



## Teză de doctorat

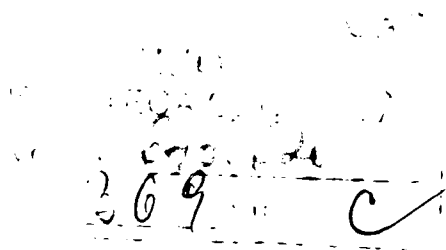
# Contribuții la studiul disponibilității sistemelor de reglare cu aplicații la sistemul de conducere al unei centrale electrice geotermale

Coordonator științific

**Prof.dr.ing. Toma Leonida DRAGOMIR**

Doctorand

**ș.l.ing.Gianina Adela GABOR**



Timișoara  
2005

# CUPRINS

ABREVIERI .....	5
CAPITOLUL 1. INTRODUCERE .....	6
CAPITOLUL 2. ELEMENTE TEORETICE REFERITOARE LA CALITATEA SISTEMELOR AUTOMATE .....	9
2.1. Calitate, dependabilitate, fiabilitate .....	10
2.2. Indicatori fundamentali de calitate ai entităților nereparabile .....	12
2.2.1. Funcția de fiabilitate .....	12
2.2.2. Funcția de nonfiabilitate .....	13
2.2.3. Probabilitate de defectare .....	13
2.2.4. Intensitatea (rata) de defectare .....	14
2.2.5. Timp mediu de funcționare până la defectare (MTTF) .....	15
2.3. Indicatori fundamentali de calitate ai entităților reparabile .....	16
2.3.1. Timp mediu de defectare, timp mediu de reparare (MDT, MTTR) .....	16
2.3.2. Timp mediu de funcționare până la defectare (MTTF) .....	17
2.3.3. Timp mediu de disponibilitate pentru funcționare (MUT) .....	18
2.3.4. Disponibilitatea .....	19
2.3.5. Indisponibilitatea .....	20
2.3.6. Abordarea statistică a problemelor de fiabilitate și disponibilitate .....	20
2.3.7. Disponibilitatea sistemelor reparabile prin înlocuire .....	22
2.4. Fiabilitatea sistemelor .....	23
2.4.1. Problematika modelelor de fiabilitate .....	23
2.4.2. Modele de fiabilitate .....	26
2.4.2.1. Model serie (structură fără redundanțe) - MF serie .....	26
2.4.2.2. Modele pentru structuri redundante .....	27
2.4.2.3. Modele pentru structuri hibride .....	31
2.4.2.3.1. MF serie-paralel .....	31
2.4.2.3.2. MF paralel-serie .....	31
2.4.3 Disponibilitatea sistemelor reparabile .....	32
2.4.4. Sisteme redundante k reparabile .....	33
2.4.4.1 Calculul disponibilității sistemelor redundante k reparabile .....	33
2.4.4.2 Metodă de determinare a intensităților $\lambda_{i,i+1}$ și $\mu_{i,i+1}$ în cazul unei structuri cu entități identice .....	35
2.4.4.3. Determinarea experimentală a intensităților de reparare .....	37
2.4.4.4. Sisteme redundante cu defectări și reparări simultane .....	40

2.5. Defecte, defectare, cauze de apariție a defectelor .....	42
2.5.1. Clasificarea defectelor .....	42
2.5.2. Cauze ale apariției defectelor .....	45
2.5.2.1 Cauze interne .....	45
2.5.2.2 Cauze externe .....	47
2.5.3 Defectări de mod comun .....	49
2.6. Fiabilitatea/disponibilitatea AP .....	50
2.6.1 Particularități AP .....	50
2.6.2 Aspecte ale fiabilitatii/disponibilității AP .....	51
2.6.2.1. Fiabilitate hardware .....	51
2.6.2.2 Fiabilitatea software .....	53
2.7. Probleme de fiabilitate software specifice programelor de simulare .....	55
<b>CAPITOLUL 3. CENTRALA ELECTRICĂ GEOTERMALĂ.</b> .....	<b>58</b>
3.1. Prezentarea generală a centralei electrice geotermale .....	58
3.2. Procesul termodinamic pe care se bazează funcționarea centralei .....	59
3.3. Modelarea matematică a procesului .....	63
3.4. Strategia de automatizare .....	68
3.4.1. Asigurarea funcției de reglare a parametrilor ciclului termodinamic al CO <sub>2</sub> .....	68
3.4.1.1. Aspecte generale .....	68
3.4.1.2. Bucla de reglare a temperaturii $t_1$ .....	71
3.4.1.3. Bucla de reglare a temperaturii $t_3$ .....	75
3.4.1.4. Reglarea nivelului $h$ al CO <sub>2</sub> lichid din vasul tampon .....	78
3.4.2. Asigurarea funcționării centralei electrice în condiții limită (tratarea avariilor) .....	82
3.4.3. Implementarea pe AP a strategiei de automatizare .....	88
3.5. Simularea funcționării centralei electrice .....	90
3.5.1. Implementarea programului de simulare .....	90
3.5.2. Scenarii de simulare .....	92
a) Simularea regimului de pornire a instalării regimului termodinamic .....	92
b) Studiul influenței principalelor mărimi perturbatoare .....	94
<b>CAPITOLUL 4. SOLUȚII DE CREȘTERE A DISPONIBILITĂȚII CENTRALEI ELECTRICE GEOTERMALE</b> .....	<b>103</b>
4.1. Sistem redundant de măsurare a temperaturii $t_1$ .....	103
4.2. Sistem redundant de măsurare a temperaturii $t_3$ .....	119
4.3. Reducerea timpului de diagnoză - studiu de caz .....	135
<b>CAPITOLUL 5. CONCLUZII FINALE</b> .....	<b>143</b>
5.1 Principalele rezultate ale tezei. ....	143

5.2 Principalele contribuții personale .....	144
BIBLIOGRAFIE .....	146
ANEXA 1 – Modalități de calcul $\mu$ , MUT, disponibilitate, indisponibilitate .....	152
ANEXA 2 – Scheme ale centralei electrice geotermale .....	153
ANEXA 3 – Simboluri și notații utilizate pentru centrala electrică geotermală .....	155
ANEXA 4 – În cadrul AP în centrala geotermală .....	156
ANEXA 5 – Funcția „Sist.de decizie si comut. t <sub>1</sub> ” .....	158
ANEXA 6 – Subrutina Regim_l_t1 .....	161
ANEXA 7 – Funcția „Sist.de decizie si comut. t <sub>3</sub> ” .....	179

## ABREVIERI

ACSL	Advanced Continuous Simulating Language
AP	automat programabil
APS	Advanced Programming Software
CO <sub>2</sub>	bioxid de carbon
DC	redundanță dublă comparare
DCR	redundanță dublă cu comparare și reconfigurare
DCRR	redundanță dublă cu comparare, reconfigurare și reparare
EC	element de comparare
I/O	intrare/ieșire
IT	tehnologia informației
L, H	valori în apropierea limitei admisibile
LL, HH	valori la limita admisibilă
M	element de măsurare
MDT	timp mediu de defectare
MF	model de fiabilitate
MTBF	timp mediu de funcționare între două defecțiuni
MTTF	timp mediu de funcționare până la defectare
MTTR	timp mediu de reparare activă
MUT	timp mediu de disponibilitate pentru funcționare
NE	număr de eșantioane
PC	calculator personal
P <sub>CO2</sub>	pompa bioxid de carbon
RA	regulator automat
RAav	regulator automat avarie
RB	robinet
RBA	robinet de avarie
TC	redundanță triplă comparare
TCR	redundanță triplă cu comparare și reconfigurare
TCRR	redundanță triplă cu comparare, reconfigurare și reparare
TD	traductor de debit
TP	traductor de presiune
TT	traductor de temperatură
UCP	unitate centrală de prelucrare a automatului programabil
UPS	sursă neîntreruptibilă de tensiune

## CAPITOLUL 1. INTRODUCERE

Datorită caracterului poluant al resurselor energetice primare clasice (petrol, cărbuni, gaze) și a faptului că energia nucleară ridică probleme din punctul de vedere al radioactivității și acceptării sale publice, s-au impus, ca alternativă viabilă, o serie de surse de energie nepoluante printre care și energia geotermală. În acest context o problemă aparte a constituit-o automatizarea instalațiilor de utilizare ale acesteia, iar legat de aceasta studiul disponibilității sistemelor automate. Trebuie menționat de la bun început că acest ultim aspect nu a fost studiat în suficientă măsură în literatura de specialitate.

Prezenta teză de doctorat își propune să soluționeze probleme legate de automatizarea sistemului de conducere a unei centrale electrice geotermale prin prisma creșterii disponibilității acestuia și să prezinte modul de implementare a unor structuri redundante folosite pentru asigurarea acestui obiectiv. Pentru a trata problema a fost necesară o abordare interdisciplinară bazată pe reunirea unor cunoștințe din domeniile proceselor geotermale, conducerii și reglării sistemelor, fiabilității și disponibilității sistemelor și al limbajelor de simulare.

Cercetarea în domeniul geotermal în România s-a dezvoltat în principal în cadrul Centrului Național de Cercetări Geotermale (C.N.C.G.) de pe lângă Universitatea din Oradea, unde s-a proiectat și realizat prima centrală electrică geotermală din țară. Abordările realizate în cadrul CNCG au fost axate pe structuri funcțional constructive și de conducere și au fost comunicate printr-o serie de articole la sesiuni de comunicări (vezi bibliografie), precum și o carte de referință intitulată - *Centrale electrice geotermale cu fluid secundar*, autori: Maghiar, T., Gavriș, M., Antal, C., **Gabor, G.**, Gavrilescu, O., Popa, M., Craciun, D., Bococi, D., publicată în anul 2002 la Editura Universității din Oradea (ISBN 973-8193-02-8).

Prin prezenta lucrare de doctorat autoarea, care a participat la elaborarea lucrărilor și a lucrării de referință, și-a propus să creeze și să implementeze un sistem de reglare automată mai performant pentru centrala electrică geotermală, cu o disponibilitate mai ridicată. Pentru aceasta a apelat la lucrări de referință în domeniul fiabilității, cum sunt - *Design and analysis of fault tolerant digital systems* (Barry W. Johnson), *Fault-tolerant computer system design* (D.K. Pradhan), *Design Reliability: Fundamentals and Application*. (Dhillon B.S), *Tehnologie de ramură și fiabilitate* (Vladuțiu M), *Reliability Fundamentals* (Cătuneanu M), *Ingineria fiabilității în electroenergetică* (I. Felea), *Fiabilitatea sistemelor energetice* (Velicescu C. & Oprea L.), și în lucrări orientate spre apropierea problematicii fiabilității de domeniul sistemelor automate - *Control Systems Safety Evaluation and Reliability* (William M. Goble), respectiv *Reliability and Quality Engineering* (John P. Bentley), respectiv lucrări din domeniul specific automatelor programabile - *Programmable Controllers: An engineer's Guide* (E.A.Parr), *Programmable controllers using the Allen-Bradley SLC-500 family* (David A. Geller), *Automate programabile* (M. Gavriș) .

Obiectivul primordial al tezei de doctorat, creșterea disponibilității sistemului de reglare a centralei electrice geotermale din cadrul universității orădene, poate fi considerat îndeplinit. Totuși, rezultatele obținute și modelele prezentate sunt perfectibile, ele permițând continuarea cercetărilor pentru o eficientizare din punct de vedere al soluțiilor de reglare.

Teza este structurată pe cinci capitole din care trei de bază, un capitol de introducere și unul de concluzii finale. La acestea se adaugă șapte anexe care cuprind pe lângă notații specifice fiecărui capitol și surse program implementate de autoare pentru programele de simulare realizate utilizând aplicația Matlab și mediul grafic Simulink, respectiv sursa program pentru aplicația implementată pe AP de tip Allen Bradley utilizând limbajul APS. Structurarea tezei redă derularea cercetărilor efectuate de autoare în colaborare cu colectivul de cercetare de la CNCG. Se pornește de la noțiunile teoretice existente în literatura de specialitatea care studiate, sintetizate și completate au stat la baza și au constituit punctul de plecare pentru implementarea părții aplicative.

Capitolul 2 realizează o trecere în revistă a principalelor noțiuni teoretice utilizate în următoarele capitole ale tezei, fixând terminologia utilizată și specificând anumite metode de lucru. În cadrul prezentării un loc important îl ocupă metoda de calcul a disponibilității sistemelor k reparabile și respectiv metoda de determinare a intensităților de defectare și reparare în cazul structurilor k redundante cu entități identice, care reprezintă și principalele contribuții teoretice ale lucrării.

În cadrul capitolului 3 s-a prezentat partea de modelare a procesului condus din centrala electrică geotermală și principalele strategii de conducere considerate pentru fixarea ciclului termodinamic al CO<sub>2</sub>, agentul utilizat de centrala electrică geotermală. Prezentarea corectează și completează demersurile de modelare efectuate până în prezent cu privire la sistemul automat al centralei electrice geotermale, lăsând deschise problemele de optimizare a reglajului respectiv de modelare a organului motor. Contribuțiile personale ale autoarei vizează în primul rând partea de modelare a centralei electrice geotermale și a sistemului de conducere aferent, respectiv implementarea strategiei de conducere pe AP de tip Allen Bradley SLC 5/03.

Capitolul 4 este destinat prezentării realizării sistemelor de măsurare redundantă a temperaturilor  $t_1$  și  $t_3$  corespunzătoare principalelor puncte care definesc ciclul termodinamic. Soluțiile se bazează pe suportul teoretic din capitolul 2 și pe strategii originale propuse de autoare. Pentru măsurarea temperaturii  $t_1$  se folosește un sistem cu două traductoare asistat de traductorul de măsurare a temperaturii apei geotermale la ieșirea din vaporizatoare, iar pentru măsurarea temperaturii  $t_3$  un sistem de trei traductoare care în situația defectării unuia aplică principiul folosit la temperatura  $t_1$ . Partea finală a acestui capitol se referă la modul de implementare al unui sistem de diagnoză în cazul apariției unui defect în cadrul centralei electrice geotermale.

O mare parte din rezultatele prezentate în teză au constituit obiectul unor lucrări științifice elaborate de autoare în calitate de singur autor sau de colaborator. Ele se referă, deopotrivă, la aspecte teoretice și la aspecte practice, de implementare. Lucrările au fost prezentate la diferite conferințe naționale și internaționale, respectiv reviste (WGC 2000, CONTI'00, ECI'2000, EMES'01, ECI'02, CSCS-14, EMES'03, IGC 2003, RSEE'04, SIMSIS12, Scientific Bulletin of "Politehnica" University of Timișoara, Trans. on A.C.& C.S. - 2002 , 2004).

Lista lucrărilor avute în vedere este:

Zmaranda, D., Gabor, G., *State of the art of the automatic control system from the geothermal plant from the University of Oradea,*

*Romania: present and perspectives*, Proceedings of WGC 2000, Kyushu-Tohoku, Japonia, 2000.

**Gabor, G.**, Gavrilesco, O., *Modeling and simulation of the control system of the geothermal power plant from the University of Oradea*, Proceedings of CONTI 2000, Timisoara, Romania, 2000.

**Gabor, G.**, *Using PLCs in safety related process control applications*, Proceedings of ECI'2000, Kosice-Herlany, Slovakia, 2000.

**Gabor, G.**, Vladu, E., *Considerations on the simulation of the control system for a geothermal power plant using ASCL and Matlab*, Proceedings of EMES'01, Băile-Felix, Romania, 2001

**Gabor, G.**, *Some aspects on control system architectures*, Proceedings of RSEE'2002, BaileFelix – Oradea, mai 2002.

**Gabor, G.**, Gavrilesco, O., *Fault Diagnosis in the Control System of a Geothermal Power Plant*, Scientific Bulletin of "Politehnica" University of Timișoara, Trans. on A.C.& C.S., Timișoara, 2002

**Gabor, G.**, *Reliability Considerations on the Control System of a Geothermal Power Plant*, Proceedings of ECI'02, section VII – Advanced Information Technologies, Kosice-Herlany, Slovakia, 2002.

**Gabor, G.**, Popescu, D., *Some Aspects Regarding the Reliability of the Control System Proposed for a Geothermal Power Plant*, Proceedings of CSCS-14, Bucharest , Romania, 2003

**Gabor, G.**, *Aspects regarding the control system of a geothermal power plant*, Proceedings of EMES 2003, Oradea. Section B - Automatics and Control Systems, 2003

Popescu, D.E., Popescu, C., **Gabor, G.**, *Monte Carlo simulation using Excel for predicting reliability of a geothermal power plant*. Proceedings of IGC 2003, Rejkjavik, Islanda, 2003

Zmaranda, D., **Gabor, G.**, *Reliability Improvement Techniques for the Control System of a Geothermal Power Plant*, Proceedings RSEE'04, Oradea, 2004

Dragomir, T.L., **Gabor, G.**, Korodi, A., *Some Aspects Regarding Availability of Repairable Structures*, Scientific Bulletin of "Politehnica" University of Timișoara, Trans. on A.C.& C.S., Timișoara, 2004

Dragomir, T.L., **Gabor, G.**, Korodi, A., *On an Active Redundant Structure with k Identically Repairable Components*, Proceedings of teh 12th International Symposium on Modeling, Simulation and System Identification, SIMSIS 12, Galați, 2004



## CAPITOLUL 2. ELEMENTE TEORETICE REFERITOARE LA CALITATEA SISTEMELOR AUTOMATE

Conceptul de calitate s-a dezvoltat de la simplu spre complex, plecând de la conceptul de fiabilitate. Se consideră că teoria disponibilității s-a dezvoltat în legătură cu produsele pe scară largă din domeniul electric, cum sunt componentele electronice (circuite integrate, dispozitive integrate) [Băj 96], [Băj 97].

În teoria fiabilității abordarea la nivelul global de sistem tehnic poate fi făcută doar foarte general, la nivel principial. Acest lucru explică de ce la nivel concret s-a acumulat o literatură foarte bogată numai pentru anumite tipuri de sisteme cum sunt structurile electronice, sistemele de calcul și sistemele energetice. Câteva lucrări de referință se datorează lui: Barry W. Johnson (Design and analysis of fault tolerant digital systems) [Joh 89], D.K. Pradhan (Fault-tolerant computer system design) [Pra 96], Dhillon B.S. (Design Reliability: Fundamentals and Application) [Dhi 99], Vlăduțiu M (Tehnologie de ramură și fiabilitate) [Vlă 89], Cătuneanu M (Reliability Fundamentals) [Căt 89], I. Felea (Ingineria fiabilității în electroenergetică), [Fel 96] [Fel 01], Velicescu C. & Oprea L. (Fiabilitatea sistemelor energetice) [Vel ].

Cu toată răspândirea mare a sistemelor automate, numărul de lucrări dedicate fiabilității și calității sistemelor automate ținând cont de specificul acestora, este relativ redus. În acest context pot fi menționate cu pretenții de abordare generală, următoarele cărți de referință: Control Systems Safety Evaluation and Reliability (William M. Goble) [Gob 95], respectiv Reliability and Quality Engineering (John P. Bentley) [Ben 99], precum și cele cu caracter particular corespunzătoare automatelor programabile: Programmable Controllers: An engineer's Guide (E.A.Parr) [Par 99], [Par 03], Programmable controllers using the Allen-Bradley SLC-500 family (David A. Geller) [Gel 99], Automate programabile (M. Gavriș) [Gav 00].

În continuare se prezintă elementele selectate de o manieră care să permită evidențierea coerentă și completă a principalelor aspecte referitoare la un sistem automat de complexitate avansată și anume, o centrală electrică geotermală.

Subcapitolul 2.1 tratează noțiunile de calitate și dependabilitate. Conceptul de dependabilitate este descris prin principalele sale atribute. Fiabilitatea, considerată ca cel mai utilizat atribut al dependabilității unui sistem, este prezentată atât din perspectivă cantitativă cât și din cea calitativă. În acest context este clarificată accepțiunea în care este utilizată în această lucrare noțiunea de defectare.

Datorită faptului că entitățile unui sistem pot fi împărțite în două categorii distincte și anume reparabile și nereparabile, subcapitolul 2.2 prezintă în detaliu indicatorii fundamentali de calitate ai entităților nereparabile (funcția de fiabilitate, funcția de nonfiabilitate, probabilitatea de defectare, intensitatea de defectare, timp mediu de funcționare până la defectare) iar subcapitolul 2.3 este dedicat indicatorilor fundamentali de calitate ai entităților reparabile (timp mediu de defectare, timp mediu de reparare, intensitate de reparare, timp mediu de disponibilitate pentru funcționare, disponibilitate, indisponibilitate), făcându-se referire și la neuniformitatea terminologiei și a notațiilor din literatura de specialitate. Se continuă cu o abordare din punct de vedere statistic a fiabilității și disponibilității discutându-se, din perspectiva evenimentelor rare, corectitudinea formulei disponibilității din [Joh 89] întrucât un sistem geotermal face parte din categoria sistemelor cu populații reduse.

Subcapitolul se încheie cu prezentarea modului în care evoluează disponibilitatea unui sistem în două cazuri distincte, corespunzătoare defectelor eliminate prin reparații propriu-zise, respectiv prin înlocuire.

Subcapitolul următor, 2.4, se axează pe problematica modelelor de fiabilitate și disponibilitate și a utilizării acestora. Plecând de la realizarea unei analize critice a manierelor de abordare a problematicii de către autori consacrați, se sintetizează de o manieră unitară principalele aspecte referitoare la structurile relevante din punctul de vedere al sistemului de conducere al centralei geotermale și se detaliază rezultatele obținute de autoare pentru sistemele k redundante din buclele de reglare importante ale ciclului termodinamic al centralei. Se introduc noi noțiuni, cum sunt: intensitate de defectare simultană și intensitatea de reparare simultană prezentându-se modul de determinare a acestora.

Subcapitolul 2.5, prezintă o clasificare a tipurilor de defecte ce pot să apară într-un sistem precum și a cauzelor apariției acestora, fiecare dintre acestea fiind exemplificată printr-o situație din centrala electrică geotermală. Prezentarea este importantă prin faptul că punctează metodologia de analiză ce poate fi utilizată pentru centrala electrică geotermală prezentată în capitolul 3.

Subcapitolul 2.6 prezintă aspecte particulare ale fiabilității / disponibilității referitoare la automatele programabile utilizate în sisteme de conducere, realizându-se o abordare atât din punctul de vedere al fiabilității hardware cât și al fiabilității software.

Subcapitolul 2.7 conține o scurtă prezentare a fiabilității / disponibilității aplicațiilor de simulare și particularitățile acestora. Sunt prezentați și principalii pași ce trebuie parcurși pentru dezvoltarea unui model de simulare pentru sistemele conduse în timp real.

## 2.1. Calitate, dependabilitate, fiabilitate

Calitatea unui proces (servicii furnizate de un sistem) reprezintă prin definiție abilitatea acestuia de a satisface complet anumite cerințe (ale clientului) și se exprimă prin totalitatea trăsăturilor și caracteristicilor care dovedesc această abilitate [Bes 02]. O caracterizare aproape completă a calității, așa cum este percepută de utilizator și care se reflectă în mărimea încrederii în serviciile oferite de sistem, este furnizată de conceptul de dependabilitate. Dependabilitatea sintetizează calitatea serviciilor furnizate de un sistem considerat ca o entitate ce a interacționat, interacționează sau care va interacționa cu alte entități.

Conceptul de dependabilitate poate fi nuanțat în funcție de destinația sistemului și poate fi exprimat ca un set de proprietăți, diferite și complementare care definesc atributele dependabilității [Lap 92], [Ran 95]. Cele mai importante sunt următoarele:

- proprietatea de *continuitate a serviciilor*, care conduce la fiabilitate,
- proprietatea de a fi „*gata de utilizare*”, ce conduce la disponibilitate,
- proprietatea de a *nu genera consecințe catastrofice asupra persoanelor, echipamentului utilizat și mediului*, care conduce la siguranță în funcționare,
- proprietatea de a fi *reparabile*, care duce la mentenabilitate,
- proprietatea de a *indeplini sarcinile la un nivel de performanță stabilit*, care duce la performabilitate,
- proprietatea de a *putea fi testat pentru detectarea și localizarea defectelor*, care duce la testabilitate,
- proprietatea de a *nu admite solicitări și tentative neautorizate de modificare a structurii*, care conduce la securitate

- proprietatea de a avea capacitatea de a-și recunoaște starea și de a accepta pe această bază combinații valide ale variabilelor de intrare, care conduce la credibilitate.

Conceptele de fiabilitate, disponibilitate, siguranță în funcționare și mentenabilitate constituie cei mai utilizați indicatori pentru cuantificarea dependabilității unui sistem.

În faza de implementare dependabilitatea unui sistem poate fi asigurată prin tehnici de evitare, mascare și tolerare a defectelor, iar în cazul unui sistem funcțional prin metode de preîntâmpinare și / sau înlăturare a defectelor.

În tehnică conceptul de calitate este legat în primul rând de cel de fiabilitate, în accepțiunea curentă a termenului fiabilitate. În mod riguros, terminologia trebuie mult nuanțată. Ca justificare pentru nuanțare este suficient să avem în vedere mentenabilitatea sistemelor tehnice și distincția care se poate face din perspectiva reparare/întreținere.

Conceptul de fiabilitate poate fi abordat calitativ și cantitativ [Mar 95]. *Calitativ*, conceptul de fiabilitate definește aptitudinea unui sistem de a-și îndeplini funcțiile prevăzute (specificate) de o manieră continuă și corectă pe durata unui interval de timp impus în condiții de exploatare specificate. *Cantitativ*, conceptul de fiabilitate a unui sistem se definește ca reprezentând probabilitatea ca sistemul să-și îndeplinească funcțiile prevăzute (la nivel de performanțe stabilite) pe durata unui interval de timp impus în condiții de exploatare specificate. Implicit, abordarea cantitativă consideră fiabilitatea dependentă de timp. Notând fiabilitatea cu  $R$  și timpul cu  $t$ , perspectiva cantitativă induce considerarea unei funcții  $R(t)$  numită funcție de fiabilitate.

Corespunzător celor două abordări, fiabilitatea este privită, de la caz la caz ca [Mar 95], [Gob 95], [Joh 89]:

- o caracteristică a unui produs sau sistem, care poate fi determinată,
- o probabilitate variabilă în timp a cărei valoare este cuprinsă între 0 și 1,
- o funcție care trebuie satisfăcută în mod neîntrerupt pe un interval de timp dat în anumite condiții specificate,
- o durată de funcționare fără defecțiuni în condiții specificate.

Fiabilitatea unui sistem, ca funcție de timp  $R(t)$ , se definește în general ca probabilitatea de funcționare a sistemului în intervalul  $(t_0, t)$ , asociată momentului  $t$ , condiționată de funcționarea certă (probabilitate egală cu 1) a sistemului la momentul  $t_0$  și de îndeplinirea unor condiții de funcționare specificate în intervalul  $(t_0, t)$  [Joh 89], [Mar 95], [Băl 97]. De regulă se consideră  $t_0=0$ .

Faptul că fiabilitatea constituie un aspect al calității [Ben 99] poate fi argumentat în diverse moduri. Astfel, pe de-o parte, calitatea este caracterizată de ansamblul performanțelor unui sistem, realizate în procesul de concepție și execuție al acestuia, și care garantează satisfacerea cerințelor specificate de exemplu, prin limite admisibile în cazul caracteristicilor de performanță obiective. Pe de altă parte calitatea înseamnă și proprietatea de a satisface cerințele specificate în condițiile în care aceste performanțe ale sistemului se modifică în timp, rămânând însă în limitele admisibile. În acest context, fiabilitatea este conceptul prin care se exprimă conservarea neîntreruptă a performanțelor în limitele admisibile.

În cazul echipamentelor reparabile analiza calității cuprinde și conceptul de mentenabilitate. El reprezintă proprietatea produselor/sistemelor, exprimată calitativ sau cantitativ, de a fi reparabile, de a fi puse în funcțiune în caz de defectare prin procedee adecvate (procedee de mentenanță). Conceptele de fiabilitate și mentenabilitate privite din perspectiva întrepătrunderii lor reprezintă conceptul de disponibilitate.

Disponibilitatea, siguranța în funcționare, de altfel toate proprietățile incluse în conceptul de dependabilitate, împreună cu elementele economice și cele ergonomice, conduc în ansamblu la conceptul de eficiență globală a unui produs/sistem, care nu coincide cu conceptul de calitate [Mil 04].

În scopul caracterizării fiabilității și disponibilității este necesară precizarea accepțiunii în care este folosită noțiunea de defectare în această lucrare. Se numește *defectare* (cădere) încetarea aptitudinii unui produs / sistem de a-și îndeplini la un moment dat funcția specificată [Gob 95], [Lei 95]. Definiția vizează atât nefuncționarea unui produs / sistem cât și realizarea unei funcții cu performanțe în afara limitelor specificate. Cauzele defectării sunt variate și pot fi inerente, datorate unor slăbiciuni neobservate în faza de proiectare și execuție, sau datorate utilizării necorespunzătoare. Defectarea este de regulă rezultatul unui proces care conduce la pierderea totală sau parțială a capacității de funcționare a unei componente, element, sistem, adică la o stare complementară față de cea de bună funcționare (funcționare fără defectiuni [Ben 99]), numită *stare de defectare*.

Pentru analiza disponibilității/fiabilității unui sistem este necesar ca pentru fiecare element, componentă sau sistem (care vor fi referite generic în lucrare în continuare ca entitate) să se definească în prealabil, stările de funcționare și stările de defectare și să se identifice cauzele acestora din urmă. O analiză realistă a defectelor din punctul de vedere al disponibilității / fiabilității unui sistem implică examinarea entităților de la fiecare nivel specificat în figura 2.4.1.1. [Gob 95].

## 2.2. Indicatori fundamentali de calitate ai entităților nereparabile

### 2.2.1. Funcția de fiabilitate

Din punct de vedere matematic funcția de fiabilitate  $R(t)$  este probabilitatea  $P_{fm}$  asociată momentului  $t$ , ca o componentă să funcționeze neîntrerupt în intervalul  $(0,t)$ . Altfel spus,  $R(t)$  este probabilitatea ca timpul  $T$  la care apare defectarea să fie mai mare decât  $t$  [Mar 95]:

$$R(t) = P_{fm}(T > t)$$

Proprietățile caracteristice ale funcției de fiabilitate sunt următoarele:

$$R(0) = R(t)|_{t=0} = 1 \quad (2.2.1.1)$$

$$0 \leq R(t) \leq 1, \quad \forall t \quad (2.2.1.2)$$

$$R_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0 \quad (2.2.1.3)$$

Ele exprimă următoarele aspecte: *i)* o entitate (sistem/componentă/element) nouă funcționează corespunzător la momentul  $t=0$ , (2.2.1.1); *ii)* odată cu trecerea timpului probabilitatea ca ea să fie funcțională scade (2.2.1.2); *iii)* în final defectându-se (2.2.1.3).

Funcția de fiabilitate este un indicator al sistemelor cu entități nereparabile, adică al sistemelor care trebuie să fie funcționale și să opereze continuu fără a se defecta.

În general sistemele de reglare fac parte din categoria sistemelor reparabile, iar pentru astfel de sisteme sunt relevanți alți indicatori.

Indiferent de faptul că un sistem este reparabil sau nu, el trebuie să prezinte un nivel ridicat de siguranță în funcționare și de securitate. *Calitativ*, conceptul de *siguranță în funcționare* se referă la lipsa de defectiuni cu consecințe periculoase pentru sistem și mediu. *Cantitativ*, conform definiției date de [Joh 89] siguranța este probabilitatea ca la

momentul de timp  $t$ , sistemul să funcționeze corect, sau să își întrerupă funcționarea într-o manieră care să nu afecteze funcționarea altor sisteme sau să pună în pericol siguranța personalului aflat în contact direct sau indirect cu sistemul, adică sistemul să se dezactiveze fără a produce pagube majore.

Un sistem automat, în particular un sistem de reglare, cu un nivel ridicat de *siguranță în funcționare* este un sistem care, pe de o parte, este conceput astfel încât să diminueze efectul oricărei defecțiuni, iar pe de altă parte, să detecteze defecțiunile periclitante și să inițieze dezactivarea sistemului în timp minim la apariția oricărui defect periclitant; astfel pagubele devenind minime [Gab 97].

În domeniul IT securitatea unei entități, se poate defini ca abilitatea acesteia de a se autoproteja împotriva cererilor neautorizate de informație despre entitate sau împotriva utilizării neautorizate a resurselor sale, dar în același timp include abilitatea de a evita modificarea neautorizată a structurii entității. Generalizând, securitatea anterior definită o putem numi și securitate fizică a unei entități.

Sistemele de reglare trebuie să asigure funcția de reglare în condiții de siguranță în funcționare ridicată dar în același timp și de securitate fizică maximă [Fra 02].

### 2.2.2 Funcția de nonfiabilitate

Funcția de nonfiabilitate  $F(t)$  este o măsură a defectării și pune în evidență lipsa de fiabilitate a unei entități [Mar 95].

Prin definiție funcția de nonfiabilitate reprezintă probabilitatea  $P_{def}$  ca entitatea să se defecteze în intervalul  $(0, t)$ .

$$F(t) = P_{def}(T \leq t) \quad (2.2.2.1)$$

Deoarece probabilitatea ca o entitate să se defecteze în intervalul  $(0, t)$  este complementara probabilității evenimentului ca acesta să nu se defecteze în același interval de timp, întrucât entitatea există fie într-o stare fie în cealaltă stare, sunt adevărate relațiile:

$$R(t) + F(t) = 1 \quad , \quad R(t) = 1 - F(t). \quad (2.2.2.2)$$

Proprietățile funcției de nonfiabilitate sunt următoarele:

$$F(0) = F(t) |_{t=0} = 0 \quad (2.2.2.3)$$

$$0 \leq F(t) \leq 1 \quad , \quad \forall t \quad (2.2.2.4)$$

$$F_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1 \quad (2.2.2.5)$$

Valoare inițială a funcției de nonfiabilitate este 0 la momentul  $t=0$  (2.2.2.3), când componenta e funcțională, și crește în timp (2.2.2.4) până la valoarea 1 (2.2.2.5).

### 2.2.3 Probabilitate de defectare

Fie  $T_{fd}$  timpul de defectare al unei entități. Probabilitatea de defectare a entității este un concept asociat unui interval de timp de operare fixat  $(t_1, t_2)$  definit cantitativ prin probabilitatea  $P_{def}(t_1, t_2) = P_{def}(t_1 < T_{fd} \leq t_2)$  (notații echivalente). Definind consecutiv funcția de densitate de probabilitate  $f(t)$  a timpului de defectare  $T_{fd}$  [Ben 99],[Gob 95] prin relația:

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{def}(t < T_{fd} \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (2.2.3.1)$$

probabilitatea de defectare pe intervalul  $(t_1, t_2)$  este  $P_{def}(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt$ .

Funcția  $f(t)$  se poate interpreta totodată și ca densitate de probabilitate a timpului de funcționare până la defectare, furnizând o modalitate de evaluare a dinamicii nonfiabilității de forma sau a fiabilității de forma [Mar 95]:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}, \quad f(t) = -\frac{dR(t)}{dt}. \quad (2.2.3.2).$$

Practic densitatea de probabilitate a timpului de funcționare până la defectare  $T_{fd}$  caracterizează viteza de reducere a posibilității de funcționare fără defectări a entităților supuse testării, respectiv viteza de creștere a defectărilor.

În contextul de mai sus între  $f(t)$  și  $F(t)$ , respectiv  $f(t)$  și  $R(t)$  sunt valabile relațiile de legătură:

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (2.2.3.3)$$

În consecință sunt valabile și relațiile:

$$P_{def}(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt = F(t_2) - F(t_1)$$

$$P_{def}(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt = R(t_1) - R(t_2) \quad (2.2.3.4)$$

#### 2.2.4. Intensitatea (rata) de defectare

Rata de defectare instantanee sau intensitatea de defectare  $\lambda(t)$  este probabilitatea ca o entitate care a funcționat fără defecțiuni până la momentul  $t$  să se defecteze în intervalul infinitesimal  $[t, t+\Delta t]$ :  $\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T_{df} \leq t + \Delta t | T_{df} > t)}{\Delta t}$ . Ea reprezintă un indicator temporal local al fiabilității.

Din punct de vedere statistic  $\lambda(t)$  se determină considerând inițial un număr  $N_{total}$  de entități testate din care la momentul  $t$  sunt funcționale  $N(t)$  iar la momentul  $t+\Delta t$  funcționează  $N(t+\Delta t)$ , ca limită a raportului din relația (2.2.4.1).

$$\lambda(t) = \lim_{\substack{\Delta t \rightarrow 0 \\ N_{total} \rightarrow \infty}} \frac{N(t+\Delta t) - N(t)}{N_{total} \Delta t} = \lim_{\substack{\Delta t \rightarrow 0 \\ N_{total} \rightarrow \infty}} \frac{N(t+\Delta t) - N(t)}{\Delta t} \quad (2.2.4.1)$$

Intensitatea de defectare este legată de  $f(t)$ ,  $R(t)$ ,  $F(t)$  prin egalitățile [Joh 89]:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (2.2.4.2)$$

În majoritatea cazurilor pentru variația tipică a intensității de defectare în raport cu timpul se pot evidenția trei intervale distincte [Gob 95], [Joh 89], [Mar 95] (curba în formă de vană) :

- intervalul defectărilor timpurii - în care apar defectări premature cu frecvență ridicată, datorită defectelor ascunse care apar după un scurt timp de funcționare,
- intervalul defectărilor de intensitate constantă (perioada de maturitate) – care reprezintă perioada în care defectările au un caracter aleator cu o intensitate relativ scăzută și stabilă,
- intervalul defectărilor târzii – caracterizat printr-o creștere bruscă a intensității de defectare, cauzată de uzura elementelor.

În perioada de maturitate, când  $\lambda$  este constantă, densitatea de probabilitate a timpilor de funcționare până la defectare, fiabilitatea și nonfiabilitatea sunt date de expresiile exponențiale:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.2.4.3)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.2.4.4)$$

În practică se utilizează intensitatea / rata medie de defectare notată cu  $\lambda$ , mărime care poate fi determinată pe bază de teste cu relația [Ben 99]:

$$\bar{\lambda} = \frac{N_{defecte}}{N \cdot T_{total} - N_{defecte} \cdot MDT} = \frac{1}{MTBF} \quad (2.2.4.5)$$

în care  $N_{defecte}$  reprezintă numărul de entități defecte la încheierea duratei de testare  $T_{total}$ , număr cărui îi corespunde timpul mediu de defectare  $MDT$  pe baza monitorizării a  $N$  entități. Valoarea lui  $\bar{\lambda}$  se utilizează în formulele în care apare rata instanței  $\lambda$  în ipoteza că  $\lambda(t) = \bar{\lambda} = const.$

Datele corespunzătoare intensităților medii sunt colectate în baze de date (de exemplu baza de date referitoare la intensitățile medii de defectare a instrumentelor de măsurare a SRS - Systems Reliability Service din UK) pentru a fi utilizate în analize de fiabilitate / disponibilitate pentru diverse tipuri de entități [Ben 99], [Lei 95].

