



UNIVERSITATEA **POLITEHNICA** DIN BUCUREȘTI

FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ



Departamentul Măsurări, Aparate Electrice și Conversoare Statice

REZUMAT TEZA DE DOCTORAT

Monitorizarea și controlul sistemelor electrotermice
modernizate

Monitoring and control of modernized electrothermal
systems

Autor: ing. Alexandru Voicu

Conducător de doctorat: Prof. dr.ing. Mihai Octavian Popescu

București 2020

Mulumiri

In primul rand doresc sa multumesc conducatorului meu stiintific, domnului Prof. Univ. Dr. Ing. Mihai Octavian POPESCU pentru sprijinul si indrumarile acordate pe toata perioada stagiului doctoral si in realizarea acestei tezei.

De asemenea doresc sa multumesc doamnei Prof. Univ. Dr. Ing Claudia POPESCU pentru sfaturile acordate pe perioada stagiului doctoral

In continuare doresc sa multumesc domnului Prorector Prof. Univ. Abil. Dr. Ing. Valentin NAVRAPESCU pentru sprijinirea si indrumarea mea in toata aceasta perioada.

Doresc sa multumesc domnului S.I. Dr. Ing. Florin CALIN pentru suportul acordat.

Mulumiri domnului Prodecan Conf. Dr. Ing. Ioan-Dragos DEACONU si Conf. Dr. Ing. Aurel-Ionut CHIRILA pentru sfaturile acordate in elaborarea tezei si sustinerea mea pe parcursul acestei perioade.

In ultimul rand doresc sa multumesc conducerii societatii Electro-Total care a facut posibila realizarea practica si confirmarea rezultatelor obtinute din aceasta teza.

Cuprins:

1.	Introducere	5
1.1	Formularea Problemei.....	5
1.2	Scopul si obiectivele cercetării	5
1.3	Structura si conținutul tezei.....	6
2.	Situația actuala.....	7
3.	Prezentarea sistemului electronic realizat.....	8
3.1	Dulap acționare forța.....	9
3.2	Dulap automatizare comanda.....	9
3.3	Elemente de acționare	9
3.4	Elemente de măsura	10
3.5	Sistem PLC	11
3.6	Sistem SCADA	12
4.	Diagnoza in sistemele de automatizare si monitorizare ale cuptoarelor industriale	12
4.1	Proceduri de diagnosticare si funcții de siguranța	12
4.1.1	Test dublu de etanșeitate al rampei principale de gaz si al rampelor secundare de gaz ale arzătoarelor.....	12
4.1.2	Prevențilarea cuptorului	13
4.1.3	Pornirea arzătorului si supravegherea flăcării.....	14
4.1.4	Detectare defectelor la măsurarea temperaturii	15
4.1.4.1	Bucła interna a unui termocuplu este deschisa	15
4.1.4.2	Bucła deschisa 4-20mA intre PLC si convertor	16
4.1.4.3	Termocuplurile de control si termocuplurile de protecție.....	16
4.1.4.4	Termocuplurile redundante	16
4.1.4.5	Logica alarmelor si rutina de scalare a valorilor măsurate in PLC.....	16
4.2	Proceduri si funcții de mentenanța preventiva.....	17
4.2.1	Frecvența de recurența a unei alarme.....	17
4.2.2	Comparație logica si valori plauzibile in diferite puncte de măsura a temperaturii .	17
4.2.3	Tiparul de creștere/scădere a valorii	18
4.2.4	Monitorizare mentenanței programate	18
5.	Sisteme de control digital al proceselor termice ale cuptoarelor industriale	18
5.1	Cerințe tehnologice de performanța ale cuptoarelor	19
5.2	Soluția pentru obținerea uniformității si preciziei de temperatura atât pentru temperaturi joase cat si pentru temperaturi înalte fără ventilatoare de recirculare	19
5.2.1	Alternarea tipurilor de control pe arzătoare	19

5.2.2	Modificarea parametrilor PID in timpul funcționarii.....	20
5.3	Solutia pentru menținerea unui control precis al raportului de aer/gaz	21
5.4	Soluția pentru controlarea presiunii din ambele cuptoare cu un singur ventilator de exhaustare	24
6.	Rezultate obținute	26
6.1	Beneficii ale procedurilor de diagnoza implementate.....	26
6.2	Obținerea uniformității temperaturii in cuptor.....	26
6.3	Obținerea unui palier de temperatura atât la temperaturi joase cat si la temperaturi înalte	27
6.4	Obținerea preciziei de reglare a temperaturii	27
6.5	Reducerea emisiilor de noxe	27
6.6	Tipul de atmosfera obținuta in interiorul cuptorului.....	28
7.	Concluzii. Contribuții personale si Perspective de dezvoltare	28
7.1	Concluzii	28
7.1.1	Sistemul de diagnoza si mentenanța preventiva	28
7.1.2	Sistemul de automatizare si control	29
7.2	Contribuții personale.....	29
7.3	Perspectiva de dezvoltare.....	30
7.3.1	Sistemul de diagnoza	30
7.3.2	Sistemul de control.....	31
7.4	Lista Figuri.....	31
	Bibliografie.....	31
8.	Anexe.....	34
8.1	Anexa 1 – valori măsurate in timpul testului TUS.....	Error! Bookmark not defined.
8.2	Anexa 2 – poze din instalație	Error! Bookmark not defined.
8.3	Anexa 3 – poze ecrane software (SCADA, HMI)	Error! Bookmark not defined.
8.4	Anexa 4 – buletine analiza noxe	Error! Bookmark not defined.

1. Introducere

1.1 Formularea Problemei

In ultimii ani progresul tehnologic exponențial a condus la dezvoltarea unor sisteme capabile sa aducă soluții practice de rezolvare a unor probleme din ce in ce mai complexe. Progresul tehnologic răspunde in fapt unei cerințe economice la nivel global, aceea de a putea dezvolta si livra produse finite performante la preturi competitive. Acest lucru se realizează din mai multe perspective: o proiectare de calitate a produsului final, o proiectare eficienta e modalității de producție a produsului final, automatizarea eficienta a sistemului de producție si realizarea unor volume mari de producție in unitatea de timp cu pierderi minime.

Automatizările realizate in fabrici devin din ce in ce mai complexe atât din prisma creșterii performanțelor de producție cat si din prisma economiei de energie. Se cunoaște faptul ca fiabilitatea unui sistem este invers proporționala cu complexitatea acestuia cat si cu numărul de componente pe care îl înglobează, ceea ce ne atrage către un cerc vicios si anume: producem sisteme de automatizare capabile de performante din ce in ce mai ridicate cu un consum de energie din ce in ce mai mic dar cu un necesar de mentenanța din ce in ce mai ridicat. In final toate aceste lucruri se traduc într-o balanța de costuri si anume: Economia de costuri pe care o aduce utilajul prin performanta ridicata si consum redus este mai mare decât costurile de mentenanța adiționale pe care le produce?

In acest context teza își propune sa abordeze studiul sistemelor de automatizare cat si modalitatea in care evoluția acestora a condus la schimbarea concepției generale de realizare si punere in practica a unor utilaje industriale de producție.

1.2 Scopul si obiectivele cercetării

Scopul cercetării este realizarea a 2 cuptoare industriale pe gaz metan pentru încălzire in vederea forjării barelor de titan cu recuperator de căldura comun din perspectiva automatizării.

Contrar percepției generale un cuptor industrial pe gaz presupune o complexitate mult mai ridicata a sistemului de automatizare fata de un cuptor electric datorita multitudinii de elemente de măsura, control si supraveghere necesare, a sistemelor de siguranța implementate specifice lucrului cu gaz metan si a know-how-ului necesar. Aceste costuri de achiziție suplimentare se justifica prin unele limitări pe care le au cuptoarele electrice din punct de vedere al performanțelor furnizate iar in final sunt compensate de un cost mult mai mic al energiei primare. La ora actuala in industria grea majoritatea cuptoarelor/cazanelor/sistemelor de încălzire sunt realizate cu gaz metan.

Cuptoarele au fost realizate si puse in funcție in fabrica Zirom S.A. Giurgiu de către Electro-Total S.R.L., iar responsabil de realizarea si implementarea tuturor sistemelor software de monitorizare si control a fost autorul acestei lucrări.

Metodele implementate in automatizare au condus la posibilitatea realizării unor cuptoare capabile sa realizeze performante specifice atât tipurilor cuptoarelor de joasa temperatura cat si tipurilor de cuptoarelor de înalta temperatura intr-un singur cuptor universal. Pana acum concepția si proiectarea cuptoarelor de joasa temperatura era complet diferita fata de cea a cuptoarelor de înalta temperatura. In cazul in care o fabrica avea nevoie de un cuptor care sa poate realiza atât temperaturi înalte cat si temperaturi joase cu anumite performante de uniformitate de temperatura singura soluție era construirea a 2 tipuri de cuptoare fiecare din ele având o proiectare si realizare specifica in funcție de temperatura de lucru.

De asemenea in cazul de fata folosirea unui singur sistem de recuperare a căldurii pentru ambele cuptoare a condus la unele provocări din punct de vedere al automatizării care vor fi detaliate si explicate pe parcursul tezei.

Mentenanța sistemelor cat si procedurile de autodiagnosticare au fost înglobate in sistemul de gestiune software capabil sa ia decizii automate cu privire la: siguranța in funcționare, posibilitatea funcționării sistemului cu un defect prin schimbarea automata a unor parametrii, realizarea unor

operațiuni de mentenanță, prevenția apariției unor defecte, prevenția extinderii unor defecte, identificarea unor defecte înainte producerii acestora, diagnosticarea unor defecte prin metode complexe de analiza a-i unor parametrii măsurati din sistem.

Datorita cererii din piața de a crește eficiența acestor cuptoare și de a reduce la minim timpii de oprire cauzati de defecțiuni se face simțita necesitatea de implementare a unor proceduri software de diagnosticare mai performante și a unei mentenanțe preventive gestionate.

De asemenea se vor prezenta metode și soluții pentru controlul procesului termic în aceste cuptoare. Soluțiile implementate software urmăresc să obțină o uniformitate mai bună a temperaturii în interiorul cuptorului, posibilitatea de a alege un echipament hardware mai rentabil pentru reducerea costurilor investiției inițiale cât și dezvoltarea controlului software pentru a obține un cuptor universal de temperatură adecvat atât pentru temperaturi joase cât și pentru temperaturi ridicate fără a fi nevoie de ventilatoare de recirculare.

Obiectivele cercetării sunt implementarea diverselor metode de control și monitorizare care să depășească provocările realizării acestei concepții noi de cuptor industrial.

1.3 Structura și conținutul tezei

Teza prezentată în continuare are o structură formată din 6 capitole:

Capitolul 1 – Introducere

Capitolul 2 – Situația actuală

Capitolul 3 - Prezentarea sistemului electronic realizat

Capitolul 4 - Diagnoza în sistemele de automatizare și monitorizare ale cuptoarelor industriale

Capitolul 5 - Sisteme de control digital al proceselor termice ale cuptoarelor industriale

Capitolul 6 - Rezultate obținute

Capitolul 7 - Concluzii. Contribuții personale și Perspective de dezvoltare

În cadrul **Capitolului 1** sunt prezentate aspecte privind evoluția sistemelor de automatizare din ultimii ani, contextul economic care împinge limitele tehnologiei pentru a obține costuri de producție cât mai reduse și scopul acestei cercetări privind obținerea unui sistem electronic de control care să permită o diagnosticare mai performantă și un control al temperaturii cât și al altor parametrii ai cuptoarelor în vederea obținerii unui cuptor universal de temperatură.

