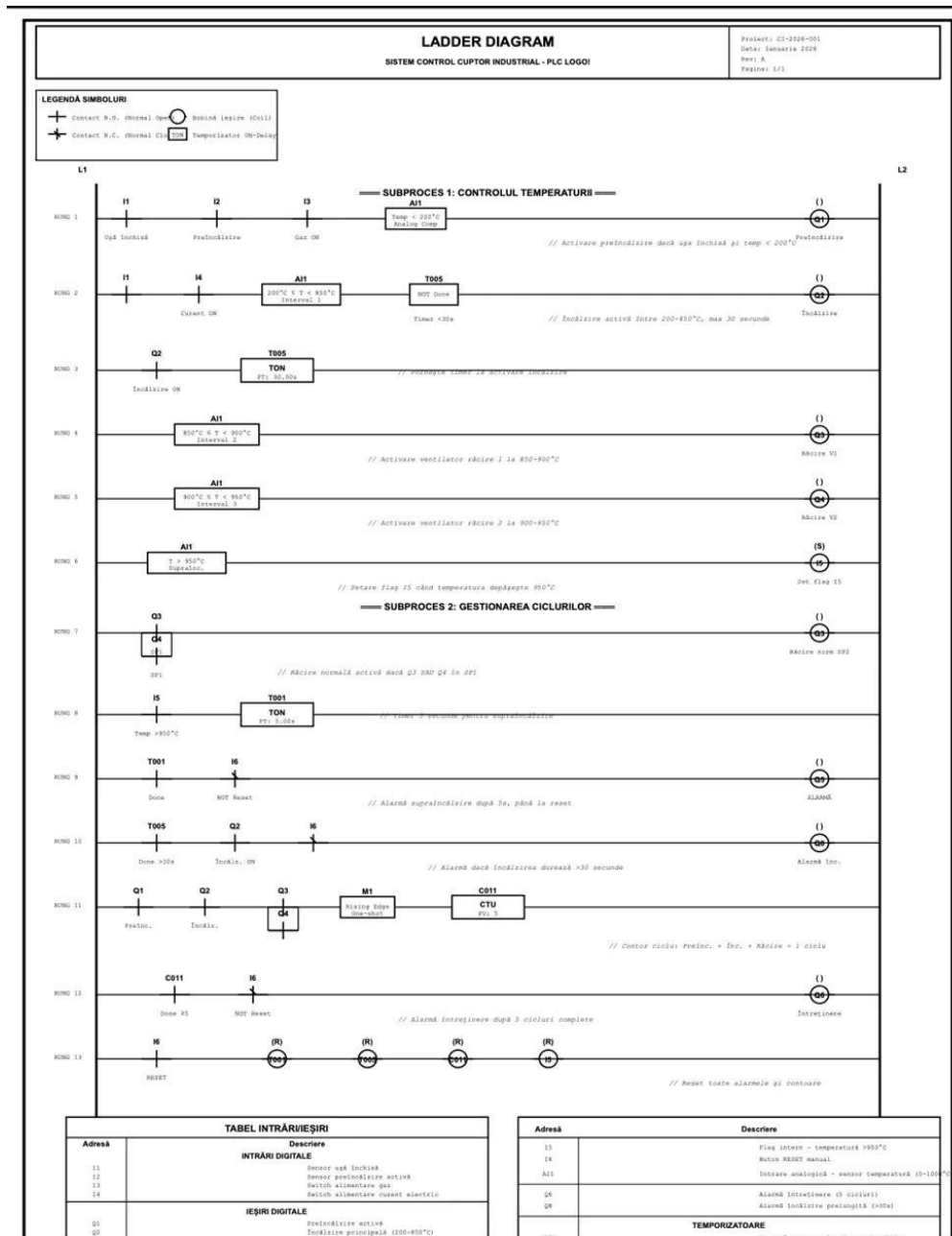


Fig. 10 – Diagrama Ladder completă a sistemului de control al cuptorului industrial

Diagrama completă evidențiază cele două subprocesse: Subprocesul 1 pentru controlul temperaturii (rețelele 1-6, rulează pe PLC1) și Subprocesul 2 pentru partea electrică și monitorizare (rețelele 7-13, rulează pe PLC2). Tabelul de intrări/ieșiri prezintă maparea completă a semnalelor:

PLC1 - Subproces 1 (Control termic):

- AI1 – Intrare analogică senzor temperatură (0-1000°C)
- Q1 – Preîncălzire activă → conectat la I1 din PLC2
- Q2 – Încălzire principală (200-850°C) → conectat la I2 din PLC2
- Q3 – Răcire V1 (850-900°C) → conectat la I3 din PLC2
- Q4 – Răcire V2 (900-950°C) → conectat la I4 din PLC2
- Q5 – Flag temperatură peste prag (>950°C) → conectat la I5 din PLC2 **PLC2 -**

Subproces 2 (Parte electrică și monitorizare):

- I1-I5 – Intrări de la PLC1 (stări proces termic)
- I6 – Buton RESET manual (conectat direct la PLC2)
- Q3 – Răcire normală activă (semnalizare)
- Q5 – Alarmă supraîncălzire (după 5s de I5 activ)
- Q6 – Alarmă încălzire prelungită (>30s)
- Q7 – Sistem activ, fără erori
- Q8 – Alarmă întreținere (5 cicluri complete)

Temporizatoare (PLC2):

- T001/T002 – Timer 5 secunde pentru alarma supraîncălzire
- T005 – Timer 30 secunde pentru monitorizarea încălzirii
- C011 – Contor cicluri complete (prag: 5)

5. Diagrama P&ID (Piping & Instrumentation)

Diagrama P&ID reprezintă schema de instrumentație și conducte a sistemului de control al cuptorului industrial. Această diagramă oferă o viziune completă asupra componentelor fizice ale sistemului și a conexiunilor dintre acestea.