### 2.2.5. Timp mediu de funcționare până la defectare (MTTF)

Timpul mediu de funcționare până la defectare (MTTF) este unul dintre cei mai utilizați indicatori de fiabilitate și reprezintă speranța matematică a timpului de funcționare neîntreruptă  $T$  (figura 2.2.5) [Gob 95], [Joh 89].

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.2.5.1)$$

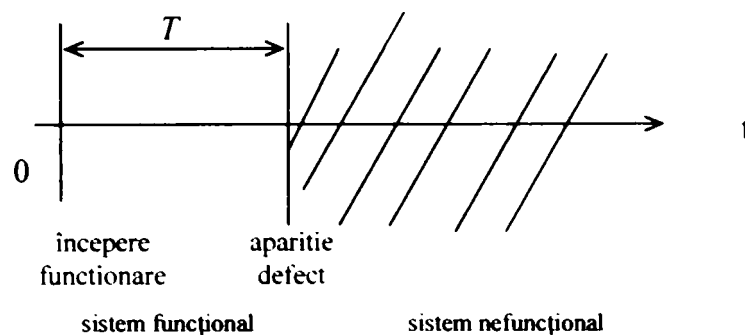


Figura 2.2.5. Interpretarea timpului de funcționare la entități nereparabile.

În condițiile în care este valabilă expresia lui  $R(t)$  din (2.2.4.4), relația (2.2.5.1) conduce la formula:

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \quad (2.2.5.2)$$

## 2.3. Indicatori fundamentali de calitate ai entităților reparabile

### 2.3.1. Timp mediu de defectare, timp mediu de reparare (MDT, MTTR)

Analiza procesului de defectare poate fi făcută mai mult sau mai puțin aprofundat. Conceptul fiind legat de entități reparabile, se disting, în mod evident, durate asociate reparării propriu-zise, numite și *durate active* (din punctul de vedere al reparării), precum și durate complementare reparării denumite *durate pasive* (din punctul de vedere al reparării).

Ca urmare, procesului de defectare îi pot fi asociate trei variabile aleatoare de tip timp, pe de o parte timpul de defectare  $T_{def}$ , iar pe de altă parte componentele lui: timpul activ de reparare  $T_{rep}$ , și timpul pasiv de reparare  $T_{pr}$ . Întrucât primul caracterizează ansamblul iar ceilalți doi părțile componente rezultă că doar doi dintre acești timpi sunt independenți. Lor le corespund speranțele matematice  $MDT$ ,  $MTTR$  și  $MTPR$  legate prin relația:

$$MDT = MTTR + MTPR. \quad (2.3.1.1)$$

Notă:

Terminologia folosită în literatură, vis-a-vis de acest proces, nu este unitară <sup>\*)</sup>. Ca surse de referință reprezentative pentru modurile de abordare se consideră lucrările lui Bentley [Ben 99], pe de-o parte, și ale lui Goble [Gob 95] și Johnson [Joh 89], pe de altă parte. Astfel, în timp ce în [Ben 99] sunt evidențiate ambele durate, activă și pasivă, într-un ansamblul denumit „defectare” și care include și repararea, în [Gob 95] se evidențiază numai ansamblul denumit „reparare”, alți termeni fiind omiși. Alinierea mărimilor din (2.3.1.1) la notațiile din [Ben 99] este imediată și ea se realizează folosind în loc de  $MTPR$  diferența  $MDT - MTTR$ . Alinierea aceluiași mărimi la notațiile din [Gob 95], se realizează folosind  $MTTR$  în loc de  $MDT$ .

Terminologia folosită în continuare este cea din relația (2.3.1.1), deci o terminologie foarte apropiată de cea a lui Bentley. Pentru anumite aspecte abordate în continuare vor fi necesare și referiri la rezultate din lucrările [Gob 95] și [Joh 89]. Ele se găsesc în original în Anexa 1, iar aici, în textul de bază, apar folosind notațiile din (2.3.1.1).

<sup>\*)</sup> Aspectul neunității terminologiei din literatură are, practic, un caracter general.



Principalele activități care se identifică în procesul de defectare al unei entități sunt prezentate în figura 2.3.1.1. Ca elementele componente ale timpului de defectare corespunzătoare diferitelor activități se disting [Ben 99]:

- (1) *timpul de conștientizare a defectului* – timpul scurs între apariția defectului și sesizarea defectului;
- (2) *timpul de acces* – timpul scurs între realizarea existenței unui defect și începerea căutării defectului. El include timpul necesar pentru izolarea și asigurarea securității entității, pentru îndepărtarea învelișului sau a altor entități ce o acoperă și pentru conectarea la echipamentul de testare;
- (3) *timpul pentru diagnoză* – timpul necesar pentru a determina tipul defectului, care include timpul necesar pentru colectarea și analizarea datelor, ca și pentru utilizarea schemelor și a procedeele necesare;
- (4) *timpul de logistică* – timpul necesar pentru a asambla elementele componente ale entității respectiv timpul necesar pentru aducerea echipamentului și a personalului necesar remedierii defectului;
- (5) *timpul de reparare / înlocuire* – timpul necesar reparării sau înlocuirii entității;
- (6) *timpul de verificare* - timpul necesar verificării faptului că nu mai sunt condiții de funcționare eronată.

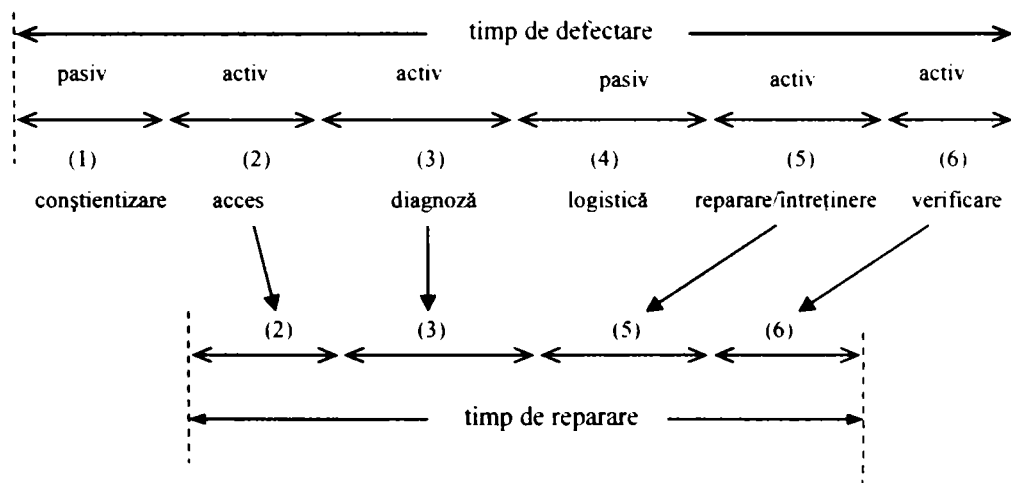


Figura 2.3.1.1. Timpuri de defectare și reparare

Se remarcă ca și componente active activitățile executate în cadrul timpilor (2), (3), (5), (6), cumulate în  $T_{rep}$ , respectiv în  $MTTR$  din relația (2.3.1.1), iar ca și componente pasive activitățile executate în cadrul timpilor (1) și (4) cumulate în  $T_{pr}$  și reprezentate de  $MTPR$ .

### 2.3.2. Intensitate de reparare

La fel ca și intensitatea/rata de defectare  $\lambda$  (vezi punctul 2.2.2.4\*) și intensitatea de reparare  $\mu$ , se poate defini în mod riguros. În mod practic pentru definirea ei se agreează o expresie similară relației (2.2.5.2), de forma:

$$\mu = \frac{1}{MDT}, \quad (2.3.2.1)$$

\* V. pct. 1° din Anexa 1.

645.620

potrivit căreia  $\mu$  reprezintă inversul timpului mediu de defectare (care include repararea ca activitate principală) și se interpretează ca număr de reparații consecutive realizabile succesiv în unitatea de timp [Ben 99].

### 2.3.3 Timp mediu de disponibilitate pentru funcționare (MUT)

Timp mediu de disponibilitate pentru funcționare caracterizează evenimentul „ciclu de funcționare-defectare” caracteristic sistemelor cu entități reparabile (figura 2.3.3.1). El reprezintă valoare medie a variabilei aleatoare timp de funcționare între două defecțiuni  $T_{DD}$  contorizat între momentele de începere a două defecțiuni consecutive. Implicit aceasta indică faptul că sistemul în cauză a funcționat, s-a defectat și ulterior a fost reparat \*\*):

$$MUT = MTBF + MDT \quad (2.3.3.1)$$

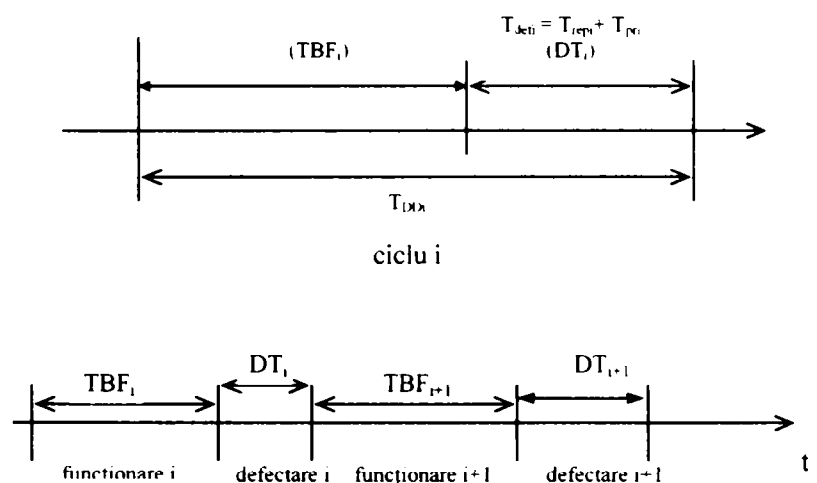


Figura 2.3.3.1. Ciclu funcționare-defectare

MTBF reprezintă timpul mediu de funcționare între două defecțiuni (consecutive) căruia, similar relației (2.2.5.2), i se asociază intensitatea

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (2.3.3.2)$$

Atunci când MDT este mult mai mic decât MTBF (definit anterior ca indicator al entităților nereparabile), se poate aproxima

$$MUT \approx MTBF. \quad (2.3.3.3)$$

Este important de subliniat că relația de aproximare (2.3.3.2) nu trebuie să conducă la confundarea lui MUT cu MTBF, indicator ce poate fi utilizat atât în cazul sistemelor reparabile cât și al celor nereparabile.

\*\* ) V. pct. 2° din Anexa 1.

### 2.3.4 Disponibilitatea

Fiabilitatea este o măsură a funcționării neîntrerupte cu succes a unei entități într-un interval de timp considerat. În urma producerii unei defectări nu se admit reparații ulterioare. Aceasta face ca pentru caracterizarea entităților reparabile să fie necesară utilizarea unui alt indicator, și anume *disponibilitatea*.

Disponibilitatea  $A(t)$  este definită ca probabilitatea de funcționare cu succes la momentul  $t$  a unei entități reparabile în condiții bine definite. În cazul disponibilității nu este important dacă entitatea considerată a fost într-un moment anterior lui  $t$  defectă și ulterior reparată sau dacă a funcționat în mod continuu din momentul  $t=0$  până în prezent, ci faptul că din punct de vedere probabilistic este aptă să funcționeze la momentul  $t$ .

Valoarea disponibilității unui sistem reparabil depinde în mod esențial de intervalul de timp mediu necesar repunerii sale în funcțiune.

Definiția sugerează că disponibilitatea poate fi aproximată ca raport între suma timpilor de funcționare pe intervalul de timp continuu  $[0, t]$  și lungimea  $t$  a acestuia. Deci disponibilitatea reprezintă practic procentul de timp în care sistemul este „gata de a-și executa funcțiile”. Dacă un sistem este pus în funcțiune la momentul inițial  $t_0 = 0$  și are pe intervalul  $[0, t]$  reparații de durată totală  $t_r$ , atunci disponibilitatea asociată momentului  $t$ , este

$$A(t) = \frac{t - t_r}{t}, \quad t > 0 \quad (2.3.4.1)$$

Relația (2.3.4.1) se poate utiliza la determinarea experimentală a disponibilității unui sistem la momente discrete de timp. Potrivit definiției, în cazul elementelor nereparabile disponibilitatea se reduce la fiabilitate,  $A(t)$  fiind egală cu  $R(t)$ .

În cazul entităților reparabile nu se pune problema unei astfel de reduceri. Totuși cele două mărimi pot fi comparate teoretic pe intervale de timp în care entitatea funcționează neîntrerupt admitând rate constante și, corespunzător, descreșteri exponențiale. În aceste cazuri disponibilitatea va fi mai mare sau egală cu fiabilitatea [Gob 95].

În figura 2.3.4 se sugerează în acest context „raportul” dintre disponibilitate și fiabilitate. Momentul  $t_1$  corespunde defectării entității iar  $t_2$  momentul repunerii în funcțiune după reparare. Ca mărime sintetică disponibilitatea ia valori nenule și în intervalul  $[t_1, t_2]$ . În condițiile figurii se poate vorbi despre fiabilitatea entității pe intervalele  $[0, t_1]$  respectiv  $[t_2, \infty]$ . Figura sugerează, totodată faptul că la momentul  $t_2$ , repunerea în funcțiune este în concordanță cu evoluția medie a disponibilității.

Totodată, figura sugerează că, spre deosebire de fiabilitate, care pentru  $t \rightarrow \infty$  ajunge la valoare finală  $R(\infty) = 0$ , disponibilitatea unei entități reparabile ajunge în final la o valoare  $A(\infty) = A_\infty \neq 0$ , care se poate determina cu formula <sup>\*)</sup>:

$$A_\infty = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{\mu}} \quad (2.3.4.2)$$

Cea de a doua relație corespunde folosirii formulelor (2.3.2.1) și (2.3.3.2).

---

<sup>\*)</sup> V. pct. 3° din Anexa 1.

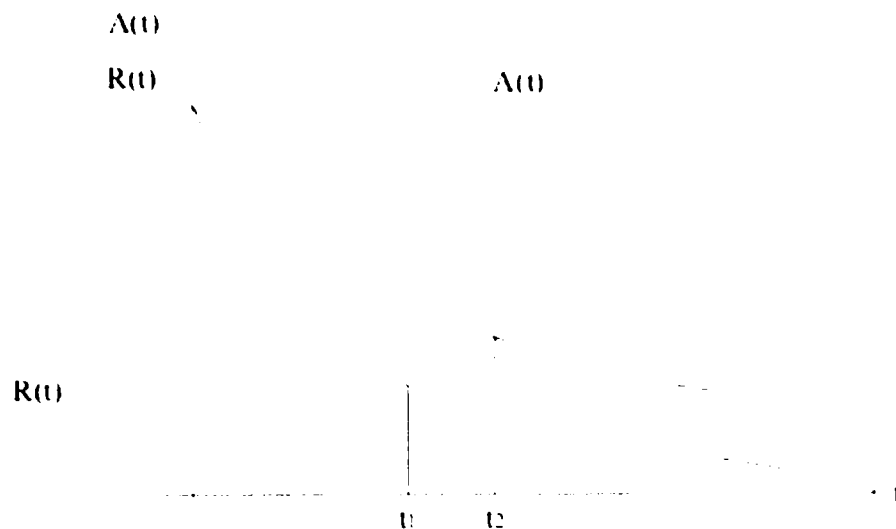


Figura 2.3.4. Disponibilitatea și fiabilitatea unei entități reparabile.

Problema disponibilității, poate fi abordată în particular cu privire la regimul staționar iar în general cu privire la regimul dinamic. În primul caz se folosește formula (2.3.4.2) utilizând parametri MTBF, MDT; se obține așa numita valoare de regim staționar a disponibilității (*steady-state availability* –  $A_{\infty}$ ). În al doilea caz se utilizează modele Markov care, folosind intensități invers proporționale cu MTBF, MDT, conduc pentru  $t \rightarrow \infty$  la o limită de aceeași valoare  $\lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = A_{\infty}$ .

### 2.3.5. Indisponibilitatea

Indisponibilitatea  $U(t)$  este un indicator al defectării utilizat în cazul entităților reparabile definit drept probabilitatea ca o entitate să nu fie gata de funcționare la momentul  $t$ . Pentru indisponibilitatea referindu-se la evenimentul complementar celui la care se referă disponibilitatea, sunt adevărate următoarele relații \*):

$$A(t) + U(t) = 1 \quad (2.3.5.1)$$

$$U = \frac{MDT}{MTBF + MDT} \quad (2.3.5.2)$$

### 2.3.6. Abordarea statistică a problemelor de fiabilitate și disponibilitate

Abordarea pur probabilistică a problemelor de fiabilitate și disponibilitate se bazează pe ipoteza implicită a numărului nelimitat de experimente cu privire la evenimentele caracterizate de variabilele aleatoare de tip timp ( $T$ ,  $T_{rep}$ ,  $T_{def}$ ,  $T_{DD}$ ) sau de alt tip. Pe această bază teoria probabilității furnizează formule de analiză și sinteză pentru procesele aferente.

Din punct de vedere practic, o primă categorie de cazuri o reprezintă cea în care aceste formule se pot aplica, chiar dacă numărul de evenimente monitorizate este finit însă foarte mare, ca urmare a existenței unor baze de date suficient de documentate pentru a furniza valori pentru diverșii parametri, de exemplu intensități de defectare/reparare  $\bar{\lambda}/\bar{\mu}$  utilizabile în ipoteza  $\lambda(t) = \bar{\lambda} = const.$ ,  $\mu(t) = \bar{\mu} = const.$  Existența unor astfel de baze de date (menționate în subcapitolul 2.2.4) este o problemă de cultură a calității.

\* ) V. pct. 4° din Anexa 1.

O a doua categorie de cazuri practice, cea mai larg răspândită, corespunde situațiilor în care nu se dispune de baze de date. În astfel de cazuri specificațiile de calitate se impun diferitelor variabile pe bază de medieri statistice care doar la limită se încadrează exact în teoria probabilității. Practic toate noțiunile anterior definite (punctele 2.2.1 – 2.3.5) au un corespondent statistic care, prin trecere la limită pentru un număr infinit de încercări, conduc exact la noțiunile utilizate.

Abordarea statistică furnizează întotdeauna o aproximare a realității, cu atât mai bună cu cât frecvența de producere a unui proces este mai mare. Acest fapt depinde, evident și de mărimea populației. În cazul unor populații reduse, în particular al unui număr redus de echipamente sau a unui număr redus de evenimente, determinarea corectă a relațiilor de mediere cu valențe statistice devine foarte importantă. În acest context în continuare se discută, cu titlu de exemplu, o relație de calcul a disponibilității indicată în pentru procese care se referă la durata totală de viață a unui sistem.

Diferența de abordare poate fi explicată folosind figurile de pe pagina următoare, în care  $F_i$  = funcționare în ciclul  $i$ ,  $D$  = defectare în ciclul  $i$ .

Cronograma din figura 2.3.6.1 (a) stă la baza abordării din [Joh 89], iar cronograma din figura 2.3.6.1 (b) o corectează pe aceasta.

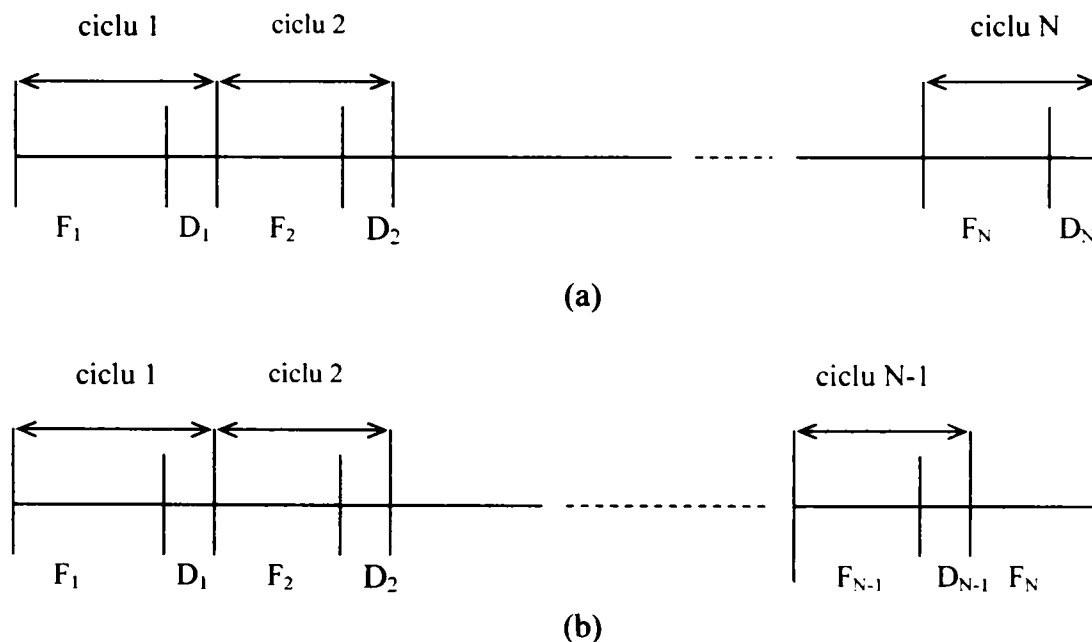


Figura 2.3.6.1. Cronograme funcționare - defectare.

Se observă că singura diferență între cele două cronograme apare în ultimul ciclu, anume cu privire la intervalul  $D_N$ .

Ca valoare medie a disponibilității, pentru cazul din figura 2.3.6.1 (a) extrapolată ca valoare staționară, în [Joh 89] se consideră o formulă de tipul (2.3.4.2) :

$$A(N) = \frac{1}{1 + \frac{\lambda(N)}{\mu(N)}} \quad (2.3.6.1)$$

independentă, în mod explicit, de  $N$ . Implicit, dependența corespunde relațiilor:

$$\bar{\lambda}(N) = \frac{1}{MTBF(N)}, \quad MTBF(N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N TBF_i, \quad \bar{\mu}(N) = \frac{1}{MDT(N)}, \quad MDT(N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N TD_i.$$

Pentru același proces, în figura 2.3.6.1(b) se consideră, în abordarea autoarei, doar N-1 cicluri funcționare/defectare (FD) complete și un ultim interval de funcționare ( $F_N$ ). Ultimul interval de defectare ( $D_N$ ) este exclus deoarece în evaluarea disponibilității acesta nu are sens (orice reparație are sens numai dacă entitatea este ulterior folosită). În acest caz:

$$A(N) = \frac{1}{1 + (1 - \frac{1}{N}) \cdot \frac{\bar{\lambda}(N)}{\bar{\mu}(N)}} \quad (2.3.6.2)$$

relație în care  $\bar{\mu}(N) = \frac{1}{MDT(N)}$ ,  $MDT(N) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} TD_i$ .

Pentru ca rezultatele obținute cu cele două relații (2.3.6.1) și (2.3.6.2) să fie identice este necesar să avem  $\bar{\mu}(N) = \mu(N) \cdot (1 - \frac{1}{N})$ . Prin trecere la limită pentru  $N \rightarrow \infty$  se obține același rezultat. În condițiile unei populații reduse, cum este și cazul aplicațiilor în încălzirea centrala geotermală, trecerea la limită nu mai are sens iar influența lui N devine importantă.

Demonstrația relației (2.3.6.2) este imediată: în contextul Figurii 2.3.6.1. (b) pentru sistemul ce suferă N-1 defectări (a N-a defectare însemnând încheierea perioadei de viață), timpul total în care entitatea este operațională are valoarea de  $N \cdot MTBF$ , iar timpul în care entitatea este în reparație este  $(N-1) \cdot MDT$ . Având în vedere definiția disponibilității rezultă (s-a renunțat la scrierea argumentului N):

$$A(N) = \frac{N \cdot MTBF}{N \cdot MTBF + (N-1) \cdot MDT} = \frac{N \cdot \frac{1}{\lambda}}{N \cdot \frac{1}{\lambda} + (N-1) \cdot \frac{1}{\mu}} \quad (2.3.6.3)$$

Relația (2.3.6.2) este acum evidentă.

### 2.3.7 Disponibilitatea sistemelor reparabile prin înlocuire

Conceptul de sistem reparabil poate fi detaliat distingând 2 tipuri de reparații ale entităților: *reparații propriu-zise* (se soldează cu repunerea în funcțiune a entității defectate după reparare) și *reparații prin înlocuire* (entitatea defectată se înlocuiește cu o altă entitate de rezervă).

Indiferent de tipul reparației, timpul destinat operației de reparare va fi referit ca timp de restabilire ( $t_{res}$ ), în general, și ca timp de reparare, respectiv timp de înlocuire, în particular.

În ceea ce privește disponibilitatea  $A(t)$  și fiabilitatea  $R(t)$  unui sistem cu procese de reparații propriu-zise sunt valabile caracteristicile din figura 2.3.4., asociate de această dată sistemului. În cazul reparațiilor prin înlocuire situația se prezintă ca în figura 2.3.7.1, în care intervalul de timp  $[t_1, t_2]$  are semnificația de timp de reparare prin înlocuire.

În cazul reparațiilor propriu-zise (figura 2.3.4), ca urmare a considerării unei intensități de defectare constantă care include și procesele de reparație, curba disponibilității este continuă. Curba fiabilității, caracterizând sistemul numai pe intervale de funcționare continuă, este o curbă discontinuă, care la orice repunere în funcțiune este supusă unei reinițializări (momentul  $t_2$ ).

Dat fiind faptul că repararea nu vizează decât într-o situație limită întregul sistem, valoarea de reinițializare a fiabilității poate fi egală cu cel mult valoarea disponibilității din momentul reinițializării. Figura este realizată în această ipoteză de caz limită.

În cazul reparațiilor prin înlocuire (figura 2.3.7.1), utilizarea unei entități noi conduce, din momentul introducerii ei (momentul  $t_2$ ), atât la un salt al disponibilității cât și al fiabilității.

Și de data aceasta, noua valoare a fiabilității este cel mult egală cu valoarea disponibilității din momentul  $t_2$ . Figura este concepută corespunzător unei valori mai mici de reinițializare a fiabilității.

Datorită caracterului acoperitor al cazului sistemelor cu reparații propriu-zise pentru o primă aproximare se consideră suficientă situația din figura 2.3.4.

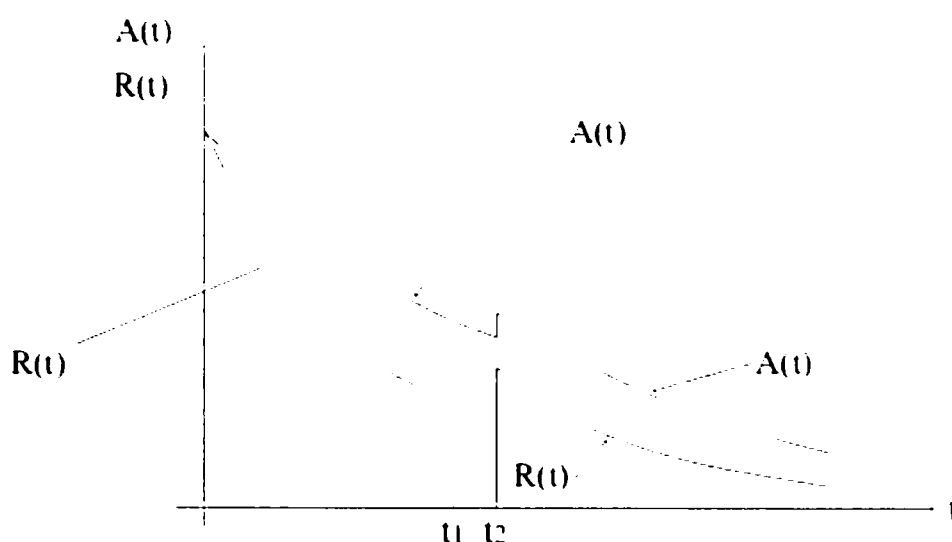


Figura 2.3.7.1. Fiabilitatea și disponibilitatea sistemelor reparabile cu entități înlocuite

## 2.4. Fiabilitatea sistemelor

Analiza fiabilității și disponibilității unui sistem se realizează prin intermediul unei scheme asociate sistemului, denumită la modul general *model de fiabilitate*, schemă care redă intercondiționările funcționale din sistem.

### 2.4.1. Problematika modelelor de fiabilitate

Modelele de fiabilitate ale sistemelor se realizează având în vedere faptul că diferitele funcții pot fi realizate la diferite nivele ierarhice constructive. În general se consideră suficientă definirea a trei nivele ierarhice: componentă – element – sistem (figura 2.4.1.1).

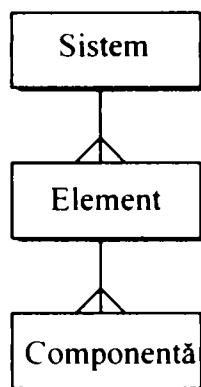


Figura 2.4.1.1. Nivele ierarhizare constructive într-un sistem.

La modul general cele trei nivele ierarhice sunt referite prin termenul “entitate”. În particular, în modelele de fiabilitate ale sistemelor automate, deci și în sistemele de reglare, sunt prezente toate tipurile de entități. Chiar dacă unele sisteme de reglare cuprind din punct de vedere structural și alte nivele, cum este nivelul de subsistem, ierarhia prezentată este suficientă pentru a fi utilizată în cadrul analizei fiabilității sistemelor [Gob 95], [Ben 99].

Entitățile utilizate în cadrul sistemelor de reglare industriale pot fi modelate și descrise din punctul de vedere al fiabilității prin intermediul modelelor de fiabilitate definite în teoria generală a fiabilității: [Vlă 82], [Vlă 89], [Căt1 89], [Căt2 89]. Astfel, se folosesc modele serie, paralel, combinații serie-paralel etc., sensul termenilor “serie” , „paralel” fiind însă complet diferit de cel din teoria sistemelor automate [Dum 93].

Construirea unui model de fiabilitate al unui sistem automat, în particular de reglare, reprezintă un proces complex care implică reconsiderarea interacțiunilor din sistem din punctul de vedere al condiționărilor în funcționare și nu al funcțiilor îndeplinite în cadrul sistemului automat.

Ca exemplu se consideră bucla de reglare convențională din figura 2.4.1.2 în care elementul de comparare (EC) și regulatorul (R) constituie din punct de vedere constructiv o singură entitate [Dra3 04]. Funcționarea buclei este condiționată în afara elementelor P (proces) și M (element de măsurare) de încă trei elemente de interconectare  $cnx(R-P)$ ,  $cnx(P-M)$ ,  $cnx(M-EC)$ .

Schema de fiabilitate asociată buclei de reglare de mai sus are în consecință un aspect serial ca în figura 2.4.1.3.

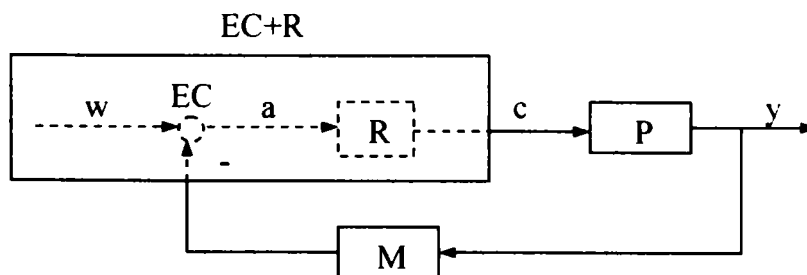


Figura 2.4.1.2. Bucla de reglare convențională.



În vederea creșterii fiabilității sistemului se pot utiliza diferite mijloace. Astfel, prin integrarea lui M cu procesul P într-un singur ansamblu P-M rezultă o schemă cu doar patru entități funcționale: EC+R, cnx(R-P), cnx (P-M), cnx (M-EC).

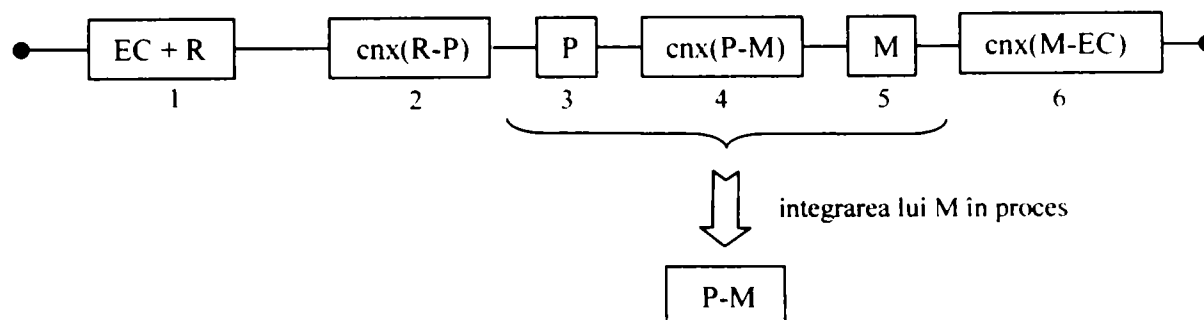


Figura 2.4.1.3. Schema de fiabilitate a buclei de reglare convenționale.

În consecință primul pas în procesul de modelare în vederea calculării fiabilității unui sistem îl reprezintă convertirea sistemului fizic într-o rețea (model) de interconectare și condiționare funcțională a entităților sale. Procesul de creare al rețelei de interconectare este redat în figura 2.4.1.4 [Gob 95].

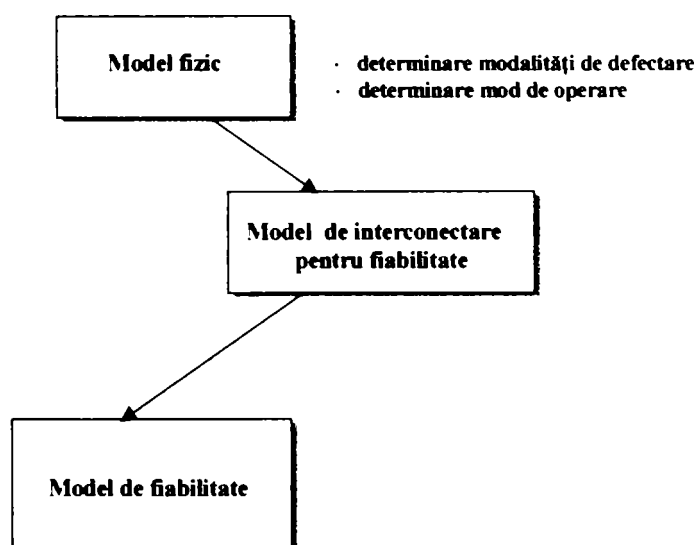


Figura 2.4.1.4. Procesul de sinteză al modelului de fiabilitate

Structura modelului trebuie să constituie rezultatul unei analize clare din punct de vedere calitativ referitoare la modul de operare în condiții normale de funcționare și să surprindă entitățile care prin defectare afectează funcționarea normală a sistemului și determină trecerea acestuia într-o nouă stare.

Potrivit figurii 2.4.1.3 pentru un model de fiabilitate se utilizează ca simboluri dreptunghiuri și linii. Dreptunghiurile semnifică entitățile luate în considerare, iar liniile ce unesc entitățile indică practic dependențe operaționale.

Modul de conectare din cadrul modelului de fiabilitate (MF) construit poate să difere față de modul de conectare al entităților din sistemul fizic.

În momentul în care există un MF pot fi aplicate, potrivit corelațiilor dintre evenimente, regulile probabilistice pentru evaluarea fiabilității sistemului, luându-se în conside-

rare indicatorii de fiabilitate ai entităților din model. În unele cazuri analizate e mai ușor să se opereze în *logică pozitivă* (bazată pe evaluarea stărilor de funcționare), în altele utilizând *logică negativă* (bazată pe evaluarea stărilor de nefuncționare).

În cazul sistemelor nereparabile se urmărește în principal funcția de fiabilitate a sistemului pe când în cazul sistemelor reparabile funcția de disponibilitate [Ben 99], [Joh 89].

## 2.4.2 Modele de fiabilitate

În continuare se prezintă după [Ben 99], [Gob 95], [Mar 95], în mod sintetic, principalele tipuri de modele de fiabilitate care prezintă interes din punctul de vedere al analizei fiabilității subsistemelor din cadrul centralei electrice geotermale.

### 2.4.2.1 Model serie (structură fără redundanțe) - MF serie

Modelul are structura din figura 2.4.2.1, fiind format din  $n$  entități conectate în serie (cascadă) cărora le corespund funcțiile de fiabilitate individuale  $R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_n$ . Sistemul astfel format este funcțional doar dacă fiecare entitate este funcțională.

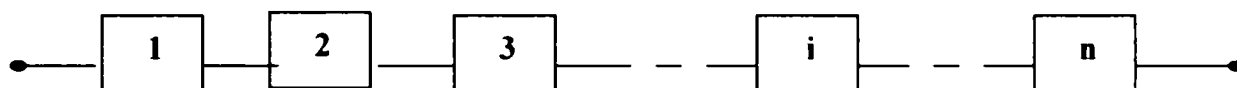


Figura 2.4.2.1. MF serie al unui sistem

În ipoteza că defectarea fiecărei entități este un eveniment independent de defectările celorlalte entități din sistem, fiabilitatea sistemului se obține cu formula:

$$R_{SIST} = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_i \cdot \dots \cdot R_n \quad (2.4.2.1.1)$$

Dacă în plus fiecare entitate  $i$  a structurii este caracterizată printr-o intensitate de defectare constantă  $\lambda_i$ , fiabilitatea întregului sistem este caracterizată de relația:

$$R_{SIST} = e^{-\lambda_{SIST} t}, \quad (2.4.2.1.2)$$

în care

$$\lambda_{SIST} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_i + \dots + \lambda_n \quad (2.4.2.1.3)$$

este intensitatea/rata de defectare a sistemului. Rezultatul arată că în principiu fiabilitatea unui sistem crește pe măsură ce se reduce numărul entităților înseriate.

În cazul în care entitățile au fiabilități mari, foarte apropiate de unitate, se poate utiliza formula de aproximare:

$$R_{SIST} \approx 1 - F_{SIST} \quad (2.4.2.1.4)$$

în care  $F_{SIST} \approx F_1 + F_2 + \dots + F_i + \dots + F_n$ ,  $F_i = 1 - R_i$  reprezentând nonfiabilitatea entității  $i$ .

#### 2.4.2.2. Modele pentru structuri redundante

Redundanța reprezintă mijlocul prin care se mărește gradul de îndeplinire a unei anumite funcții de către un sistem.