Capitolul 2 prezintă situația actuală, metodele actuale și uzuale folosite la în domeniu.

Capitolul 3 prezintă aplicația în ansamblul ei pentru a putea înțelege toate aspectele de care s-a ținut cont în cadrul proiectării și realizării sistemului electronic de control. Sunt descrise pe scurt componenta sistemului de ardere, sistemului de recuperare căldură, elementelor de măsură, elementelor de acționare, a sistemului de forță, automatizare și control cât și a sistemului SCADA. De asemenea sunt descrise specificațiile tehnice de bază ale aplicației cât și performanțele sistemului.

Capitolul 4 prezintă sistemul de autodiagnoză și securitate a aplicației cât și tehnicile aferente realizării lor.

În prima parte a capitolului sunt prezentate tehnici de securitate având în vedere lucrul cu gaze inflamabile

În a doua parte sunt prezentate tehnici de autodiagnoză primară general valabile pentru orice tip de aplicație și tehnici de autodiagnoză extinsă realizate în mod particular pentru tipul de aplicație prezentat. În a treia parte este prezentat sistemul de monitorizare și mentenanță preventivă care aduce un aport considerabil în reducerea costurilor de mentenanță și reducerea timpilor de staționare a utilajului.

Capitolul 5 prezintă sistemul de control digital punând în special accent pe sistemul de control al temperaturii din interiorul cuptorului care a făcut posibilă realizarea unui cuptor care poate menține o uniformitate de temperatură atât la temperaturi ridicate cât și la temperaturi scăzute fără a fi necesară instalarea ventilatoarelor de recirculare atmosferă (agitatoare). În cadrul capitolului sunt prezentate tehnici de control al arzătoarelor care au făcut posibilă realizarea acestei performanțe.

De asemenea sunt prezentate diverse tehnice ale sistemului de control al parametrilor recuperatorului de căldura central care deservește ambele cuptoare.

Capitolul 6 prezintă rezultatele obținute atât din punct de vedere al sistemului de diagnoza cât și al sistemului de control. Sunt prezentate rezultate obținute și măsurate în situații reale de lucru ale cuptoarelor confirmate de teste conform normelor și prescripțiilor tehnice în vigoare cum ar fi: SAT, TUS, buletine de analiza gaze arse, etc.

În **Capitolul 7** sunt prezentate principalele concluzii ale acestei implementări: avantajul tehnico-economic al soluției prin eliminarea unor echipamente scumpe din concepția generală, obținerea unor performanțe care încadrează aceste cuptoare în clasa 2 de cuptoare conform normelor aviatice, realizarea unei concepții noi din punct de vedere al automatizării care a făcut posibilă obținerea unor cuptoare universale de temperatură capabile să obțină performanțe de uniformitate atât la temperaturi mari cât și la temperaturi mici contrar concepției vechi prin cuptoarele se proiectează specific temperaturii (joasă sau înaltă) la care lucrează și obținerea unei fiabilități de funcționare ridicate

2. Situația actuală

La ora actuală cuptoarele industriale de capacitate mari folosite în industria grea pentru topit, forja, călire, tratamente termice standard, tratamente termice speciale, etc nu se realizează în producție de serie ci sunt proiectate conform cerințelor procesului tehnologic din fiecare fabrică în parte, de cele mai multe ori ele fiind unice. Din acest motiv procesul lor de modernizare sau înlocuire este un proces costisitor și lent care implică cunoștințe avansate în domeniu în vederea creșterii performanțelor de proces, performanțelor de producție cât și a încadrării lor în normele actuale de securitate.

În România există cuptoare care se află în producție de mai bine de 50 de ani fără să se fi intervenit asupra lor din punct de vedere al modernizării, ele au suferit doar operații de mentenanță periodică pentru a asigura funcționarea. Aceste cuptoare beneficiază de metode de reglare și control primitive în cel mai bun caz folosesc regulatoarele discrete și o logică de relee. Asigurarea securității cuptorului (supravegherea de flacăra, controlul etanșității, protecții de temperatură, etc) cât și autodiagnoza sistemului sunt practic inexistente. Conform normelor și standardelor actuale aceste cuptoare nici măcar nu ar trebui să aibă aviz de funcționare, dar tot normele spun că un cuptor trebuie adus în conformitate cu cerințele actuale de securitate doar în momentul în care se realizează o modernizare a acestuia. Când timp acestea funcționează conform proiectului inițial și normelor inițiale cu care au fost acreditate au dreptul să funcționeze pe o perioadă de timp nedeterminată. Așadar din punct de vedere legal funcționarea lor nu poate fi oprită deși pot pune în pericol securitatea vieții.

Principalele grupuri de fabrici din industria grea au început să ajungă la concluzia că pentru a rămâne competitive în piața internațională sunt obligați să aducă îmbunătățiri și optimizări procesului de producție în vederea creșterii performanțelor, economiilor de energie și reducerea noxelor. Mai mult decât atât chiar și clienții acestora au dezvoltat proceduri de audit din ce în ce mai restrictive care nu pot fi satisfăcute de o tehnologie învechită.

În acest sens majoritatea fabricilor care au dorit să rămână în piață și să fie competitive au început atât un amplu proces de modernizare a utilajelor existente cât și achiziționarea de utilaje noi. Cu acest prilej în vederea optimizării tehnologiei s-a deschis ocazia pentru companiile producătoare de cuptoare să aducă inovații și metode noi în vederea reducerii costurilor de achiziție a echipamentelor, creșterea productivității, performanțelor și fiabilității, reducerea emisiilor de noxe, reducerea consumurilor de energie, etc.

Principali jucători de pe piața internațională a producătorilor de cuptoare sunt: Otto Junker – Germania, Ipsen – Germania, Aichelin – Germania, Loi Thermoprocess – Germania, Olivotto – Italia, Danieli – Italia, Cometal – Italia, Fergal – Italia, Seco/Warwick – Polonia, Ebner – Austria, Codere – Elveția, Elmetherm – Franța. Fiecare din aceștia fiind specializat pe anumite tipuri de cuptoare.

Din punct de vedere al temperaturii de funcționare cuptoarele se împart în 2 mari categorii: cuptoare de joasă temperatură și cuptoare de înaltă temperatură care datorită tipului de transfer termic care se realizează în interiorul acestora (convecție sau radiație) au concepții de proiectare, echipamente folosite

si metode de control al arderii si temperaturii total diferite. In acest sens marea deosebire intre cuptoarele de joasa temperatura si cele de înalta temperatura este echiparea celor de joasa temperatura cu agitatoare de atmosfera in vederea obținerii uniformității de temperatura in interiorul acestora. Modelul actual de concepție a acestor cuptoare este realizarea unui cuptor de joasa de temperatura pentru folosire la temperaturi joase si realizarea unui cuptor de înalta temperatura pentru folosire la temperaturi înalte chiar si atunci când procesul tehnologic cere folosirea ambelor paliere de temperatura (joasa si înalta) in cadrul aceleiași secții/fabrici.

De asemenea fiecare din aceste cuptoare folosesc un control standard de reglaj al temperaturii fie control continuu, fie control On-Off cat si metode de reglare standard al raportului aer/gaz de pe arzătoare fie prin regulatoare de raport mecanice fie prin control electronic al debitului.

Metodele de diagnoza folosite in general fac parte din diagnoza primara si anume defectul este adus la cunoștința operatorilor in momentul in care acesta apare, neexistând metode de analiza a tiparelor unor valori, analize logice a mai multor parametrii din sistem sau metode de mentenanța preventiva spre deosebire sistemul care va fi prezentat pe parcursul acestei teze.

Din punct de vedere al economiei de energie si al recuperării căldurii evacuate pe cos in general fiecare cuptor este proiectat cu propriul recuperator de căldura spre deosebire sistemul care va fi prezentat pe parcursul acestei teze.

3. Prezentarea sistemului electronic realizat

Se refera la sistemul electronic implementat la compania Zirom SA conceput si realizat de SC. Electro-Total SRL privind realizarea automatizarii a 2 cuptoare industriale pe gaz pentru încălzire in vederea forjării barelor de titan cu recuperator de căldura comun.

Specificații tehnice cuptoare:

Spațiu util interior: 3000x2000x5000mm

Izolație: fibra ceramica

Putere: 2.5 MW /cuptor

Temperatura maxima: 1300 °C

Temperatura maxima a aerului preîncălzit: 400 °C

Capacitate nominala: 15 t /cuptor

Zone de control al temperaturii: 2 pe cuptor

Număr de arzătoare: 8 pe cuptor (4 pe zona)

Rampa de încălzire: maxim 150 °C/h, minim 20 °C/h

Consum mediu de gaz metan: 90 Nm³/h /cuptor

Consum mediu de energie electrica: 22.5 kWh /cuptor

Sistem de monitorizare si control nivel 1: PLC

Control si monitorizare de către operator nivel 2: sistem SCADA

Sistemul de ardere este compus din 8 arzătoare pe fiecare cuptor separate in 2 zone de reglaj termic (4 arzătoare/zona), 1 zone reprezentând partea din fata a cuptorului si cea de-a doua zona din spate a cuptorului. Având in vedere configurația cuptorului de tip camera cu ușa ghilotina in fata si evacuarea gazelor arse in spate s-a ales aceasta configurație pentru obținerea unei uniformități de temperatura mai bune in volumul interior al cuptorului.

Arzătoarele echipate sunt arzătoare de impuls cu flacăra plata si viteza mare gazelor. Flacăra acestora pătrunde in cuptor maxim 20cm si se dezvoltă într-o forma de „petala” care se dezvoltă pe ambrazura arzătorului. In acest fel materialul din interiorul cuptorului (titanul) nu intra niciodată in contact direct cu flacăra evitându-se astfel reacțiile chimice nedorite. De asemenea datorita dezvoltării flăcării pe o suprafața radiantă mare se obține o uniformitate de temperatura mai buna in interiorul cuptorului.

Pe traseul comun al gazelor arse s-a instalat un recuperator de căldura cu rolul de a preîncălzi aerul de combustie prin schimbul de căldura cu gazele arse in vederea obținerii unei economii de gaz metan

Sistemul de automatizare este compus din:

1. Dulap acționare forța
2. Dulap automatizare comanda cu PLC si HMI
3. Elemente de acționare
4. Elemente de măsură
5. Sistem PLC
6. Sistem SCADA

3.1 Dulap acționare forța

Dulapul de forța este compus din:

- Înteruptor general
- Înteruptoare protecții motoare
- Contactoare comanda
- Convertizor de frecventa 55kW
- Analizor energie
- Lămpi, butoane, comutatoare, hupa

3.2 Dulap automatizare comanda

Dulapul de automatizare este compus din:

- Înteruptor general
- Înteruptoare protecții alimentari
- Contactoare comanda
- PLC
- HMI
- Lămpi, butoane, comutatoare, hupa

3.3 Elemente de acționare

Elemente de acționare si control prezente pe fiecare cuptor:

- Ventilator aer combustie cu pornire stea-triunghi
- Ventilator exhaustare cu acționare cu convertizor de frecventa
- Ventilator diluție gaze arse
- Electroventil gaz general 1
- Electroventil gaz general 2
- Electroventil gaz eşapare
- Electroventil gaz bypass
- Electroventile duble arzătoare 1,2,3,4,5,6,7,8
- Servoclapeta fluture gaz zona 1

- Servoclapeta fluture gaz zona 2
- Servoclapeta fluture aer zona 1
- Servoclapeta fluture aer zona 2
- Servoclapeta gaze arse
- Servoclapeta aer diluție 1
- Servoclapeta aer diluție 2
- Servoclapeta eșapare aer cald
- BCU Arzător 1,2,3,4,5,6,7,8

3.4 Elemente de măsură

Elemente de măsură si monitorizare prezente pe cuptor:

- Termocuplu temperatura zona 1
- Termocuplu temperatura zona 2
- Termocuplu temperatura protecție cuptor
- Termocuplu temperatura gaze (diluție 1)
- Termocuplu temperatura 1 protecție recuperator
- Termocuplu temperatura 2 protecție recuperator
- Termocuplu temperatura aer combustie ieșire recuperator
- Termocuplu temperatura gaze arse (diluție 2)
- Traductor presiune cuptor
- Traductor debit gaz metan zona 1
- Traductor debit gaz metan zona 2
- Traductor debit aer combustie zona 1
- Traductor debit aer combustie zona 2
- Temperatura termocuplu contact piesa
- Analizor gaze concentrație O₂ gaze arse
- Analizor gaze concentrație CO gaze arse
- Presostat presiune minima gaz
- Presostat presiune maxima gaz
- Presostat presiune test etanșeitate
- Presostat aer comprimat
- BCU Arzător 1,2,3,4,5,6,7,8
- Contor gaz metan
- Analizor energie

3.5 Sistem PLC

PLC-ul este utilizat pentru achiziția tuturor informațiilor de la senzori si controlul elementelor de execuție.