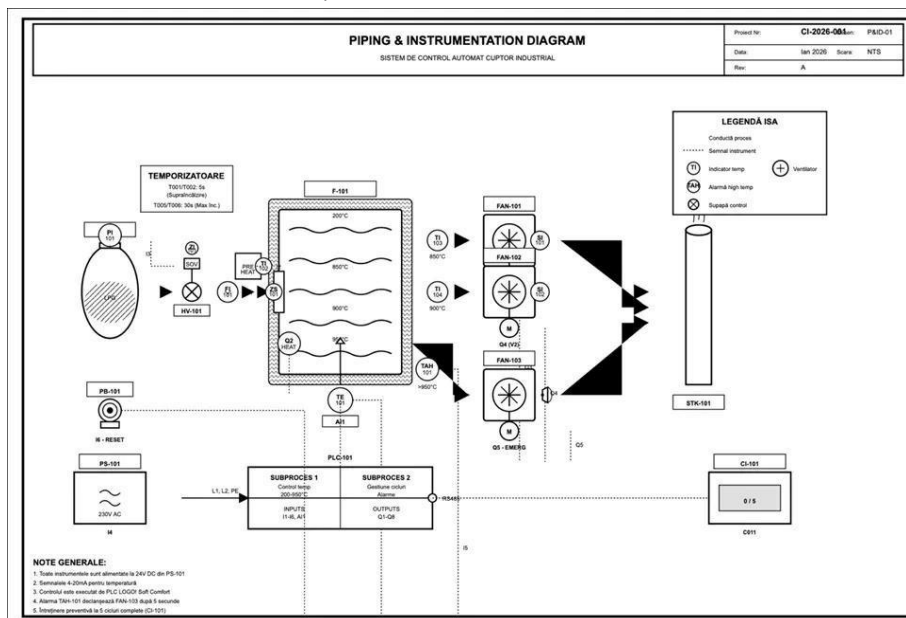


Fig. 11 – Diagrama P&ID a sistemului de control automat al cuptorului industrial

5.1. Descrierea componentelor

Echipamente principale:

- **F-101:** Cuptor industrial – camera principală de încălzire
- **HV-101:** Electrovalvă principală gaz
- **PLC-101:** Sistem de control distribuit (2 automate LOGO! interconectate)
- **STK-101:** Coș de evacuare gaze arse
- **TI-101, TI-103, TI-104:** Indicatoare de temperatură pentru zonele 200°C, 850°C și 900°C
- **TE-101:** Element de măsură temperatură (termocuplu) conectat la AI1 din PLC1
- **TAH-101:** Alarmă temperatură înaltă (>950°C)
- **CI-101:** Contor cicluri (C011 din PLC2) – afișează 0/5
- **FAN-101, FAN-102:** Ventilatoare V1 (controlate de Q3 din PLC1)
- **FAN-103:** Ventilator V2 (controlat de Q4 din PLC1)
- **PB-101 (I6-RESET):** Buton de reset manual conectat direct la I6 din PLC2
- **PS-101:** Sursă de alimentare 230V AC

6. Concluzii

Proiectul realizat demonstrează eficiența și fiabilitatea unui sistem automat de control distribuit pentru cuptor industrial, implementat pe o arhitectură cu două automate programabile Siemens LOGO! interconectate fizic. Această abordare oferă avantaje semnificative în ceea ce privește modularitatea, testabilitatea și mentenabilitatea sistemului.

Arhitectura distribuită cu două PLC-uri separate permite:

- Separarea clară a responsabilităților: PLC1 pentru control termic, PLC2 pentru monitorizare și alarme
- Dezvoltarea și testarea independentă a fiecărui subproces
- Flexibilitate în modificarea unui subproces fără a afecta celălalt
- Comunicare simplă și fiabilă prin conexiuni galvanice directe (Q→I)

Sistemul implementat include multiple niveluri de protecție:

- Alarmă de supraîncălzire cu temporizare de 5 secunde pentru evitarea activărilor false
- Limitare a timpului de încălzire la 30 de secunde pentru detectarea defecțiunilor
- Contorizare cicluri pentru întreținere preventivă la fiecare 5 cicluri
- Răcire progresivă în trei trepte pentru protejarea produselor procesate
- Reset manual prin butonul I6 pentru reluarea funcționării după intervenție

Utilizarea formatului FBD pentru controlul termic și a formatului LAD pentru partea electrică și monitorizare demonstrează flexibilitatea mediului LOGO! Soft Comfort și permite alegerea reprezentării optime pentru fiecare tip de logică.

Prin acest proiect s-a realizat o soluție practică și eficientă pentru automatizarea unui cuptor industrial, care poate fi extinsă și adaptată pentru diverse aplicații industriale ce necesită control strict al temperaturii și monitorizare distribuită a procesului.