Cu toate că literatura de specialitate abundă în prezentarea de exemple de sisteme redundante [Ben 99], [Gob 95], [Lei 95], [Mar 95], [Băj 97] se constată că sistematizarea acestora nu este realizată în mod unitar, nici la nivelul celor mai utilizate structuri, atât din punctul de vedere al fiabilității cât și al disponibilității.

De aceea s-a considerat necesară o sistematizare și o prezentare din perspectiva autoarei a tipurilor de sisteme redundante precum și a modului de calcul al fiabilității

Se constată neomogenitatea termenilor utilizați precum și a faptul că fiecare autor prezintă din propria perspectiva ceea ce consideră necesar, fără a atinge toate situațiile posibile existente și fără a defini clar conceptele și manierele de implementare.

Rezultatul este prezentat în tabelul ce urmează. Acesta conține modurile de tratare de către diferiți autori a problemei fiabilității, respectiv disponibilității sistemele redundante.

La un studiu atent se constată faptul că utilizând aproximări adecvate, marea majoritate a cazurilor prezentate se reduc la cele din primele 3 linii ale tabelului, corespunzătoare lui [Ben 99] chiar dacă denumirile diferă. Deci cazurile prezentate, se pot reduce la următoarele:

- redundanță *activă totală* (pct. 1 din tabel)
- redundanță *activă m din n*, care se poate transforma în *redundanță activă majoritară* și poate fi considerată ca un caz particular al redundanței active m din n (pct.2 din tabel)
- redundanță *pasivă / standby* (pct.3 din tabel)

Doar ultimele linii ale tabelului nu se încadrează în mod direct în cazurile de mai sus. Se poate arăta că și ele pot fi asimilate punctului 2 din tabel, fiind cazuri particulare, mai speciale.

Din punctul de vedere al disponibilității tabelul documentează o abordare și mai lacunară (coloana 10) sugerând existența a numeroase probleme deschise. Din această perspectivă au rezultat ca necesare considerentele, prezentate în secțiunea 2.4.4., referitoare la analiza disponibilității unor structuri redundante folosind modele Markov. Ele sunt bazate pe lucrările [Dra1 04], [Dra2 04] elaborate cu contribuția autoarei.

Fundamentarea teoretică a diferitelor structuri redundante folosind modele Markov reprezintă o preocupare de actualitate. În [Jia 95] și [Beh 95] se discută o serie de aspecte particulare ale disponibilității sistemelor cu entități redundante și se prezintă metode de calcul, mai puțin aspecte de implementare.





11.	Băjenescu	redundanta de rezerva (de comutare sau în așteptare)	n	1	Idem pct.3	se utilizează o entitate de comutare care poate fi funcțională sau în așteptare	Idem pct.3	Idem pct.3 sau se înlocuiește entitatea	-	-	redundanța în așteptare = redundanța pasivă ca la pct. 3
12.	Băjenescu	redundanța optimă	realizează simultan maximizare fiabilitate (pentru un număr dat de entități) și minimizare volum , costuri (pentru o fiabilitate impusa și un număr impus de entități)								
13.	Martinescu	redundanța dinamică activă de p prin n entități sau redundanța caldă	n	Idem pct.2 dacă m=p	Idem pct.2 dacă m=p	-	Idem pct.2	Idem pct.2	-	-	redundanța caldă = asimilat ca alt tip de redundanță activă ca la pct.2
14.	Martinescu	redundanța dinamică pasivă de p prin n entități sau redundanța rece	n	p	toate cele n-p entități înlocuite sunt declarate defecte	din cele n entități p sunt funcționale iar n-p entități în așteptare	Idem. pct3 col.(8)	nu se fac referiri	-	-	redundanța rece = cel puțin p entități funcționale în orice moment din totalul celor n entități funcționale sau în așteptare apte să asigure funcția sistemului
15.	Martinescu	redundanța statică sau redundanța majoritară	n impar p = (n+1)/2	nu se specifica	nu se specifica	utilizare entitate de votare care funcționează pe baza unei majorități de entități funcționale	nu se fac referiri	nu se fac referiri	-	-	redundanța statică = o majoritate a entităților funcționale în orice moment din totalitatea entităților funcționale apte să asigure funcția sistemului

### 2.4.2.3. Modele pentru structuri hibride

Structurile hibride sunt structuri care îmbină modele de bază serie și paralel. Principalele tipuri de modele de structuri hibride sunt MF serie-paralel, respectiv MF paralel-serie. Cel de-al doilea atribut al denumirii se referă la sistem iar primul la entitățile componente. Termenul paralel indică caracter redundant.

#### 2.4.2.3.1. MF serie-paralel

Modelul se referă la o structură cu  $n$  subsisteme în paralel destinate îndeplinirii aceleiași funcții. În figura 2.4.2.3.1 se prezintă o structură particulară caracterizată de faptul că cele  $n$  subsisteme sunt identice și sunt formate, fiecare, din  $m$  entități conectate în serie.

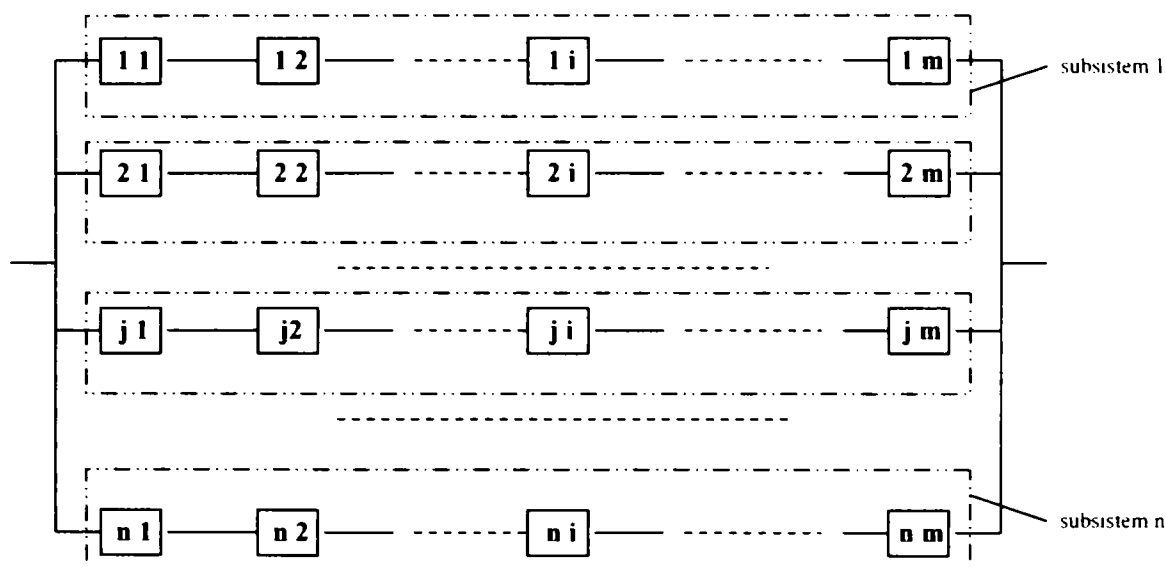


Figura 2.4.2.3.1. MF serie-paralel al unui sistem.

În cazul în care  $R_{ij}$  este fiabilitatea entității  $i$  din subsistemul  $j$ , fiabilitatea subsistemului  $j$  este caracterizată de relația:

$$R_j = R_{j1} \cdot R_{j2} \cdot \dots \cdot R_{ji} \cdot \dots \cdot R_{jm} = \prod_{i=1}^{i=m} R_{ji} \quad (2.4.2.3.1)$$

Corespunzător, nonfiabilitatea unui subsistem este:

$$F_j = 1 - \prod_{i=1}^{i=m} R_{ji} \quad (2.4.2.3.2)$$

iar fiabilitatea întregului sistem se determină utilizând relația:

$$R_{SIST} = 1 - F_{SIST} = 1 - \prod_{j=1}^{j=n} [1 - \prod_{i=1}^{i=m} R_{ji}] \quad (2.4.2.3.3)$$

#### 2.4.2.3.2. MF paralel-serie

Acest model (figura 2.4.2.3.2) se referă la conectarea a  $m$  subsisteme în serie, fiecare subsistem fiind realizat utilizând  $n_i$ ,  $i=1; m$  entități conectate în paralel. În acest caz redundanța se asigură la nivel de entitate.

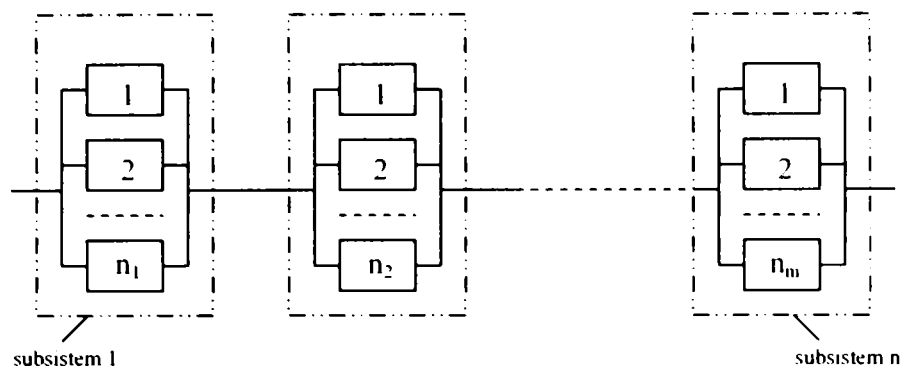


Figura 2.4.2.3.2. MF paralel-serie al unui sistem.

Fiabilitatea unui astfel de sistem este dată de relația:

$$R_{SIST} = \prod_{i=1}^m R_i, \quad (2.4.2.3.4)$$

unde  $R_i = R_{p,oon}$  este fiabilitatea subsistemului  $i$ , asociată cu condiția „de  $p_i$  din  $n_i$  entități”. Evident,  $R_i$  poate avea alte interpretări.

### 2.4.3 Disponibilitatea sistemelor reparabile

Deoarece disponibilitatea unui sistem reparabil se exprimă prin probabilitatea ca sistemul să fie în gata de funcționare, calcularea disponibilității structurilor serie și respectiv paralel, atunci când se cunosc disponibilitățile entităților componente este, în ipoteze identice de dependență sau independență a evenimentelor, similară cu calcularea fiabilității.

Astfel, pentru o structură serie formată din  $m$  entități componente cărora le corespund disponibilitățile individuale  $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m$ , disponibilitatea sistemului este produsul disponibilităților individuale:

$$A_{SIST} = A_1 A_2 A_3 \dots A_i \dots A_m. \quad (2.4.3.1)$$

Atunci când entitățile sunt caracterizate de o valoare a disponibilității apropiată de 1, indisponibilitățile individuale au valori mici, iar indisponibilitatea structurii seriale se poate aproxima cu formula:

$$U_{SIST} = U_1 + U_2 + \dots + U_i \dots + U_m. \quad (2.4.3.2)$$

Pentru o structură paralel cu  $n$  entități având indisponibilitățile individuale  $U_1, U_2, \dots, U_j, \dots, U_n$ , indisponibilitatea sistemului este:

$$U_{SIST} = U_1 U_2 U_3 \dots U_j \dots U_n. \quad (2.4.3.3)$$

În cazul unui sistem cu vot majoritar  $m$  din  $n$  indisponibilitatea sistemului se poate calcula utilizând expresia binomială  $(A+U)^n$ .

Formulele de mai sus sunt valabile atât în regimuri dinamice cât și în regimuri staționare.

În regim staționar disponibilitatea și indisponibilitatea unui sistem reparabil pot fi determinate utilizând relațiile specificate în subcapitolul anterior [Ben 99] corelate cu cele specificate în Anexa 1 [Joh 89], [Gob 95], [Mar 95]:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MDT}, \text{ respectiv } U = \frac{MDT}{MTBF + MDT}. \quad (2.4.3.4)$$



Pentru regimuri dinamice disponibilitatea sistemelor cu entități reparabile se calculează folosind tehnici de analiză Markov, iar valorile staționare se obțin prin trecere la limită pentru  $t \rightarrow \infty$  în suma probabilităților stărilor de disponibilitate. De exemplu o entitate reparabilă cu intensitatea/rata de reparare  $\lambda$  și intensitatea/rata de reparare  $\mu$ , are doar două stări: starea "0", funcțională, de probabilitate  $P_0(t)$  și starea "1", de reparare, de probabilitate  $P_1(t)$ . Deoarece doar starea "0" este stare de disponibilitate avem [Joh 89], [Gob 95]:

$$A_x = \lim_{t \rightarrow \infty} P_0(t) = P_0(\infty) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} . \quad (2.4.3.5)$$

Analog, indisponibilitatea în stare staționară  $U_\infty$  este dată de relația:

$$U_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} P_1(t) = P_1(\infty) = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} . \quad (2.4.3.6)$$

#### 2.4.4 Sisteme redundante k reparabile

Prin sistem redundant k reparabil se înțelege o structură redundantă de tip paralel cu k entități mutual independente, fiecare reparabilă.

Aspectele dezvoltate în cadrul acestui paragraf au făcut obiectul lucrărilor [Dra1 04], [Dra2 04], scrise în colaborare.

##### 2.4.4.1 Calculul disponibilității sistemelor redundante k reparabile.

În figura 2.4.4.1 este reprezentată o structură redundantă cu k entități reparabile. Structura se poate găsi în una dintre cele k stări notate cu ①, ②, ..., ⑤. S-au notat cu  $\lambda_{i,i+1}$ ,  $i=0, 1, 2, \dots, k-1$ , intensitățile de defectare corespunzătoare tranzițiilor din starea ① în starea ② și cu  $\mu_{i+1,i}$  intensitățile de reparare corespunzătoare tranzițiilor din starea ② în starea ①. Cele 2 k intensități se consideră cunoscute.

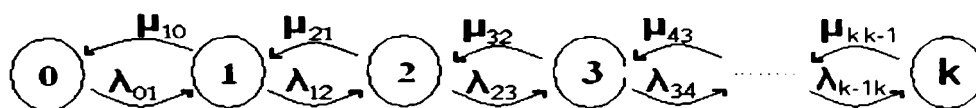


Figura 2.4.4.1. Structura redundantă cu k entități reparabile.

Procesele tranzitorii asociate probabilităților celor k+1 stări prezentate în figura 2.4.4.1 pot fi descrise de următoarele ecuații:

$$\begin{aligned}
 P_0(t + \Delta t) &= P_0(t)(1 - \lambda_{01}\Delta t) + P_1(t)\mu_{10}\Delta t \\
 P_1(t + \Delta t) &= P_0(t)\lambda_{01}\Delta t + P_1(t)(1 - \mu_{10}\Delta t)(1 - \lambda_{12}\Delta t) + P_2(t)\mu_{21}\Delta t \\
 P_2(t + \Delta t) &= P_1(t)\lambda_{12}\Delta t + P_2(t)(1 - \mu_{21}\Delta t) + P_3(t)\mu_{32}\Delta t \\
 P_3(t + \Delta t) &= P_2(t)\lambda_{23}\Delta t + P_3(t)(1 - \mu_{32}\Delta t) \\
 &\dots\dots\dots \\
 P_i(t + \Delta t) &= P_{i-1}(t)\lambda_{i-1,i}\Delta t + P_i(t)(1 - \mu_{i,i-1}\Delta t)(1 - \lambda_{i,i+1}\Delta t) + P_{i+1}(t)\mu_{i+1,i}\Delta t \\
 &\dots\dots\dots \\
 P_k(t + \Delta t) &= P_{k-1}(t)\lambda_{k-1,k}\Delta t + P_k(t)(1 - \mu_{k,k-1}\Delta t)
 \end{aligned} \quad (2.4.4.1)$$

Prin trecere la limită pentru  $\Delta t \rightarrow 0$  obținem modelul Markov.

$$\begin{cases} \dot{P}_0(t) = -\lambda_{01}P_0(t) + \mu_{10}P_1(t) \\ \dot{P}_1(t) = \lambda_{01}P_0(t) - (\lambda_{12} + \mu_{10})P_1(t) + \mu_{21}P_2(t) \\ \dot{P}_2(t) = \lambda_{12}P_1(t) - (\mu_{21} + \lambda_{23})P_2(t) + \mu_{32}P_3(t) \\ \dots \\ \dot{P}_i(t) = \lambda_{i-1,i}P_{i-1}(t) - (\mu_{i,i-1} + \lambda_{i,i+1})P_i(t) + \mu_{i+1,i}P_{i+1}(t) \\ \dots \\ \dot{P}_k(t) = \lambda_{k-1,k}P_{k-1}(t) - \mu_{k,k-1}P_k(t) \end{cases} \quad (2.4.4.2)$$

Adunând membru cu membru aceste relații se obține :

$$\dot{P}_0(t) + \dot{P}_1(t) + \dot{P}_2(t) + \dots + \dot{P}_k(t) = 0 \quad (2.4.4.3)$$

Întrucât existența ansamblului este o certitudine din relația (2.4.4.3) rezultă:

$$P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + \dots + P_k(t) = 1 \quad (2.4.4.4)$$

Funcțiile  $P_i(t)$  se obțin integrând sistemul (2.4.4.2) pe intervalul  $(0,t)$  pentru condiții inițiale adecvate. În regim staționar, s-a notat cu  $P_{i,\infty}$  valoarea staționară a probabilității  $P_i(t)$ , iar ecuațiile (2.4.4.2) devin:

$$\begin{cases} -\lambda_{01}P_{0\infty} + \mu_{10}P_{1\infty} = 0 \\ \lambda_{01}P_{0\infty} - (\lambda_{12} + \mu_{10})P_{1\infty} + \mu_{21}P_{2\infty} = 0 \\ \lambda_{12}P_{1\infty} - (\mu_{21} + \lambda_{23})P_{2\infty} + \mu_{32}P_{3\infty} = 0 \\ \dots \\ \lambda_{i-1,i}P_{i-1\infty} - (\mu_{i,i-1} + \lambda_{i,i+1})P_{i\infty} + \mu_{i+1,i}P_{i+1\infty} = 0 \\ \dots \\ \lambda_{k-1,k}P_{k-1\infty} - \mu_{k,k-1}P_{k\infty} = 0 \end{cases} \quad (2.4.4.5)$$

Totodată, din relația (2.4.4.4) rezultă:

$$P_{0\infty} + P_{1\infty} + P_{2\infty} + \dots + P_{i\infty} + \dots + P_{k\infty} = 1. \quad (2.4.4.6)$$

Din (2.4.4.5) se obțin expresiile:

$$\left. \begin{aligned}
 P_{1\infty} &= P_{0\infty} \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \\
 P_{2\infty} &= P_{0\infty} \frac{\lambda_{01}\lambda_{12}}{\mu_{10}\mu_{21}} \\
 P_{3\infty} &= P_{0\infty} \frac{\lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}}{\mu_{10}\mu_{21}\mu_{32}} \\
 &\dots \\
 P_{i\infty} &= P_{0\infty} \frac{\lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}\dots\lambda_{i-1,i}}{\mu_{10}\mu_{21}\mu_{32}\dots\mu_{i-1,i}} \\
 &\dots \\
 P_{k\infty} &= P_{0\infty} \frac{\lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}\dots\lambda_{i-1,i}\dots\lambda_{k-1,k}}{\mu_{10}\mu_{21}\mu_{32}\dots\mu_{i-1,i}\dots\mu_{k-1,k}}
 \end{aligned} \right\} (2.4.4.7)$$

Valorile de regim staționar  $P_{0\infty}, P_{1\infty}, P_{2\infty}, \dots, P_{k\infty}$  se obțin rezolvând sistemul alcătuit din ecuațiile (2.4.4.6) și (2.4.4.7). Rezultă:

$$P_{i\infty} = \frac{a_i}{\sum_{j=0}^k a_j}, \quad i = 0; k \quad (2.4.4.8)$$

unde:

$$a_i = \lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}\dots\lambda_{i,i-1}\mu_{i+1,i}\mu_{i,i-1}\dots\mu_{k,k-1}, \quad i=0; k \quad (2.4.4.9)$$

Odată determinate probabilitățile  $P_i(t)$ ,  $i=0; k$  sau  $P_{i\infty}$ ,  $i=0; k$ , disponibilitatea staționară se obține prin însumarea primelor  $k$  probabilități:

$$\begin{aligned}
 A(t) &= P_0(t) + P_1(t) + \dots + P_{k-1}(t) \\
 A_\infty &= P_{0\infty} + P_{1\infty} + \dots + P_{k-1,\infty}
 \end{aligned} \quad (2.4.4.10)$$

Evident indisponibilitățile se obțin cu formulele:

$$\begin{aligned}
 U(t) &= 1 - A(t) = P_k(t), \\
 U_\infty &= 1 - A_\infty = P_{k,\infty}.
 \end{aligned} \quad (2.4.4.11)$$

#### 2.4.4.2 Metodă de determinare a intensităților $\lambda_{i,i+1}$ și $\mu_{i+1,i}$ în cazul unei structuri cu entități identice

În cazul unei singure entități reparabile când sistemul se poate găsi doar în două stări, ① și ②, dacă intensitățile de defectare și reparare sunt  $\lambda$  și  $\mu$ , rezultă  $a_0 = \mu$ ,  $a_1 = \lambda$  respectiv expresiile cunoscute [Joh 89], [Lei 95]:

$$\tilde{P}_{0\infty} = \frac{\mu}{\lambda + \mu}, \quad \tilde{P}_{1\infty} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (2.4.4.12)$$

Dacă considerăm o structură  $k$  redundantă reparabilă având toate entitățile identice cu cea de mai sus, ținând cont de faptul că evoluția fiecărei entități este independentă de a celorlalte entități din ansamblu, este valabilă următoarea observație:

- În regim staționar probabilitatea ca sistemul să fie în starea  $i$  rezultă din probabilitatea ca oricare  $i$  dintre cele  $k$  entități ale sistemului să fie în starea ① și celelalte  $k-i$  în starea ②

$$P_{i,\sigma} = C_k^i P_{0,\sigma} \underbrace{\dots}_{\text{de } k-i \text{ ori}} P_{0,\sigma} P_{1,\sigma} \underbrace{\dots}_{\text{de } i \text{ ori}} P_{1,\sigma} = C_k^i \frac{\mu^{k-i} \lambda^i}{(\lambda + \mu)^k} \quad (2.4.4.13)$$

Din relațiile (2.4.4.8) și (2.4.4.13) rezultă:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{a_0}{a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_i + \dots + a_k} = \frac{\mu^k}{(\lambda + \mu)^k} \\ \frac{a_1}{a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_i + \dots + a_k} = C_k^1 \frac{\lambda \mu^{k-1}}{(\lambda + \mu)^k} \\ \frac{a_2}{a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_i + \dots + a_k} = C_k^2 \frac{\lambda^2 \mu^{k-2}}{(\lambda + \mu)^k} \\ \dots \\ \frac{a_i}{a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_i + \dots + a_k} = C_k^i \frac{\lambda^i \mu^{k-i}}{(\lambda + \mu)^k} \\ \dots \\ \frac{a_k}{a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_i + \dots + a_k} = C_k^k \frac{\lambda^k}{(\lambda + \mu)^k} \end{array} \right. , i = 0;k \quad (2.4.4.14)$$

Prin împărțiri succesive între relațiile (2.4.4.14), se ajunge la sistemul:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{a_1}{a_0} = \frac{C_k^1 \lambda}{C_k^0 \mu} \\ \frac{a_2}{a_1} = \frac{C_k^2 \lambda}{C_k^1 \mu} \\ \dots \\ \frac{a_{i+1}}{a_i} = \frac{C_k^{i+1} \lambda}{C_k^i \mu} \\ \dots \\ \frac{a_k}{a_{k-1}} = \frac{C_k^k \lambda}{C_k^{k-1} \mu} \end{array} \right. \quad (2.4.4.15)$$

care cu notațiile (2.4.4.9) devine:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} = \frac{k\lambda}{\mu} \\ \frac{\lambda_{12}}{\mu_{21}} = \frac{k-1}{2} \frac{\lambda}{\mu} \\ \dots \\ \frac{\lambda_{i+1}}{\mu_{i+1}} = \frac{C_k^{i+1}}{C_k^i} \frac{\lambda}{\mu} \\ \dots \\ \frac{\lambda_{k-1k}}{\mu_{kk-1}} = \frac{1}{k} \frac{\lambda}{\mu} \end{array} \right. \quad (2.4.4.16)$$

Datorită faptului că sistemul (2.4.4.16) are  $k$  ecuații cu  $2k$  necunoscute este necesar ca un număr de  $k$  intensități diferite de  $\lambda$  și  $\mu$  să fie determinate experimental. În acest scop calculele se realizează în ipoteza că se cunosc intensitățile de reparare  $\mu_{10}, \mu_{21}, \mu_{32}, \dots, \mu_{k,k-1}$  din fiecare relație din (2.4.4.16). Modul de determinare al acestor intensități este prezentat în detaliu în subcapitolul următor. Presupunând că valorile intensităților de reparare mai sus menționate sunt cunoscute, din relațiile (2.4.4.16) rezultă posibilitatea de a determina intensitățile de defectare  $\lambda_{01}, \lambda_{12}, \lambda_{23}, \dots, \lambda_{k-1,k}$  cu relațiile:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_{01} = \frac{k\lambda}{\mu} \mu_{10} \\ \lambda_{12} = \frac{k-1}{2} \frac{\lambda}{\mu} \mu_{21} \\ \dots \\ \lambda_{i+1} = \frac{C_k^{i+1}}{C_k^i} \frac{\lambda}{\mu} \mu_{i+1} \\ \dots \\ \lambda_{k-1k} = \frac{1}{k} \frac{\lambda}{\mu} \mu_{kk-1} \end{array} \right. \quad (2.4.4.17)$$

În consecință toate intensitățile de defectare și de reparare referitoare la structura din figura 2.4.4.1 sunt determinate, iar sistemul (2.4.4.2) poate fi folosit pentru a studia dinamica tranzițiilor.

### 2.4.4.3. Determinarea experimentală a intensităților de reparare

În acest subcapitol se prezintă o modalitate de determinare experimentală a intensităților de reparare  $\mu_{10}, \mu_{21}, \mu_{32}, \dots, \mu_{k,k-1}$ , pentru un sistem redundant  $k$  reparabil.

Din considerente de reducere a densității expunerii se consideră pentru început problema determinării experimentale a intensităților de reparare pentru cazul în care  $k$  are valoarea 2, adică pentru un sistem cu două entități reparabile. Apoi procedeul se va generaliza în vederea determinării intensităților de reparare pentru o structură cu  $k$  entități.

Unui sistem format din două entități reparabile îi corespund tranzițiile prezentate în figura 2.4.4.2:

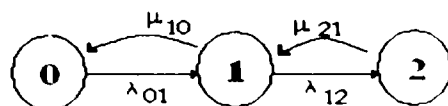


Figura 2.4.4.2. Sistem cu două entități reparabile

Figura 2.4.4.3a prezintă în mod ilustrativ modul de comportare în timp a fiecărei entități, separat, în procesul funcționare-defectare. T este intervalul de timp de monitorizare a entităților.

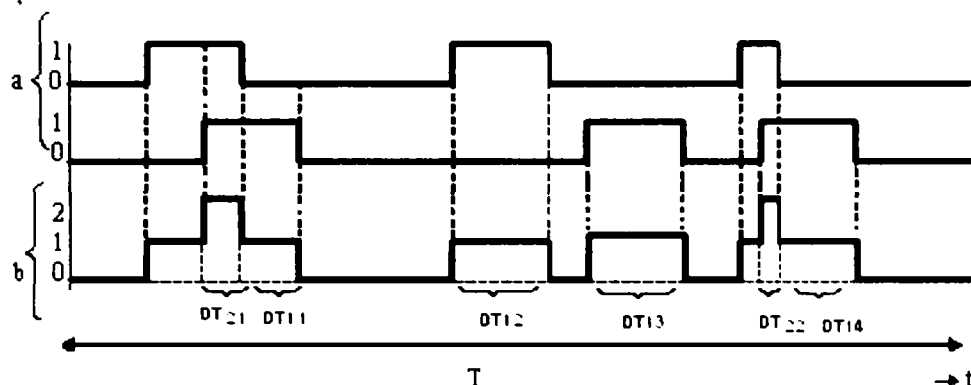


Figura 2.4.4.3. Comportament sistem cu 2 entități reparabile

În figura 2.4.4.3b se urmărește aceeași situație considerând însă ca entitate întregul sistem. În aceste figuri nivelul 0 corespunde stării „sistem funcțional - ambele entități funcționale”, nivelul 1 stării „o entitate funcțională și una în reparare”, nivelul 2 stării „reparare simultană a celor două entități”.

Potrivit datelor din figura 2.4.4.3 se disting două categorii de intervale de timp de defectare (contorizare succesiv pe parcursul intervalului de monitorizare): intervale de forma  $T_{DT_1}$ , când se efectuează operația de reparare, intervale care au ca și consecință trecerea ansamblului din starea ① în starea ② și intervale de forma  $T_{DT_2}$ , când se efectuează operații de reparare care au ca și consecință trecerea ansamblului din starea ② în starea ①.

Fie

$$MDT_1 = \frac{1}{N_{DT_1}} \sum_{i=1}^n T_{DT_1,i} \quad (2.4.4.18)$$

și

$$MDT_2 = \frac{1}{N_{DT_2}} \sum_{j=1}^n T_{DT_2,j} \quad (2.4.4.19)$$

timpii medii de defectare corespunzători celor două șiruri de intervale. Lor le corespund, respectiv, intensitățile de reparare empirice

$$\mu_{10} = \frac{1}{MDT_1} \quad (2.4.4.20)$$

și

$$\mu_{21} = \frac{1}{MDT_2} \quad (2.4.4.21)$$

Valorile  $T_{DT_i}$  și  $T_{DT_{i,j}}$  pot fi determinate practic monitorizând în mod adecvat unul sau mai multe perechi de entități.

Odată determinate experimental, intensitățile de reparare, valorile intensităților de defectare se calculează cu relațiile:

$$\begin{cases} \lambda_{12} = \frac{\lambda}{2\mu} \mu_{21} \\ \lambda_{01} = \frac{2\lambda}{\mu} \mu_{10} \end{cases} \quad (2.4.4.22)$$

care se obțin prin particularizarea relațiilor (2.4.4.17).

Considerând un sistem format din trei entități reparabile, acestuia îi corespund tranzițiile prezentate în figura 2.4.4.4:

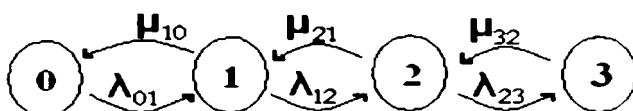


Figura 2.4.4.4. Structura redundată cu 3 entități reparabile

Pe baza raționamentului prezentat în cazul sistemului cu 2 entități reparabile în cazul sistemului cu 3 entități reparabile, sistem prezentat în figura 2.4.4.4, este necesar să se determine experimental următoarele intensități de reparare empirice:  $\mu_{10}$ ,  $\mu_{21}$ ,  $\mu_{32}$ . Ele rezultă în urma monitorizării timpilor de defectare,  $MDT_i$  utilizând relațiile:

$$\mu_{10} = \frac{1}{MDT_1}, \mu_{21} = \frac{1}{MDT_2}, \mu_{32} = \frac{1}{MDT_3} \quad (2.4.4.23)$$

unde  $MDT_i$  reprezintă timpii medii de defectare corespunzători cazului în care  $i$  entități ale sistemului redundat sunt defecte și se pot calcula cu:

$$MDT_1 = \frac{1}{N_{DT_1}} \sum_{j=1}^n T_{DT_{1,j}}, MDT_2 = \frac{1}{N_{DT_2}} \sum_{j=1}^n T_{DT_{2,j}}, MDT_3 = \frac{1}{N_{DT_3}} \sum_{j=1}^n T_{DT_{3,j}}, \quad (2.2.4.24)$$

unde  $T_{Dij}$  se consideră corespunzător intervalelor de timp în care  $i$  din cele  $k$  entități sunt defecte.

Odată determinate experimental intensitățile de reparare empirice:  $\mu_{10}$ ,  $\mu_{21}$ ,  $\mu_{32}$  în cazul sistemului cu 3 entități reparabile, valorile intensităților de defectare se calculează cu relațiile:

$$\begin{cases} \lambda_{23} = \frac{\lambda}{3\mu} \mu_{32} \\ \lambda_{12} = \frac{\lambda}{\mu} \mu_{21} \\ \lambda_{01} = \frac{3\lambda}{\mu} \mu_{10} \end{cases} \quad (2.4.4.25)$$

Considerând cele două cazuri particulare prezentate mai sus corespunzătoare sistemelor cu 2 și respectiv 3 entități reparabile, este ușor de intuit modul în care procedura prezentată se poate generaliza pentru cazul unui sistem cu  $k$  entități reparabile. De data acas-

ta, după monitorizarea timpilor de defectare se determină experimental  $k$  rate de reparare:  $\mu_{10}, \mu_{21}, \mu_{32}, \dots, \mu_{k,k-1}$  cu formula:

$$\mu_{i,i-1} = \frac{1}{MDT_i} \quad , i = 1; k \quad (2.4.4.26)$$

În această formulă  $\mu_{i,i-1}$  reprezintă intensitățile de reparare de la starea ① la starea ①-1, iar

$$MDT_i = \frac{1}{N_{DT_i}} \sum_{j=1}^n T_{DT_i,j} \quad (2.4.4.27)$$

este timpul mediu de defectare corespunzător cazului în care  $i$  entități din cele  $k$  ale sistemului redundant sunt defecte și ca urmare a reparațiilor următoarea stare atinsă de sistem va fi cea cu  $i-1$  entități în stare de reparare, iar timpii  $T_{DT_i,j}$  se consideră corespunzător acelor intervale de timp în care  $i$  entități din  $k$  sunt defecte.

Generalizarea, teoretic simplă și imediată, presupune din punct de vedere practic un efort mult mai mare. Trebuie monitorizate simultan  $k$  entități pe un interval de timp  $T$  suficient de lung pentru ca valorile  $MDT_i$  să fie statistic consistente.

#### 2.4.4.4. Sisteme redundante cu defectări și reparări simultane

Se prezintă în continuare o situație mai complexă decât cea din figura 2.4.4.2. pentru care s-au admis ca posibile numai tranziții de tipul ① → ①-1.

În cazul  $k=2$  (figura 2.4.4.4) cele trei stări posibile ale sistemului sunt identice cu cele prezentate în subcapitolul 2.4.4.1, diferența o reprezintă ipoteza admiterii unor tranziții de pas dublu, de trecere din starea ① în starea ② și invers, adică de trecere din starea ② în starea ①. Fie  $\lambda_{02}$  și  $\mu_{20}$  intensitățile de defectare, respectiv reparare simultană asociate celor două tipuri de tranziții. Corespunzător lor, există probabilitățile  $P_0(t)\lambda_{02}\Delta t$  de tranziție a sistemului din starea ① în ②, respectiv  $P_2(t)\mu_{20}\Delta t$  de tranziție din starea ② în starea ①.

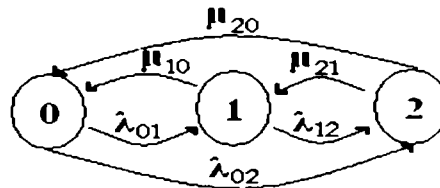


Figura 2.4.4.4. Structură redundantă cu 2 entități reparabile.

Modelul Markov care furnizează procesele tranzitorii asociate probabilităților celor trei stări se deduce din ecuațiile de bilanț:

$$\begin{aligned} P_0(t + \Delta t) &= P_0(t) (1 - \lambda_{01}\Delta t) (1 - \lambda_{02}\Delta t) + P_1(t)\mu_{10}\Delta t + P_2(t)\mu_{20}\Delta t \\ P_1(t + \Delta t) &= P_0(t)\lambda_{01}\Delta t + P_1(t) (1 - \mu_{10}\Delta t) (1 - \lambda_{12}\Delta t) + P_2(t)\mu_{21}\Delta t \\ P_2(t + \Delta t) &= P_0(t)\lambda_{02}\Delta t + P_1(t)\lambda_{12}\Delta t + (1 - \mu_{20}\Delta t) (1 - \mu_{21}\Delta t) P_2(t) \end{aligned} \quad (2.4.4.28)$$

prin trecere la limită pentru  $\Delta t \rightarrow 0$ :



$$\begin{cases} \dot{P}_0(t) = (-\lambda_{01} - \lambda_{02})P_0(t) + \mu_{10}P_1(t) + \mu_{20}P_2(t) \\ \dot{P}_1(t) = \lambda_{01}P_0(t) - (\lambda_{12} + \mu_{10})P_1(t) + \mu_{21}P_2(t) \\ \dot{P}_2(t) = \lambda_{02}P_0(t) + \lambda_{12}P_1(t) - (\mu_{21} + \mu_{20})P_2(t) \end{cases} \quad (2.4.4.29)$$

Și în acest caz existența sistemului fiind o certitudine, din relația (2.4.4.28) rezultă:

$$P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) = 1 \quad (2.4.4.30)$$

În regim staționar ecuațiile (2.4.4.28) corespunzătoare sistemului devin:

$$\begin{cases} -(\lambda_{01} + \lambda_{02})P_{0\infty} + \mu_{10}P_{1\infty} + \mu_{20}P_{2\infty} = 0 \\ \lambda_{01}P_{0\infty} - (\lambda_{12} + \mu_{10})P_{1\infty} + \mu_{21}P_{2\infty} = 0 \\ \lambda_{02}P_{0\infty} + \lambda_{12}P_{1\infty} - (\mu_{21} + \mu_{20})P_{2\infty} = 0 \end{cases} \quad (2.4.4.31)$$

Totodată, din relația (2.4.4.30) rezultă:

$$P_{0\infty} + P_{1\infty} + P_{2\infty} = 1. \quad (2.4.4.32)$$

Determinarea celor trei valori necunoscute de regim staționar  $P_{0\infty}$ ,  $P_{1\infty}$  respectiv  $P_{2\infty}$ , se realizează rezolvând sistemul de ecuații format din (2.4.4.31) și (2.4.4.32), valorile obținute fiind:

$$\begin{cases} P_{0\infty} = \frac{a}{a+b+c} \\ P_{1\infty} = \frac{b}{a+b+c} \\ P_{2\infty} = \frac{c}{a+b+c} \end{cases} \quad \text{unde} \quad \begin{cases} a = \mu_{10}\mu_{21} + \mu_{10}\mu_{20} + \lambda_{12}\mu_{20} \\ b = \lambda_{01}\mu_{21} + \lambda_{02}\mu_{21} + \lambda_{01}\mu_{20} \\ c = \lambda_{12}\lambda_{01} + \lambda_{12}\lambda_{02} + \lambda_{02}\mu_{10} \end{cases} \quad (2.4.4.33)$$

Potrivit (2.4.4.13), pentru  $P_{0\infty}$ ,  $P_{1\infty}$  și  $P_{2\infty}$  sunt valabile și expresiile:

$$\begin{aligned} P_{0\infty} &= \tilde{P}_{0\infty} \tilde{P}_{0\infty} = \frac{\mu^2}{(\lambda + \mu)^2} \\ P_{1\infty} &= 2\tilde{P}_{0\infty} \tilde{P}_{1\infty} = 2\frac{\mu\lambda}{(\lambda + \mu)^2} \\ P_{2\infty} &= \tilde{P}_{1\infty} \tilde{P}_{1\infty} = \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2} \end{aligned} \quad (2.4.4.34)$$

Din relațiile (2.4.4.33) și (2.4.4.34) rezultă egalitățile:

$$\begin{cases} \frac{a}{c} = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 \\ \frac{b}{c} = \frac{2\lambda}{\mu} \\ \frac{a}{b} = \frac{\lambda}{2\mu} \end{cases} \quad (2.4.4.35)$$

din care numai două sunt distincte.