Programul PLC este realizat in limbaj ladder si structure text depinzând de complexitatea rutinelor realizate. In general limbajul ladder este folosit pentru secvențe logice (start, stop, condiții, etc) iar limbajul structured text pentru operații matematice (if, for, while, etc)

Panou operator HMI este utilizat pentru monitorizarea locala si controlul cuptorului de la dulapul de automatizare localizat in apropierea cuptorului.

Configurație PLC:

- Placa baza 1
- Placa baza 2
- Procesor
- Modul Ethernet
- Modul RS485
- Modul 16 intrări analogice 4-20mA x 2
- Modul 8 intrări analogice 4-20mA x 1
- Modul 8 ieșiri analogice 4-20mA x 3
- Modul 16 intrări digitale x 8
- Modul 16 ieșiri digitale tranzistor x 4

3.6 Sistem SCADA

Sistemul SCADA este format din 2 calculatoare care funcționează în regim redundant.

Sistemul este folosit pentru vizualizarea, controlul, monitorizarea, diagnoza, stocarea și analiza datelor și a fost realizat în Visual Studio.

4. Diagnoza în sistemele de automatizare și monitorizare ale cuptoarelor industriale

Luând în considerare contextul economic industrial actual care exercită o presiune ridicată asupra eficienței producției și reducerea costurilor de producție, unul dintre cele mai importante puncte ale acestui proces este evitarea pierderilor de producție și menținerea disponibilității utilajelor. Prin implementarea unui sistem automat modern de diagnoza și monitorizare mentenanței se obține reducerea timpilor de staționare a utilajelor și de intervenție prin prescrierea operațiunilor care trebuie realizate către echipa de mentenanță. În acest fel se evita perturbarea fluxului de producție cu scopul de a reduce la minim costul specific al produselor finite.

4.1 Proceduri de diagnosticare și funcții de siguranță

4.1.1 Test dublu de etanșitate al rampei principale de gaz și al rampelor secundare de gaz ale arzătoarelor

Testul de etanșitate al rampei de gaz este o funcție de siguranță și diagnostic. Aceasta test se realizează la fiecare pornire a cuptorului după o perioadă de staționare și este obligatoriu conform standard EN 746-2:2010 pentru sisteme de combustie cu o putere mai mare de 1200 kW.

Testul dublu de etanșitate este divizat în 2 sub-teste:

- Primul test va determina dacă oricare din ventilele principale de gaz au scăpări de gaz
- Al doilea test va determina dacă oricare din ventilele arzătoarelor au scăpări de gaz

Riscul principal în cazul electroventilelor defecte este acumularea de gaz în interiorul cuptorului, ceea ce poate duce la o explozie masivă în momentul aprinderii arzătoarelor.

Ca o măsură de siguranță, aceste teste sunt executate automat de către programul software al PLC-ului în timpul secvenței de pornire a cuptorului. Dacă testul eșuează, cuptorul intră în modul de blocare de siguranță care nu permite pornirea arzătoarelor.

Secvența logică a celor 2 teste:

- Primul test între ventilele principale V1 și V2
- Test OK -> continua spre testul 2 ; test eșuat -> blocare de siguranță
- V2 = deschisă
- Al doilea test între V1 și electroventilele arzătorului
- Test OK -> continua secvența de pornire; test eșuat -> blocare de siguranță

P_{max} = presiune maxima de alimentare a gazului

P_t = presiunea de test (pentru sensibilitate egala de tranziție de la 0-> P_{max} sau P_{max} ->0

$P_t = P_{max}/2$)

V1 = electroventil principal 1

V2 = electroventil principal 2

Tumplere = timp necesar pentru umplerea cu gaz a conductei între V1 si V2

Tmasurare = timp de așteptare pentru modificarea presiunii

Program PLC al testului etanșeității este realizat în limbaj ladder datorita folosirii în principal a secvențelor logice.

Acesta folosește mai ales lanțuri de condiționări logice, funcții temporizate, operații aritmetice, diverse tipuri de conversii și setări- resetări de memorie, tranziții de momentare, etc. pentru a parcurge toți pașii din diagrama logica de mai sus

Rutina testului de etanșeitate are ca intrări:

- Semnal presostat – confirma prezenta presiunii între punctele între care se realizează testul
- Comanda reset – reface testul în cazul unui test eșuat
- Comanda start – pornește testul
- Timp manevra – timp necesar umplerii tronsonului de test cu gaz
- Timp test – timp necesar în vederea detectării pierderilor de presiune

Rutina testului de etanșeitate are ca ieșiri:

- Comanda electroventil 1
- Comanda electroventil 2
- Semnal ventil 1 defect etanșeitate
- Semnal ventil 2 defect etanșeitate
- Semnal ventil 1 ok
- Semnat ventil 2 ok
- Semnal ventil 1 defect comanda
- Semnal ventil 2 defect comanda
- Semnal ventil 1 în curs de testare
- Semnal ventil 2 în curs de testare
- Semnal pas 1 test
- Semnal pas 2 test
- Semnal pas 3 test
- Timp rămas din test

În concluzie prin realizarea acestui test înainte de pornirea cuptorului se elimina riscul apariției unei explozii cauzate de acumulări de gaz în interiorul cuptorului din cauza neetanșeității electroventilelor de pe rampa de gaz. Acest test este obligatoriu conform normelor în vigoare cât și din perspectiva siguranței în exploatare.

4.1.2 Preventilarea cuptorului

Preventilarea cuptorului este o funcție de siguranță (ultima măsură de siguranță din lanțul de măsuri) care poate preveni apariția unei explozii din cauza acumularilor de gaz din interiorul cuptorului.

Preventilarea cuptorului se realizeaza inainte de orice pornire si are rolul elimina orice caz neprevazut sau neacoperit de toate celelalte masuri de siguranta. Spre exemplu dupa o perioada mai lunga de stationare un cuptor a avut un defect de etanseitate pe ventilele de gaz, acestea avand scapari de gaz care au dus acumularea de gaz in interiorul acestuia. Defectul a fost identificat de testul de etanseitate al cuptorului iar pornirea acestuia a fost blocata de catre sistemul de automatizare. Echipa de mentenanta a identificat si reparat defectul si a efectuat o noua incercare de pornire. La ora actuala cuptorul va trece testul etanseitate deoarece nu mai exista nici un ventil defect dar in acelasi timp in interiorul lui exista o acumulare de gaz prezenta de la defectul anterior.

In acest caz preventilarea va spala interiorul cuptorului cu aer eliminand gazul metan pe cos. Conform standardului EN 746-2:2010 atmosfera din interiorul cuptorului trebuie schimbata de minim 3 ori inainte de orice pornire. In acest sens se face un calcul cu privire la timpul necesar al preventilarii, se calculeaza volumul interior al cuptorului si se imparte la debitul maxim al ventilatorului de aer de combustie

$$T_{\text{preventilare}} = 3 \times V_{\text{int. cuptor}} / Q_{\text{max VAC}}$$

Secventa preventilarii:

- Verificare presostat presiune minima aer combustie
- Deschidere maxima clapete aer combustie arzatoare
- Deschidere maxima clapete evacuare gaze arse
- Turatie maxima exhaustor
- Asteptare timp preventilare

Preventilarea se realizeaza concomitent cu testul de etanseitate si intra in lantul de blocare de siguranta al cuptorului.

4.1.3 Pornirea arzătorului si supravegherea flăcării

Arzătoarele cu gaz de pe cuptoarele industriale sunt aprinse de către un electrod de aprindere si sunt supravegheate de către un electrod de ionizare sau un senzor UV in funcție de puterea instalata a arzătorului.

Supravegherea flăcării la cuptoarele pe gaz este o condiție de siguranța mai ales atunci când cuptorul funcționează la o temperatura sub pragul de autoaprindere a gazului metan. In timpul acestui tip de funcționare supravegherea este obligatorie. Supravegherea flăcării elimina pericolul acumulărilor de gaz sub forma unor „pungi” in interiorul camerei cuptorului ceea ce ar putea duce la explozii.

Mai jos este prezentata diagrama logica a procedurii de supraveghere a arzătorului care îndeplinește următoarele:

1. Verificarea blocări de siguranța a cuptorului cauzata de un pas anterior din timpul pornirii
 - Blocare de siguranța daca vreo operațiune precedenta din cadrul lanțului operațiunilor de siguranța a eşuat in timpul pornirii
2. Verificarea prezentei flăcări fără comanda de pornire
 - Posibila defecțiune de etanșeitate a electrovalvei
 - Posibila defecțiune de detectarea flăcării
 - Posibila defecțiune a releului de comanda
 - Posibila defecțiune a cablurilor de legătura
3. Secvența start a arzătorului

- Deschidere electroventil gaz
 - Pornire scânteie aprindere pentru o perioada predeterminata de timp
 - Verifica prezenta flăcării
4. Gestionarea secvenței de reaprindere automata nesupervizata de operator
- Automatizării ii este permis sa execute maxim 3 încercări nesupervizate de aprindere a arzătorului într-o perioada de timp de 90 min după un defect de flacăra
 - Daca exista mai mult de 3 defecte de flacăra într-o perioada de timp de 90min, iar reîncercările de aprindere ale arzătorului au eşuat automatizarea activează blocarea de siguranța
 - După o reaprindere reușita ca urmare a unui defect de flacăra si la fiecare 30 minute de funcționare continua fără apariția unui defect de flacăra suplimentar, automatizarea incrementează +1 la numărul de încercări de reaprindere automata permis pana la un maxim de 3
 - După epuizarea tuturor încercărilor de reaprindere automata fără succes automatizarea activează blocarea de siguranța.
 - După activarea blocării de siguranța automatizarea permite un număr de maxim 10 încercări supervizate de operator de reaprindere manuala înainte de a activa blocarea definitiva de siguranța a arzătorului. Pentru a putea reseta aceasta blocare definitiva a arzătorului operatorul este obligat sa se deplaseze la cuptor in fata arzătorului in cauza si sa acționeze un buton de deblocare. Aceasta procedura are rolul de a forța operatorul sa aibă contact vizual direct cu arzătorul in cauza in vederea analizei defectului si de a evita un număr mare de încercări de reaprindere nejustificate deoarece fiecare încercare de reaprindere introduce in cuptor o cantitate de mica de gaz metan nears.
5. Gestionarea defectelor de flacăra
- Închidere electroventil gaz
 - Activarea blocării de siguranța
 - Semnalizare defecțiune

4.1.4 Detectare defectelor la măsurarea temperaturii

Sistemul de măsurare a temperaturii consta in principal din termocupluri instalate in diferite zone ale cuptorului in funcție de numărul zonelor de control de temperatura, in diferite puncte ale conductelor pentru gaze arse (recuperator de căldura intrare/ieșire, diluție aer), in diferite puncte ale conductelor pentru aerul de combustie (temperatura aerului preîncălzit), etc. Semnalul de ieșire al termocuplurilor (mV) este convertit local de către un convertor mV la 4-20mA si transmis către PLC.