Dacă în ultimele două relațiile (2.4.4.35) se înlocuiesc expresiile din (2.4.4.33) se obține:

$$\begin{cases} \frac{\lambda_{01}\mu_{21} + \lambda_{02}\mu_{21} + \lambda_{01}\mu_{20}}{\lambda_{12}\lambda_{01} + \lambda_{12}\lambda_{02} + \lambda_{02}\mu_{10}} = \frac{2\lambda}{\mu} \\ \frac{\mu_{10}\mu_{21} + \mu_{10}\mu_{20} + \lambda_{12}\mu_{20}}{\lambda_{01}\mu_{21} + \lambda_{02}\mu_{21} + \lambda_{01}\mu_{20}} = \frac{\lambda}{2\mu} \end{cases} \quad (2.4.4.36)$$

În această situație se observă că cele șase intensități de defectare și de reparare care interesează sunt legate doar prin două egalități. Deci din cele șase necunoscute, patru trebuie să se determine experimental. Din considerente de monitorizare se vor determina experimental intensitățile  $\lambda_{02}$ ,  $\mu_{10}$ ,  $\mu_{20}$ ,  $\mu_{21}$ , caz în care celelalte două intensități de defectare  $\lambda_{01}$ ,  $\lambda_{12}$  se calculează din (2.4.4.36).

## 2.5. Defecte, defectare, cauze de apariție a defectelor

Conceptele de defect și defectare, definite în secțiunea 2.1, sunt generale și au o arie de cuprindere practică foarte largă. Ca urmare, pentru o analiză completă a comportării sistemelor din perspectiva siguranței lor în funcționare, este necesar să se realizeze o cât mai corectă identificare a defectelor și a cauzelor acestora, să se identifice dependențele cauzale și să se delimiteze cauzele particulare și de cele comune. Din această perspectivă se dovedește utilă introducerea unor clasificări pe aria *defecte-defectări-cauze ale apariției defectelor*, care să inducă o manieră de analiză sistematică.

În acest context, în cadrul paragrafului de față se urmărește prezentarea unor modalități de clasificare, neexhaustive, având în vedere obiectivul aplicativ al tezei, legat de partea termică a centralei electrice geotermale. Prezentarea sistematizează și completează clasificări existente în literatură, de asemenea punctează unele aspecte de principiu prin exemple particulare concepute în legătură cu sistemului geotermal din Oradea.

### 2.5.1. Clasificarea defectelor

Un grup de furnizori și utilizatori ai sistemelor de control au realizat în cadrul ISA (Instrument Society of America) o listă a tipurilor de defecte și cauze ale apariției acestora, care sunt des întâlnite în sistemele de reglare [Gob 95]:

- umiditate
- temperatură
- vibrații
- salturi de tensiune
- descărcări electrostatice
- defectare sursă neîntreruptibilă AP
- întreruperea/ruperea firelor
- pământare improprie
- circuit deschis datorită corodării
- defectare aleatoare a unei componente
- interferențe cu frecvențe radio
- erori de programare
- erori de proiectare a sistemului
- înlocuire incorectă a unei componente
- instalare versiune incorectă software
- erori de reparare datorate factorului uman

- eroare de operare la închiderea unui întrerupător
- configurare eronată a unui regulator
- realizare incorectă a unei componente.

O primă clasificare a defectelor se poate realiza din punctul de vedere al operabilității (capacității de a fi operațional) considerând două categorii distincte și anume defecte fizice și defecte funcționale (figura 2.5.1.1).

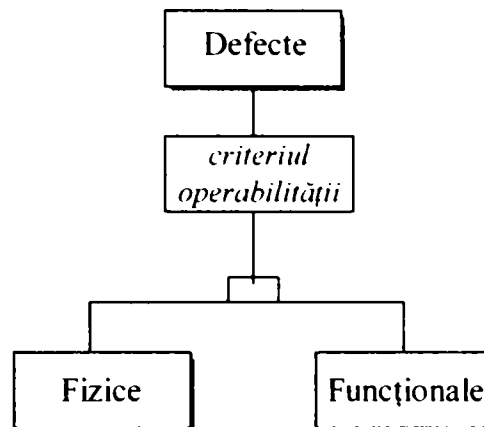


Figura 2.5.1.1. Clasificarea defectelor.

Un defect *fizic* apare în momentul în care o entitate (componentă sau element) se defectează. Defectele fizice au fost studiate intensiv și datele sunt păstrate de fabricanți în baze de date folosite pentru determinarea valorilor intensităților de defectare ale componentelor noi [Gob 95], respectiv ale produselor electronice [Ben 99], [Băj 96].

Un defect *funcțional* apare în momentul în care sistemul este operațional dar nu își realizează funcția specificată. Majoritatea defectelor funcționale apar datorită erorilor din faza de proiectare și pot fi la rândul lor permanente sau tranzitorii. O modalitate de obținere a datelor despre defectele funcționale ar fi consultarea fișierelor de diagnosticare automată care conțin momentul apariției defectului și tipul defectului [Gob 95].

Tabelele 2.5.1.1 și 2.5.1.2 conțin posibile cauze ale apariției defectelor, conform listei ISA, respectiv o clasificare a defectelor după natura acestora considerată din punctul de vedere al operabilității.

<b>Cauza de apariție a defectelor</b>
Umiditate
Temperatură
Vibrații
Salturi de tensiune
Descărcări electrostatice
Pământare improprie
Interferențe cu frecvențe radio
Erori de reparare datorate factorului uman

Tabel 2.5.1.1. Cauze de apariție a defectelor conform listei ISA.

Defect	Tip defect
defectare sursă neîntreruptibilă AP	defect fizic
întreruperea/ruperea firelor	defect fizic
circuit deschis datorită corodării	defect fizic
defectare aleatoare entitate	defect fizic
erori de programare	defect funcțional
erori de proiectare a sistemului	defect funcțional
înlocuire incorectă entitate	defect funcțional
instalare versiune incorectă software	defect funcțional
eroare de operare la închiderea unui întrerupător	defect funcțional
configurare eronată regulator	defect funcțional

Tabel 2.5.1.2. Clasificarea defectelor (lista ISA) din perspectiva operabilității.

Din punct de vedere al analizei fiabilității unui sistem de reglare sunt importante și utile trei caracteristici ale oricărui defect care pot fi considerate atribute ale acestuia și anume: cauza apariției defectului, efectul defectului asupra funcției de reglare și evoluția în timp a intensității de defectare asociate entității defecte [Gob 95].

*Ca exemplu (particular) se consideră că în cazul centralei electrice geotermale din Oradea se consemnează următorul proces: la un moment dat se constată o scădere pronunțată a temperaturii  $t_1$  măsurată prin intermediul traductorului de temperatură TTI (vezi Anexa 2), traductor ce face parte din bucla de reglare a temperaturii  $t_1$  reglată de regulatorul RA1 care acționează asupra motorului robinetului RB1. Scăderea neredresabilă de către regulator în intervalul de timp  $tmp_1$ , este urmată de atenționarea operatorului după intervalul de timp  $tmp_2$  și apoi de comanda de oprire a funcționării centralei electrice geotermale ca urmare a faptului că, aparent, nu există debit suficient de apă geotermală. După oprirea centralei se constată că evenimentul s-a produs datorită blocării robinetului RB1 pe o poziție intermediară, apropiată de poziția închis, datorită defectării unei componente electronice din sistemul de comandă a motorului electric de acționare care, la rândul ei s-a defectat datorită unei descărcări electrostatice aleatoare, care a generat un impuls electric.*

*Analizând scenariul de mai sus rezultă că defectare a avut ca și cauze o descărcare electrostatică (cauză de mediu) care a determinat oprirea centralei electrice deci și a programului din AP care realizează controlul / reglarea (efectul defectului asupra funcției de reglare), intensitatea de defectare considerându-se constantă deoarece entitatea care s-a defectat se găsește în perioada utilă de viața.*

În cele mai multe cazuri cauzele care duc la apariția defectelor funcționale sunt erorile din faza de proiectare. Există însă și erori de instalare sau mentenanță ce pot deveni cauza unui defect funcțional [Gob 95].

*Se consideră că în cazul centralei electrice geotermale din Oradea, condusă cu un AP, la un moment dat apare brusc o creștere mare a presiunii  $p_1$  măsurată de traductorul TPI ( $>120$  bar), traductor care face parte din bucla de avarie controlată de regulatorul Rav1 (vezi Anexa 2). Creșterea, neafișată operatorului în interfață, determină defectarea traductorului și apoi oprirea centralei electrice. În urma analizării fenomenului s-a constatat că*

*traductorul de presiune TP1 a fost cauza defectului. Acesta, la o dată anterioară evenimentului, a suferit modificări ale caracteristicilor sale și a fost recalibrat incorect. Programatorul care a realizat recalibrarea a implementat în mod eronat limita admisibilă maximă de 200 bar în loc de 120 bar.*

*Defectarea a avut ca și cauză un defect de proiectare / defect de programare care a declanșat defectarea traductorului care a generat oprirea centralei electrice și a programului din AP care realizează controlul. Totodată din evidența echipamentelor centralei rezultă că intensitatea de defectare corespunde perioadei timpurii a entității defecte.*

## 2.5.2. Cauze ale apariției defectelor

Un defect poate fi generat de diferite cauze. Ele pot acționa individual sau combinat. [Gob 95].

*Considerăm pentru exemplificare AP Allen Bradley utilizat pentru implementarea sistemului automat de reglare al centralei electrice geotermale. Specificațiile referitoare la mediul de funcționare al automatului programabil indică faptul că acesta funcționează corect în cazul în care umiditatea este în intervalul 10 % și 90%. Dacă umiditatea depășește domeniul specificat, cauza apariției defectului este chiar umiditatea, care acționează individual. Umiditatea poate să acționeze și combinat cu o altă cauză, ea accelerând procesul de coroziune. În particular se poate defecta un contact corodat al automatului programabil (AP). În acest caz cauza apariției defectului, este coroziunea combinată cu umiditatea care, cu toate că se găsește între limitele admisibile, accelerează coroziunea.*

O primă clasificare a cauzelor apariției defectelor se poate face după criteriul localizării distingându-se cauze interne și externe sistemului (figura 2.5.2.1).

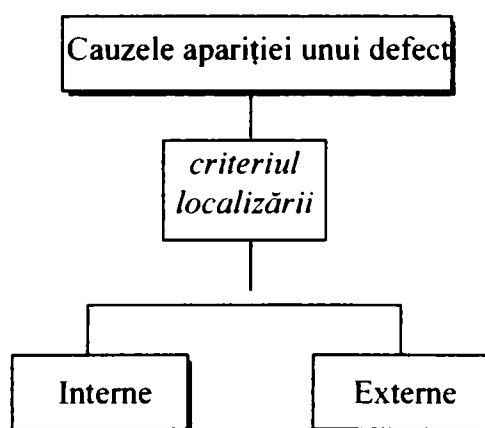


Figura 2.5.2.1. Clasificarea cauzelor defectelor după criteriul localizării.

### 2.5.2.1 Cauze interne.

Cauzele interne sistemului includ în general defecte de proiectare sau defecte de fabricație (figura 2.5.2.2) și pot să apară la orice nivel – componentă, element, sistem.

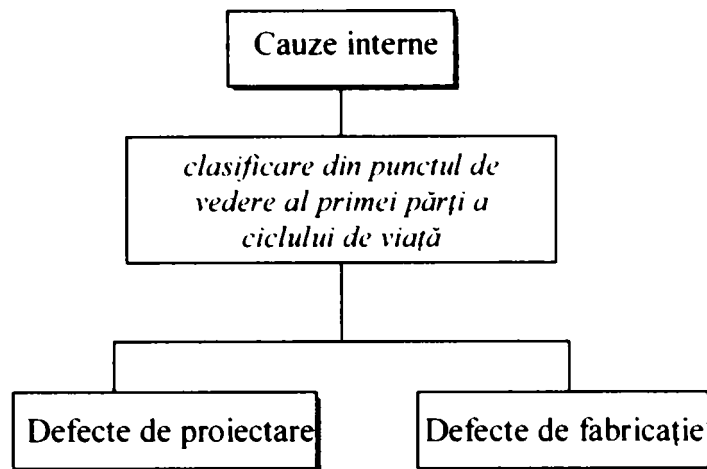


Figura 2.5.2.2. Clasificarea cauzelor interne de defectare.

Defectele de proiectare se regăsesc în majoritatea cauzelor defectelor funcționale, definite în subcapitolul anterior. Astfel, dacă în faza de proiectare nu se iau în considerare condițiile de mediu în care va fi utilizat un sistem de reglare probabilitatea de apariție a defectelor datorate proiectării crește.

*Ca exemplu se consideră că un modul al AP și anume cel utilizat pentru preluarea mărimilor analogice printre care și a temperaturii  $t_3$  măsurată de traductorul de temperatură TT3, se blochează ocazional. După o perioadă scurtă de timp modulul reîncepe să funcționeze normal, defectul menționat fiind tranzitoriu. La o analiză ulterioară a modului se constată că o poartă logică din interfața modului, răspunde, ocazional, la o vibrație / zgomot pe care unitatea centrală a AP o interpretează prin intermediul unui semnal indus ca pe o instrucțiune și în consecință comandă oprirea modului. În condițiile în care zgomotul din mediul unde funcționează regulatorul automat declanșează apariția defectului, cauza efectivă a apariției acestui defect funcțional este o eroare de proiectare. Proiectantul nu a evaluat corect condițiile de mediu în care va fi utilizat sistemul automat.*

*Pentru exemplul considerat apare o eroare de proiectare la nivel de entitate (componentă) a modului analogic a cărei defectare determină oprirea modului și, implicit, imposibilitatea realizării funcției de reglare deoarece nu dispunem de valoarea măsurată a temperaturii  $t_3$ . În acest caz intensitatea de defectare a entității defecte este constantă.*

Defecte de fabricație apar în momentul în care unul sau mai mulți pași din procesul de fabricație al unei entități (element/componentă/sistem) sunt realizați incorect [Gob 95], [Mar 95].

*Pentru exemplificare considerăm că modulul corespunzător ieșirilor analogice ale AP utilizat în sistemul de reglare a centralei electrice geotermale se defectează și nu mai acționează asupra robinetului RBI pentru închidere/deschidere. Ulterior se descoperă că o rezistență din circuitul de ieșire are un fir corodat care nu mai conduce curentul. În mod normal rezistența este protejată împotriva coroziunii și nu ar presupune un asemenea defect. La o verificare atentă se observă că stratul de protecție are mici pori care au diminuat grosimea stratului anticorrosiv în mod progresiv pe măsura efectuării operațiilor de curățire.*

*Pentru exemplu considerat anterior avem un defect de fabricație care determină defectarea modului și astfel sistemul de reglare nu mai este capabil să realizeze funcția de reglare, deoarece comanda nu ajunge la elementul de acționare. Din punctul de vedere al entității defectate ne aflăm în perioada primei părți a ciclului de viață deci intensitatea de defectare este descrescătoare.*

Defectele în procesul de fabricație pot să apară și datorită îmbinărilor defectuoase, instalarea inversată a unui entități, pierderea unei părți a unei entități sau posibilele defecte de material apărute la nivel de entitate. Multe dintre defectele de fabricație pot fi eliminate prin efectuarea de teste accelerate. [Ma5 95], [Gob 95].

### 2.5.2.2 Cauze externe

În general, cauzele externe ale defectelor includ cauze datorate mediului, erori de mentenanță sau erori de operare ale sistemului, apărând în cea de a doua parte a ciclului de viață al unei entități (figura 2.5.2.3).

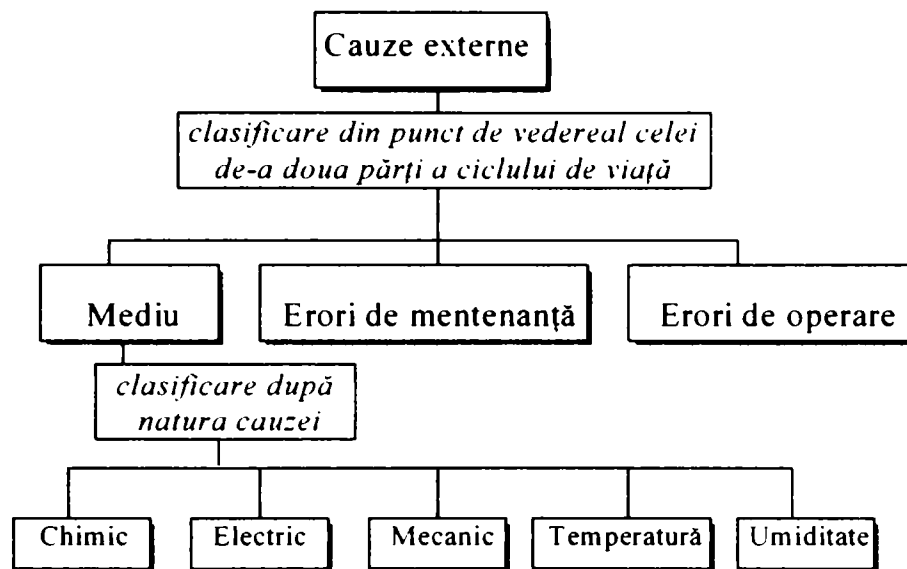


Figura 2.5.2.3 Clasificarea cauzelor externe de defectare

Sistemele de reglare sunt utilizate în medii în care sunt prezenți mulți factori care pot cauza apariția defectelor. Acțiunea unor factori perturbatori poate fi atât directă cât și indirectă. Temperatura, de exemplu, poate determina direct apariția unui defect. În multe cazuri însă temperatura poate accelera anumite procese, mai ales cele chimice, cum sunt: coroziunea, oxidarea, evaporarea considerabile drept cauze ale apariției defectelor. Pe lângă temperatură, mai există și alți factori externi care influențează apariția defectelor: curenții de înaltă tensiune generează zgomote, procesele mecanice determină șocuri și vibrații [Mar 95], [Gob 95].

*În cazul centralei geotermale, putem considera pentru exemplificare un modul analogic sau digital al AP utilizat pentru reglare în centrala electrică geotermală care este montat foarte aproape de organul motor componentă a centralei (Anexa 2). După câteva luni de operare, AP nu furnizează semnal spre elementele de acționare. După o examinare atentă se constata faptul că memoria AP a ieșit din soclu datorită vibrațiilor.*

*Pentru acest exemplu, cauza apariției defectului o reprezintă vibrațiile (cauză de mediu) care determină oprirea AP ce nu-și mai poate îndeplini funcția de reglare, iar din punctul de vedere al entității defecte ne aflăm în perioada defectărilor târzii, caracterizată de o intensitate de defectare crescătoare.*

Cauzele de mediu sunt cauze exogene ale apariției defectelor. Procesele chimice, electrice, mecanice sunt prezente în toate mediile industriale..

Astfel, defectele apărute în echipamentele electronice se pot datora corodării contactelor electrice ale unei componente. În acest caz curentul electric nu mai este condus datorită apariției unor insulițe de oxid.

De asemenea dacă se utilizează lubrifianți de contact, procesul de corodare se încetinește deci defectele datorate acestei cauze nu vor mai fi atât de frecvente [Băj 97]. Vibrațiile mecanice pot determina ruperea elementelor din metal, mai ales în momentul în care se ating frecvențele de rezonanță. Dacă în faza de proiectare se utilizează elemente de fixare aceste cauze pot fi eliminate [Gob 95], [Băj 97].

În general, sistemele care sunt proiectate să reziste în condiții vitrege de lucru nu se defectează atât de frecvent.

O realizare incorectă a unei activități de reparare în cadrul activității de mentenanță a unui sistem de reglare poate fi, de asemenea, cauza apariției unor defecte [Gob 95], [Ben 99].

*Considerăm că un modul de intrări/ieșiri analogice/digitale al AP utilizat pentru reglarea centralei electrice geotermale se defectează. În momentul în care se realizează operația de înlocuire a modului defect, persoana care realizează această operație conectează din greșeală întrerupătorul cablului de ieșire al modului la soclul de comunicare scurtcircuitând astfel ieșirea modului, care se defectează, defecțiune posibilă datorită neatenției persoanei care realizează operația de reparare.*

*Pentru exemplul considerat cauza apariției defectului este o eroare de mentenanță care determină defectare modului și implicit imposibilitatea realizării funcției de reglare. Entitatea care se defectează este caracterizată de o intensitate de defectare constantă.*

Activitatea de mentenanță este influențată de: complexitatea sistemului de reglare, posibilitatea de reparare (reparabilitatea), condițiile de reparare, instruirea personalului care realizează mentenanța, familiarizarea acestuia cu sistemul, presiunea datorată necesității terminării reparației/inlocuirii într-un interval de timp impus.

Orice sistem de reglare care poate fi accesat de un operator uman se poate defecta datorită unei comenzi incorecte, adică a unei erori de operare.

*Considerăm cazul unui operator care intenționează să modifice valoarea prescrisă (set-point-ul) a nivelului din vasul tampon VT (Anexa 2) indicat de traductorul de nivel IN, componentă a buclelor de reglare ce conțin regulatoarele: RA2, RA4. El dorește setarea nivelului minim din vasul tampon la valoarea prestabilită de 0,5 m, dar din greșeală el introduce valoarea de 0,1 m, ceea ce duce la apariția de CO<sub>2</sub> gazos în pompa de CO<sub>2</sub> și generează fenomenul de cavitație care determină defectarea pompei de CO<sub>2</sub>. O astfel de eroare de operare poate să apară în condițiile operării manuale, când AP nu intervine și nu poate fi evitată prin elemente de siguranță.*

*Pentru acest exemplu, cauza apariției defectului o reprezintă o eroare de operare prin setare incorectă care, implicit, duce la defectare pompei de CO<sub>2</sub>, caz în care, chiar dacă se trece pe comandă automată a sistemului, reglarea nu mai este posibilă. Din punctul de vedere al entității defecte, ea este caracterizată de o intensitate de defectare constantă.*

În general erorile de operare sunt influențate de: complexitatea sistemului, interfața utilizator, familiarizarea cu sistemul, condițiile de operare (oboseală, plictiseală) precum și fiabilitatea echipamentelor utilizate [Gob 95], [Lei 97].

Clasificarea realizată de ISA [Gob 95] se pretează la completare prin specificarea atât a tipurilor defectelor precum și a cauzelor apariției lor.

Utilizând clasificările din acest paragraf, se realizează o clasificare mai detaliată prezentată în tabelul 2.5.1.3.



Element din lista ISA	Tip defect	Cauza apariție defect
<ul style="list-style-type: none"> <li>defectare sursă neîntreruptibilă AP</li> <li>întrerupere/rupere conductoare de legătură</li> <li>circuit deschis datorită corodării</li> <li>defectare aleatoare componentă</li> </ul>	defect fizic	cauza externă de mediu ambiant  cauză internă defect de fabricație
<ul style="list-style-type: none"> <li>erori de programare</li> <li>instalare versiune incorectă software</li> <li>erori de proiectare a sistemului</li> <li>eroare de operare la închiderea unui întrerupător</li> <li>configurare eronată regulator</li> <li>înlocuire incorectă componentă</li> </ul>	defect funcțional	cauză internă eroare de proiectare  cauză externă-eroare umană
<ul style="list-style-type: none"> <li>umiditate</li> <li>temperatură</li> </ul>	defect funcțional	cauza externă de mediu ambiant
<ul style="list-style-type: none"> <li>vibrații</li> </ul>	defect funcțional	cauză externă de mediu mecanic
<ul style="list-style-type: none"> <li>salturi de tensiune</li> <li>descărcări electrostatice</li> <li>pământare improprie</li> <li>interferențe cu frecvențe radio</li> </ul>	defect funcțional	cauză externă de mediu electric
<ul style="list-style-type: none"> <li>erori de reparare datorate factorului uman</li> </ul>	defect funcțional de mentenanță	cauză externă - eroare umană
<ul style="list-style-type: none"> <li>realizare incorectă a unei entități componente</li> </ul>	defect de fabricație	cauză internă – eroare fabricație

Tabel 2.5.1.3. Clasificare detaliată tipuri defecte/cauze apariție defect.

### 2.5.3 Defectări de mod comun

În practică pot exista cauze capabile să determine ca elemente de același tip din sisteme diferite să se defecteze sau să determine defectarea simultană a mai multor elemente din cadrul aceluiași sistem. Defectări astfel apărute se numesc defectări de mod comun [Ben 99] sau de cauză comună [Gob 95].

În cazul defectărilor de mod comun, cel mai răspândit model este cel care consideră că întreg sistemul poate fi considerat ca o structură serială formată din *sistemul funcțional* căreia îi corespunde fiabilitatea  $R_{SF}$  și din *sistemul de mod comun* căreia îi corespunde fiabilitatea  $R_{SMC}$ . Nu toate sistemele pot fi reduse la acest model pentru care probabilitatea ca întregul sistem să supraviețuiască corespunde simultaneității a două evenimente: „sistemul funcțional să supraviețuiască” și „sistemul de mod comun să supraviețuiască”. Deci pentru

determinarea fiabilității întregului sistem ( $R_S$ ) în acest caz se poate utiliza următoarea relație:

$$R_S = R_{SF} \cdot R_{SMC} \quad (2.5.3.1)$$

O măsură posibilă de mărire a fiabilității de mod comun este redundanța prin utilizarea diversității echipamentelor, caz în care aceeași funcție poate fi implementată de mai multe sisteme funcționale bazate pe principii de operare diferite [Ben 99], [Gob 95].

## 2.6. Fiabilitatea/disponibilitatea AP

### 2.6.1 Particularități AP

Automatele programabile (AP) numite și Programmable Logical Controllers, sunt sisteme de calcul special create pentru conducerea proceselor în timp real. Din punct de vedere hardware structura unui AP este formată dintr-o unitate centrală de prelucrare UCP (procesor și memorie),  $n$  "puncte" de intrare (semnale de la senzori/traductoare sau operator),  $m$  "puncte" de ieșire (semnale spre elemente de execuție sau operator) și interfețe seriale / paralele pentru conectarea AP la dispozitive de programare (PC-uri) sau interfețe utilizator [Vas 02], [Par 03].

AP Allen Bradley SLC5-03 utilizat în cadrul sistemului geotermal de la Universitatea din Oradea, utilizat pentru controlul sistemului geotermal, face parte din automatele programabile modulare de clasă medie prevăzute cu instrucțiunea PID ce permite implementare acestor tipuri de reglatoare [Ant 01].

AP văd în cadrul programului punctele de I/O sub formă de adrese hardware, fiecărui modul de I/O revenindu-i un grup de adrese determinat de poziția acestuia în cadrul ser-tarului. Modulele utilizate sunt analogice și digitale, respectiv de intrare și ieșire.

Principala caracteristică a unui AP o reprezintă execuția ciclică a programului în sensul că acesta rulează permanent, instrucțiunile utilizator fiind executate secvențial, după ultima instrucțiune a programului continuându-se cu prima instrucțiune [Par 03].

Practic putem considera memoria unui AP împărțită în patru zone distincte. Datele de intrare sunt memorate într-o zonă, cele de ieșire în altă zonă, o altă zonă e utilizată pentru mărimi interne ale programului (numărătoare, temporizatoare, stocare biți, semnale de eroare) și apoi zona care conține programul (figura 2.6.1).

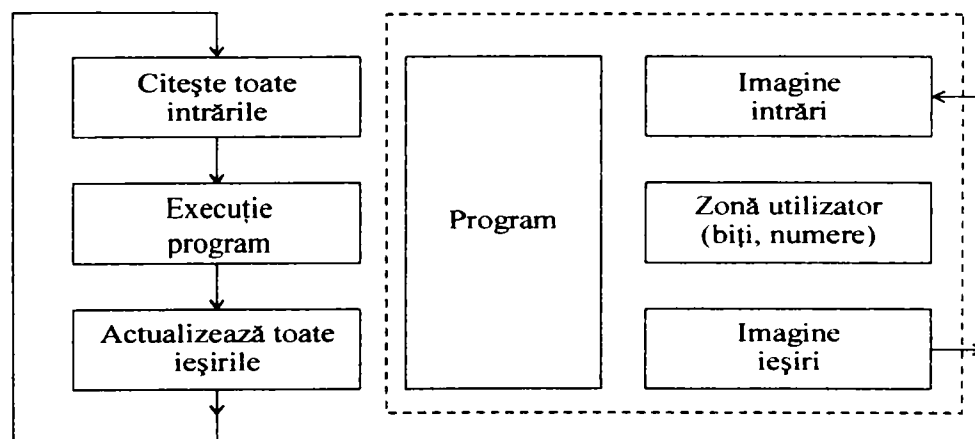


Figura 2.6.1. Perioada de scanare și organizarea memoriei în AP.

Din cele menționate anterior rezultă faptul că un AP comunică cu mediul extern doar la anumite intervale de timp, egale cu durata ciclului program, acest tip de funcționare

oferind coerență datorită faptului că pe parcursul unui ciclu program este utilizată o singură valoare pentru fiecare intrare și toate valorile de ieșire sunt transmise simultan la sfârșitul perioadei de scanare [Gab2 96], [Gel 99], [Ger 03].

Metodele de programare a AP sunt diferite de cele utilizate pentru calculatoarele obișnuite și sunt definite de standardul IEC 1131: *diagrame scară* (ladder diagram), *diagrame de blocuri funcționale* (function block diagrams), *listă de instrucțiuni* (instruction list), *text structurat* (structured text), *diagrame de stare secvențiale* (sequential flow charts) [IEE 93], [Rut 00].

AP de tip Allen Bradley utilizat pentru implementarea sistemului de control al centralei electrice geotermale utilizează ca limbaj de programare APS (Advanced Programming Software), al firmei producătoare Allen Bradley care folosește metoda de programare a diagramei scară [Dec 99], [Gab1 00].

## 2.6.2 Aspecte ale fiabilității/disponibilității AP

### 2.6.2.1. Fiabilitate hardware

Problemele legate de fiabilitatea / disponibilitatea AP prezintă dificultăți de abordare datorită complexității AP și a problemelor de interfațare. Bunăoară, într-un sistem de control cu AP defectarea unui element de execuție se poate datora fie unei erori de programare, fie unui defect apărut în AP propriu-zis (UCP care conține procesorul și memoria, memorie în care este conținut programul de conducere), fie unui modul de ieșire defect, fie defectării elementului de execuție în sine, fie datorita defectării sursei de alimentare a modului de ieșire/intrare [Mad 00].

Din punct de vedere al fiabilității/dependabilității unui AP se poate utiliza diagrama de fiabilitate/disponibilitate generică din figura de mai jos [Zma 04], în care blocurile corespunzătoare UCP și a modulelor software de conducere reprezintă AP propriu-zis.

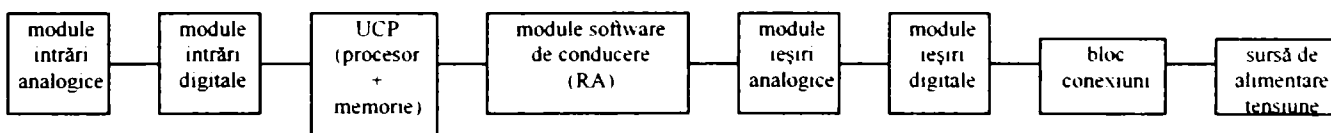


Figura 2.6.2. Diagramă fiabilitate/disponibilitate generică.

Conform studiilor efectuate referitoare la determinarea probabilității de defectare a entităților componente ale unui sistem de conducere cu AP [Par 03], doar 5% dintre defectele acestuia se datorează AP și 95% datorită altor entități componente ale sistemului. Potrivit aceluiași studiu distribuția defectelor într-un sistem de conducere apare ca în figura 2.6.3.

Având în vedere acest lucru, autoarea propune o primă schemă de îmbunătățire a fiabilității / dependabilității unui AP (prezentată în figura 2.6.4.) care ține cont de ponderea defectelor interne și ia în considerare defectele care au cea mai mare pondere din acest punct de vedere (module I/O, sursa alimentare). Schema propusă se bazează pe utilizarea de module de intrare / ieșire de rezervă, considerate în stand-by, precum și a unei surse neîntreruptibile de tensiune (UPS).

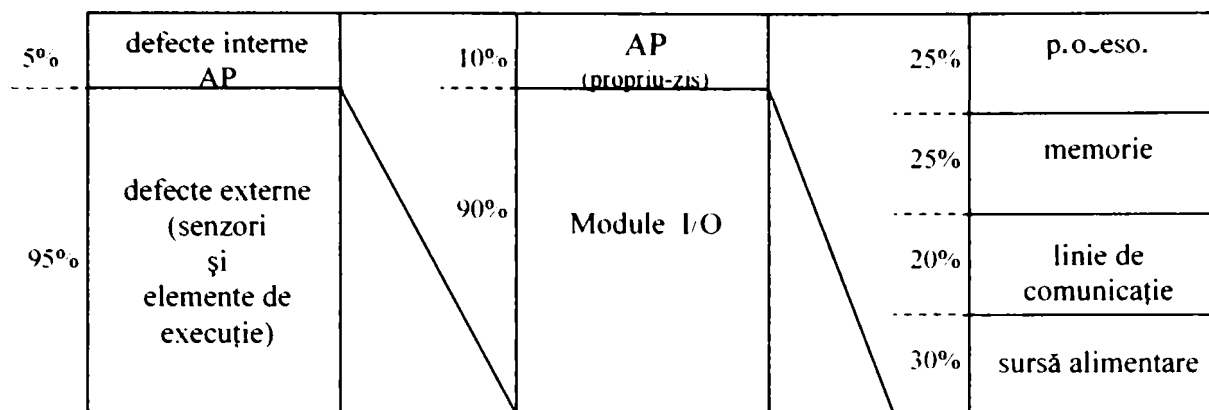


Figura 2.6.3. Distribuție defecte sistem de conducere în timp real cu AP.

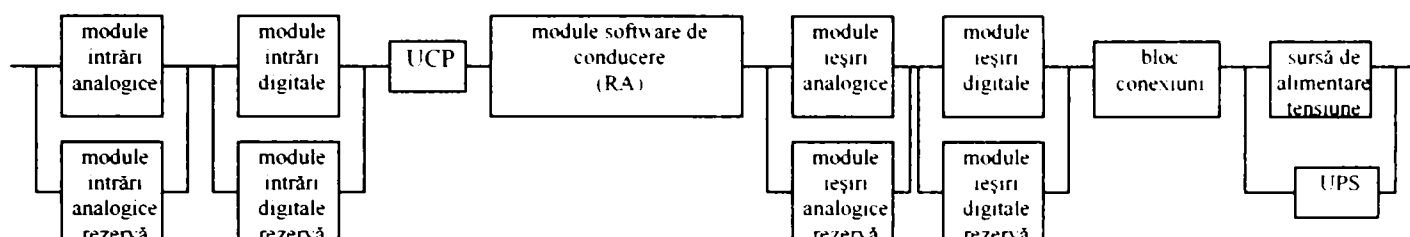


Figura 2.6.4. Schema fiabilitate/disponibilitate cu redundanță.

La schema din figura 2.6.4. s-a ajuns considerând inițial schema propusă de autoare, în lucrarea [Zma 04]. Ea este diferită de alte scheme redundante care consideră doar redundanța AP propriu-zis, redundanță care este tratată în literatura de specialitate [Gob 95], [Sto 96]. Schema de fiabilitate/disponibilitate prezentată în figura 2.6.4. ține cont de distribuția defectelor prezentată de [Par 03] și ponderea pe care o au defectele externe datorate senzorilor/elementelor de execuție.

AP sunt utilizate și în aplicații critice, ceea ce face necesară includerea unor entități care asigură securizarea AP sau entități tolerante la defectare. AP securizate sunt utilizate în aplicații care în momentul defectării aduc sistemul controlat în stări sigure [Sto 96], [Gab 99]. Acestea conțin de obicei 2 procesoare identice și un algoritm de comparare a operațiilor acestora care să detecteze orice discrepantă. Deoarece ambele canale recepționează aceleași date de intrare, orice diferență apărută semnifică apariția unui defect. Pentru eliminarea defectărilor de mod comun pentru fiecare procesor se va utiliza o altă sursă de alimentare și interfețe de I/O diferite.

Posibilele arhitecturi care utilizează redundanța dublă sunt: arhitectura DC (redundanță dublă cu comparare), redundanță dublă cu comparare și reconfigurare (DCR), redundanță dublă cu comparare, reconfigurare și reparare (DCRR) [Ger 03].

În cazul arhitecturii DC se utilizează două AP identice ale căror ieșiri sunt comparate periodic, orice diferență apărută indicând prezența unui defect. Fiecare AP este prevăzut cu o entitate de diagnoză, iar dacă unul dintre AP se defectează, sistemul de consideră defect. O variantă îmbunătățită o reprezintă arhitectura DCR care față de precedentă prezintă posibilitatea reconfigurării arhitecturii prin intermediul unui comutator care decuplează AP defect, celălalt rămânând să funcționeze ca un AP simplu. Arhitectura DCRR este asemănătoare celei DCR cu diferența că există posibilitatea reparării AP defect cât timp sistemul este operațional [Gab1 02].

AP tolerante la defecte utilizează în mod obișnuit trei procesoare într-o structură redundantă triplu modulară. Un AP utilizează procesoare identice cu module de intrare și ieșire multiplicat de trei ori. Se utilizează pentru fiecare o sursă de alimentare separată pentru a micșora defectele de mod comun / cauză comună [Ben 94], [Ben 99], [Gob 95]. Un mecanism de votare (voter) compară ieșirile canalelor și maschează practic efectul apariției unei singure defectări.

Posibilele arhitecturi care utilizează redundanța triplă sunt: redundanța triplă cu comparare (TC), redundanța triplă cu comparare și reconfigurare (TCR), redundanța triplă cu comparare, reconfigurare și reparare (TCRR).