Cuptorul este împărțit pe 2 zone de reglare a temperaturii corespunzătoare termocuplurilor TT1 si TT2 si 1 zona de protecție la supratemperatura pe tot cuptorul cu termocuplu separat TTP.

Metode de detectare a erorilor de temperatura:

4.1.4.1 Bucla interna a unui termocuplu este deschisa

Daca bucla interna a unui termocuplu este deschisa, convertorul 4-20mA va transmite un semnal de curent de 20mA către PLC astfel activând avaria de supratemperatura.

4.1.4.2 Bucla deschisa 4-20mA intre PLC si convertor

Semnalul 4-20mA este scalat pe domeniul de temperatura al termocuplului, 4mA->valoare minima domeniu, 20mA-> valoare maxima domeniu. Daca bucla 4-20mA se deschide semnalul de curent va scadea la 0mA declanșând astfel alarma PLC-ului de bucla deschisa.

4.1.4.3 Termocuplurile de control si termocuplurile de protecție

Interiorul cuptorului este echipata cu 1 termocuplu pe fiecare zona de control si 1 termocuplu de protecție pentru întreg cuptorul.

Termocuplul de protecție este folosit pentru protecție la supratemperatura in cazul in care termocuplurile de control se defectează. El este integrat într-o secvența software de siguranța a PLC-ului care activează oprirea de urgenta a cuptorului

4.1.4.4 Termocuplurile redundante

Exista anumite zone ale punctelor de măsura care sunt vitale in ceea ce privește protecția echipamentelor scumpe sau a măsurării valorilor de proces tehnologic importante.

De exemplu, măsurarea temperaturii de intrare a recuperatorului de căldura este realizata cu 2 termocupluri pentru măsurarea aceleiași valori. Programul software al PLC-ului monitorizează permanent diferența de măsura dintre aceste 2 termocupluri iar daca aceasta diferența depășește o anumita valoare limita, se activează o alarma. Controlul temperaturii de intrare a recuperatorului de căldura trebuie menținuta in limitele materialelor din care acesta este fabricat pentru a nu-i produce avarii.

Valoarea luata in considerare de software-ul PLC-ului este cea mai defavorabila valoare dintre cele 2 pentru procesare ulterioara.

In alte cazuri când se folosește redundanta dubla valoarea luata in considerare este determinate de valori plauzibile atunci când este posibil conform Art 3.2.2.

Exista de asemenea cazuri când se folosește redundanta tripla, iar valoarea luata in considerare pentru procesare ulterioara este media dintre valorile a 2 puncte care au valorile cele mai apropiate. Aceasta metoda este utilizata rar din cauza raportului cost-eficacitate scăzut, dar se impune in cazuri foarte specifice când rezultatul poate preveni avarii majore sau pierderi tehnologice.

4.1.4.5 Logica alarmelor si rutina de scalare a valorilor măsurate in PLC

Scopul acestei rutine PLC este de a incorpora toate secvențele de procesare ale valorilor analogice achiziționate de la senzorii din câmp. Fiecare valoare analogica a cuptorului trece prin acesta rutina software.

Rutina realizează următoarele:

- Scalarea valorilor achiziționate de către convertorul A/D al PLC-ului in mărimi ingineresti
- Filtrarea oscilațiilor de măsura si asigurarea unei valori stabile pentru procesare ulterioara
- Gestionarea alarmelor si a avarilor prin valori maxima/minime predeterminate si întârzieri
- Resetarea si luarea la cunoștința a unei alarme/avariei de către operator
- Opțiunea de a activa numai funcția de scalare a rutinei fără gestionarea alarmelor/avarilor
- 1 byte ieșire (fiecare bit reprezentând un status) pentru stabilirea statusului curent al alarmei/erorii transmis către sistemul de nivel 2 SCADA

- Status-ul rutinei – pentru diagnoza internă a rutinei folosit doar pentru detectarea erorilor software de către inginerii software

Rutina este scrisă în limbaj „structured text” și este asamblată ca un bloc funcțional cu intrări și ieșiri. Rutina este chemată de către software pentru fiecare valoare analogică individuală la fiecare ciclu de scanare al programului și are atribuiți parametri de intrare/ieșire pentru fiecare valoare analogică individuală.

Parametrii sunt determinați în funcție de limitele de siguranță ale echipamentelor, al procesului sau al procesului tehnologic. Acești parametri sunt reglați de obicei la punere în funcțiune dar pot fi reajustați de la nivelul 2 SCADA ori de câte ori este necesar.

4.2 Proceduri și funcții de mentenanță preventivă

4.2.1 Frecvența de recurență a unei alarme

Recurența apariției alarmelor este o metodă de diagnostic folosită în cadrul mentenanței preventive. Rutina PLC detectează când frecvența unei anumite alarme începe să depășească frecvența medie de apariție din ultimele zile/luni în funcție de setarea parametrilor rutinei.

De exemplu, este foarte normal ca pe parcursul funcționării cuptoarelor pe gaz să apară câteva defecte de flacără ale arzătorului într-o perioadă de funcționare de 24 h. Însă când frecvența apariției acestor avarii crește, acest lucru poate semnala o funcționare anormală și dezvoltarea unei defecțiuni grave a sistemului de ardere.

După identificarea creșterii frecvenței de apariție a alarmelor, PLC-ul va semnaliza această situație printr-o alarmă specifică care va alerta departamentul de mentenanță.

Principalul avantaj al acestei funcții constă în faptul că sistemul poate fi întreținut/reparat înainte de apariția unei avarii generale de sistem sau a opririi de urgență ceea ce ar perturba fluxul de tehnologic cauzând pierderi de producție.

4.2.2 Comparatie logica și valori plauzibile în diferite puncte de măsură a temperaturii

Pe întreaga tubulatură a gazelor arse și a aerului de combustie din cuptor PLC-ul compară continuu diferite valori măsurate în puncte cheie ale cuptorului pentru a determina dacă anumite valori sunt plauzibile sau ele semnalează o posibilă defecțiune în sistemul de măsură sau a echipamentului în cauză.

Un exemplu simplu ar fi comparația între temperatura de intrare și cea de ieșire a gazelor arse din recuperatorul de căldură. În acest caz valoarea temperaturii de intrare ar trebui să fie cu mult mai mare decât valoarea temperaturii de ieșire. Dacă măsurătorile nu corespund celor descrise mai sus, aceasta ar putea indica o avarie. Sistemul de automatizare semnalează printr-o alarmă o discrepanță a valorii măsurate în această zonă a cuptorului care trebuie inspectată.

În cazul în care măsurile de temperatură de mai sus sunt corecte această discrepanță poate indica spre exemplu colmatarea recuperatorului de căldură, distrugerea unor conducte convective de transfer, etc. Apariția acestor valori neplauzibile de măsură în diferite puncte indică în mod sigur o avarie în zona respectivă a sistemului, iar indiferent de motivul real al acestei avarii acea zonă trebuie inspectată de personalul de întreținere.

În acest fel sistemul de diagnoză a alertat departamentul de mentenanță de o problemă apărută la cuptor chiar dacă nici una din măsurile achiziționate de pe cuptor nu a atins un prag de alarmă sau avarie.

4.2.3 Tiparul de creștere/scădere a valorii

Rutina clasica de alarma in cazul unei valori analogice măsurate de către senzori consta într-o valoare de alarma a măsurii, o valoare de avarie a măsurii, o valoare histerezis, timpul minim de apariție si activare si altele. In felul acesta funcționarea inadecvata este detectata in momentul in care aceasta apare.

Analiza tiparului presupune faptul ca sistemul de automatizare poate calcula in baza valorilor si datelor din baza de date daca o valoare măsurata are tendința sa crească sau sa scadă pana la valoarea de alarma/avarie si poate calcula cu aproximatie când se va petrece acest lucru.

Spre exemplu, toate ventilatoarele mari montate pe cuptor (ventilatorul pentru aerul de combustie si ventilatorul pentru exhaustare) sunt monitorizate prin intermediul senzorilor de vibrații. Când sistemul de automatizare detectează un tipar de creștere a valorii vibrațiilor, el calculează si semnalează data/ora posibile când aceste valori vor depăși valorile de alarma/avarie. In acest fel departamentul de mentenanța poate organiza si programa operațiunile de întreținere pentru înlocuirea rulmenților ventilatoarelor, curățarea rotoarelor si echilibrarea lor dinamica.

Principalul avantaj al acestei proceduri îl reprezintă faptul ca o alarma/avarie nu va lua prin surprindere departamentul de mentenanța, mai mult decât atât, ele pot fi preîntâmpinate.

Avantajul principal al acestei proceduri este acela de a reduce timpii de staționare ai utilajului ca urmare a unor defecte apărute.

4.2.4 Monitorizare mentenanței programate

Monitorizarea mentenanța programate este partea sistemului de automatizare care monitorizează toate echipamentele si operațiile de mentenanța care trebuie realizate.

De obicei toate echipamentele instalate pe cuptor au definite operații de mentenanța programata descrise in manualul tehnic al acestora.

Toate aceste operații sunt introduse in software-ul SCADA. Sistemul de automatizare monitorizează orele de funcționare de la ultima mentenanța sau perioada de timp scursa si alertează operatorii cu un anumit interval de timp predeterminat in avans asupra faptului ca vor trebui realizate diverse operațiuni de mentenanța in următoarea perioada.

Toate operațiunile de montanta sunt înregistrate detaliat in baza de date a sistemului SCADA in acest obtinandu-se o trasabilitate foarte buna a lucrărilor de mentenanța

5. Sisteme de control digital al proceselor termice ale cuptoarelor industriale

Cuptoarele industriale pe gaz de tratament termic sau forja au evoluat pe parcursul timpului. Aceste cuptoarele sunt in general împărțite in doua categorii: cuptoare de temperatura înalta si cuptoare de temperatura joasa. Fiecare din aceste categorii sunt proiectate cu cerințe hardware si software specifice tipului de transfer termic care se realizează in interiorul acestora de la arzătoare către șarja.

Unul din cei mai importanți parametri de performanta este realizarea uniformității de temperatura in interiorul cuptorului care trebuie menținuta intr-un interval strict in funcție de utilizarea cuptorului.

Transferul termic pentru cuptoarele de joasa temperatura (la temperaturi sub 500°C transferul termic se realizează exclusiv prin convecție, in intervalul de temperaturi 500-800°C aportul transferului termic prin radiație creste cu puterea a 3-a a temperaturii) este realizat in principal prin convecție. In vederea obținerii de rezultate bune de uniformitate in interiorul cuptorului este necesara instalarea de ventilatoare de recirculare a atmosferei (agitatoare) pentru a amesteca atmosfera cuptorului.

Transferul termic pentru cuptoarele de înalta temperatura (la temperaturi de peste 800°C aportul transferului termic prin radiație depășește cu mult pe cel prin convecție acesta devenind neglijabil) se

realizează preponderent prin radiație. Datorita acestui lucru dispare necesitatea instalării ventilatoarelor de recirculare pentru a obține rezultate bune de uniformitate.