Aceste configurații pot fi utilizate în aplicații critice, deoarece sistemul poate funcționa corect și în cazul apariției unui defect [Sto 96], [Ger 03].

Arhitectura TC utilizează 3 AP identice fiecare dintre ele prevăzut cu subrutine de autodiagnoză, detectarea AP defect se realizează prin comparații succesive două câte două dacă AP defect nu a fost detectat prin autodiagnoză, se utilizează de asemenea și un voter. Deci, detectarea AP defect se realizează întâi prin autodiagnoză, apoi prin comparare și în final prin votare.

O variantă îmbunătățită a TC este TCR care permite reconfigurarea asemănător arhitecturii DCR. Arhitectura TCRR asigură și posibilitatea reparării AP defect cât timp sistemul e operațional.

Ținând cont de distribuția defectelor prezentată mai sus în figura 2.6.3, la proiectarea unui sistem de conducere în timp real cu AP nu este suficient să se țină cont doar de defectele care apar în interiorul unui AP, adică de defectele interne ci și de defectele externe AP-ului deoarece acestea afectează în aceeași măsură disponibilitatea sa. De aceea s-a considerat necesară studierea modului în care defectele externe determină modificarea disponibilității unui sistem condus cu AP [Bor 00].

În [Dra1 04], [Dra2 04] sunt prezentate scheme redundante (dubla și triplă redundanță) pentru tractoarele de temperatură TT1 și TT3 (vezi Anexa 2) prezentând și modul în care utilizarea acestora afectează dependabilitatea sistemului de conducere propus pentru centrala electrică geotermală.

În capitolul 3 este prezentat modelul matematic și programul de simulare implementat cu care studiază modul în care redundanța dubla și triplă afectează comportarea sistemului de control al centralei electrice geotermale.

#### 2.6.2.2 Fiabilitatea software

Din punct de vedere al fiabilității / disponibilității software a unui AP, perioada de scanare poate cauza întârzieri nedorite dacă logica programului de conducere este inversă scanării. Un exemplu de acest fel este ilustrat în figura 2.6.5 în care intrarea determină evenimentul A (în ciclul 1 în pasul k+2), aceasta ajunge să determine evenimentul B tot în ciclul 1 însă doar în pasul k+6, care la rândul său determină evenimentul C în ciclul 2 la pasul k+10, care la rândul său determină evenimentul D în ciclul 3 la pasul k+14 și ajunge la ieșire abia în ciclul 4 în pasul k+18.

Ca urmare, evenimentul de la intrarea într-un ciclu ajunge să determine evenimentul de la ieșire doar după un număr de trei cicluri program.

Realizarea unui astfel de program determină o scădere a fiabilității software a AP și o întârziere a luării deciziilor de conducere.

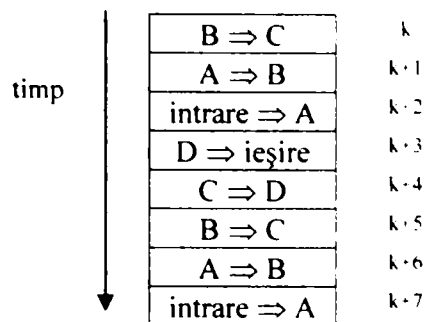


Figura 2.6.5. Referitoare la programare cu “logică inversă scanării”.

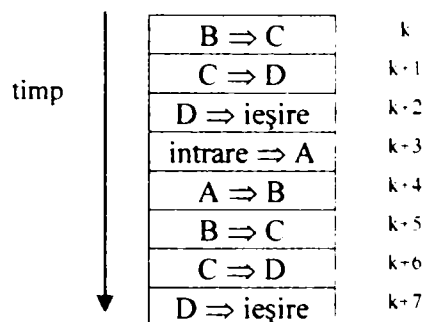


Figura 2.6.6. Referitoare la programare cu “logică în sensul scanării”.

O programare riguroasă utilizează o logică în același sens cu perioada de scanare, logică prezentată în figura 2.6.6. Ea presupune realizarea tuturor evenimentelor și actualizarea ieșirii pe durata unui singur ciclu program [Gab1 98], [Gab2 98].

Astfel, din punctul de vedere al fiabilității software, o metodă de creștere a fiabilității o reprezintă implementarea unui program care să realizeze, indiferent de dimensiunea acestuia și a numărului de mărimi de intrare și de ieșire, actualizarea tuturor mărimilor de ieșire prin utilizarea mărimilor de intrare din același ciclu program pe durata fiecărei perioade de scanare.

Producătorii de AP, inclusiv Allen Bradley, furnizează facilități pentru a reduce pe cât posibil influența perioadei de scanare pentru aplicațiile în care timpul de reacție este important. Tipice în acest sens sunt modulele de I/O de mare viteză precum și posibilitatea de a secționa un program în module care să utilizeze perioade de scanare diferite [Par 03].

Multe AP, printre care și Allen Bradley SLC-5/03, permit de asemenea împărțirea programului în blocuri executabile, prin care se execută saltul peste anumite ramuri de program, facilitate care dacă este utilizată determină reducerea timpului de scanare și este utilă în cadrul aplicațiilor care necesită o viteză sporită [Roc1 94], [Roc2 94].

Programele dezvoltate utilizând APS (Advanced Programming Software, al firmei Alen Bradley), inclusiv cel implementat pentru centrala electrică geotermală, sunt construite utilizând o structură modulară, fiind împărțite în mai multe blocuri funcționale care sunt văzute ca subrutine apelabile din programul principal [Roc1 94], [Roc2 94]. Avantajul subrutinelor îl reprezintă minimizarea efortului de programare și realizarea unor programe modulare mult mai ușor de urmărit și verificat.

O altă metodă utilizată pentru îmbunătățirea fiabilității unui program o reprezintă concentrarea în subrutine separate a prelucrărilor realizate pentru subsisteme asemănătoare (sau chiar identice), în măsura posibilităților și sub o formă parametrizată [Fri 95], [Zma 04].

Pentru aplicația implementată în cadrul tezei și anume cea corespunzătoare sistemului de control al centralei electrice geotermale nu s-a considerat necesară structurarea programului pe module, timpul de scanare rezultat fiind suficient de rapid pentru cerințele aplicației.

## 2.7. Probleme de fiabilitate software specifice programelor de simulare

Pentru aplicațiile utilizate în conducerea proceselor în timp real, o etapă foarte importantă o reprezintă testarea prin simulare a aplicației în faza de proiectare, în vederea corectării încă din această fază a posibilelor erori din programele de aplicație, în particular a erorilor de sinteză a reguletoarelor [Har 00]. Simularea în faza de proiectare reprezintă practic un prim pas în procesul de îmbunătățire / creștere a fiabilității sistemului de conducere.

Prin intermediul simulării nu pot fi detectate toate erorile posibile, iar în cazul în care erorile nu pot fi evitate din diverse motive este necesară implementarea unei aplicații care să conțină anumite metode care să trateze în mod automat eroarea, pentru ca sistemul să funcționeze în continuare corect. Este vorba despre aplicații tolerante la defectare care să conțină căi alternative care pot fi utilizate în cazul apariției unei erori. Cele mai utilizate metode pentru implementarea aplicațiilor tolerante la defectare sunt folosirea de blocuri / module de program de tipul *roll-back re-try*, *recovery* sau programarea *multi-version*. Realizarea unor astfel de aplicații / produse software este un al doilea pas de urmat în vederea îmbunătățirii fiabilității [Lyu 96].

Pentru sistemele de conducere a proceselor în timp real simularea este un pas necesar și important în evaluarea proprietăților și a particularităților sistemului de conducere din punctul de vedere al funcționalității și al performanței [Mus 02].

În general în dezvoltarea unui model de simulare pentru sistemele conduse în timp real se parcurg următorii pași:

- determinarea cerințelor pe care trebuie să le îndeplinească aplicația finală de simulare,
- dezvoltarea modelului matematic asociat procesului real și metodelor de reglare utilizate;
- implementarea modelului matematic stabilit la pasul anterior printr-un program de simulare pe un calculator adecvat;
- verificarea calitativă a modelului prin intermediul programului de simulare folosind scenarii adecvate și efectuarea corecțiilor care se impun în consecință;
- compararea rezultatelor obținute din simulare cu date experimentale obținute din sistemul real și modificarea modelului utilizat în simulare în cazul în care sunt descoperite diferențe considerabile;
- validarea finală a modelului de simulare și acceptarea acestuia ca modelând într-o manieră realistă sistemul real.

În consecință, programul de simulare este implementat prin raportare continuă la modelul real. În acest scop, în procesul de dezvoltare și implementare a unui model matematic realist apar două etape de testare distincte:

- *verificare* – proces care urmărește modul în care aplicația de simulare funcționează în modul dorit de programator;
- *validare* – proces care urmărește și determină dacă comportamentul sistemului simulat este similară celui real din punctul de vedere al tuturor aspectelor pertinente, un program de simulare validat prin scenarii realiste se consideră utilizabil în situații practice

Totuși precizia de simulare reprezintă un atribut greu de controlat. Relațiile dintre sistemul real, modelul matematic asociat, programul de simulare, sinteza modelului, procesul de verificare și cel de validare sunt prezentate schematic în figura 2.7.1.

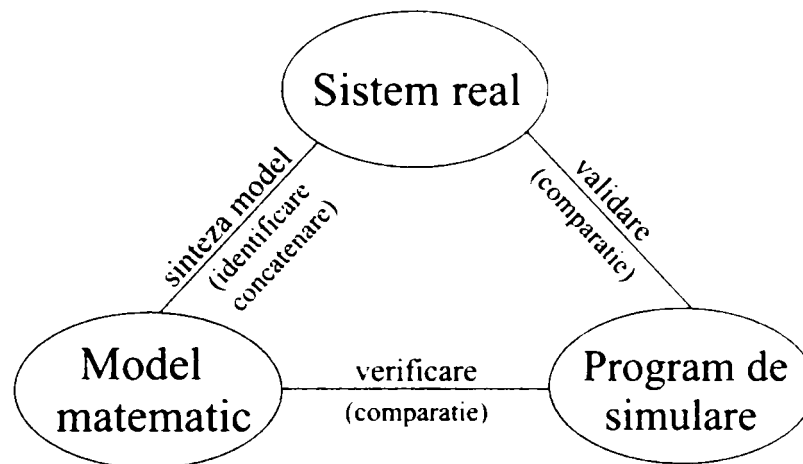


Figura 2.7.1. Relația dintre sistem, model, simulare, sinteza model, verificare, validare.

Procesul de verificare și cel de validare se realizează de regulă prin ierarhizare sistemului pe nivele. În principiu, nivelele utilizate sunt specifice limbajelor de simulare și se referă în totalitate sau parțial la blocuri, module, subsisteme și întreg sistemul (vezi figura 2.4.1.1) [Gaf 04].

Pentru validare și verificare se implementează scenarii atât pentru cazul funcționării normale cât și pentru funcționarea în caz de apariție a unui defect în funcție de nivel.

Pe de o parte scenariile urmăresc să provoace răspunsul sistemului în diverse cazuri, normale, de suprasolicitare sau de avarie. În primul caz, pentru posibile valori din domeniul admisibil pentru mărimile de intrare se vor studia valorile mărimilor de ieșire și se va determina pe baza unui criteriu a priori stabilit dacă modulul de program este acceptat sau respins.

Pe de altă parte, simularea poate viza și următoarele două aspecte distincte:

- simularea pentru validare funcțională – pentru verificarea principalelor proprietăți ale modelului simulat precum și a funcționalității lui pe baza specificațiilor inițiale ceea ce permite detectarea și corectarea posibilelor defecte din sistem;
- simularea pentru validarea performanțelor – pentru evaluarea performanțelor sistemului, cu un grad de încredere dependent de acuratețea simulării.



\* \* \*

Capitolul realizează o trecere în revistă a principalelor noțiuni teoretice utilizate în capitolele următoare ale tezei 3 și 4 fixând terminologia utilizată și specificând anumite metode de lucru.

În cadrul prezentării un loc important îl ocupă metoda de calcul a disponibilității sistemelor  $k$  reparabile și respectiv metoda de determinare a intensităților de defectare și reparare în cazul structurilor  $k$  redundante cu entități identice care au făcut obiectul paragrafelor 2.4.4.1 și 2.4.4.2. Aceste metode reprezintă și principalele contribuții teoretice ale lucrării.

## CAPITOLUL 3. CENTRALA ELECTRICĂ GEOTERMALĂ

Centralele geotermale și în special centralele electrice geotermale nu au fost studiate din punctul de vedere al fiabilității datorită faptului că există puține centrale geotermale în care energia apei geotermale să fie utilizată pentru producerea curentului electric. Acest capitol din teza realizează o trecere în revistă a modului de funcționare al centralei electrice geotermale și propune o strategie de automatizare cu specificarea principalelor bucle de reglare necesare, a echipamentelor de comandă și măsură precum și modalitatea de verificare a viabilității strategiei de automatizare prin implementarea unui program de simulare utilizând aplicația Matlab/Simulink [Tew 02] care a permis studierea comportamentului sistemului și a modului în care acesta asigură conducerea în câteva cazuri, studiate prin intermediul unor scenarii relevante.

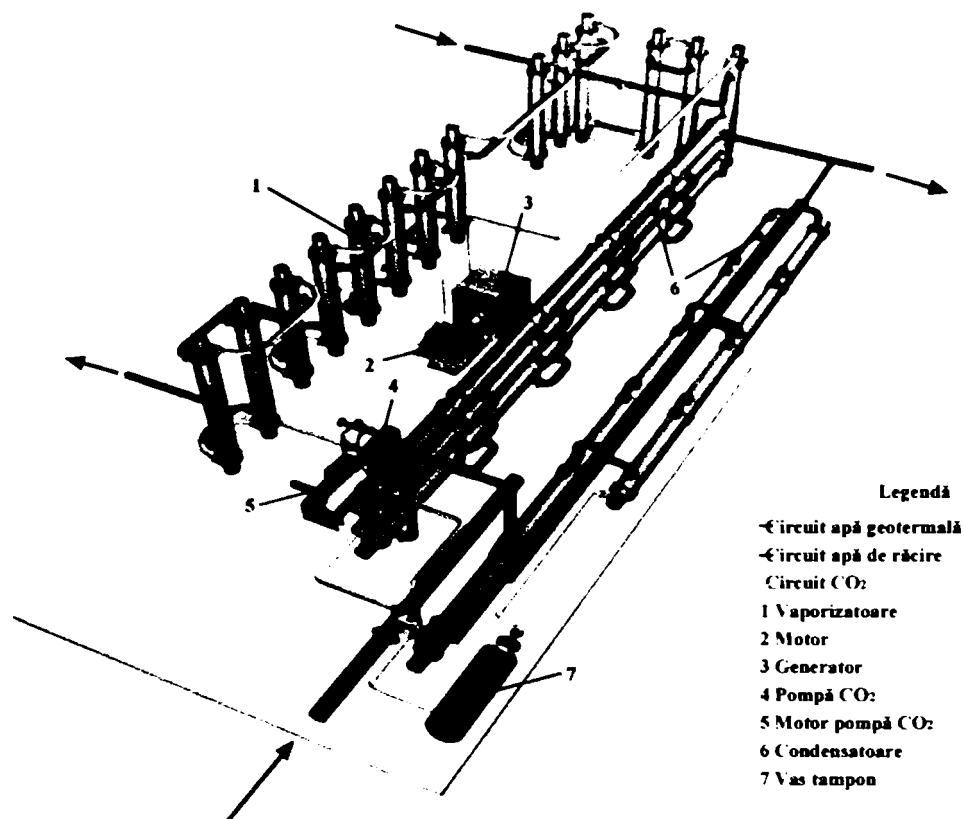
În subcapitolul 3.1. sunt prezentate principalele componente ale centralei electrice geotermale, precum și modul ei de funcționare. Subcapitolul următor, 3.2, descrie procesul termodinamic pe care se bazează funcționarea centralei electrice geotermale precum și principalele mărimi ce intervin și interdependența acestora. Pornind de la procesul real din cadrul centralei electrice s-a realizat modelarea matematică a procesului condus, modelele matematice asociate fiind redate în detaliu în subcapitolul 3.3. Urmează subcapitolul 3.4 care expune strategia de automatizare propusă pentru centrala electrică cu principalele bucle de reglare, pentru care detaliază principalele echipamente de măsurare și de comandă necesare. Tot în cadrul acestui subcapitol sunt trecute în revistă principalele avarii ce pot să apară în sistem și modul în care este necesar ca acestea să fie tratate. Subcapitolul 3.5 este dedicat simulării funcționării centralei electrice geotermale. Autoarea prezintă în detaliu modul de implementare al programului de simulare utilizând mediul Matlab/Simulink [www2 04] precum și principalele rezultate obținute pentru cazul pornirii sistemului respectiv în cazul unor scenarii corespunzătoare apariției unor factori perturbatori.

Notățiile folosite în acest capitol pentru mărimile fizice ale centralei geotermale sunt cele utilizate în documentațiile acesteia [Ant 99], [Ant 00], [Mag 98], [Mag 00], [Mag 02]. Ele sunt prezentate în Anexa 3. Cu toate că unele notații sunt discutabile și diferite de cele din capitolul 2, cum este de exemplu notarea timpului cu  $\tau$  (în capitolul 2 timpul s-a notat cu  $t$ ), sau a temperaturii cu  $t$  (chiar dacă în tehnică se utilizează  $\tau$  sau  $\theta$ ), s-au păstrat notațiile din documentațiile centralei pentru a putea integra direct și prezenta teza în bibliografia referitoare la centrala electrică geotermală.

### 3.1. Prezentarea generală a centralei electrice geotermale

Centrala electrică geotermală (figura 3.1), parte componentă a complexului geotermal din cadrul campusului orădean, realizează conversia energiei termice a apei geotermale în energie electrică utilizând ca agent de lucru bioxidul de carbon [Ant 99].

Centrala este compusă dintr-o baterie de vaporizatoare, un organ motor cuplat la un generator electric, o baterie de condensatoare, un vas tampon și pompa de CO<sub>2</sub> lichid. Alimentarea cu apă geotermală se realizează prin intermediul unei conducte de la stația sondei (nr. 4796) aflată în campusul orădean. Alimentarea cu apă rece este realizată direct de la o stație hidrofor ce asigură necesarul de apă de răcire pentru funcționarea centralei [Mag 02].



**Legendă**

- Circuit apă geotermală
- Circuit apă de răcire
- Circuit CO<sub>2</sub>
- 1 Vaporizatoare
- 2 Motor
- 3 Generator
- 4 Pompă CO<sub>2</sub>
- 5 Motor pompă CO<sub>2</sub>
- 6 Condensatoare
- 7 Vas tampon

Figura 3.1. Vedere de ansamblu a centralei electrice geotermale

Bateria de vaporizatoare este compusă din schimbătoare de căldură cu manta și fascicol de țevi paralele, dispuse vertical.

Bateria de condensatoare este compusă din schimbătoare de căldură cu manta și fascicol de țevi paralele, dispuse orizontal.

Organul motor al centralei electrice geotermale este un motor pneumatic cu piston cu 12 cilindri de construcție boxer. El are rolul de a transforma o parte din energia agentului de lucru în lucru mecanic tehnic. Prin cuplarea organului motor cu un generator electric, lucrul mecanic tehnic este transformat în energie electrică. Motorul geotermal este un motor cu piston având turația direct proporțională cu debitul de CO<sub>2</sub>. Partea electrică a instalației conține și un mutator static comandat care permite adaparea tensiunii și frecvenței la parametrii rețelei.

Pompa de CO<sub>2</sub> lichid este o pompă volumică cu 4 pistoane și supape având distribuția pistoanelor tip "boxer" și carcasa presurizată. Pompa de CO<sub>2</sub> lichid are rolul de a vehicula fluidul de lucru și de a-i mări presiunea [Gabl 96].

### 3.2. Procesul termodinamic pe care se bazează funcționarea centralei.

Centrala electrică geotermală, utilizează ca fluid de lucru CO<sub>2</sub> care evoluează după un ciclu termodinamic de tipul celui prezentat în figura 3.2.1.

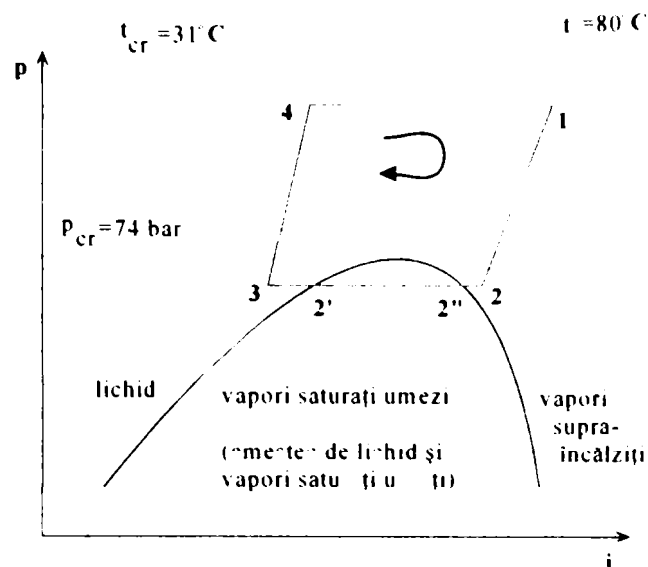


Figura 3.2.1. Ciclul termodinamic de funcționare în diagrama presiune-entalpie a CO<sub>2</sub>.

Evoluția 1-2 reprezintă destinarea CO<sub>2</sub> în organul motor cu realizare de lucru mecanic la arborele acestuia care este transformat în energie electrică; 2-3 reprezintă evoluția CO<sub>2</sub> în condensatoare unde acesta cedează căldură apei de răcire, evoluție compusă din răcire CO<sub>2</sub> gazos urmată de condensarea acestuia și subrăcire CO<sub>2</sub> lichid; 3-4 reprezintă evoluția bioxidului de carbon lichid în pompa de CO<sub>2</sub> lichid; 4-1 reprezintă evoluția CO<sub>2</sub> în vaporizatoare unde acesta preia căldura de la apa geotermală [Ant 99], [Mag 02].

Parametrii ciclului termodinamic de funcționare a centralei electrice geotermale sunt:

Punct 1	$i_1=148,30$ kcal/kg	$t_1=60^{\circ}\text{C}$	$p_1=116$ bar	$v_1=2,2320$ dm <sup>3</sup> /kg
Punct 2	$i_2=144,00$ kcal/kg	$t_2=28^{\circ}\text{C}$	$p_2=70$ bar	$v_2=3,6000$ dm <sup>3</sup> /kg
Punct 2'	$i_2=144,00$ kcal/kg	$t_2=27,9^{\circ}\text{C}$	$p_2=70$ bar	$v_2=3,5425$ dm <sup>3</sup> /kg
Punct 2''	$i_2=122,64$ kcal/kg	$t_2=27,9^{\circ}\text{C}$	$p_2=70$ bar	$v_2=1,5285$ dm <sup>3</sup> /kg
Punct 3	$i_3=120,00$ kcal/kg	$t_3=26,5^{\circ}\text{C}$	$p_3=70$ bar	$v_3=1,5214$ dm <sup>3</sup> /kg
Punct 4	$i_4=121,67$ kcal/kg	$t_4=32,7^{\circ}\text{C}$	$p_4=116$ bar	$v_4=1,5212$ dm <sup>3</sup> /kg

Funcționarea centralei după ciclul termodinamic, prezentat anterior, se bazează pe realizarea transferului de căldură necesar între apa geotermală și apa de răcire prin intermediul bioxidului de carbon. Fluxul de căldură schimbat depinde în principal de suprafețele de schimb de căldură ale vaporizatoarelor respectiv condensatoarelor din instalație și de viteza de recirculare a CO<sub>2</sub>. Punctele 1 și 3 determină ciclul deoarece transformarea 1-2 este adiabatică și se realizează în organul motor care are sistem de distribuție fix (nereglabil). Transformarea 3 – 4 se asigură prin vehicularea CO<sub>2</sub> lichid în pompă și este determinată de caracteristicile constructive ale pompei.

Ciclul termodinamic prezentat în figura 3.2.1 este bine determinat dacă se fixează temperatura și presiunea punctului 1 corespunzătoare intrării gazului în motor ( $t_1$  și  $p_1$ ) și respectiv temperatura punctului 3 corespunzătoare CO<sub>2</sub> lichid la ieșirea din condensatoare ( $t_3$ ). Astfel, dacă se fixează punctul 1 al ciclului prin controlul presiunii și temperaturii ( $p_1$  și  $t_1$ ), destinderea gazului în motor are loc până în punctul 2, stare determinată de soluția constructivă a motorului (sistemul de distribuție a gazului). Deoarece evoluția 2-3 din condensatoare este izobară, rezultă că punctul 3 poate fi fixat prin controlul temperaturii CO<sub>2</sub> lichid la ieșirea din condensatoare ( $t_3$ ). Evoluția 3-4 din pompă este adiabatică iar presiunea punctului 4 este aceeași cu a punctului 1 ( $p_1$ ) deoarece evoluția 4-1 din vaporizatoare este izobară. În plus, sistemul de cuplare a motorului geotermal la rețea, care asigură moment rezistent constant, permite reglarea presiunii  $p_1$  a CO<sub>2</sub> la intrarea în motor.

Realizarea ciclului termodinamic este afectată de acțiunea mai multor factori perturbatori, de exemplu variațiile temperaturii apei geotermale, variațiile temperaturii și presiunii apei de răcire. Consecința acțiunii factorilor perturbatori o constituie variația temperaturilor  $t_1$  și  $t_3$ . În continuare se prezintă modul în care variațiile acestora influențează ciclul termodinamic.

Dacă temperatura  $t_1$  scade, din figura 3.2.1 rezultă că punctul 1 se deplasează spre stânga ( $t_1$  scade), ceea ce implică o deplasare corespunzătoare a punctului 2 spre stânga ( $t_2$  scade); ca urmare, considerând temperatura și debitul apei de răcire constante, rezultă că și punctul 3 se va deplasa spre stânga ( $t_3$  scade) și implicit punctul 4 corespunde unei temperaturi mai mici. Deci, ciclul termodinamic se va deplasa spre stânga ceea ce va determina, în caz de stabilizare a noilor valori ale parametrilor  $\text{CO}_2$ , funcționarea centralei după un ciclu termodinamic cu putere utilă mai mică.

De asemenea, o altă consecință a scăderii temperaturii  $t_1$  și implicit a deplasării ciclului termodinamic spre stânga, este deplasarea punctului 2 în zona "bifazic", ceea ce determină condensarea unei cantități de  $\text{CO}_2$  în organul motor cu consecințe defavorabile în funcționarea acestuia (pericolul șocului hidraulic).

Pentru a anihila acțiunea de micșorare a temperaturii  $t_1$  a  $\text{CO}_2$ , este necesar să se mărească debitul apei geotermale. Dacă se ajunge la valoarea maximă a debitului de apă geotermală disponibilă, pentru ca temperatura  $t_1$  să nu se micșoreze, este necesară micșorarea turației pompei de  $\text{CO}_2$  lichid care va avea ca efect micșorarea debitului de  $\text{CO}_2$ . Pentru aceeași cantitate de căldură primită de la apa geotermală va rezulta, în acest caz, mărirea entalpiei  $i_1$ , implicit și mărirea temperaturii  $t_1$  (influența rezultă din relația de egalitate a cantităților de căldură schimbate între cantitatea de apă geotermală și cantitatea de bioxidul de carbon care se găsește în schimbătorul de căldură:  $m_{\text{apa}} \cdot c \cdot 0.5 \cdot \Delta t = m_{\text{CO}_2} \cdot 0.5 \cdot \Delta i$ ).

Similar, dacă temperatura  $t_1$  crește, ciclul termodinamic se va deplasa spre zone cu putere utilă mai mică. În acest caz, pentru a anihila creșterea temperaturii  $t_1$  este necesar să se micșoreze debitul apei geotermale.

Dacă temperatura  $t_3$  crește, se observă că punctul 3 se va deplasa spre dreapta, existând pericolul atingerii zonei bifazice, deci a apariției fenomenului de cavitație în pompa de  $\text{CO}_2$  lichid, ceea ce duce la funcționarea defectuoasă a pompei. De asemenea, prin deplasarea punctului 3 spre dreapta, se deplasează corespunzător și punctul 4 spre dreapta. Considerând debitul și temperatura de intrare a apei geotermale constante, rezultă că și punctul 1 se va deplasa spre dreapta. Rezultă că întreg ciclul termodinamic se va deplasa spre dreapta, ceea ce va determina, în eventualitatea stabilizării noilor valori ale parametrilor  $\text{CO}_2$ , funcționarea centralei după un ciclu termodinamic de putere utilă mai mică [Zma 00].

Pentru a anihila acțiunea de creștere a temperaturii  $t_3$ , este necesar să se mărească debitul apei de răcire. Dacă se ajunge la valoarea maximă a debitului de apă rece disponibilă, este necesară micșorarea turației pompei de  $\text{CO}_2$  lichid, care va avea ca efect micșorarea debitului de  $\text{CO}_2$ . În relația de transfer de căldură  $m_{\text{ar}} \cdot c \cdot \Delta t = m_{\text{CO}_2} (i_2 - i_3)$  considerând debitul și temperatura de intrare a apei de răcire constante, rezultă că proporțional cu scăderea debitului de  $\text{CO}_2$  se va mări diferența de entalpie  $i_2 - i_3$ , deci entalpia  $i_3$  se va micșora, ceea ce va conduce la micșorarea temperaturii  $t_3$ .

Dacă datorită unor factori perturbatori, temperatura  $t_3$  scade, nu mai există pericolul apariției fenomenului de cavitație în pompa de  $\text{CO}_2$  lichid, dar ciclul se va deplasa spre

zone de putere utilă mai mică. În acest caz, pentru a anihila acțiunea perturbatoare de micșorare a temperaturii  $t_3$ , este necesară micșorarea debitului apei de răcire.

Pentru evitarea funcționării pompei de CO<sub>2</sub> lichid în regim de compresor și pentru evitarea fenomenului de cavitație la aspirația pompei (scăderea presiunii și intrarea în zona bifazică a CO<sub>2</sub>), este obligatorie existența fazei lichide a CO<sub>2</sub> la aspirația pompei. Din acest motiv s-a prevăzut un vas tampon pentru CO<sub>2</sub> lichid între condensator și pompă. Nivelul CO<sub>2</sub> lichid în vasul tampon trebuie menținut peste o valoare minimă. Astfel, când nivelul scade sub valoarea minimă, este necesară mărirea debitului de apă de răcire din condensatoare. Dacă s-a ajuns la valoare maximă a debitului de apă rece disponibil, este necesară micșorarea turației pompei de CO<sub>2</sub> lichid, care va avea ca efect micșorarea debitului de CO<sub>2</sub> care circulă și prin condensatoare. Considerând debitul și temperatura de intrare a apei de răcire constantă, rezultă că proporțional cu scăderea debitului de CO<sub>2</sub> se va mări diferența de entalpie ( $i_2 - i_3$ ), deci entalpia punctului 3  $i_3$  se va micșora, ceea ce va conduce la micșorarea temperaturii  $t_3$ , implicit la mărirea cantității de CO<sub>2</sub> condensat [Zma 00].

Din prezentarea anterioară rezultă că interacțiunile ce au loc în legătură cu ciclul termodinamic sunt relativ complexe și în general neliniare (de exemplu afectate de saturații). Din analiza lor se pot stabili manierele în care ar trebui să se modifice în regim staționar diferitele mărimi de comandă în funcție de diferite cauze sau de diferite efecte.

Principalele mărimi de comandă sunt: debitele:  $q_{ac}$ ,  $q_{ar}$  și turația  $n_p$ . Fiecare dintre acestea sunt limitate atât inferior cât și superior. Din momentul în care una dintre ele ajunge în limitare, cele trei mărimi nu mai pot fi considerate independente, fiind necesară corelarea lor. Ca exemplu în figura 3.2.2. sunt ilustrate interdependențele care afectează scăderea turației pompei ( $n_p$ ), evidențiindu-se faptul că  $n_p$  trebuie redusă atunci când:  $t_1$  scade și debitul  $q_{ac}$  a atins valoarea maximă sau când  $t_3$  crește și  $q_{ar}$  a atins valoarea maximă sau când  $h$  scade sub  $h_{min}$  și  $q_{ar}$  a atins valoarea maximă.

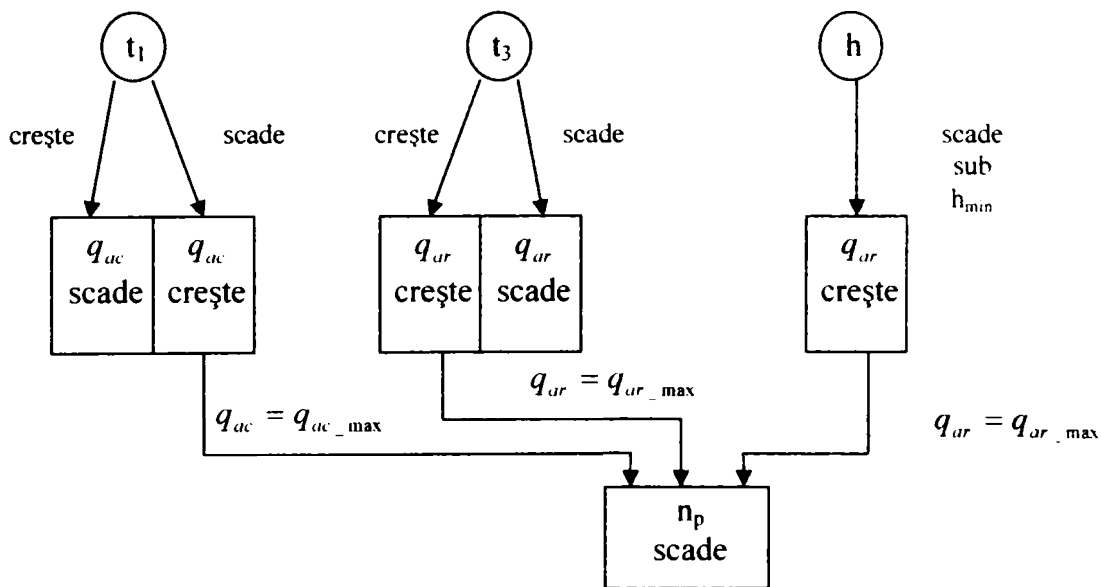


Figura 3.2.2. Schema interdependenței parametrilor centralei electrice geotermale

În esență, din prezentarea realizată rezultă că pentru menținerea constantă a ciclului termodinamic de funcționare, este suficient controlul a doi parametri: temperatura CO<sub>2</sub> gazos la intrarea în motor ( $t_1$ ) și temperatura CO<sub>2</sub> lichid după condensatoare ( $t_3$ ), în condițiile asigurării nivelului de CO<sub>2</sub> lichid ( $h$ ) deasupra valorii limită minimă  $h_{min}$ .

### 3.3. Modelarea matematică a procesului

Modelarea matematică a sistemului din cadrul centralei electrice geotermale s-a realizat pornind de la schema din figura 3.3.1 în care cu negru s-a delimitat partea care reprezintă procesul condus. Robinetele de reglare RB1 și RB2 dispuse pe traseul de alimentare cu apă geotermală și cu apă de răcire sunt robinete reglabile cu ventil, acționate cu motoare electrice. Ele au rol de elemente de execuție care furnizează mărimile de comandă pentru proces:  $q_{ac}$  și  $q_{ar}$ .

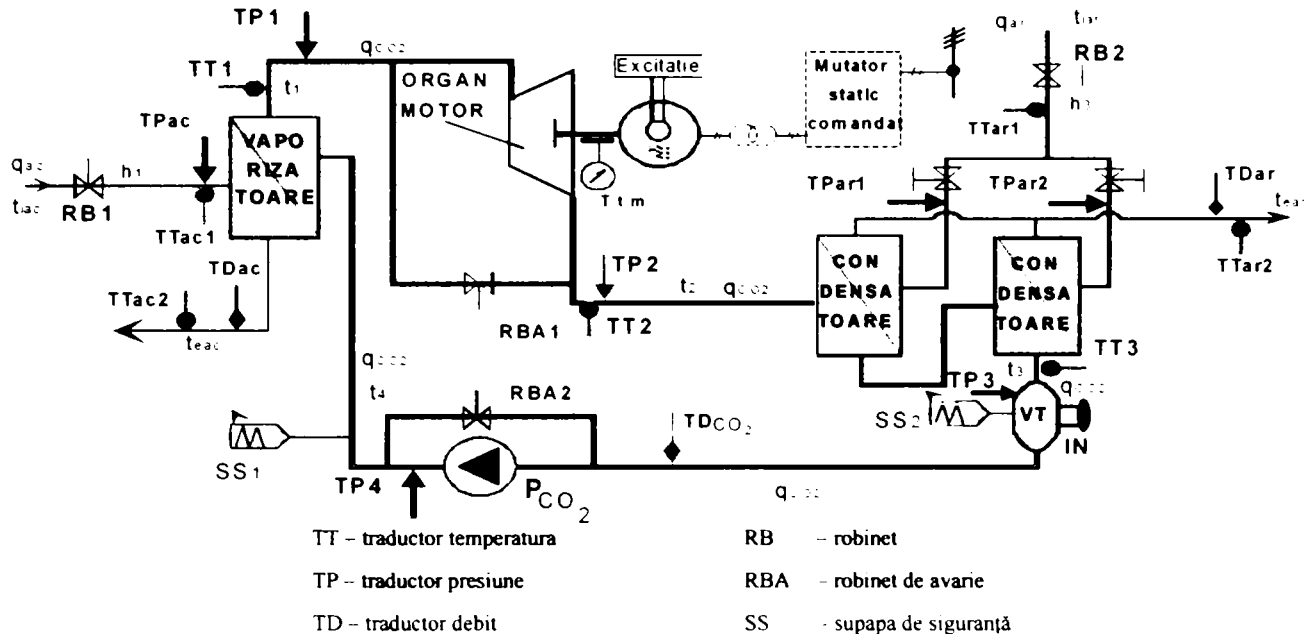
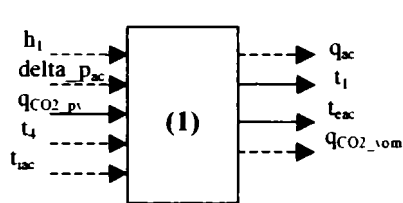


Figura 3.3.1 Schema procesului din centrala electrică geotermală

În continuare diferitele subsisteme, componente ale procesului, sunt detaliate prin blocuri notate cu (1), (2), (3) și (4). Mărimile asociate acestor blocuri reprezentate cu linie întreruptă se referă la mărimile care caracterizează circuitele de apă geotermală sau apă de răcire, pe când cele reprezentate cu linie continuă se referă la mărimile ce caracterizează ciclul bioxidului de carbon.



căldură care se desfășoară în schimbătorul de căldură „vaporizatoare”, (blocul (1)) apare în regim dinamic ca un sistem de ordinul II cu orientarea  $\{h_1, \text{delta\_pac}, q_{CO2\_pv}, t_4, t_{iac}\} \rightarrow \{q_{ac}, t_1, t_{eac}, q_{CO2\_vom}\}$  redat de următoarele egalități [Ant 99]:

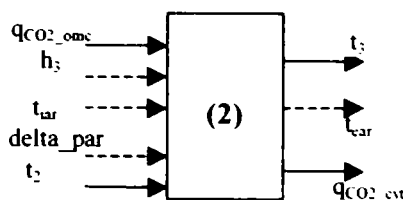
$$q_{CO2\_vom} = q_{CO2\_pv} \cdot v_{1v}, \quad v_{1v} = \begin{cases} v_1 + (t_1 - 60) \cdot 0.11786, & \text{pentru } t_1 > 60^\circ \\ v_1 + (t_1 - 60) \cdot 0.0263, & \text{altfel} \end{cases}$$

$$R_1 = R_{Inom} \left( \left( \frac{\dot{m}_{CO2nom}}{q_{CO2\_pv}} \right)^{0.8} + \left( \frac{\dot{m}_{acnom}}{q_{ac}} \right)^{0.8} \right)$$

$$q_{ac} = \frac{0.1935 \cdot h_1}{\sqrt{0.5625 + h_1^2}} \cdot \sqrt{\text{delta\_pac}}$$

$$\begin{aligned}\frac{dt_1}{d\tau} &= q_{CO_2, pv} \cdot \frac{t_1 - t_4}{m_{CO_2, nom}} + \frac{(t_{iac} + t_{eac}) - (t_1 + t_4)}{2 \cdot R_1 \cdot m_{CO_2, nom} \cdot c_{CO_2}^{med}} \\ \frac{dt_{eac}}{d\tau} &= q_{ac} \cdot \frac{t_{iac} - t_{eac}}{m_{ac, nom}} + \frac{(t_{iac} + t_{eac}) - (t_1 + t_4)}{2 \cdot R_1 \cdot m_{ac, nom} \cdot c_a}\end{aligned}\quad (3.3.1)$$

Dintre mărimile de intrare,  $h_1$  este mărime de comandă (de la robinetul RB1),  $delta\_pac$  și  $t_{iac}$  sunt mărimi perturbatoare datorate fluctuațiilor posibile ale presiunii și temperaturii apei calde, iar celelalte sunt mărimi de intrare ale circuitului de CO<sub>2</sub>. S-a considerat  $c_{CO_2}^{med} = 4100 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$ . Relațiile (3.3.1) sunt implementate în cadrul programului de simulare în blocul „vaporizatoare”, prezentat în figura 3.3.2, bloc subordonat ierarhic blocului notat „control\_vaporizatoare” (vezi figura 3.4.1.3.).



Su' sis emul care 'escr ie procesul 'e schimb de căldură care se desfășoară în schimbătorul de căldură „condensatoare” (blocul (2)), apare în regim dinamic tot ca un sistem de ordinul II cu orientarea  $\{q_{CO_2, omc}, h_3, t_{iar}, delta\_par, t_2\} \rightarrow \{t_3, t_{eac}, q_{CO_2, cvt}\}$  și este redat de următoarele e ga 'ităț [Ant 99]:

$$\begin{aligned}q_{ar} &= \frac{305.8 \cdot h_3 \cdot \sqrt{delta\_par}}{\sqrt{4 + h_3^2 \cdot delta\_par}} \\ R_2 &= R_{2nom} \cdot \left(1 + \left(\frac{q_{ar, nom}}{q_{ar}}\right)^{0.8}\right) \\ \frac{dt_3}{d\tau} &= q_{CO_2, omc} \cdot \frac{t_2 - t_3}{m_{CO_2, nom}} - \frac{(t_2 + t_3) - (t_{iar} + t_{eac})}{2 \cdot R_2 \cdot m_{CO_2, nom} \cdot c_{CO_2}^{med}} \\ \frac{dt_{eac}}{d\tau} &= q_{ar} \cdot \frac{(-t_{eac} + t_{iar})}{m_{ar, nom}} + \frac{(t_2 + t_3) - (t_{iar} + t_{eac})}{2 \cdot R_2 \cdot m_{ar, nom} \cdot c_a} \\ q_{CO_2, cvt} &= q_{CO_2, omc} \cdot v_{3c}, \quad v_{3c} = \begin{cases} v_3 + (t_3 - 26.5) \cdot 0.01, & \text{pentru } t_3 > 26.3^\circ \\ v_3, & \text{altfel} \end{cases}\end{aligned}\quad (3.3.2)$$

Dintre mărimile de intrare în acest bloc,  $h_3$  este mărime de comandă (de la robinetul RB2),  $delta\_par$  și  $t_{iar}$  sunt mărimi perturbatoare datorate fluctuațiilor posibile ale presiunii și temperaturii apei de răcire. Celelalte mărimi de intrare corespund circuitului de CO<sub>2</sub> și anume debitului și temperaturii CO<sub>2</sub> de după organul motor.

*Observație:* Datorită faptului că, pe de o parte, se apreciază că practic ultimele două mărimi au variații relativ reduse, iar pe de altă parte datorită dificultăților de modelare a organului motor, în model se consideră că cele două mărimi de intrare sunt mărimi independente care în scenariul de simulare pot fi considerate, de la caz la caz, constante sau variabile potrivit situațiilor studiate. S-a considerat  $c_{CO_2}^{med} = 66960 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$ .

Relațiile (3.3.2) sunt implementate în cadrul programului de simulare în blocul „condensatoare” (figura 3.3.3), parte componentă a blocului de simulare „control\_condensatoare”. Modul de implementare al programului de simulare este prezentat în Figura 3.4.2.2.



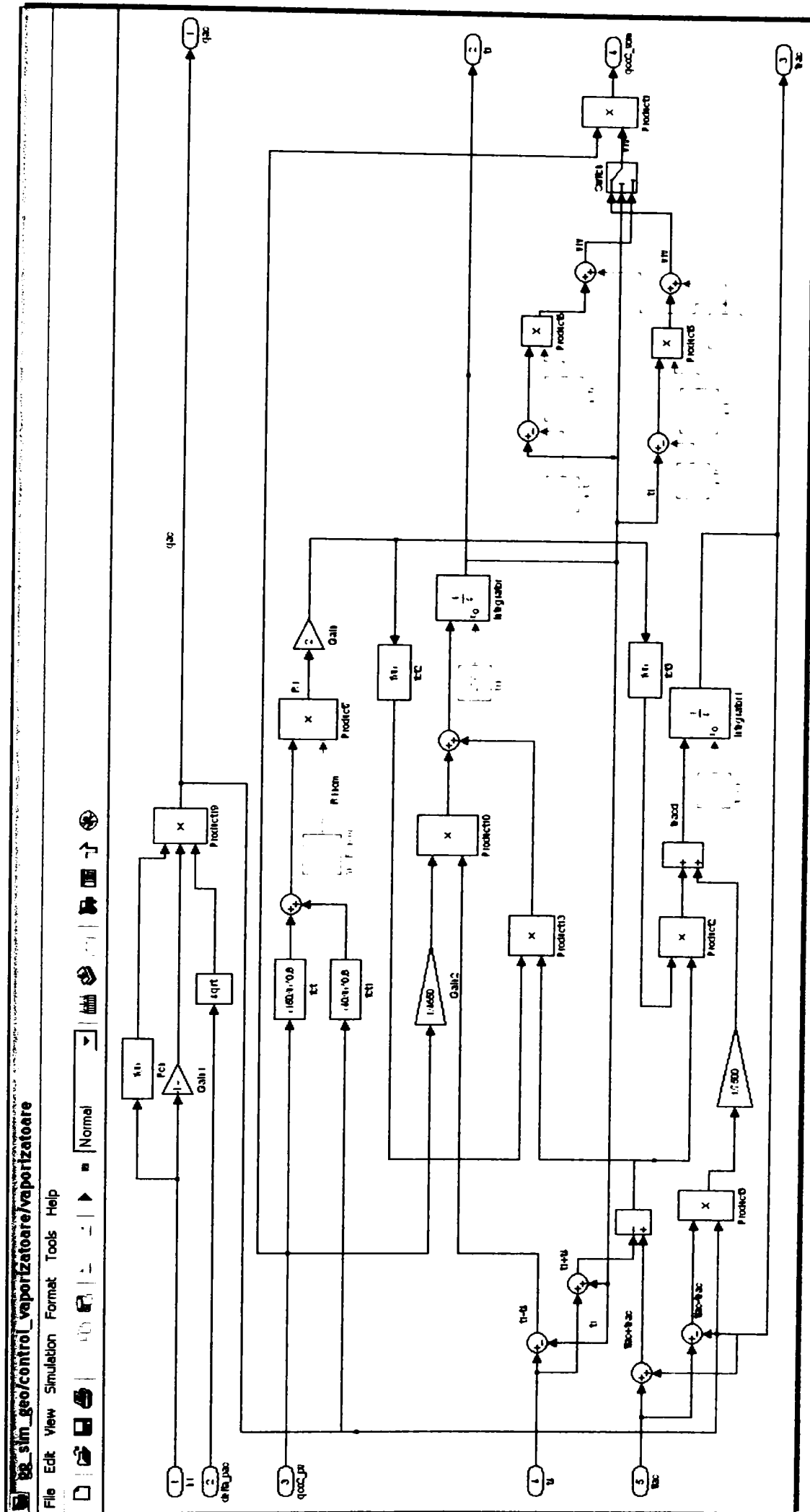


Figura 3.3.2. Model simulink al blocului „vaporizatoare”

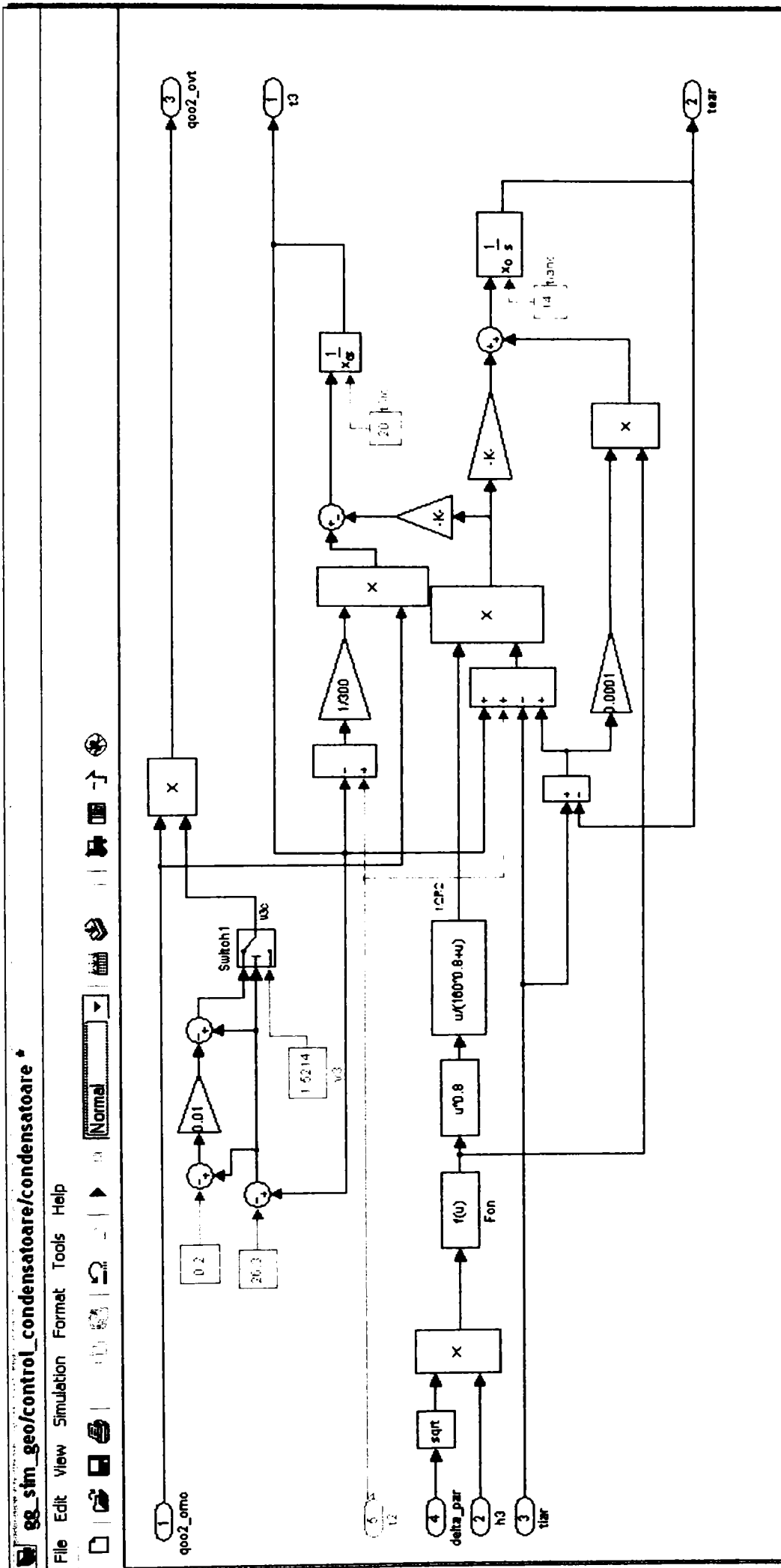
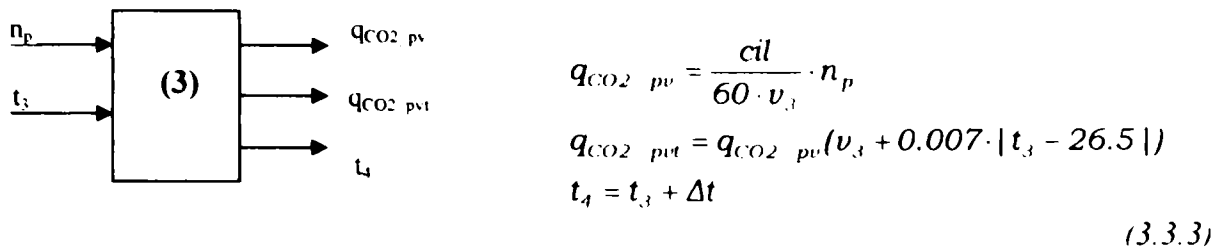


Figura 3.3.3 Model simulink al blocului „condensatoare”

Cel de-al treilea subsistem „pompă CO<sub>2</sub>” (blocul(3)) este modelat ca un sistem neinerțial de orientare:  $\{n_p, t_3\} \rightarrow \{q_{CO_2_{pv}}, q_{CO_2_{pvt}}, t_4\}$ , redat de ecuațiile [Mag 02]:



Relațiile (3.3.3) corespunzătoare blocului (3) sunt implementate în cadrul programului de simulare în blocul „pompă CO<sub>2</sub>” din figura 3.3.4, bloc subordonat ierarhic blocului „complex\_pompă\_CO<sub>2</sub>” din figura 3.4.1.4.5.

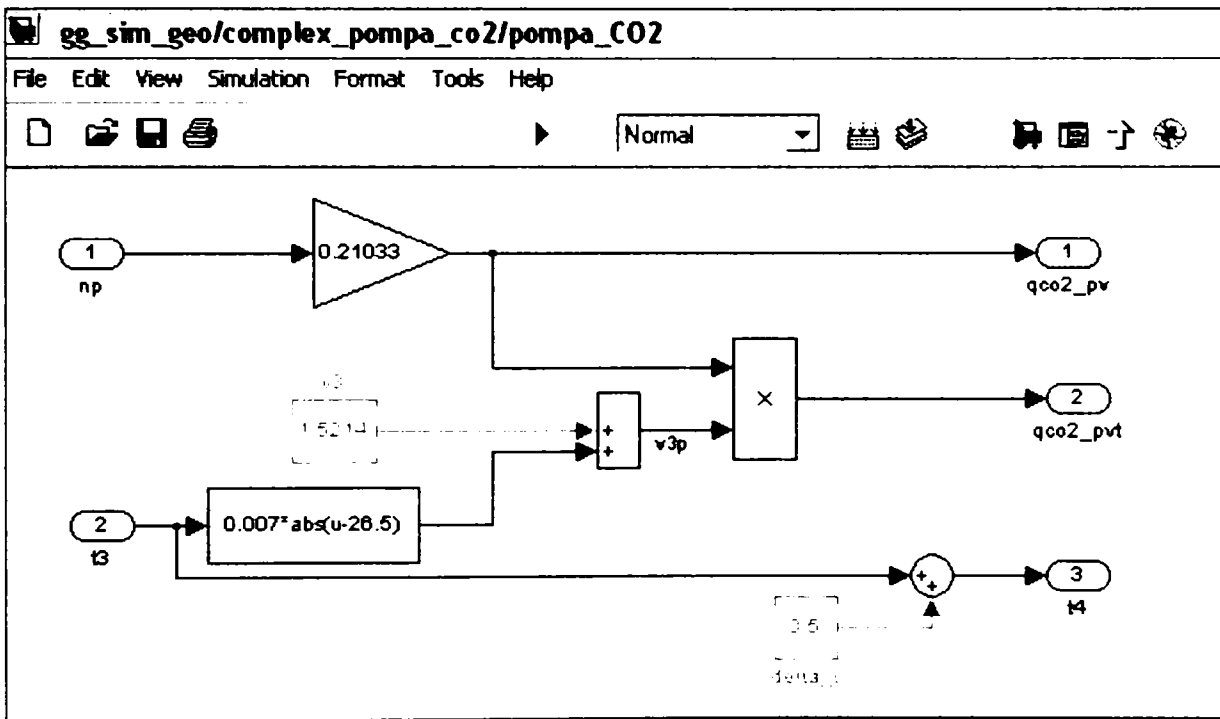
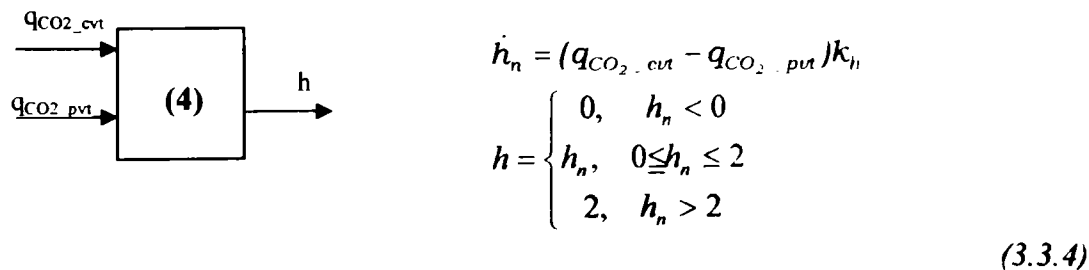


Figura 3.3.4. Model simulink al blocului „pompă CO<sub>2</sub>”

Al patrulea subsistem, vasul tampon (blocul(4)) reprezintă un sistem de ordinul I, de orientare  $\{q_{CO_2_{cvt}}, q_{CO_2_{pvt}}\} \rightarrow \{h\}$ , modelat de ecuația:



Schema simulink a blocului vas tampon este prezentată în fig. 3.3.5, integrată ulterior în „complex\_vas\_tampon” din figura 3.4.1.4.3.

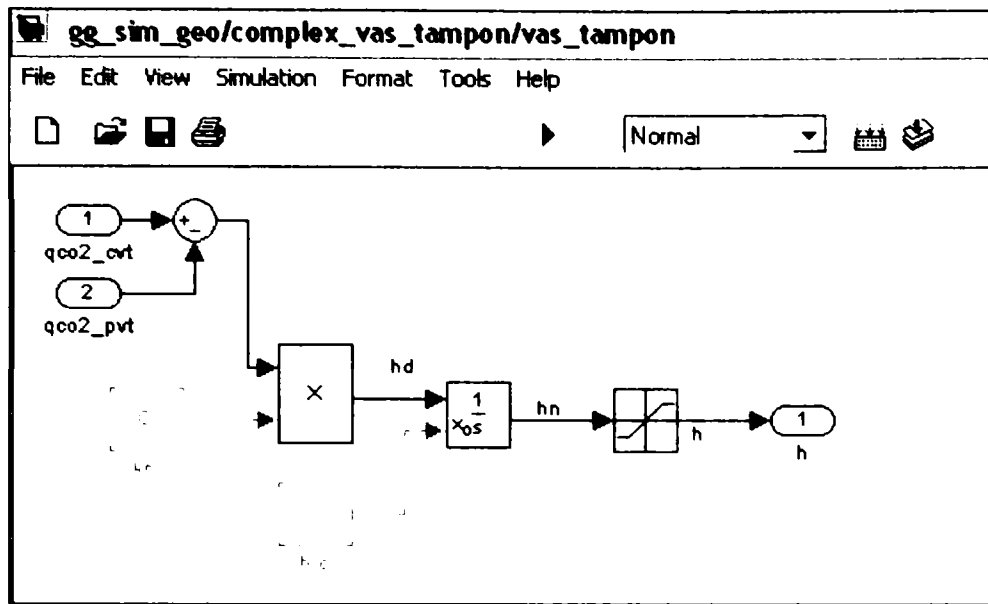


Figura 3.3.5 Model simulink al blocului „vas\_tampon”

### 3.4. Strategia de automatizare

Centrala electrică geotermală utilizează ca fluid de lucru  $\text{CO}_2$  care evoluează după un ciclu termodinamic de tipul celui prezentat în figura 3.2.1. Conducerea întregului proces se realizează de către automatul programabil (vezi subcapitol 2.6) referit în continuare prin AP. Funcțiile principale de automatizare implementate prin AP sunt:

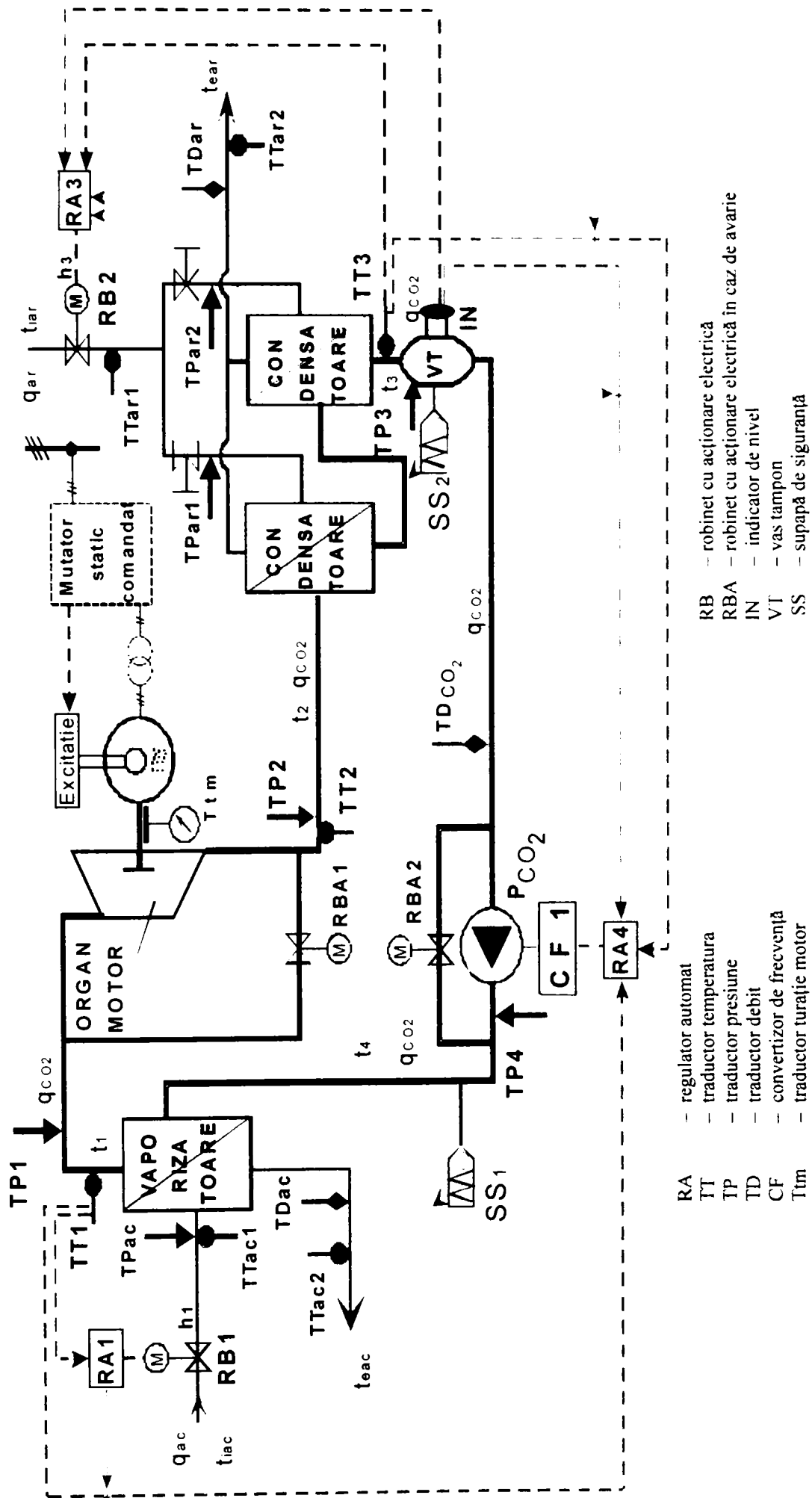
- F1 – reglarea parametrilor ciclului termodinamic al  $\text{CO}_2$  prin menținerea constantă a presiunii și temperaturii  $\text{CO}_2$  în cele patru puncte principale ale ciclului termodinamic la acțiunea factorilor perturbatori (*funcția de reglare*).
- F2 – funcționarea centralei electrice în condiții de siguranță; în principal se urmăresc semnalizarea operativă a avarilor și oprirea automată a funcționării centralei electrice geotermale în cazuri bine precizate.

În continuare, în cadrul paragrafelor 3.4.1 și 3.4.2 se detaliază conținutul acestor două funcții, iar în paragraful 3.4.3. se fac referiri la modul de implementare al funcțiilor pe AP. Operațiile care intră în seama AP sunt indicate în schemele simulink prin blocuri umbrite (Shadow block).

#### 3.4.1. Asigurarea funcției de reglare a parametrilor ciclului termodinamic al $\text{CO}_2$

##### 3.4.1.1. Aspecte generale

Pe baza analizei cerințelor de funcționare a sistemului, au rezultat ca necesare următoarele bucle de reglare (figura 3.4.1.1.1): o buclă de reglare a temperaturii  $t_1$  a temperaturii  $\text{CO}_2$  la ieșirea din vaporizatoare, o buclă de reglare a temperaturii  $t_3$  a  $\text{CO}_2$  la ieșirea din condensatoare și o buclă de reglare a nivelului  $h$  a  $\text{CO}_2$  în vasul tampon. Conducerea celor trei bucle se realizează prin regulatoarele RA1, RA3 respectiv RA4. Prin RA4 se controlează turația pompei de  $\text{CO}_2$ , creindu-se astfel posibilitatea de a folosi acest regulator și pentru corecția temperaturilor  $t_1$  și  $t_3$  în situații limită (atunci când debitul apei geotermale nu mai poate fi mărit sau atunci când debitul apei de răcire nu mai poate fi mărit). Rezultă astfel o schemă de reglare convergentă. [Căl 76] , [Phi 96].



- RA - regulator automat
- TT - traductor temperatura
- TP - traductor presiune
- TD - traductor debit
- CF - convertizor de frecvență
- Ttm - traductor turație motor
- RB - robinet cu acționare electrică
- RBA - robinet cu acționare electrică în caz de avarie
- IN - indicator de nivel
- VT - vas tampon
- SS - supapă de siguranță

Figura 3.4.1.1.1. Bucele de reglare (cu echipamente de măsurare și comandă) ale schemei centralei

Principalele echipamente de măsurare și de comandă necesare pentru funcționarea buclelor de reglare ale centralei electrice geotermale sunt prezentate în tabelul 3.4.1.1.1

Mărime controlată	Echipament de măsurare	Regulator + element de execuție	
		Reglare în condiții normale	Reglare în condiții speciale
$t_1$	traductor de temperatură TT1	RA1+ RB1 (robinet cu acționare electrică)	RA4 + pompă $P_{CO_2}$ în cascadă peste RA1+RB1
$t_3$	traductor de temperatură TT3	RA3 + RB2 (robinet cu acționare electrică )	RA4 + pompă $P_{CO_2}$ în cascadă peste RA3+RB2
$h$	traductor de nivel IN	RA4 + RB2 (robinet cu acționare electrică)	RA4 + pompă $P_{CO_2}$ cu reglarea lui $h$ prioritară față de controlul lui $t_1$ și $t_3$

Tabel 3.4.1.1.1. Principalele echipamente de măsurare și comandă

În figura 3.4.1.1.1. apare și subsistemul format din organul motor – generatorul electric – mutatorul static comandat. Studiul ansamblului nu face obiectul prezentei teze. Maniera de lucru a fost precizată în observația consecutivă relațiilor (3.3.2). Totuși, în paragraful 3.5.1 se fac unele referiri la această parte a sistemului.

Principalele interacțiuni din buclele de reglare, sunt prezentate sintetic în tabelul 3.4.1.1.2. [Gab2 00], [Gab1 01]:

Mărimea controlată / Componente buclă de reglare	Tendența de variație a mărimii controlate	Acțiuni element de execuție
$t_1$ / TT1, RA1, RB1, vaporizatoare	$t_1$ crește	RB1 reduce debitul de apă geotermală
TT1, RA1, RB1, vaporizatoare	$t_1$ scade ( $\dot{m}_{ac} < \dot{m}_{ac\_max}$ )	RB1 mărește debitul de apă geotermală
TT1, RA1, RB1, vaporizatoare TT1, RA4, CF1, $P_{CO_2}$	$t_1$ scade ( $\dot{m}_{ac} = \dot{m}_{ac\_max}$ )	RB1 complet deschis, RA4 reduce turația pompei de $CO_2$ lichid
$t_3$ / TT3, RA3, RB2, condensatoare	$t_3$ crește ( $\dot{m}_{ar} < \dot{m}_{ar\_max}$ )	RA3 mărește debitul de apă de răcire
TT3, RA3, RB2, condensatoare	$t_3$ crește ( $\dot{m}_{ar} = \dot{m}_{ar\_max}$ )	RB3 complet deschis, RA4 reduce turația pompei de $CO_2$ lichid
TT3, RA3, RB2, condensatoare	$t_3$ scade	reduce debitul de apă de răcire
$h$ / IN, RA4, CF1, $P_{CO_2}$	$h$ scade	mărește debitul de apă de răcire
IN, RA4, CF1, $P_{CO_2}$	$h$ crește	scade turația pompei de $CO_2$ lichid

Tabel 3.4.1.1.2. Interacțiuni din buclele de reglare automată

În ceea ce privește temperatura  $t_1$ , tabelul 3.4.1.1.2 indică faptul că în situația în care robinetul RB1 nu lucrează în regim de limitare a debitului  $q_{ac}$ , mărimea  $t_1$  poate să crească sau să scadă prin scăderea sau creșterea debitului de apă geotermală numai prin intervenții ale regulatorului RA1, respectiv ale robinetului RB1. Structura care influențează în acest caz temperatura se rezumă la elementele buclei de reglare a temperaturii  $t_1$ . Atunci când

debitul  $q_{ac}$  ajunge la nivelul maxim, structura sistemului automat care modifică pe  $t_1$  se schimbă, elementul de execuție devenind pompa de CO<sub>2</sub> care acționează în sensul reducerii debitului de CO<sub>2</sub> pompat în vaporizator ( $q_{CO_2_{pv}}$ ). O interpretare similară este valabilă și în cazul temperaturii  $t_3$ .

În continuare se detaliază diferite alte aspecte referitoare la cele trei bucle.

### 3.4.1.2. Bucla de reglare a temperaturii $t_1$

Bucla de reglare a temperaturii  $t_1$  corespunde în cadrul centralei electrice zonei vaporizatoare (vezi zona hașurată din Figura 3.4.1.2.1). În buclă temperatura  $t_1$  este măsurată prin intermediul traductorului de temperatură TT1 și transmisă regulatorului RA1. Regulatorul compară valoarea măsurată cu valoarea de referință a acestei temperaturi, acționând diferențiat după cum  $t_1$  se încadrează sau nu în domeniul admisibil [ $t_{11}=58^{\circ}$ ,  $t_{12}=62^{\circ}$ ]. La funcționarea în domeniul admisibil, menținerea temperaturii CO<sub>2</sub> la ieșirea din vaporizatoare, implicit la intrarea în organul motor, în domeniul prescris se realizează prin variația debitului de apă geotermală care trece prin bateria de vaporizatoare. Când temperatura  $t_1$  nu se încadrează în domeniul admisibil, menținerea temperaturii CO<sub>2</sub> la valoarea prescrisă se realizează prin modificarea debitului de CO<sub>2</sub> prin intermediul turației pompei de bioxid de carbon P<sub>CO2</sub>.

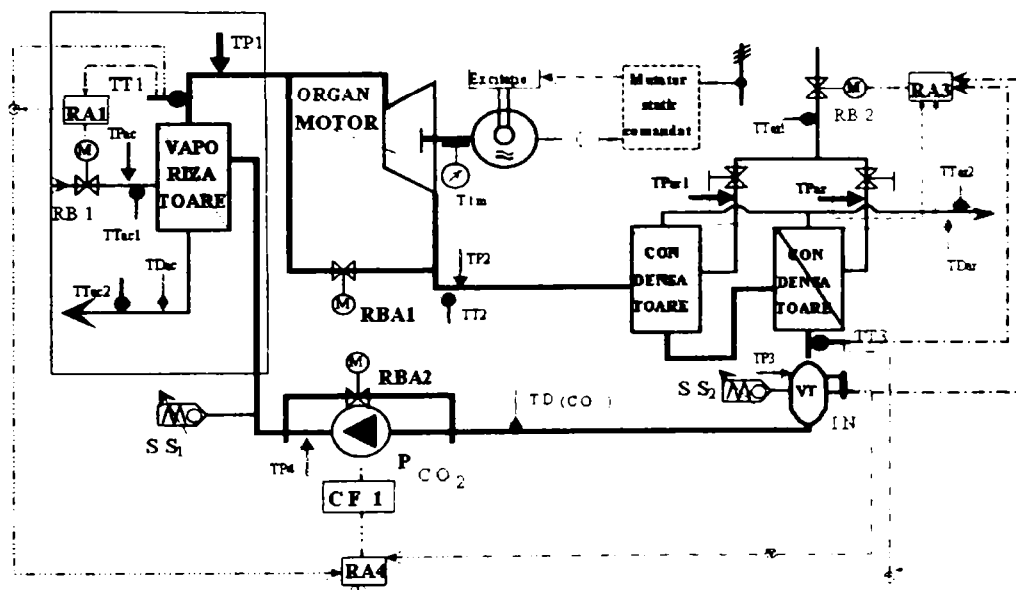


Figura 3.4.1.2.1. Centrala electrică geotermală – zona vaporizatoare

În condiții normale, variația debitului de apă geotermală este comandată de regulatorul RA1, care intervine în bucla de reglare asupra robinetului RB1 prin intermediul motorului M.

În condiții speciale ( $t_1 < 58^{\circ}$  și robinet RB1 complet deschis, când bucla comandată de regulatorul RA1 este saturată) modificarea turației pompei de CO<sub>2</sub> se comandă de către regulatorul RA4. În acest caz, în principiu apare o structură de reglare în cascadă prin care temperatura de la ieșirea vaporizatoarelor este subordonată pompei. La revenirea temperaturii între limitele admisibile, comanda se transferă din nou regulatorului RA1.

Modul de funcționare al sistemului de reglare a temperaturii  $t_1$  este prezentat în Figura 3.4.1.2.2 prin intermediul schemei logice a algoritmului care constituie de fapt regulatorul RA1, algoritm implementat pe AP.