Principala provocare a fost de a proiecta si realiza un cuptor universal care sa poată obține rezultate bune de uniformitate a temperaturii atât pentru temperaturi joase cat si pentru temperaturi înalte. Problema principala in acest caz o reprezintă ventilatoarele de recirculare (agitatoarele de atmosfera) care pot funcționa foarte bine in condiții de temperaturi joasa dar care se pot defecta foarte ușor in condiții de temperatura înalta si au costuri de achiziție si întreținere foarte ridicate.

Alte provocări ale sistemului de reglaj au fost: un raport aer/gaz al arzătoarelor foarte stabil, folosirea si controlarea parametrilor de funcționare a unui singur recuperator de căldura destinat ambelor cuptoare cat si controlul foarte precis al temperaturii din interiorul cuptorului.

5.1 Cerințe tehnologice de performanta ale cuptoarelor

Cerințele de performanta ale cuptoarelor au fost următoarele:

- Uniformitatea de temperatura in interiorul cuptorului de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ atât pentru palierul de 650°C cat si pentru palierul de 1250°C
- Controlul precis al raportului de aer/gaz in vederea obținerii unei atmosfere ușor reducătoare in interiorul cuptorului (o atmosfera oxidanta conduce la apariția unor reacții chimice nedorite ale titanului)
- Folosirea si controlul unui singur sistem de recuperare căldura pentru ambele cuptoare pentru o economie mai buna a consumului de gaz si o investiție inițiala mai mica

5.2 Soluția pentru obținerea uniformității si preciziei de temperatura atât pentru temperaturi joase cat si pentru temperaturi înalte fără ventilatoare de recirculare

Cuptorul a fost echipat cu arzătoare cu flacăra plata fără ventilatoare de recirculare. Aceasta configurație hardware a reprezentat o provocare din punct de vedere al controlului temperaturii si al arzătoarelor in vederea obținerii unei uniformități de temperatura foarte buna.

5.2.1 Alternarea tipurilor de control pe arzătoare

Fiecare cuptor are 2 zone de control al temperaturii (in fata si spatele cuptorului) fiecare zona fiind deservita de o grupa de 4 arzătoare.

Controlul temperaturii este bazat pe regulatoare PID folosind 3 tipuri de control:

- Controlul continuu pentru necesare mari de putere
- Alternarea pornirii si opririi a unei subgrupe de arzătoare (2 arzătoare pe fiecare zona) pentru necesare de putere mici
- Control on-off total al tuturor arzătoarelor pentru necesare de putere foarte mici

Avantajul schimbării tipului de control al arzătoarelor pe parcursul funcționarii este acela ca indiferent de temperatura din cuptor, uniformitatea de temperatura poate fi menținuta in limitele cerute in special la temperaturi joase acolo unde transferul termic se realizează preponderent prin convecție. Stingând si aprinzând arzătorul la puteri mari cat si alternarea continua a arzătoarelor folosite se obține amestecare foarte buna atmosferei cuptorului datorata de viteza foarte mare de injecție a gazelor prin arzătoare.

Domeniul de ieșire PID-ul de putere este împărțit in 3 intervale:

- Ieșire 0-10% - control total On-Off
- Ieșire 10-25% - alternare subzone
- Ieșire 25-100% - control continuu

Controlul total On-Off reprezintă faptul ca toate arzătoarele cuptorului sunt aprinse pentru perioada timpul definit de „On” si stinse pe perioada timpului definit de „Off”. Timpii de „On” si „Off” sunt determinați de poziția unui pointer care glisează in baza de timp si determina un timp mai îndelungat de „On” sau „Off”.

Controlul prin alternarea subzonelor de arzătoare funcționează pe același principiu cu controlul On-Off, diferența principala este reprezentata de faptul ca acel pointer controlează timpul de interschimbare a subzonelor.

Controlul continuu funcționează cu toate arzătoarele aprinse iar temperatura este controlata prin modularea puterii arzătorului prin ajustarea debitului de gaz metan si aer introduse.

Implementarea controlului prin alternarea de subzone si al controlului On-Off total a fost necesar atât din punct de vedere al obținerii uniformității de temperatura cat si din punct de vedere al preciziei de reglare al temperaturii după cum urmează:

- Uniformitatea de temperatura la puteri mici si temperaturi scăzute este îmbunătățita prin utilizarea de „explozii” scurte de timp cu flacăra de putere mare care vor rezulta in mișcarea maselor atmosferei din interiorul cuptorului. Mișcarea maselor atmosferei din interiorul cuptorului vor îmbunătății transferul termic prin convecție rezultat într-o uniformitate mai buna de temperatura.
- In general toate arzătoarele pe gaz au o putere constructiva minima la care ele pot menține o flacăra stabila fără apariția defectelor de flacăra. In cazul in care necesarul de putere al cuptorului in vederea menținerii temperaturii dorite este sub aceasta putere minima constructiva temperatura din cuptor ar continua sa crească peste temperatura dorita utilizând exclusiv controlul continuu in putere minima. Prin urmare utilizarea tipurilor de control On-Off si de alternare subzone precizia de temperatura este îmbunătățita in special la temperaturi mici dar si la temperaturi mari de menținere temperaturii in momentul in care cuptorul ajunge la un regim de funcționare constant.

Prin regim de funcționare constant se înțelege momentul in care ne aflam pe un palier al diagramei de temperatura, șarja aflata in cuptor ajunge la temperatura dorita si nu mai absoarbe energie termica.

5.2.2 Modificarea parametrilor PID in timpul funcționarii

Răspunsul termic al cuptorului (inerția termica) este diferit atunci când temperatura este redusa (transfer termic prin convecție) fata de momentul in care temperatura este ridicata (transfer termic prin radiație).

In continuarea pentru a optimiza si mai mult precizia de reglare a temperaturii au fost implementate 3 seturi de parametrii PID (K_p , K_i , K_d) după cum urmează:

- Primul set de parametrii pentru temperaturi joase (transfer termic prin convecție)
- Al doilea set de parametrii pentru temperaturi de tranziție (atunci când transferul prin radiație si convecție au efecte aproximativ similare)
- Al treilea set de parametrii pentru temperaturi ridicate (transfer termic prin radiație)

Sistemul de automatizare va permuta automat intre cele 3 seturi de parametrii PID in funcție de temperatura cuptorului in acest fel obtinandu-se un control al temperaturii mai precis potrivit necesităților tehnologice.

In momentul in care este nevoie de un control al temperaturii si mai precis exista optiunea de a măsura si controla temperatura direct pe șarja printr-un termocuplu de contact si a unui regulator PID suplimentar care va cascadeza regulatoarele de temperatura de atmosfera. Aceasta optiune poate fi activata sau dezactivata din sistemul SCADA de către operator.

5.3 Soluția pentru menținerea unui control precis al raportului de aer/gaz

In vederea controlării raportului de aer/gaz pe arzătoare au fost instalate atât pe rampa de aer cat de si de gaz pentru fiecare zona de control (2/cuptor) un traductor de debit si o servoclapeta. In plus ținând cont de faptul ca acest cuptor a fost prevăzut cu recuperator de căldura s-a măsurat si temperatura aerului de combustie prin intermediul unui termocuplu pentru a compensa modificarea densității aerului si a calcula volumul de aer echivalent indiferent de temperatura. Acest lucru este necesar pentru a păstra corect raportul intre numărul de molecule de oxigen si volumul de aer introdus in arzător.

De asemenea pe traseul gazelor arse de la cos s-a instalat un oxigenometru pentru a măsura precis conținutul de oxigen din gazele arse si a ajusta fin raportul de aer gaz impus.

Acest lucru se traduce printr-un control al raportului de aer/gaz in 2 etape. Etapa primara este bazata pe măsura debitelor de aer si gaz care intra in arzătoare iar raportul este menținut la valoarea stoechiometrica de 1 la 10. A doua etapa presupune măsura concentrație de oxigen in gazele arse si controlul raportului de aer/gaz impus prin intermediul unui PID care va ajusta raportul de aer/gaz impus intr-un interval limitat de la 1/8 la 1/12 din motive de siguranța.

In mod normal se dorește o concentrație a oxigenului in gazele arse oriunde in intervalul intre 1% si 3%. Folosind aceasta metoda s-a obținut un control al raportului de aer/gaz care este capabil sa compenseze erorile de măsura ale debitelor de aer si gaz pentru a obține un control mai precis al raportului de aer/gaz.

In procesul de încălzire al titanului cel mai rău caz este de a avea o atmosfera puternic oxidanta in atmosfera cuptorului ceea ce poate cauza reacții chimice nedorite in barele de titan. Din acest motiv s-a decis utilizarea unui regulator cascadeat având bucla master de reglare cu comanda pe servoclapeta de gaz. In acest fel regulatorul master comanda debitul de gaz si regulatorul slave comanda debitul de aer, obtinandu-se astfel un control de tipul „aerul se tine după gaz” care reduce riscul producerii unei atmosfere oxidante in cuptor.

Controlul gazului si al aerului este ajustat concomitent pe o grupa de 4 arzătoare deoarece exista un singur set de elementele de control (servoclapeta gaz si aer) si măsura (debitmetru gaz si aer) pe fiecare grupa de 4 arzătoare din motive economice. Din aceasta cauza in sistemul de automatizare (PLC) s-a dezvoltat o rutina specifica care sa tina cont de numărul de arzătoare pornite din fiecare grupa de 4 arzătoare.

Spre exemplu, daca unul din cele 4 arzătoare de pe zona se defectează gazul care pătrundea in el va fi oprit prin intermediul electroventilului individual de gaz, de aici rezulta ca tot debitul de gaz care mai devreme era distribuit uniform intre cele 4 arzătoare de pe zona acum va fi distribuit numai către 3 din ele rezultând un exces de debit de gaz de 33% pe fiecare arzător rămas in funcțiune. In același timp debitul de aer rămâne neschimbat deoarece numai rampa individuala de gaz de pe fiecare arzător este prevăzută cu electroventil de închidere, nu si cea de aer din motive economice. Acest lucru va conduce către un raport incorect de aer/gaz chiar daca valorile măsurate pe debitmetrul de aer si gaz sunt corecte. In vederea corectării acestei erori grave de măsura sistemul de automatizare va compensa calculul debitului de aer in funcție de numărul de arzătoare in funcțiune. PLC-ul va recalcula debitul de aer real introdus in arzătoarele ramase in funcțiune prin mărirea debitului de aer calculat cu raportul intre suma numărului total de arzătoare si suma numărului arzătoarelor funcționale. După aceasta recalculare de debit real de aer introdus raportul aer/gaz pe arzătoarele ramase in funcțiune va fi suficient de bun pentru a obține o flacăra stabila la ieșirea din arzător. Ultima problema care rămâne de rezolvat este data de faptul ca arzătorul defect rămas va introduce in continuare aer fals in cuptor si va altera atmosfera

cuptorului transformând-o in atmosfera oxidanta (exact ceea ce dorim noi sa evitam). Aceasta problema se rezolva „de la sine” prin faptul ca suplimentar fata de PID-urile de control pe debite avem cascadat si un PID de control pe concentrația de oxigen in gazele arse. PID-ul de oxigen va detecta o creștere de oxigen in gazele arse si va reajusta raportul de aer/gaz către un raport mai mic. De aici va rezulta in fapt ca cele 3 arzătoare ramase in funcțiune vor merge un raport de aer/gaz cu exces de gaz iar aerul fals introdus prin arzătorul defect va conduce la corectarea atmosferei generale a cuptorului. In acest caz se poate observa cu ușurința al doilea avantaj al folosirii regulatorului de oxigen cascada.

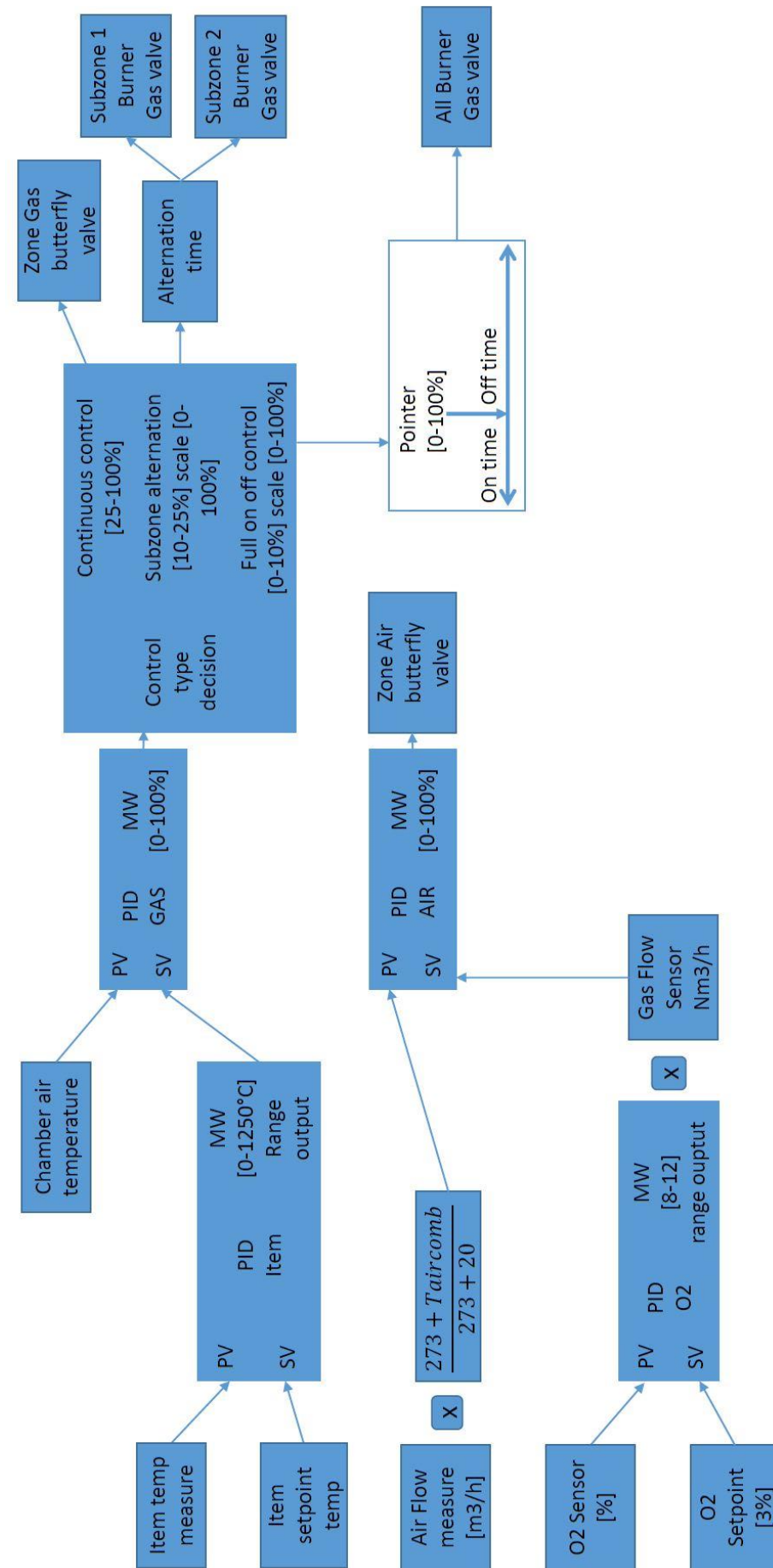


Fig 1. Diagrama logica control temperatura

5.4 Soluția pentru controlarea presiunii din ambele cuptoare cu un singur ventilator de exhaustare

Elementele de execuție de pe tubulatura gazelor arse sunt:

- Servoclapete montate imediat la evacuarea gazelor din cuptor
- Ventilator de exhaustare central echipat cu convertizor de frecvență montat după recuperatorul central de căldură

Elementele de monitorizare ale presiunii sunt:

- Traductoare de presiune diferențială pentru fiecare cuptor (între presiunea atmosferică și presiunea din interiorul cuptorului)

Este foarte important ca presiunea din interiorul cuptoarelor să fie menținută la o valoare ușor pozitivă (aprox 1-2mbar). Ținând cont de faptul că un cuptor industrial nu poate fi perfect etanș acest control precis este necesar pentru a elimina orice infiltrații de aer fals care pot pătrunde în interiorul cuptorului sau orice scăpări de atmosferă din interiorul cuptorului prin neetanșeitățile acestuia.

Aceste scăpări pot apărea în funcție de valoarea puternic pozitivă sau puternic negativă a presiunii din cuptor.

Efectul negativ al infiltrației de aer fals (presiune cuptor puternic negativă) este atmosfera incorectă în interiorul cuptorului prin exces de oxigen care creează o atmosferă oxidantă cât și un consum de gaz mai mare rezultat din încălzirea inutilă a aerului infiltrat în exces care nu participă la procesul de ardere. Efectul negativ al scăpărilor de atmosferă din interiorul cuptorului în hală (presiune cuptor puternic pozitivă) este riscul foarte ridicat al intoxicației personalului din hală cu CO care poate fi fatal.

Ținând cont de proiectul acestor cuptoare echipate cu un singur recuperator central de căldură comun și un singur ventilator de exhaustare apare provocarea tehnică de a implementa un sistem de control care să permită reglarea presiunii în cuptoare cu 2 elemente de măsură și 3 elemente de execuție care trebuie să lucreze atât împreună cât și individual pentru a duce la rezultatul dorit.

Soluția este următoarea:

- Regulator PID presiune cuptor 1
 PV1 = presiune cuptor 1
 SV1 = impunere presiune cuptor 1
 MW1 = poziție servoclapeta gaze arse cuptor 1
- Regulator PID presiune cuptor 2
 PV2 = presiune cuptor 2
 SV2 = impunere presiune cuptor 2
 MW2 = poziție servoclapeta gaze arse cuptor 2
- Regulator PID pentru turație ventilator exhaustare
 PV = MAX (MW1, MW2)
 SV = 80%
 MW = turație exhaustor

Folosind aceasta configurație de 3 regulatoare PID rezulta următorul mod de funcționare: Când presiunea in interiorul cuptorului 1 depășește presiune impusa in cuptorul 1, regulatorul de PID de presiune cuptor 1 va începe sa deschidă progresiv servoclapeta de gaze arse 1. Dacă efectul deschiderii clapetei nu este suficient pentru menținerea presiunii in limita impusa pana la 80% deschidere atunci peste aceasta valoare regulatorul PID al ventilatorului de exhaustare va începe sa crească turația ventilatorului pentru a menține răspunsul(ieșirea regulatorului PID presiune cuptor 1) sub valoarea de 80%. De asemenea presupunând ca funcționarea cuptorului 2 se afla intr-un regim stabilizat înainte de modificarea presiunii pe tubulatura comuna de gaze arse rezultate din modificarea turației ventilatorului de exhaustare comun, aceasta modificare de turație va rezulta in scăderea presiunii in interiorul cuptorului 2. Ca urmare a acestei modificări de presiune in cuptorul 2 regulatorul PID de presiune cuptor 2 va începe sa închidă progresiv servoclapeta de gaze arse a cuptorului 2 in vederea menținerii presiunii din interiorul cuptorului 2 in limita impusa. Impunerea de 80% a regulatorului PID al ventilatorului de exhaustare reprezintă punctul in care practic regulatoarele PID ale servoclapetelor cuptoarelor semnaleză PID-ului ventilatorului de exhaustare ca au nevoie de o depresiune suplimentara pe traseul de gaze arse comun pentru a face fata impunerii de presiune cerute. Valoarea de 80% a fost aleasa in concordanta cu curba de debit specifica oricărei clapete de tip fluture. Clapetele de tip fluture au o curba deschidere/debit neliniara de tip „S” ceea ce înseamnă ca la o deschidere mai mare de 80% efectul in creșterea de debit devine din ce in ce mai mic. Din acest motiv in momentul in care clapeta ajunge pe zona de deschidere unde efectele devin minime atunci se va tura ventilatorul de exhaustare pentru a ajuta PID-ul de presiune.

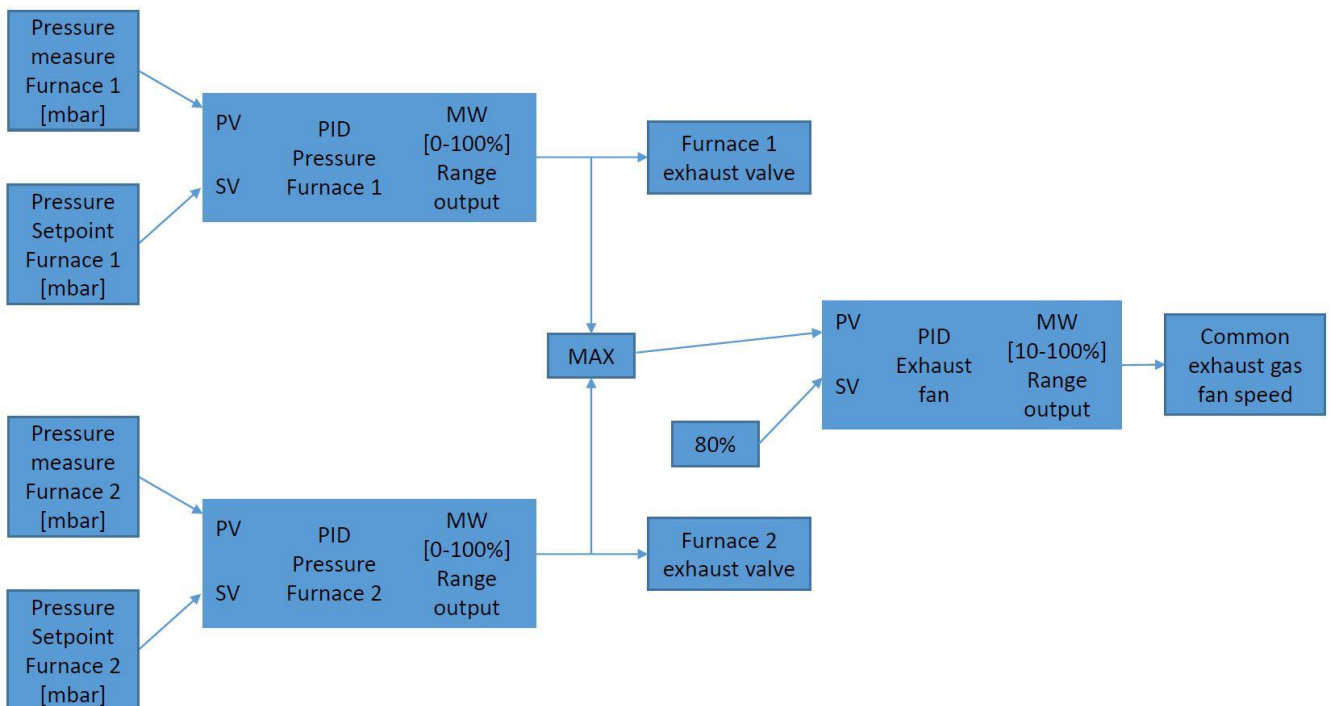


Fig 2. Diagrama logica control presiune cuptor

După cum se poate observa in diagrama de mai sus rolul PID-ului ventilatorului de exhaustare este de a asigura depresiunea suplimentara necesara in orice moment de timp in care oricare din PID-urile de presiune de la cuptorul 1 si 2 o solicita. Celălalt PID de presiune al cuptorului care nu a solicitat depresiune suplimentara se va reajusta in mod automat pentru a compensa depresiune suplimentara cauzata de PID-ul ventilatorului de exhaustare.