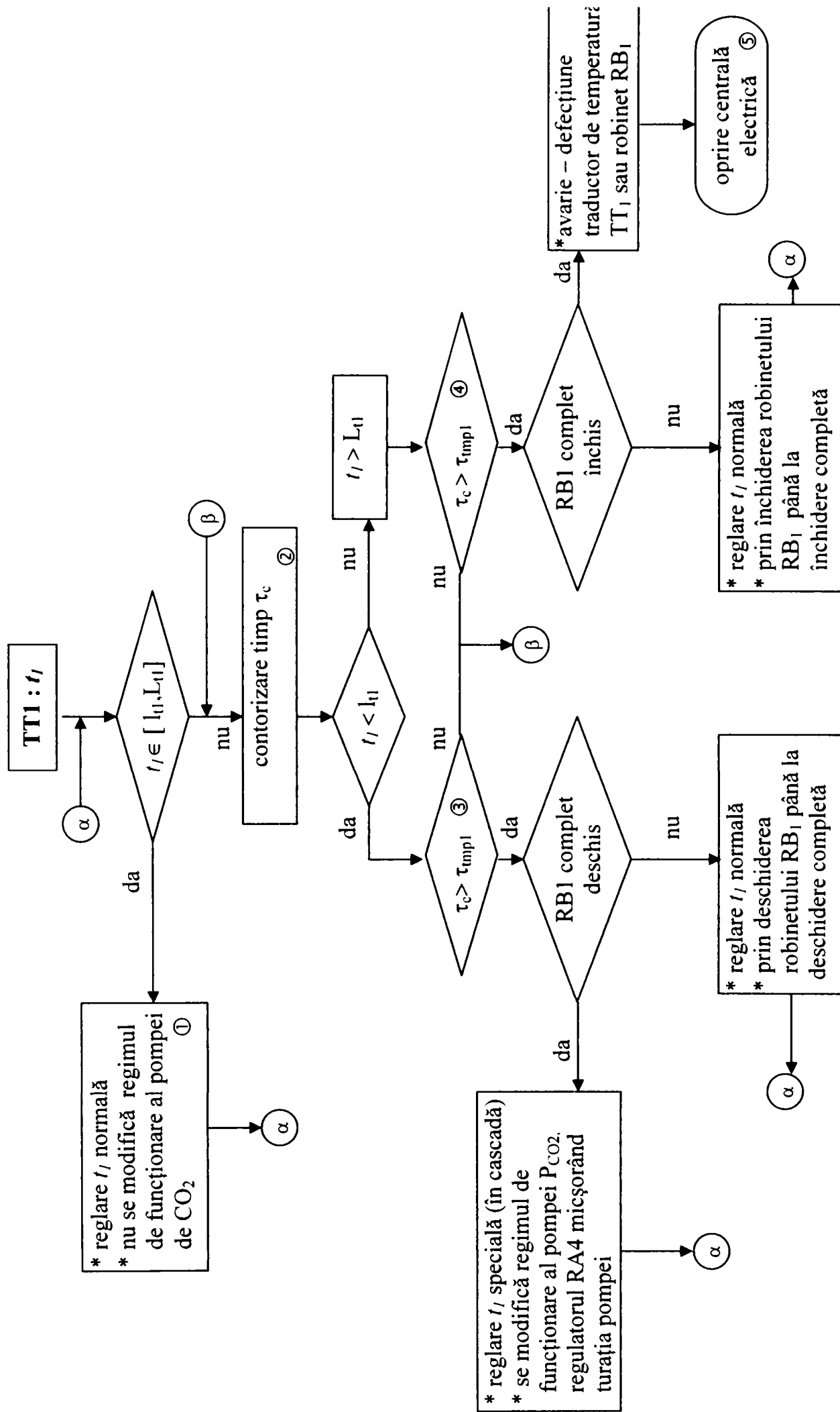


Figura 3.4.1.2.2 Schema logică a algoritmului de reglare RA1 ( pentru temperatura  $t_1$ )





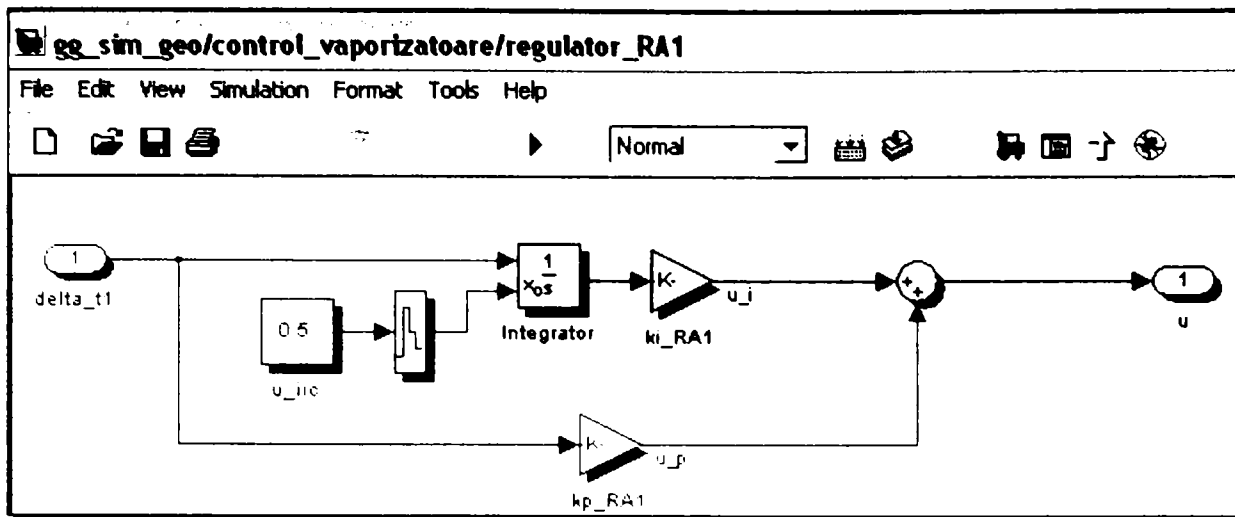


Figura 3.4.1.2.4. Model simulink al blocului „regulator\_RA1”

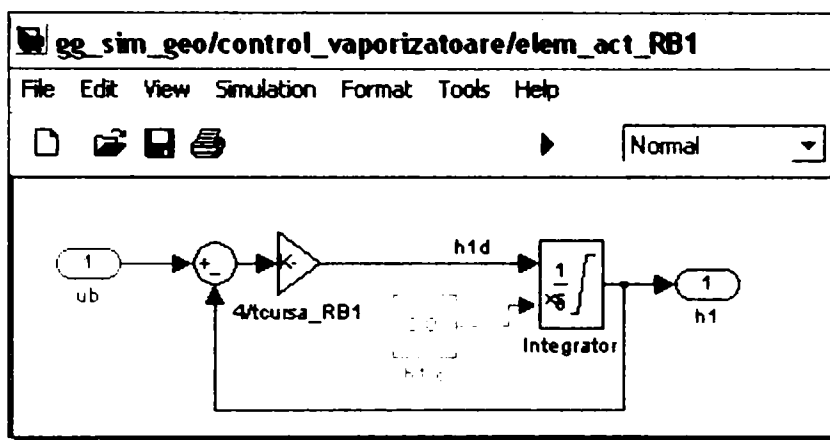


Figura 3.4.1.2.5. Model simulink al blocului „elem\_act\_RB1”

Blocul corespunzător traductorului de măsurare a temperaturii  $t_1$ , „trad\_TT1” este reprezentat în figura 3.4.1.2.6. Traductorul se comportă ca un element de transfer  $PT_1$  cu constanta de timp 5.4 secunde și amplificare de 0.99. În capitolul 4 această structură simplă se modifică din considerente de mărire a fiabilității sistemului de reglare.

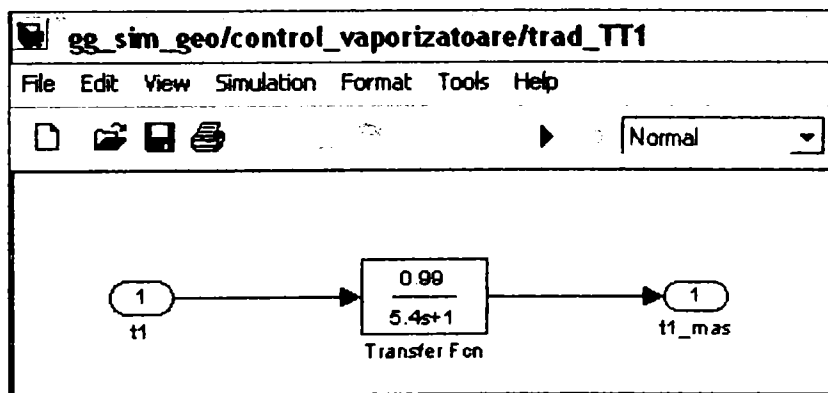


Figura 3.4.1.2.6. Model simulink al blocului „trad\_TT1”

### 3.4.1.3. Bucla de reglare a temperaturii $t_3$

Bucla de reglare a temperaturii  $t_3$  corespunde în cadrul centralei electrice zonei condensatoare (vezi zona hașurată din Figura 3.4.1.3.1) În această buclă, temperatura  $t_3$  este măsurată prin intermediul traductorului TT3 și transmisă regulatorului RA3. Regulatorul compară valoarea măsurată cu valoarea de referință a acestei temperaturi acționând diferențiat, după cum  $t_3$  se încadrează sau nu în domeniul admisibil [ $t_3=25^0$ ,  $L_3=26.5^0$ ].

La funcționarea în domeniul admisibil, menținerea temperaturii  $CO_2$  după bateria de condensatoare, implicit la intrarea în vasul tampon în domeniul prescris se realizează prin reglarea debitului de apă de răcire care trece prin baterie. Când temperatura  $t_3$  nu se încadrează în domeniul admisibil, debitul apei de răcire fiind la valoare maximă, menținerea temperaturii  $CO_2$  la valoarea prescrisă se realizează prin modificare debitului de  $CO_2$  prin intermediul modificării turației pompei de bioxid de carbon  $P_{CO_2}$ .

În condiții normale, variația debitului de apă rece este comandată de regulatorul RA3, care intervine asupra robinetului RB2 prin intermediul motorului M. În condiții speciale ( $t_3 > 26.5^0$  și robinet RB2 complet deschis când bucla comandată de regulatorul RA3 este saturată), modificarea turației pompei de  $CO_2$  se comandă de către regulatorul RA4. În acest caz sistemul de reglare are în principiu o structură în cascadă prin care temperatura de la ieșirea vaporizatoarelor este subordonată pompei. La revenirea temperaturii între limitele admisibile, comanda se transferă din nou regulatorului RA3.

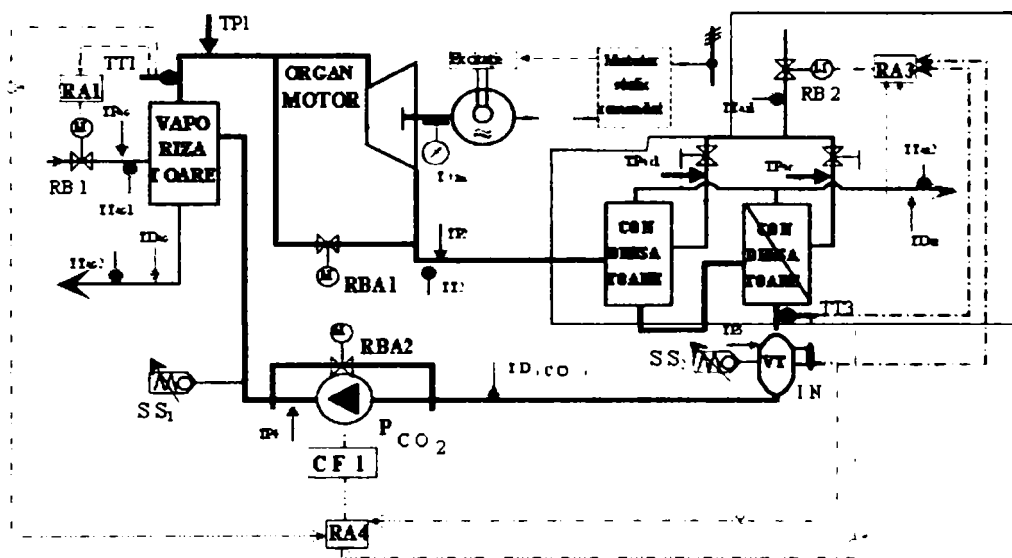


Figura 3.4.1.3.1. Centrala electrică geotermală – zona condensatoare

Modul de funcționare al sistemului de reglare a temperaturii  $t_3$  este prezentat în figura 3.4.1.3.2 prin intermediul schemei logice a algoritmului care constituie de fapt regulatorul RA3, algoritm implementat pe AP. În funcționare normală, algoritmul se exercită în fiecare ciclu numai prin blocul ①. În situația limită calea de calcul trece prin contorul de timp ②,  $\tau_c$  reprezentând timpul contorizat, reinițializat pe zero, atunci când funcționarea se normalizează prin comutare pe blocul ①. În continuare intervenția pe calea ③ se soldează cu o evoluție în buclă închisă fără efect final ultimativ (oprire) din partea algoritmului RA3, pe când intervenția pe calea ④ se face într-o buclă închisă care poate avea efect final ultimativ ( blocul ⑤).

Bucla de reglare a temperaturii  $t_3$  este modelată de blocul „control condensatoare” (figura 3.4.1.3.3).

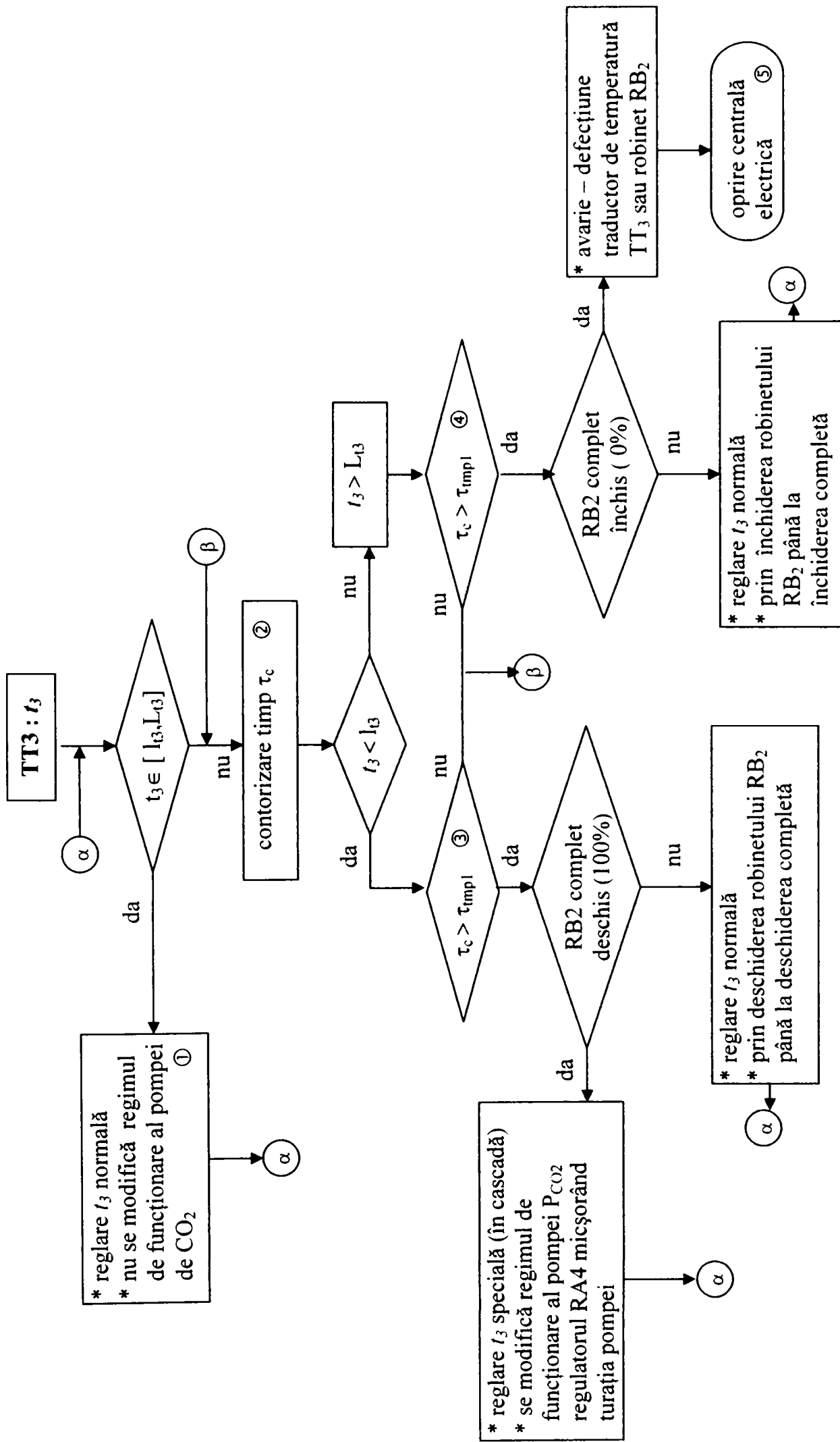


Figura 3.4.1.3.2. Schema logică a algoritmului de reglarea RA3 (pentru temperatura  $t_3$ )

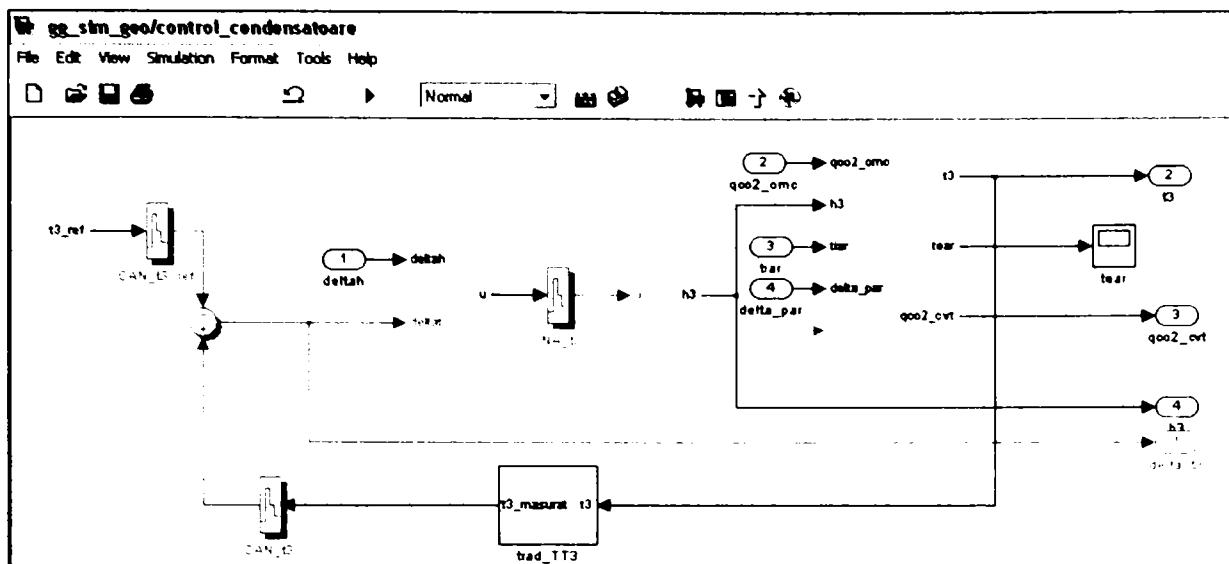


Figura 3.4.1.3.3. Model simulink al blocului „control\_condensatoare”

Modelul conține blocul corespunzător regulatorului RA3 - „regulator\_RA3”, blocul corespunzător elementului de acționare RB2 - „elem\_act\_RB2”, blocul corespunzător condensatoarelor - „condensatoare”, blocul traductorului de temperatură TT3 - „trad\_TT3”, elementele de conversie N/A și A/N și un element de prescriere a valorii de referință a temperaturii  $t_3$  - „t3\_referinta”.

Blocul „regulator\_RA3” (figura 3.4.1.3.4) corespunde blocului ① din figura 3.4.1.3.2 și implementează o lege de reglare de tip PID discretizată a cărei proiectare nu face obiectul acestei lucrări. Reproiectarea regulatorului RA1 va conduce implicit și la reproiectarea regulatorului RA3

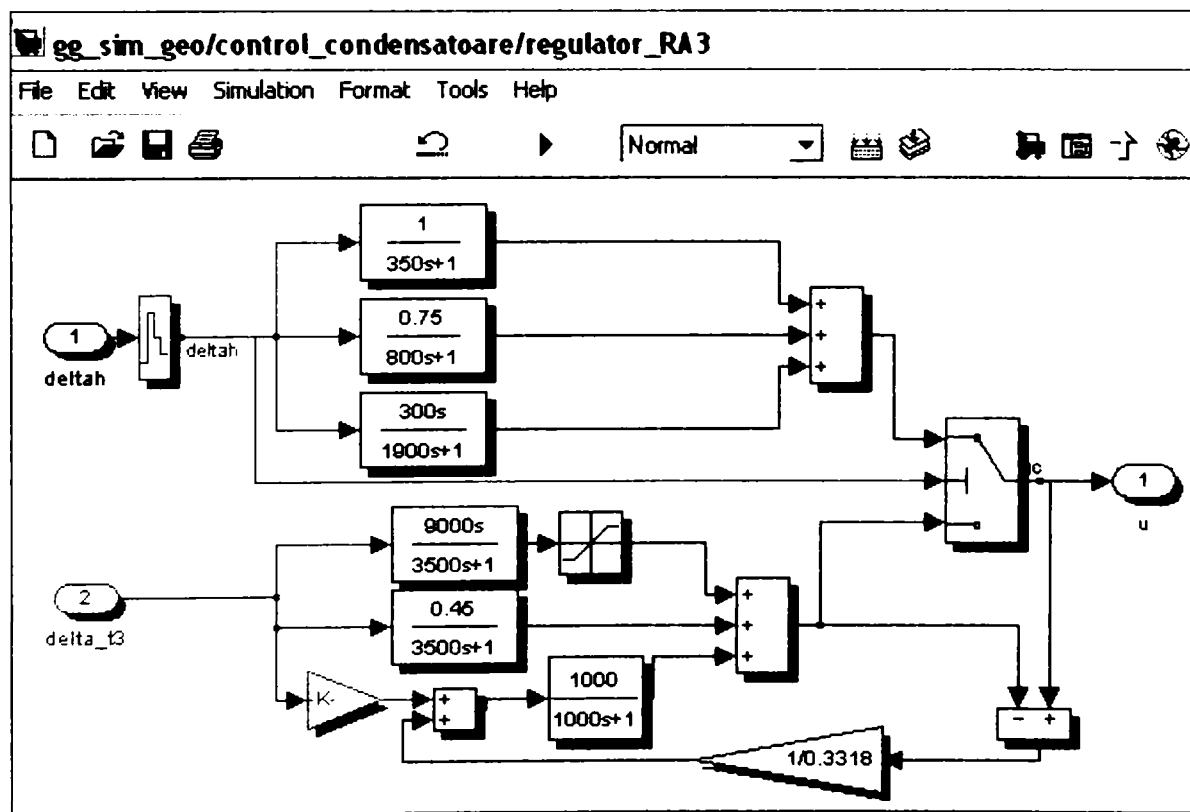


Figura 3.4.1.3.4. Model simulink al blocului „regulator\_RA3”

Blocul „*elem\_act\_RB2*” (vezi figura 3.4.1.3.5) modeleaza robinetul RB2 prezentat în Figura 3.4.2.1 ținând cont de tipul robinetului și de inerția acestuia. Limitarea corespunde AP care furnizează mărimea de comandă elaborată de algoritmul RA3.

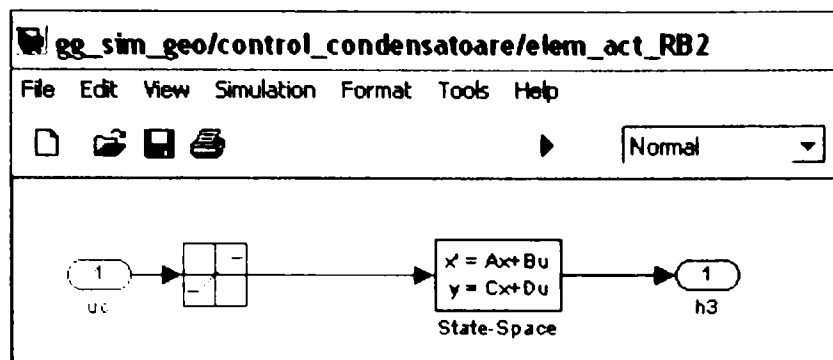


Figura 3.4.1.3.5. Model simulink al blocului „*elem\_act\_RB2*”

Blocul corespunzător traductorului de măsurare a temperaturii  $t_3$ , „*trad\_TT3*” este prezentat în figura 3.4.1.3.6. Traductorul se comportă ca un element de transfer  $PT_1$  cu constanta de timp 5.4 secunde și amplificare de 0.99. În capitolul 4 se modifică din considerente de mărire a fiabilității sistemului de reglare și această structură.

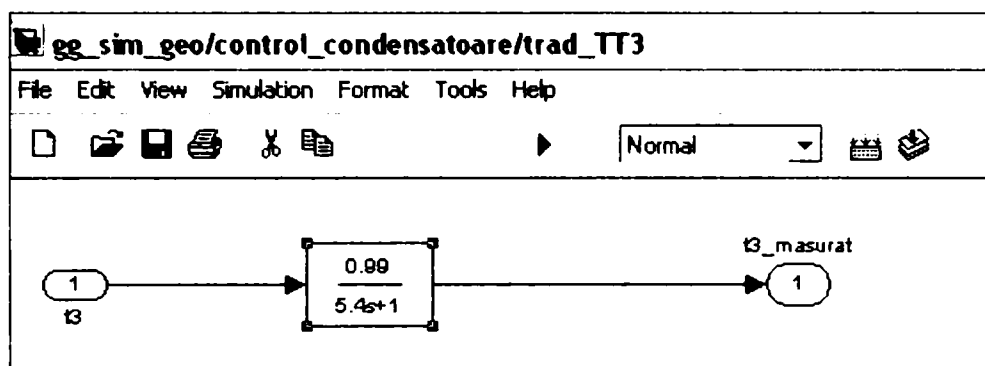


Figura 3.4.1.3.6. Model simulink al blocului „*trad\_TT3*”

#### 3.4.1.4. Reglarea nivelului $h$ al $CO_2$ lichid din vasul tampon

Pentru a controla nivelul  $h$  al  $CO_2$  lichid în amonte de pompa de  $CO_2$  sunt utilizate vasul tampon și pompa de vehiculare a  $CO_2$  [Mag 02], indicate în Fig. 3.4.1.4.1 și Fig. 3.4.1.4.4 prin zone colorate. Acest lucru se face utilizând un sistem de reglare relevant în ambele figuri. După cum a rezultat din paragrafele anterioare, pompa de  $CO_2$  are un rol multiplu intervenind și în reglarea temperaturii  $t_1$  și  $t_3$ . S-a optat pentru prezentarea ansamblului pompei în acest paragraf.

Nivelul  $h$  este măsurat prin intermediul traductorului de nivel IN și transmis reglatorilor RA3 și RA4. Regulatorul RA3 compară valoarea măsurată cu valoarea de referință a nivelului și verifică dacă este mai mică decât nivelul minim admisibil ( $h_{min} = 0,5$  m). Dacă indicatorul de nivel IN indică un nivel sub valoarea minimă admisă, atunci intervine reglatorul RA3 în sensul deschiderii robinetului RB2 prin intermediul motorului M, modificând debitul de apă de răcire ceea ce determină modificarea volumului de  $CO_2$  lichid și implicit nivelul acestuia din vasul tampon.

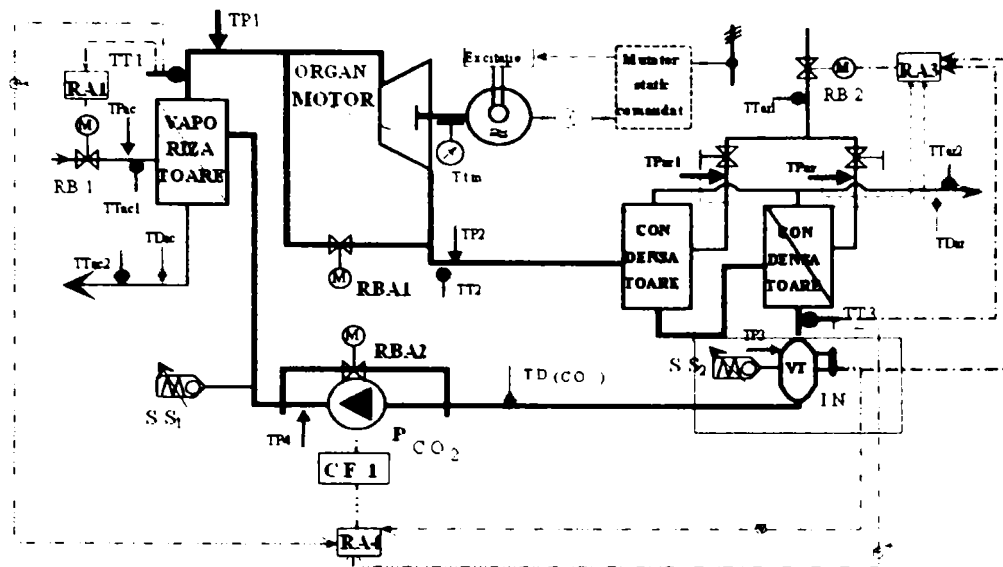


Figura 3.4.1.4.1. Centrala electrică geotermală – zona vas tampon

Dacă  $h < h_{\min}$  și dacă robinetul RB2 complet deschis, reglarea nivelului  $h$  din vasul tampon se realizează prin intermediul regulatorului RA4, care comandă pompa de  $\text{CO}_2$ , micșorând turația acesteia și debitul de  $\text{CO}_2$  care circulă prin instalație. Maniera în care se acționează în cadrul buclei de reglare a nivelului  $h$  de  $\text{CO}_2$  lichid din vasul tampon este prezentată schematic în figura 3.4.1.4.2.

În cadrul programului de simulare, ansamblului îi corespunde blocul notat „*complex\_vas\_tampon*” (vezi figura 3.5.1.). Implementarea blocului „*complex\_vas\_tampon*” s-a realizat ca în figura 3.4.1.4.3, utilizând blocurile „*vas\_tampon*” (figura 3.3.5) și „*auxiliar\_vas\_tampon*”.

Blocul de calcul „*auxiliar\_vas\_tampon*” efectuează operația

$$\Delta h = h - h_{\min},$$

necesară pe partea de comandă a condensatoarelor și pompei de  $\text{CO}_2$ . Nivelul minim de referință ( $h_{\min}$ ) este implementat în cadrul blocului „*auxiliar\_vas\_tampon*”.

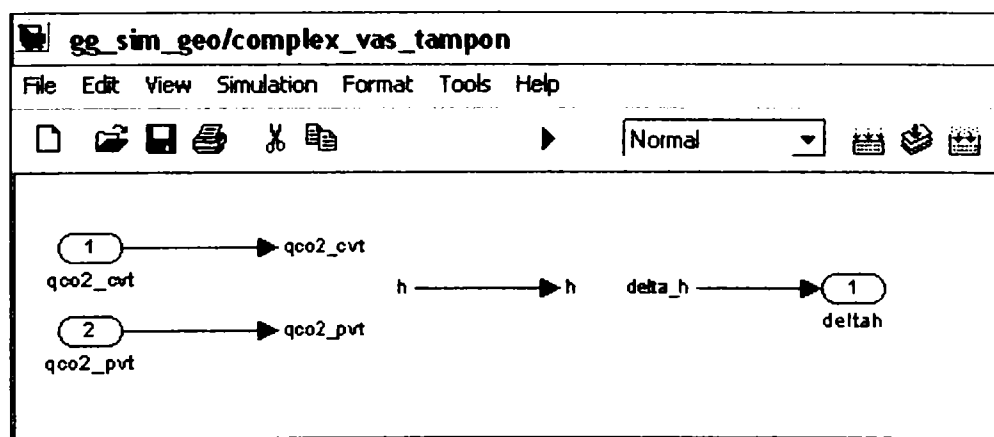


Figura 3.4.1.4.3. Model simulink al blocului „*complex\_vas\_tampon*”

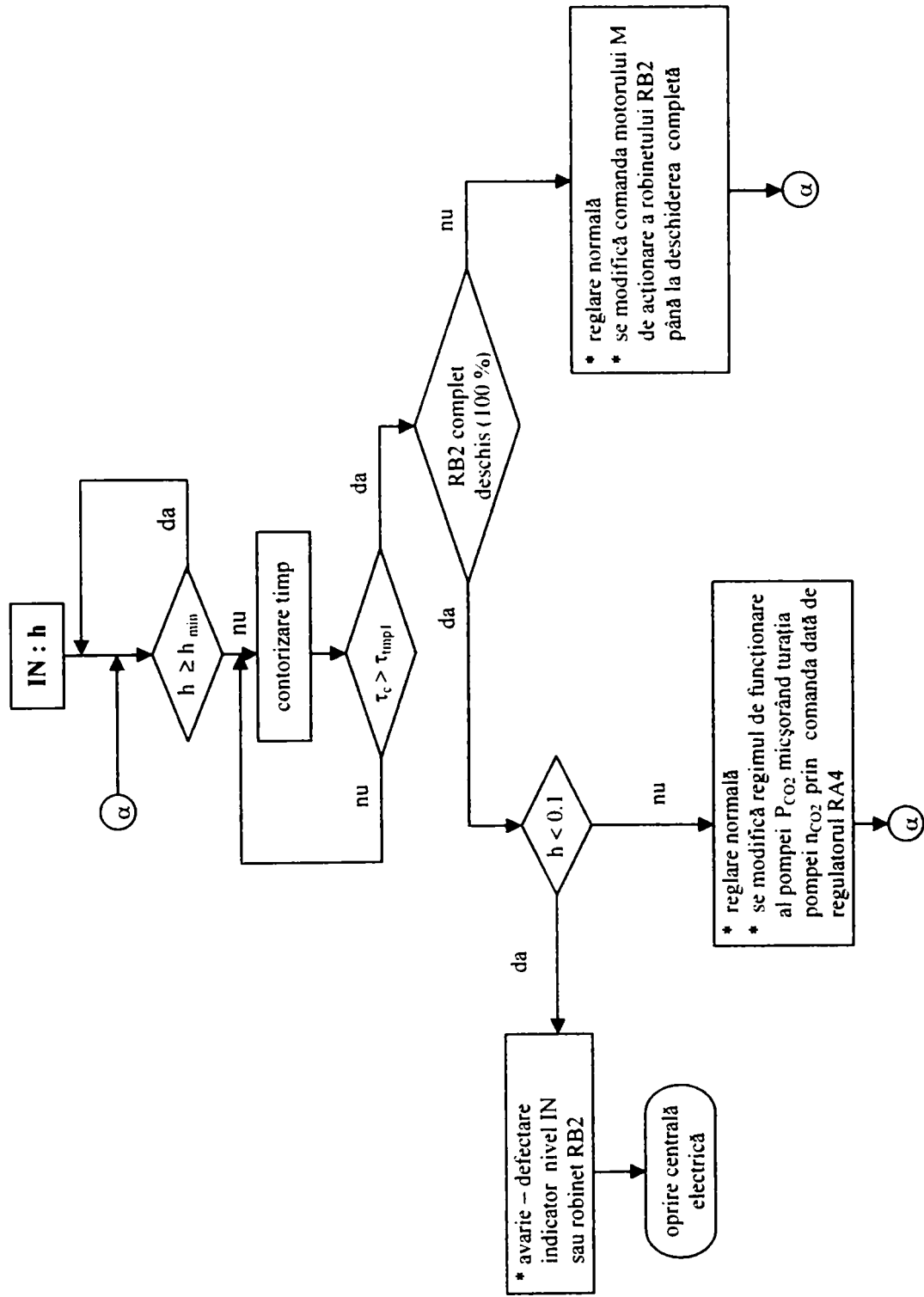


Figura 3.4.1.4.2. Schema logică a algoritmului de reglarea RA4 (pentru  $h$ )



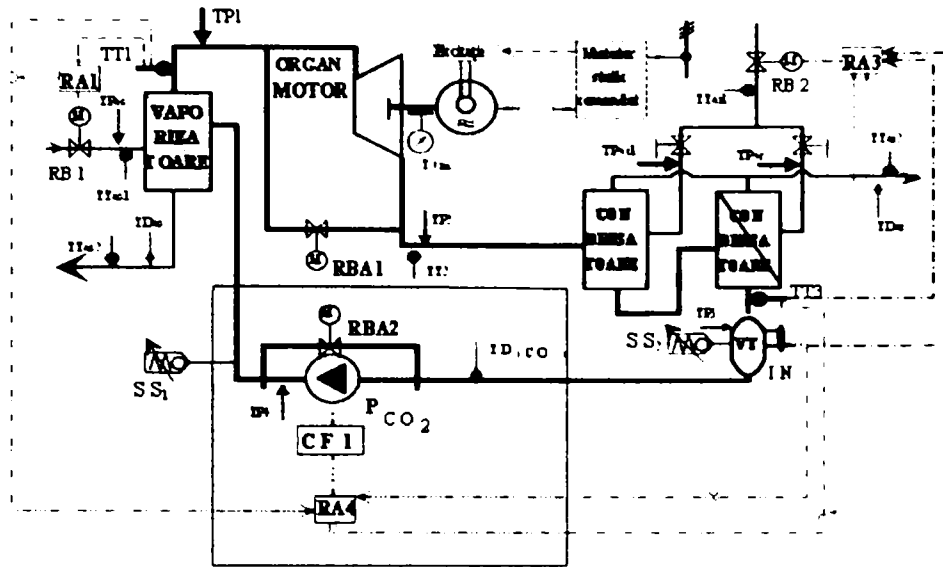


Figura 3.4.1.4.4. Centrala electrică geotermală – zona pompa CO<sub>2</sub>

Structura programului de simulare al ansamblului referitor la pompă este redată în figura 3.4.1.4.5 (blocul „*complex\_pompa\_CO2*”). Blocul „*conditionare\_reglare*” ține cont de toate elementele din sistem care influențează modul de funcționare al pompei de CO<sub>2</sub>. Semnalele de intrare ale acestui bloc provin de la toate celelalte blocuri ale sistemului așa cum apar în figura 3.5.1.

Reglarea turației pompei de CO<sub>2</sub> este realizată prin intermediul regulatorului RA4, implementat în cadrul programului de simulare prin blocul „*regulator\_RA4*” din figura 3.4.1.4.5. Blocul notat „*el\_act\_pompa*” este utilizat pentru implementarea motorului pompei de CO<sub>2</sub> și redă inerția acestuia. Blocul „*pompa\_CO2*” este implementat utilizând ecuațiile (3.3.3) prezentate în detaliu în subcapitolul 3.3.

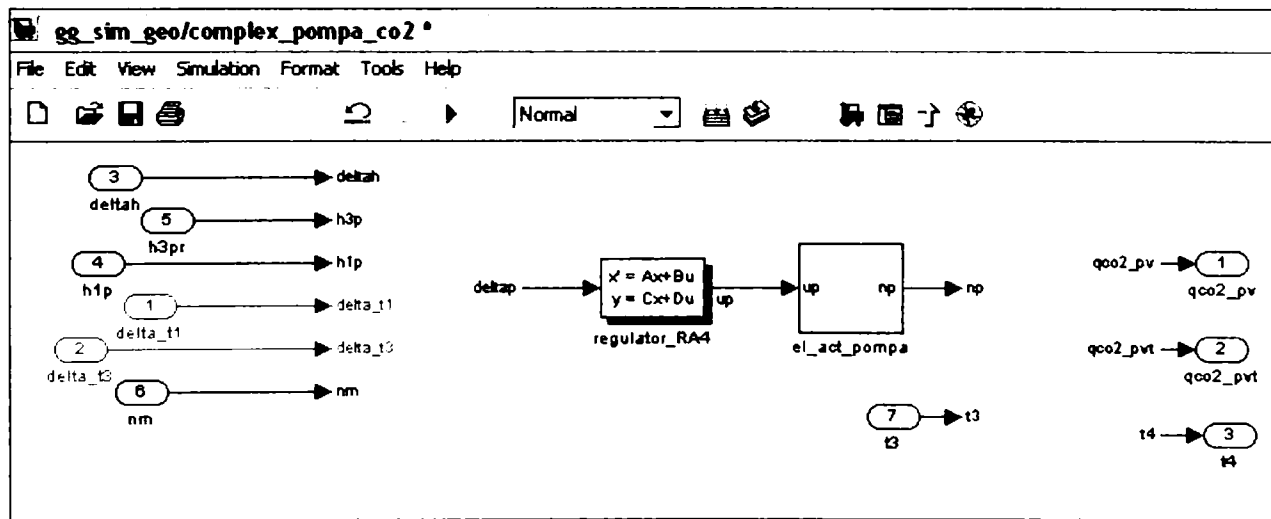


Figura 3.4.1.4.5. Model simulink al blocului „*complex\_pompa\_CO2*”

La nivelul prezentei teze, datorită caracterului provizoriu al reguletoarelor RA1 și RA3, simulările s-au realizat considerând că pompa lucrează cu turație constantă. Acest

fapt poate fi redat din punct de vedere matematic prin considerarea în ecuațiile (3.3.3) a valorii  $k_{np}=0$ .