Folosind acest mod de control toate PID-urile de presiune reacționează împreună și se reajustează unul în funcție de celălalt astfel încât să mențină presiunea dorită în ambele cuptoare folosind 2 elemente de măsură individuale, 2 elemente de execuție individuale și 1 element de execuție comun.

6. Rezultate obținute

Pornind de la tema propusă spre rezolvare autorul a realizat efectiv concepția, implementarea, testarea și punerea în funcțiune a sistemelor de diagnoză și control integrate în cadrul proiectului de ansamblu. Elementele de originalitate au fost publicate în articole din literatura de specialitate

6.1 Beneficii ale procedurilor de diagnoză implementate

Rezultatele acestei implementări sunt:

- Creșterea disponibilității cuptorului pentru producție
- Detectare automată a avarilor din sistem
- Evidența îmbunătățită și raționalizată a operațiunilor de mentenanță
- Un procentaj mai bun al operațiunilor de mentenanță programată realizate
- Trasabilitatea lucrărilor de mentenanță
- Trasabilitatea avarilor și defecțiunilor
- Scăderea costului specific al produselor finite și scăderea consumului specific de energie
- Îmbunătățirea costurilor de mentenanță prin detectarea din timp a problemelor
- Scăderea numărului de opriri neplanificate ale cuptoarelor ca urmare a unor avarii intempestive

6.2 Obținerea uniformității temperaturii în cuptor

În vederea confirmării uniformității de temperatură obținute pe aceste cuptoare s-a realizat testul TUS (temperature uniformity survey).

Testul TUS presupune introducerea în cuptor a unui cadru cu termocupluri amplasate în diverse puncte. Conform standardului AMS 2750 în funcție de volumul util din interiorul cuptorului și clasa acestuia se calculează numărul de puncte de măsură și dispunerea acestora. În cazul nostru a fost necesară măsurarea de temperatură cu ajutorul unor termocupluri în 12 puncte.

Uniformitatea de temperatură se calculează ca diferența între temperatura celui mai cald punct și celui mai rece punct din cele 12 termocupluri.

Uniformitatea de temperatură obținută a fost de ± 5 °C conform testului TUS efectuat

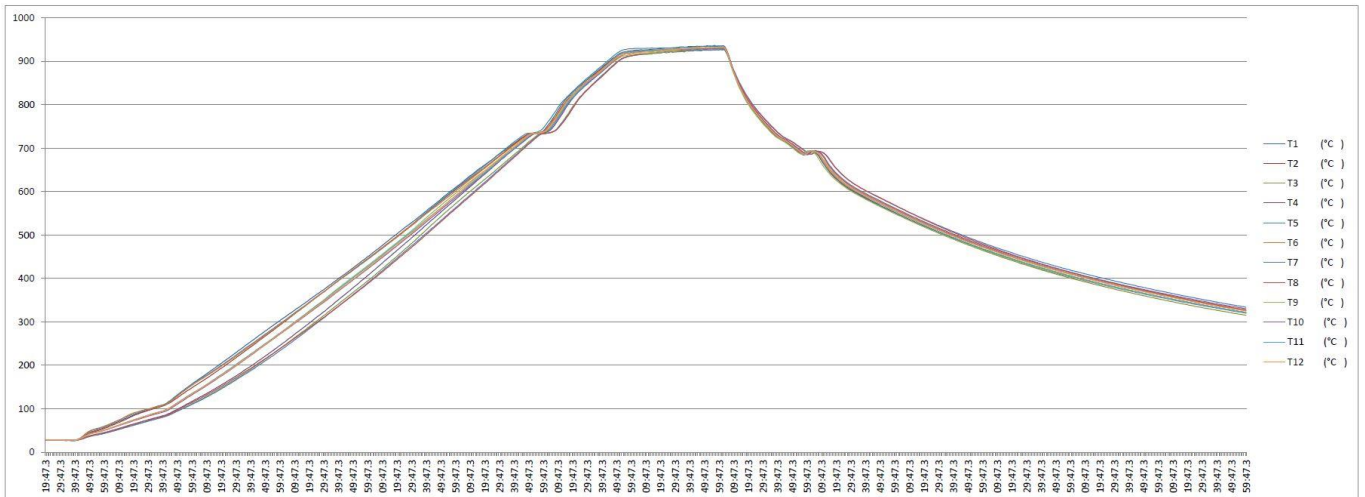


Fig 3. Grafic temperaturi test TUS

6.3 Obținerea unui palier de temperatura atât la temperaturi joase cat si la temperaturi înalte

S-a obținut un palier de temperatura stabil atât la 650°C cat si la 1250°C



Fig 4. Grafic temperaturi palier 650°C si 1250°C

De remarcant sunt rezultatele uniformității temperaturii obținute atât la temperaturi joase cat si la temperaturi înalte într-un cuptor fără ventilatoare de recirculare (agitatoare). Aceste rezultate au fost posibile datorita sistemului de control avansat al arzătoarelor si al procesului de ardere.

6.4 Obținerea preciziei de reglare a temperaturii

In vederea confirmării preciziei de temperatura pe aceste cuptoare s-a realizat testul SAT (system accuracy test).

Precizia de temperatura obținuta a fost de: $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$

6.5 Reducerea emisiilor de noxe

Referitor la conținutul de noxe in gazele arse evacuate in atmosfera se iau ca referința reglementările conform prescripției tehnice PT A1-2010 care stipulează valorile maxime admisibile:

Noxa = maxim 350 mg/Nmc

CO = 100 mg/Nmc

In urma analizei concrete a gazelor arse la cos cu analizor de gaze metrologizat marca CHEMIST 600X s-au obtinut urmatoarele valori medii:

CO = 34 mg/Nmc (nivelul maxim de CO conform reglementarilor UE este de: 100 mg/Nmc la 3% O₂ normalizat

NO_x = 113 mg/Nmc (nivelul maxim de NO_x conform reglementarilor UE este de: 350 mg/Nmc la 3% O₂ normalizat

In anexa 4 sunt prezentate si restul buletinelor de analiza gaze arse, verificare si admitere in functionare de o firma autorizata.

6.6 Tipul de atmosfera obtinuta in interiorul cuptorului

In urma analizei gazelor arse la cos cu analizor de gaze metrologizat rezultatele au fost:

O₂ = 1.7%

λ = 1.08

Dupa cum se observa atmosfera in interiorul cuptorului este foarte putin oxidanta.

7. Concluzii. Contributii personale si Perspective de dezvoltare

7.1 Concluzii

7.1.1 Sistemul de diagnoza si mentenanta preventiva

Procedurile de diagnosticare si mentenanta implementate in software poate fi clasificate in:

- Procedurile de diagnoza primara sunt proceduri uzuale care pot fi implementate indiferent de tipul aplicatiei (ex: detectare buclei deschise, cresterea valorii de masurate dincolo de limita de siguranta, etc.). Prin folosirea acestor tipuri de proceduri de diagnoza se pot identifica in principal echipamentele defecte de pe instalatie.
- Diagnoza extinsa presupune proceduri specifice raportate la particularitatile fiecarei aplicatii in parte si concepute in consecinta (ex: comparatie logica a valorilor plauzibile, analiza tiparelor, etc.). Prin utilizarea acestor tipuri de proceduri de diagnoza se pot identifica echipamentele defecte dar si probleme complexe precum raspunsuri incorecte ale sistemului de automatizare la feedback-ul oferit de sistem, parametrii inadecvati ai buclelor PID, etc.)
- Mentenanta preventiva poate identifica erori care sunt pe punctul de a se intampla, echipamente care au tendinta sa functioneze incorect si tine de asemenea evidenta anuntand operatiunile programate de mentenanta pentru fiecare echipament individual in parte potrivit programului de mentenanta al producatorului.

7.1.2 Sistemul de automatizare si control

- Uniformitatea de temperatura obținuta de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ conform testului TUS efectuat respecta standardele aviatice AMS 2750D si AMS H81200 pentru controlul temperaturii in forjarea titanului si se încadrează in clasa 2 de cuptoare. Aceasta performanta a fost obținuta atât pentru palierul de 650°C cat si pentru palierul de 1250°C fără ventilatoare de recirculare montate pe cuptoare datorita sistemului de control avansat dezvoltat in PLC
- Precizia de temperatura obținuta in special la temperaturi foarte scăzute si puteri foarte scăzute ale cuptorului de $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ conform testului SAT(system accuracy test) respecta standardul de aviație AMS 2750 pentru clasa 2 de cuptoare
- Eliminarea ventilatoarelor de recirculare atmosfera (agitatoare) a condus la reducerea costului inițial al investitei si la o fiabilitate mai buna a întregului sistem
- Controlul precis al concentrației de oxigen in atmosfera cuptorului este obținut prin montarea unui analizor de oxigen pe traseul gazelor arse si realizarea unei bucle PID suplimentare de oxigen care poate ajusta fin raportul de aer/gaz impus către regulatoarele de debit aer si gaz ale arzătoarelor. In acest fel se obține un control in 2 etape mult mai precis decât controlul clasic realizat numai pe debite ceea ce rezulta într-o atmosfera corecta in interiorul cuptorului in raport cu cerințele tehnologice de forjare ale barelor de titan.
- Utilizarea unui singur recuperator de căldura pentru ambele cuptoare a fost posibila datorita rutinelor avansate de control implementate in soft-ul PLC-ului. Acest lucru a condus la reducerea costului inițial al investiției si la o mai buna economie de combustibil.

Concluzia generala este ca prin folosirea rutinelor software avansate a fost posibila proiectarea si realizarea unor cuptoare capabile sa obțină paliere temperatura conform standardelor aviatice atât pentru regimuri de temperatura înalta cat si pentru regimuri de temperatura joasa.

Pana in prezent cuptoarele erau proiectate si construite ca sa obțină paliere de temperatura specifice fiecărui proces tehnologic in parte (proiectare specifica pentru regimuri de temperatura joasa si proiectare specifica pentru regimuri de temperatura înalta). In cazul in care o fabrica avea nevoie ambele tipuri de regimuri termice (de joasa temperatura si de înalta temperatura) cu o anumite uniformitate impusa singura soluție era sa construiască 2 tipuri de cuptoare care fiecare sa răspundă cerințelor tehnologice specifice.

Aceste cuptoare realizate si prezentate in cadrul tezei pot fi considerate cuptoare universale de temperatura atât pentru temperaturi joase cat si pentru temperaturi înalte in contrast cu modalitatea in care se proiectau si realizau aceste cuptoare in trecut.

7.2 Contribuții personale

In realizarea tezei de doctorat autorul considera a fi adus contributi originale in plan conceptual respectiv aplicativ dupa cum urmeaza:

- Conceptia sistemului de control si diagnoza

Conceptia sistemului de control si diagnoza a pornit de la cerintele initiale de performanta ale sistemului. Acesta a avut un rol cheie in schimbarea unei solutii tehnice uzuale si consacrate cu o solutie tehnica noua atat din punct de vedere hardware (mecanic si electric) cat si din punct de vedere software (PLC, HMI, SCADA).

- Elaborarea structurilor hardware

Elaborarea structurilor hardware a fost in stransa legatura cu conceptia noua a sistemului care a facut posibila eliminarea unor echipamente hardware care au fost compensate printr-un sistem software avansat de control si diagnoza

- Elaborarea softului de aplicatie

Aceasta cuprinde realizarea tuturor rutinelor si metodelor de diagnoza, realizarea tuturor rutinelor si metodelor de control avansate cu numeroasa avantaje si performante obtinute prezentate pe parcursul tezei.

- Implementare si testare

Avand in vedere ca s-a realizat un sistem nou asupra controlului temperaturii si al arzatoarelor in vederea obtinerii unei uniformitati mai bune de temperatura implementarea si testarea sistemului s-a realizat pe parcursul mai multor etape din aproape in aproape pana la obtinerea formei finale confirmata de testele de performanta realizate.

- Valorificare practica

La ora actuala cele 2 cuptoare functioneaza in regim de productie in fabrica Zirom S.A. Giurgiu demonstrand performantele si fiabilitatea ridicata a sistemului.

- Comunicarea rezultatelor obtinute in reviste si conferinte.

Rezultatele obtinute sunt foarte importante in vederea demonstrării faptului ca vechiul concept si proiectarea standard in realizarea acestor cuptoare poate fi îmbunătățit cu o noua soluție generala care prezinta multe avantaje fata de vechea soluție dupa cum urmeaza:

- Performanta (uniformitatea de temperatura pentru regimuri de joasa temperatura si înalta temperatura) a fost îmbunătățita prin schimbarea vechiului concept de control al temperaturii.
- Reducerea costului investiției inițiale a fost realizat prin eliminarea unor echipamente care au mai fost necesare in vederea obținerii performantelor dorite si prin utilizarea unui singur recuperator de căldura pentru ambele cuptoare
- Creșterea fiabilității sistemului prin soluții si metode de autodiagnoza noi
- Scăderea costurilor de mentenanța prin eliminarea unor echipamente sensibile care prezentau un risc ridicat de defect si necesitau o mentenanța si supervizare constanta.

Ca urmare a realizării acestui proiect a fost observat faptul ca rutinele software si complexitatea acestora sunt într-o evoluție constanta si pot ajunge sa preia si sa substituie diferite echipamente hardware cu rezultate foarte bune in exploatare conform celor arătate in cadrul tezei. Acest lucru conduce la progresul ingineriei in dezvoltarea unor soluții mai bune din toate punctele de vedere (performanta, costuri, etc) specifice nevoilor industriei.

7.3 Perspectiva de dezvoltare

7.3.1 Sistemul de diagnoza

In viitor se pot dezvolta alte tehnici diagnoza extinse care trebuie sa se bazeze pe înțelegerea si interpretarea foarte buna procesului tehnologic specific cat si a funcționarii cuptoarelor. Propunerea mea este de a realiza o rutina specifica care sa poate calcula o valoare globala unica a stării de funcționare a

cuptorului [0-100%] bazata pe măsura tuturor parametrilor, analiza alarmelor/avarilor care pot fi împărțite in diferite categorii (ușoare, medii, grave, oprire de urgenta) si care au un impact diferit asupra stării generale de funcționare a cuptorului si disponibilitatii acestuia.

In baza acestei valori globale aferente stării de funcționare si a tendințelor tiparelor, sistemul de automatizare va putea calcula iminenta necesității unei reparații capitale, necesitatea opririi cuptorului in vederea realizării unor lucrări de mentenanța cat si aproximarea datei când acestea vor avea loc.

Diferența principala pe care o prezinta aceasta tehnica consta in faptul ca programările pentru reparații capitale si opririle pentru mentenanța nu vor mai fi fixe ca pana acum ci vor putea fi ajustate in timp real de către sistemul de automatizare bazate pe valoarea globala a stării de funcționare rezultând într-o disponibilitate mai mare a cuptoarelor si in scăderea costurilor de mentenanța.

7.3.2 Sistemul de control

In viitor se poate dezvolta un sistem de control al temperaturii bazat pe mai multe zone de control al temperaturii in atmosfera si pe piesa. Acest lucru poate duce la rezultate de uniformitate de temperatura mai bune.

7.4 Lista Figuri

Fig 1.	Diagrama logica control temperatura.....	23
Fig 2.	Diagrama logica control presiune cuptor	25
Fig 3.	Grafic temperaturi test TUS	27
Fig 4.	Grafic temperaturi palier 650°C si 1250°C.....	27

Bibliografie

- [1] J.H. Brun Klaus s.a. „*Cuptoare industriale*” , Editura Tehnica, 1977
- [2] I.G. Cara Bogdan s.a „*Instalații termice industriale*” , Editura Tehnica, 1983
- [3] V.P. Lincevschi „*Cuptoare de încălzire*” , Editura Tehnica, 1952
- [4] M. Marinescu s.a. „*Instalații de ardere*” , Editura Tehnica, 1985
- [5] W. Trinks „*Industrial Furnaces*” , Editura Wiley, USA 2004
- [6] Peter Mullinger „*Industrial and process furnaces*” , Editura Elsevier Science & Technology, UK, 2017
- [7] W. H. McAdams, „*Transmision de la Chaleur*” , Ed. DUNOD, Paris, 1964.
- [8] A.M. Morega, „*Heat transfer principles*” in Mechanical Engineer’s Handbook, Irwin. J.D., Academic Press, 2001.
- [9] K. Ogata, „*Modern control engineering*” (5th edition), Pearson, 2009
- [10] Norman S. Nise, „*Control Systems Engineering*” (7th edition), Wiley, 2015
- [11] Teoreanu I. „*Instalatii termotehnologice*” , Editura Tehnica, 1979
- [12] Badea, A., ș.a. „*Echipamente și instalații termice*” , Editura Tehnică, București, 2003
- [13] D.Grecov s.a.- „*Arderea Combustibililor Gazosi*” - Ed Academiei RSR 1961
- [14] Dina, Vasilica, „*Transfer de caldura si instalatii termice industriale*” E.D.P., 1994
- [15] Carmen Ionescu-Golovanov „*Măsurarea mărimilor electrice în sistemul electroenergetic*” , Editura Academiei Romane, 2009
- [16] SAE Aerospace (Society of Automotive Engineers) „*AMS 2750D*” , USA, 2005
- [17] SAE Aerospace(Society of Automotive Engineers) „*AMS H81200*” , USA, 2014
- [18] „*EN 746-2:2010*” Safety requirements for combustion and fuel handling systems

- [19] „PTA1-2010” Aparate de încălzit alimentate cu combustibil solid, lichid sau gazos
- [20] Electro-total „Documentație internă a companiei și know-how”
- [21] Directive 2016/1032 of the European Parliament and of the Council, “*Best Available Techniques (BAT) for Preventing and Controlling Industrial Pollution*”, Brussels Belgium, 2016
- [22] Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council 2010 on industrial emissions “*Integrated pollution prevention and control*”, Brussels Belgium, 2010
- [23] Charles E. Baukal, Jr. “*Industrial Combustion Pollution and Control*”, United States of America, 2004
- [24] Charles E. Baukal, Jr. “*Controlling emissions during cold furnace startup*”, American Institute of Chemical Engineers, United States of America, 2007
- [25] Baukal C.E. “*Industrial Combustion Pollution and Control*”, American Institute of Chemical Engineers, United States of America, 2004
- [26] Klaus Kroner, Martin Wicker „*Air/gas ratio control in industrial heating equipment*”, Heat Processing -International Magazine for Industrial Furnaces Heat Treatment & Equipment ISSN 1611-616X no.2/2006 Germany
- [27] EN 746-1, 2009 Industrial thermoprocessing equipment „*Part 1: Common safety requirements for industrial thermoprocessing equipment*”
- [28] EN 676, 2020 „*Automatic forced draught burners for gaseous fuels*”
- [29] EN 12067-1, 1998 „*Gas/air ratio controls for gas burners and gas burning appliances – Part 1: Pneumatic types*”
- [30] EN 12067-2, 2004 „*Gas/air ratio controls for gas burners and gas burning appliances – Part 2: Electronic types*”
- [31] EN 298, 2012 „*Automatic gas burner control systems for gas burners and gas burning appliances with or without fans*”
- [32] EN 50156-1, 2015 „*Electrical equipment for furnaces and ancillary equipment, Part 1: Requirements for application design and installation*”
- [33] ISO/DIS 23552-1, 2007, “*Safety and control devices for gas and oil burners and gas and oil appliances –Particular requirements –Part 1: Fuel/air ratio controls, electronic type*”
- [34] EN ISO 13849-2, 2012 „*Safety of machinery – Safety-related parts of control systems*”

Articole:

- [1] Alexandru Voicu, s.a. “*Forging furnaces for titanium with central heat exchanger*” – Heat Processing -International Magazine for Industrial Furnaces Heat Treatment & Equipment ISSN 1611-616X, pages 148-150, Germany, no.3/2015 (official publication of: CECOF - European Committee of Industrial Furnace and Heating Equipment Association, VDMA Metallurgy - Mechanical Engineering Industry Association, CEMAFON - European Foundry Equipment Suppliers Association, EUnited Metallurgy - Brussels-based European Engineering Industries Association)
- [2] Alexandru Voicu, “*Diagnosis in automation and monitoring systems of industrial furnaces*” – U.P.B. Sci. Bull, Series C, ISSN 2286-3540
- [3] Alexandru Voicu, “*Digital control systems for thermal regimes in industrial furnaces*” – Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA), ISSN 1582-5175

Participare la targuri naționale si internaționale:

- [1] Târg internațional „*SPS ipc drives*” – Nuremberg, Germania 2014
- [2] Târg internațional „*Hannover Messe*” – Hanovra, Germania 2015
- [3] „*Conferința națională de turnatorie și expoziție cu participare internațională*” – Alba Iulia, Romania 2016
- [4] Târg internațional „*SPS ipc drives*” – Nuremberg, Germania 2017
- [5] Târg internațional „*SPS ipc drives*” – Nuremberg, Germania 2018

- [6] Târg internațional „*Hannover Messe*” – Hanovra, Germania 2018
- [7] Târg internațional „*The bright world of metals*” – Dusseldorf, Germania 2019

Participare întâlniri si seminarii interne cu companii specializate in domeniu:

- [1] Seminar Solcon „*Softstarters power control*” Tel Aviv Israel 2013
- [2] LSIS (industrial division of LG) „*Automation troubleshooting*” Amsterdam Olanda 2013
- [3] Elster Kromschroder „*Optimal control and reliable safeguard*” – Osnabrück Germania 2014
- [4] Elster Kromschroder „*Electronic system process heat*” – Osnabrück Germania 2015
- [5] Kromschroder Maxon „*Maxon burner systems*” – Brusseles Belgia 2017

Organizare si participare simpozioane interne:

- [1] Simpozion Electro-Total „*Cuptoare tratament termic*” Sinaia, Romania 2014
- [2] Simpozion Electro-Total „*Cuptoare tratament termic*” Alba Iulia ,Romania 2015
- [3] Simpozion Electro-Total „*Cuptoare forja*” Predeal ,Romania 2015
- [4] Simpozion Electro-Total „*Automatizări cuptoare industriale*” Predeal ,Romania 2016
- [5] Simpozion Electro-Total „*Cuptoare industriale in metalurgie*” Predeal ,Romania 2016
- [6] Simpozion Electro-Total „*Cuptoare industriale in metalurgie*” Vidraru ,Romania 2017
- [7] Simpozion Electro-Total „*Cuptoare electrice tratament termic*” Albota ,Romania 2018
- [8] Simpozion Electro-Total „*Cazane energetice de abur*” Vidraru ,Romania 2019
- [9] Simpozion Electro-Total „*Automatizări generale*” Vidraru ,Romania 2019

8. Anexe