### 3.4.2. Asigurarea funcționării centralei electrice în condiții limită (tratarea avariilor)

În funcționarea centralei electrice geotermale pot să apară neconcordanțe între parametri funcționali ai acestora și condițiile prescrise, neconcordanțe pe care programul de reglare implementat în automatul programabil nu reușește să le corecteze. În acest caz, operatorul este avertizat de situația creată și se așteaptă decizia sa pentru remedierea defecțiunii.

Semnalizarea avariilor și reacția sistemului în caz de avarie constituie una dintre cele mai importante părți ale programului de automatizare prin faptul că se pot evita accidentele care pot să survină, se atenționează operatorul cu privire la funcționarea necorespunzătoare a sistemului și prin faptul că permite luarea deciziilor necesare [Mag 02]. Elementele din sistem menționate în continuare corespund figurii 3.4.2.1.

1. *Mărirea presiunii CO<sub>2</sub> lichid la ieșirea din pompa de CO<sub>2</sub> peste limita maximă admisă* reprezintă una dintre cele mai periculoase avarii care poate să apară în funcționarea centralei electrice geotermale

*Tratarea avariei:* Avaria este sesizată prin traductorul de presiune TP4 montat pe conducta de CO<sub>2</sub> la ieșirea din pompa de CO<sub>2</sub> lichid. Dacă TP4 indică pentru mai mult de  $t_{tmp2}$  secunde o presiune mai mare decât limita maximă admisă  $L_{p4}$  (situație cauzată de posibila obturare a circuitului de bioxid de carbon, cu predilecție în zona vaporizatoarelor), atunci AP: i) semnalizează “**AVARIE vaporizatoare defecte**” și oprește automat centrala (fără a mai aștepta decizia operatorului), ii) deschide robinetele de avarie RBA1 și RBA2 prin intermediul regulatorului de avarie RAav1, realizând egalizarea presiunii CO<sub>2</sub> în circuit.

Condiții declanșare avarie		Semnalizare	Reacția sistemului
valoare TP4 > $L_{p4}=120$ bar $\Delta t > t_{tmp2}$	—	AVARIE <i>vaporizatoare defecte</i>	OPREȘTE CENTRALA prin intermediul RAav1 (deschide RBA1 și RBA2)

#### 2. Scăderea excesivă a nivelului CO<sub>2</sub> în vasul tampon

*Tratarea avariei:* Avaria este sesizată prin indicatorul de nivel IN, montat pe vasul tampon. Dacă IN indică pentru mai mult de  $t_{tmp2}$  secunde un nivel al CO<sub>2</sub> lichid în vasul tampon mai mic decât valoarea minimă admisă  $h_{min}$  și regulatorul RA3 a deschis complet robinetul RB2, atunci AP: i) semnalizează “**AVARIE nivel minim în vasul tampon**” și așteaptă decizia operatorului; ii) în cazul în care operatorul nu ia nici o decizie în  $t_{tmp3}$  secunde AP: ii-1) oprește automat centrala, ii-2) deschide robinetele de avarie RBA1 și RBA2 prin intermediul regulatorului de avarie RAav1, realizând egalizarea presiunii CO<sub>2</sub> în circuit.

Condiții declanșare avarie		Semnalizare	Reacția sistemului
valoare IN < $h_{min}=0,1$ m $\Delta t > t_{tmp2}$	RB2 complet deschis	AVARIE <i>indicator nivel IN sau robinet RB2 defect</i>	așteaptă decizie operator $t_{tmp3}$ dacă $\Delta t > t_{tmp3}$ OPREȘTE CENTRALA prin intermediul RAav1 (deschide RBA1 și RBA2)

### 3. Presiune excesivă apă de răcire din tronson stânga

*Tratarea avariei:* Avaria este sesizată prin traductorul de presiune **TPar1**, montat pe conducta de apă de răcire, din tronsonul din stânga. Dacă **TPar1** indică pentru mai mult de  $t_{tmp2}$  secunde o presiune mai mare decât valoarea maximă admisă  $L_{Par1}$  (situație cauzată de posibila obturare a circuitului de apă de răcire, cu predilecție în zona condensatoarelor), atunci AP i) semnalizează “**AVARIE condensatoare defecte**” și oprește automat centrala (fără a mai aștepta decizia operatorului), ii) deschide robinetele de avarie **RBA1** și **RBA2** prin intermediul regulatorului de avarie **RAav1**, prin aceasta egalizându-se presiunea  $CO_2$  în circuit.

Condiții declanșare avarie	Semnalizare	Reacția sistemului
valoare $T_{par1} > L_{Par1}=5bar$ $\Delta t > t_{tmp2}$	—	<b>AVARIE condensatoare defecte</b> OPREȘTE CENTRALA prin intermediul RAav1 (deschide RBA1 și RBA2)

### 4. Presiune excesivă apă de răcire din tronson dreapta

*Tratarea avariei:* Avaria este sesizată prin traductorul de presiune **Tpar2**, montat pe conducta de apă de răcire, din tronsonul din stânga. Dacă **Tpar2** indică pentru mai mult de  $t_{tmp2}$  secunde o presiune mai mare decât valoarea maximă admisă  $L_{Par2}$  (situație cauzată de posibila obturare a circuitului de apă de răcire, cu predilecție în zona condensatoarelor), atunci AP: i) semnalizează “**AVARIE condensatoare defecte**” și oprește automat centrala (fără a mai aștepta decizia operatorului), ii) deschide robinetele de avarie **RBA1** și **RBA2** prin intermediul regulatorului de avarie **RAav1**, prin aceasta egalizându-se presiunea  $CO_2$  în circuit.

Condiții declanșare avarie	Semnalizare	Reacția sistemului
valoare $T_{par2} > L_{Par2}=5bar$ $\Delta t > t_{tmp2}$	—	<b>AVARIE condensatoare defecte</b> OPREȘTE CENTRALA prin intermediul RAav1 (deschide RBA1 și RBA2)

### 5. Presiune excesivă apă geotermală

*Tratarea avariei:* Avaria este sesizată prin traductorul de presiune **TPac**, montat pe conducta de alimentare cu apă geotermală. Dacă **TPac** indică pentru mai mult de  $t_{tmp2}$  secunde o presiune mai mare decât valoarea maximă admisă  $L_{Pac}$  (situație cauzată de posibila obturare a circuitului de apă geotermală, cu predilecție în zona vaporizatoarelor), atunci AP: i) semnalizează “**AVARIE vaporizatoare defecte**” și oprește automat centrala, (fără a mai aștepta decizia operatorului), ii) deschide robinetele de avarie **RBA1** și **RBA2** prin intermediul regulatorului de avarie **RAav1**; prin aceasta se egalizându-se presiunea  $CO_2$  în circuit.

Condiții declanșare avarie	Semnalizare	Reacția sistemului
valoare $TPac > L_{Pac}=5bar$ $\Delta t > t_{tmp2}$	—	<b>AVARIE vaporizatoare defecte</b> OPREȘTE CENTRALA prin intermediul RAav1 (deschide RBA1 și RBA2)

### 6. Presiune excesivă $CO_2$ în vasul tampon

*Tratarea avariei:* Avaria este sesizată prin traductorul de presiune **TP3**, montat pe vasul tampon. Dacă **TP3** indică pentru mai mult de  $t_{tmp2}$  secunde o presiune a  $CO_2$  în vasul

tampon mai mare decât valoarea maximă admisă  $L_{p3}$ , atunci AP: i) semnalizează “**AVARIE suprapresiune în vasul tampon**” și așteaptă decizia operatorului; ii) în cazul în care operatorul nu ia nici o decizie în  $t_{tmp3}$  secunde AP ii-1) oprește automat centrala, ii-2) deschide robinetele de avarie **RBA1** și **RBA2** prin intermediul regulatorului **RAav1**; realizând egalizarea presiunii  $CO_2$  în circuit.

Condiții declanșare avarie	Semnalizare	Reacția sistemului
valoare TP3 > $L_{p3}=74$ bar $\Delta t > t_{tmp2}$	— <b>AVARIE</b> <i>presiune foarte mare în vasul tampon</i>	așteaptă decizie operator $t_{tmp3}$ dacă $\Delta t > t_{tmp3}$ <b>OPREȘTE CENTRALA</b> prin intermediul <b>RAav1</b> (deschide <b>RBA1</b> și <b>RBA2</b> )

### 7. Temperatură excesivă $CO_2$ după condensatoare/la intrarea în vasul tampon

*Tratarea avariei:* Avaria este sesizată prin traductorul de temperatură **TT3**, montat între bateria de condensatoare și vasul tampon. Dacă **TT3** indică pentru mai mult de  $t_{tmp2}$  secunde o temperatură a  $CO_2$  mai mare decât valoarea maximă admisă  $L_{t3}$  și regulatorul **RA3** a închis complet robinetul **RB2**, atunci AP: i) semnalizează “**AVARIE traductor TT3 sau robinet RB2 defect**” și așteaptă decizia operatorului; ii) în cazul în care operatorul nu ia nici o decizie în  $t_{tmp3}$  secunde, AP ii-1) oprește automat centrala, ii-2) deschide robinetele de avarie **RBA1** și **RBA2** prin intermediul regulatorului **RAav1**; realizând egalizarea presiunii  $CO_2$  în circuit.

Condiții declanșare avarie	Semnalizare	Reacția sistemului
valoare TT3 > $L_{t3}=27,5^{\circ}C$ $\Delta t > t_{tmp2}$	<b>RB2</b> complet închis  <b>AVARIE</b> <i>traductor TT3 sau robinet RB2 defect</i>	așteaptă decizie operator $t_{tmp3}$ dacă $\Delta t > t_{tmp3}$ <b>OPREȘTE CENTRALA</b> prin intermediul <b>RAav1</b> (deschide <b>RBA1</b> și <b>RBA2</b> )

### 8. Temperatură excesivă $CO_2$ după vaporizatoare/ la intrarea în organul motor

*Tratarea avariei:* Avaria este sesizată prin traductorul de temperatură **TT1**, montat între bateria de vaporizatoare și organul motor. Dacă **TT1** indică pentru mai mult de  $t_{tmp2}$  secunde o temperatură a  $CO_2$  mai mare decât valoarea maximă admisă  $L_{t1}$  și regulatorul **RA1** a închis complet robinetul **RB1**, atunci AP: i) semnalizează “**AVARIE traductor TT1 sau robinet RB1 defect**” ii) în cazul în care operatorul nu ia nici o decizie în  $t_{tmp3}$  secunde, AP ii-1) oprește automat centrala, ii-2) deschide robinetele de avarie **RBA1** și **RBA2** prin intermediul regulatorului **RAav1**; realizând egalizarea presiunii  $CO_2$  în circuit.

Condiții declanșare avarie	Semnalizare	Reacția sistemului
valoare TT1 > $L_{t1}=68^{\circ}C$ $\Delta t > t_{tmp2}$	<b>RB1</b> complet închis  <b>AVARIE</b> <i>traductor TT1 sau robinet RB1 defect</i>	așteaptă decizie operator $t_{tmp3}$ dacă $\Delta t > t_{tmp3}$ <b>OPREȘTE CENTRALA</b> prin intermediul <b>RAav1</b> (deschide <b>RBA1</b> și <b>RBA2</b> )

### 9. Presiune excesivă CO<sub>2</sub> după vaporizatoare/ la intrarea în organul motor

*Tratarea avariei:* Avaria este sesizată prin traductorul de presiune TP1, montat pe conducta de CO<sub>2</sub> între bateria de vaporizatoare și organul motor. Dacă TP1 indică pentru mai mult de  $t_{mp2}$  secunde o presiune a CO<sub>2</sub> mai mare decât valoarea maximă admisă  $L_{P1}$ , (situație cauzată de posibila blocare a organului motor), atunci AP: i) semnalizează "AVARIE organ motor blocat" și oprește automat centrala (fără a mai aștepta decizia operatorului), ii) deschide robinetele de avarie RBA1 și RBA2 prin intermediul regulatorului de avarie RAav1; prin aceasta se egalizându-se presiunea CO<sub>2</sub> în circuit.

Condiții declanșare avarie		Semnalizare	Reacția sistemului
valoare TP1 > $L_{P1}=120\text{bar}$ $\Delta t > t_{mp2}$	—	AVARIE <i>organ motor blocat</i>	OPREȘTE CENTRALA prin intermediul RAav1 (deschide RBA1 și RBA2)

### 10. Debit nul al apei de răcire

*Tratarea avariei:* Avaria este sesizată prin traductorul de debit TDar, montat pe conducta de alimentare cu apa de răcire. Dacă TDar nu indică o variație a valorii pentru mai mult de  $t_{mp2}$  secunde după ce RA3 dă comanda de reglare, atunci AP: i) semnalizează "AVARIE defecțiune pe traseul de alimentare cu apă de răcire" și așteaptă decizia operatorului; ii) în cazul în care operatorul nu ia nici o decizie în  $t_{mp3}$  secunde AP: ii-1) oprește automat centrala, ii-2) deschide robinetele de avarie RBA1 și RBA2 prin intermediul regulatorului de avarie RAav1, realizând egalizarea presiunii CO<sub>2</sub> în circuit.

Condiții declanșare avarie		Semnalizare	Reacția sistemului
valoare TDar nemodificată $\Delta t = t_{mp2}$	comandă reglare de la RA3	AVARIE <i>defecțiune pe traseul de apă de răcire</i>	așteaptă decizie operator $t_{mp3}$ dacă $\Delta t > t_{mp3}$ OPREȘTE CENTRALA prin intermediul RAav1 (deschide RBA1 și RBA2)

### 11. Debit nul al apei geotermale

*Tratarea avariei:* Avaria este sesizată prin traductorul de debit TDac, montat pe conducta de alimentare cu apa geotermală. Dacă TDac nu indică o variație a valorii pentru mai mult de  $t_{mp2}$  secunde după ce RA1 dă comanda de reglare, atunci AP: i) semnalizează "AVARIE defecțiune pe traseul de alimentare cu apă geotermală" și așteaptă decizia operatorului; ii) în cazul în care operatorul nu ia nici o decizie în  $t_{mp3}$  secunde AP: ii-1) oprește automat centrala, ii-2) deschide robinetele de avarie RBA1 și RBA2 prin intermediul regulatorului de avarie RAav1, realizând egalizarea presiunii CO<sub>2</sub> în circuit.

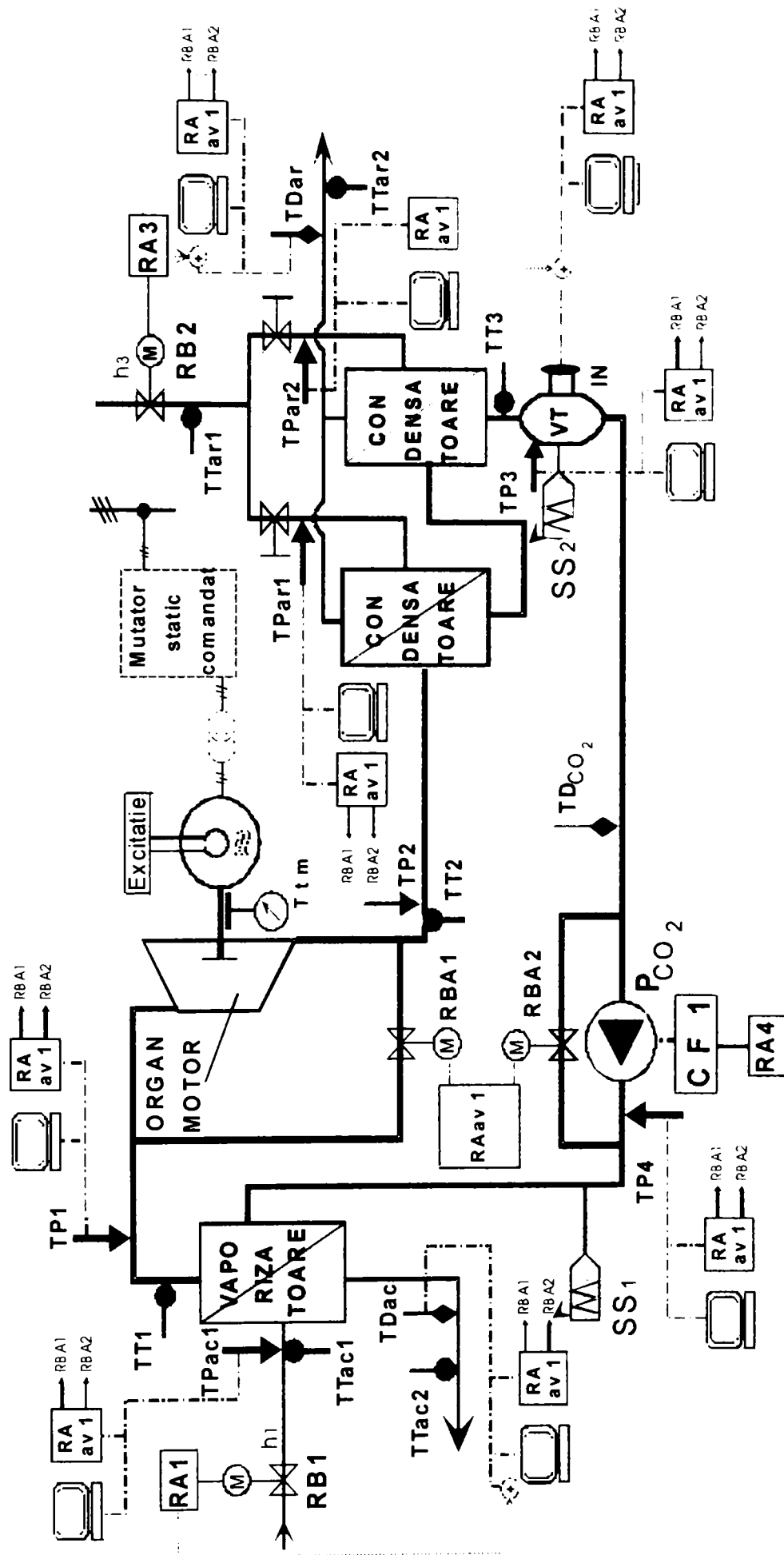
Condiții de declanșare a avariei		Semnalizare	Reacția sistemului
valoare TDac nemodificată $\Delta t = t_{mp2}$	comandă de reglare de la RA1	AVARIE <i>defecțiune pe traseul de apă geotermală</i>	așteaptă decizie operator $t_{mp3}$ dacă $\Delta t > t_{mp3}$ OPREȘTE CENTRALA prin intermediul RAav1 (deschide RBA1 și RBA2)

Sinteza funcționării în regim de avarie și acțiunile regulatorului de avarie RAav1(vezi figura 3.4.2.1) comandat de AP în cazurile anterior menționate sunt sintetizate în tabelul tabel 3.4.2. Schema centralei electrice geotermale care conține buclele de avarie este prezentată în detaliu în figura 3.4.2.1.

Traductor	Condiții declanșare avarie	Mărimi urmărită	Funcționare limită	Semnalizare avarie	Decizie operator	Reacție sistem
TP4	$TP4 > L_{p4}$	presiunea CO <sub>2</sub> la ieșire din pompă	t <sub>tmp2</sub>	„vaporizatoare defecte”	-	OPREȘTE CENTRALA (dechide RBA1 și RBA2)
IN	$IN < h_{min}$ (RB2 complet deschis)	nivel CO <sub>2</sub> lichid în vasul tampon	t <sub>tmp2</sub>	„indicator nivel IN sau robinet RB2 defect”	t <sub>tmp3</sub>	OPREȘTE CENTRALA (dechide RBA1 și RBA2)
TPar1	$Tpar1 > L_{Par1}$	presiune apă de răire pe tronson stân șa	t <sub>tmp2</sub>	„condensatoare defecte”	-	OPREȘTE CENTRALA (dechide RBA1 și RBA2)
TPar2	$Tpar2 > L_{Par2}$	presiune apă de răcire pe tronson dreapta	t <sub>tmp2</sub>	„condensatoare defecte”	-	OPREȘTE CENTRALA (dechide RBA1 și RBA2)
TPac	$TPac > L_{Pac}$	presiune apă geotermală	t <sub>tmp2</sub>	„vaporizatoare defecte”	-	OPREȘTE CENTRALA (dechide RBA1 și RBA2)
TP3	$TP3 > L_{P3}$	presiunea CO <sub>2</sub> vasul tampon	t <sub>tmp2</sub>	„presiune foarte mare în VT”	t <sub>tmp3</sub>	OPREȘTE CENTRALA (dechide RBA1 și RBA2)
TT3	$TT3 > L_{t3}$ (RB2 complet închis)	temperatura CO <sub>2</sub> la ieșire condensatoare	t <sub>tmp2</sub>	„traductor TT3 sau robinet RB2 defect”	t <sub>tmp3</sub>	OPREȘTE CENTRALA (dechide RBA1 și RBA2)
TT1	$TT1 > L_{t1}$ (RB1 complet închis)	temperatura CO <sub>2</sub> la ieșire vaporizatoare	t <sub>tmp2</sub>	„traductor TT1 sau robinet RB1 defect”	t <sub>tmp3</sub>	OPREȘTE CENTRALA (dechide RBA1 și RBA2)
TP1	$TP1 > L_{P1}$	presiune CO <sub>2</sub> la ieșire vaporizatoare	t <sub>tmp2</sub>	„organ motor blocat”	-	OPREȘTE CENTRALA (dechide RBA1 și RBA2)
TDar	comanda RA3 + TDar nemodificat	debit apă de răcire	t <sub>tmp2</sub>	„defecțiune pe traseul de apă de răcire”	t <sub>tmp3</sub>	OPREȘTE CENTRALA (dechide RBA1 și RBA2)
TDac	comandă RA1 + TDac nemodificat	debit apă geotermală	t <sub>tmp2</sub>	„defecțiune pe traseul de apă geotermală”	t <sub>tmp3</sub>	OPREȘTE CENTRALA (dechide RBA1 și RBA2)

t<sub>tmp2</sub> = 30 s    t<sub>tmp3</sub> = 10 s    h<sub>min</sub> = 0,1 m    L<sub>p1</sub> = 120 bar    L<sub>p4</sub> = 120 bar    L<sub>p3</sub> = 74 bar  
L<sub>t1</sub> = 68°C    L<sub>t3</sub> = 27,5°C    L<sub>Pac</sub> = 5 bar    L<sub>Par1</sub> = 5 bar    L<sub>Par2</sub> = 5 bar

Tabel 3.4.2 Sinteza avarii



- |                 |   |   |
|-----------------|---|---|
| RA              | - | regulator automat                               |
| TT              | - | traductor temperatura                           |
| TP              | - | traductor presiune                              |
| TD              | - | traductor debit                                 |
| CF              | - | converizor de frecvență                         |
| T <sub>im</sub> | - | traductor turatie motor                         |
| RA av 1         | - | regulator automat avarie                        |
| RB A1, RB A2    | - | robinet cu acționare electrică                  |
| RBA             | - | robinet cu acționare electrică în caz de avarie |
| IN              | - | indicator de nivel                              |
| VT              | - | vas tampon                                      |
| SS              | - | supapă de siguranță                             |

Figura 3.4.2.1 Schema centralei electrice cu bucle de avarii

### 3.4.3 Implementarea pe AP a strategiei de automatizare

Programele dezvoltate utilizând APS sunt construite pe o structură modulară, fiind împărțite în mai multe blocuri funcționale care sunt văzute ca subrutine apelate din programul principal. Avantajul subrutinelor rezultă bineînțeles într-o minimizare a efortului de programare și realizarea unor programe mai ușor de urmărit.

Strategia de automatizare pentru centrala electrică geotermală a fost implementată ca parte componentă a programului APS prin extensie, utilizându-se structura hardware a AP existentă care permitea acest lucru.

Practic, pentru aplicația în cauză existentă implementată pe AP, corespunzătoare stației sondei, stației pompelor și punctului termic din cadrul complexului geotermal, programul era format din 29 de module, conform listingului următor (preluat din APS):

```
#0 [System datastorage header]
#1 [Reserved area]
File #2 Main ladder program
File #3 Controlers in Pump station
File #4 Controlers in Well station
File #5 Motor start/stop in Heat station
File #6 Analog limits and transmitter faults
File #7 Mode selections and alarms for Heat station
File #8 Controlers in Heat station
File #9 Initialisation of all start conditions
File #10 Motor start/stop in Well station
File #11 General alarms for all stations
File #12 Setings in scada when group mode=off in Well station
File #13 Motor start/stop for pump station
File #14 Setings in scada when group mode=off in Heat station
File #15 Setings in scada when group mode=off in Pump station
File #16 Calculations of flow meter pulses
File #17 User settings in heat station for power up start
File #18 User settings in well station for power up start
File #19 User settings in pump station for power up start
File #20 Settins for stopping all motors in heat station
File #21 Settins for stopping all motors in well station
File #22 Settins for stopping all motors in pump station
File #23 Settings for starting heat station after power fault
File #24 Calculations of TT18 from TT17 for 24h average
File #25 File for calculating of TT17 average per hour
File #26 Mapping of inputs and outputs to an address
File #27 Wind speed sensor calculations
File #28 Calculations of TT14 average per hour
File #29 Calculations of TT16 from TT14 for 24 hours
File #30 File for emulating outputs and inputs
```

Se observă existența unui număr destul de important de module. Inevitabil, realizarea unui software robust conduce la programe complicate. Statisticile arată că doar 25% din software-ul propriu-zis tratează funcționarea normală, restul, de aproximativ 75% se ocupă cu tratarea situațiilor de avarie (în afara domeniului admisibil), care, în general, apar destul de rar. Această extensie de 75%, cu inevitabila creștere a dimensiunilor programului, este însă necesară pentru toate sistemele care operează în timp real.

Intârzierea maximă ce poate să apară în tratarea unei avarii datorită abordării ciclice a programului este maxim o perioadă de scanare, ceea ce, având în vedere faptul că toate



constantele de timp existente sunt cu câteva ordine de mărime mai mari, poate fi neglijată. O atenție deosebită a fost acordată porțiunii de cod care tratează oprirea și respectiv repornirea sistemului în condiții de siguranță în urma unei căderi de tensiune.

Utilizarea actuală a AP permite extensii de diverse tipuri și anume extensii de module de I/O, respectiv modificarea programului din AP prin adăugarea de noi module corespunzătoare automatizării centralei electrice geotermale. Este vorba de modulele de program care să realizeze funcțiile F1 și F2 prezentate în subcapitolul anterior.

**Modulele propuse sunt următoarele:**

```
File #31 Initializare condiții din centrala electrică  
File #32 Regulatoare centrala electrică (RA1,RA3,RA4)  
File #33 Tratare avarii centrală electrică + regulator RAavi  
File #34 Oprire centrală electrică geotermală  
File #35 Implementare algoritm redundanța dublă TT1(Regim_1_t1)  
File #36 Implementare algoritm redundanța triplă TT3  
File #37 Repornire centrală electrică după cădere de tensiune
```

Fiecare dintre aceste module de program este la rândul său format din subrutine corespunzătoare fiecărei entități care se dorește a fi implementată și anume fișierul #32 este format din trei subrutine, câte una corespunzătoare fiecărui regulator din centrala electrică, subrutine notate RA1, RA3 respectiv RA4. Implementarea reguletoarelor s-a realizat în cadrul programului din AP utilizând instrucțiunea PID a limbajului APS. Practic funcția F1 este realizată prin intermediul modulului de program implementat în fișierul #32.

Tratarea avariilor s-a realizat separat în modulul din fișierul #33, care la rândul său este organizat pe subrutine, una pentru tratarea fiecărei avarii discutate în subcapitolul 3.4.2. Oprirea centralei electrice în condiții de siguranță se realizează separat în cadrul modulului de program din fișierul #34. Practic realizarea funcției F2 se realizează prin intermediul modulelor de program din fișierele #33 și #34.

Autoarea mai propune și implementarea a două module pentru redundanțe ale traductoarelor de temperatură TT1 și respectiv TT3, respectiv modulul de program necesar pentru repornirea centralei electrice după o cădere de tensiune. Modul în care sunt implementați algoritmi corespunzători redundanței duble și triple este prezentat în detaliu în capitolul 4.

Practic, dintre cele 7 module de program prezentate mai sus, #31 este executat o singură dată la pornirea centralei electrice geotermale, #32 la fiecare ciclu program, #33 doar în cazul în care apare o funcționare la limita domeniului admisibil, iar #34 doar în cazul în care este necesară oprirea centralei. Cele două module #35 și #36 se execută la fiecare ciclu program însă doar dacă a fost selectat prin intermediul unui buton din interfață grafică faptul că dorim să utilizăm acești algoritmi. Fișierul #37 este utilizat doar pentru repornirea centralei electrice după o cădere de tensiune, ceea ce presupune aducerea centralei electrice la parametrii pe care îi avea înainte de cădere.

După implementarea modulelor program, pentru a realiza testarea fiecăruia s-au utilizat diferite scenarii de test forțând intrările pe valori corespunzătoare acestor scenarii și urmărind ieșirile corespunzătoare. În cadrul acestor testări preliminare s-a folosit de facilitatea AP Allen Bradley de a forța intrările binare la anumite valori.

Pentru intrările analogice, au fost utilizate locații de memorie în locul intrării propriu-zise: acestea au fost setate la valori conform scenariului ales, fiind utilizate în locul

intrărilor analogice corespunzătoare. Aceste setări au fost realizate prin accesul direct la tabela de date din AP.

O atenție deosebită a fost acordată porțiunilor de cod care tratează anumite avarii specifice centralei electrice geotermale (prezentate în detaliu în subcapitolul 3.4.2). De exemplu, pentru tratarea avariei considerată a fi cea mai periculoasă din centrala electrică - *marire presiune CO<sub>2</sub> lichid la ieșirea din pompa de CO<sub>2</sub> peste limita maximă admisă* - s-a utilizat un timer cu valoare prestabilită egală cu limita de timp  $t_{imp2}$ . În momentul în care această limită este atinsă programul din AP realizează deschiderea robinetelor de avarie RBA1 și RBA2 și trece la modulul următor de program #34 de oprire imediată în condiții de siguranță a centralei electrice geotermale.

Pentru a ilustra modul în care s-a realizat efectiv programul, se prezintă în Anexa 6 modulul de program file #35 corespunzător implementării redundanței duble a traductorului de temperatură TT1. Ele se bazează pe elementele din paragraful 4.2.1. Subrutina este activată doar dacă un anumit buton este selectat (se setează bitul B3/100, page 0003, anexa 6). Acest modul de program este utilizat doar dacă se dorește considerarea structurii redundante de măsurare a temperaturii  $t_1$ .

### 3.5. Simularea funcționării centralei electrice

Obiectivul principal al programului de simulare l-a constituit verificarea schemei de conducere a centralei electrice geotermale, în special a modulului în care se comportă mărimile caracteristice ale centralei la apariția unor factori perturbatori.

În faza inițială s-a implementat programul de simulare utilizând limbajul ACSL (Advanced Continuous Simulating Language), furnizat odată cu AP, program utilizat pentru simularea funcțiilor de nivel înalt din centrală [Gab2 00], [Gab1 01]. Cu toate avantajele acestui limbaj de simulare [MGA 95], [MGA 96], datorită răspîndirii lui limitate și datorită lipsei unor facilități pentru abordarea problemelor de conducere automată, după un studiu amanunțit, autoarea a considerat utilă reimplementarea programului de simulare pe aplicația Matlab/Simulink [Gab2 01], [Dab 02].

Ambele programe de simulare utilizează aceleași modele matematice ale procesului condus, prezentate în subcapitolul 3.3.2, operând cu acestea în cadrul structurii ierarhizate pe mai multe nivele. Variantele de implementare și studiu în ACSL au făcut obiectul lucrărilor [Gab1 01] și [Gab2 01]. În cadrul tezei se fac referiri numai la implementările în mediul Matlab/Simulink [www1 04], [www2 04], [www3 04].

#### 3.5.1 Implementarea programului de simulare

Schema generală a programului de simulare a funcției F1 este prezentată în figura 3.5.1 și conține următoarele blocuri: „*control\_vaporizatoare*”, „*control\_condensatoare*”, „*complex\_vas\_tampon*”, „*organ\_motor*”, „*complex\_pompa\_CO<sub>2</sub>*”. Fiecare dintre blocurile prezentate este format la rândul său din alte blocuri componente, prezentate în paragraful 3.4.1. Structura ierarhica de nivel inferior este reprezentată de blocurile elementare din Matlab/Simulink. Schema nu tratează și funcția F2. (paragraful 3.4.2).

În schema simulink din figura 3.5.1. apare și blocul organ motor. Acest bloc este delimitat prin încadrare în figura 3.5.2.

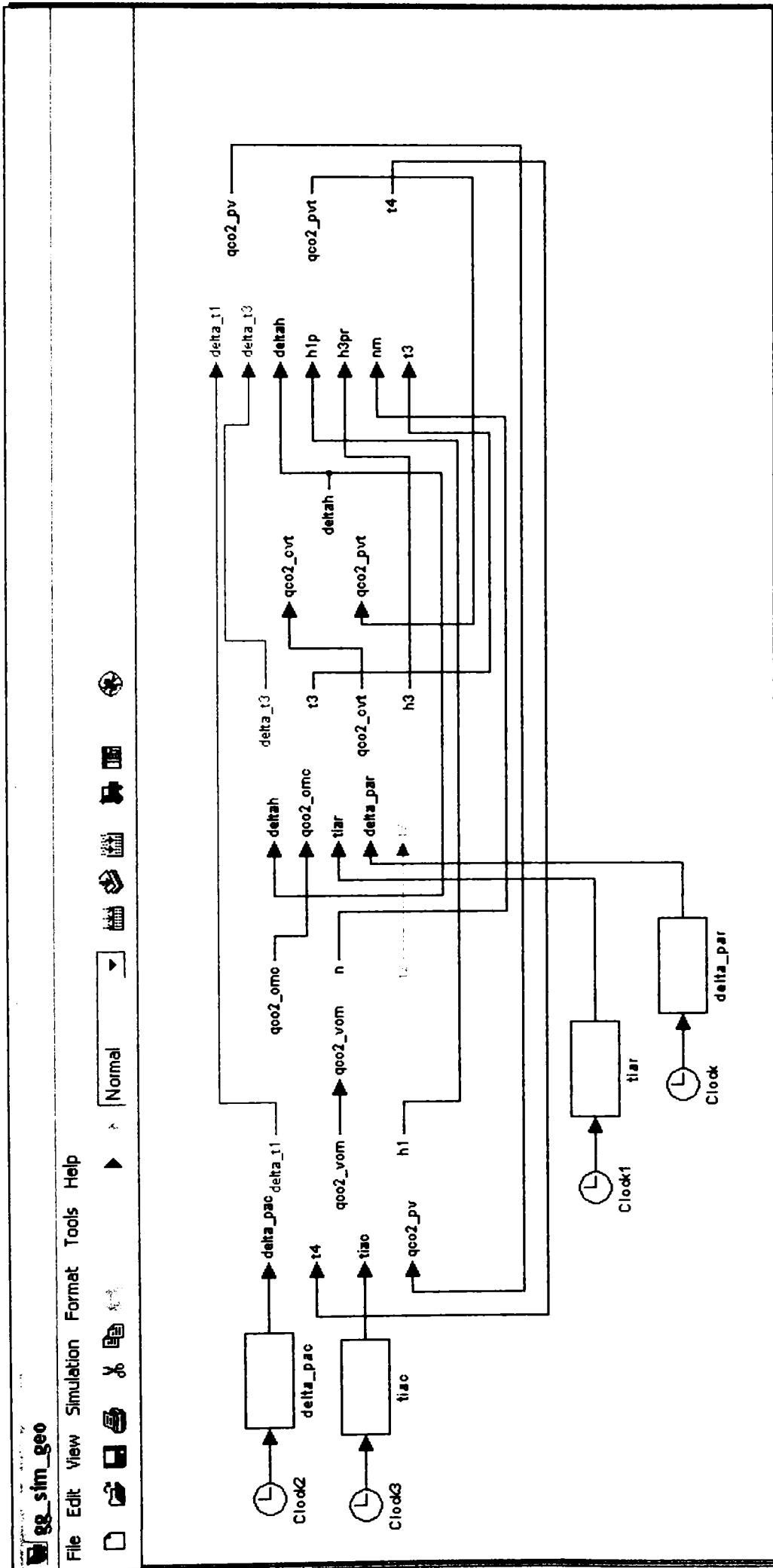


Figura 3.5.1. Schema bloc corespunzătoare modelului utilizat în cadrul simulării

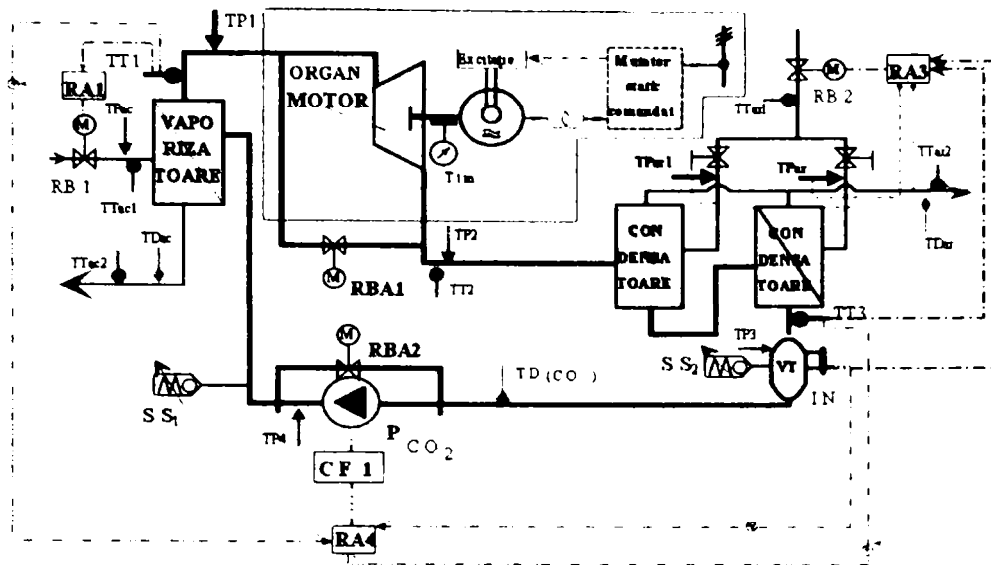


Figura 3.5.2 Centrala electrică geotermală – organ motor + mutator static

Pentru implementarea blocului „organ\_motor” s-a utilizat structura din Figura 3.5.3. în care blocul „sarcină” corespunde ansamblului „generator electric + motor static comandat”.

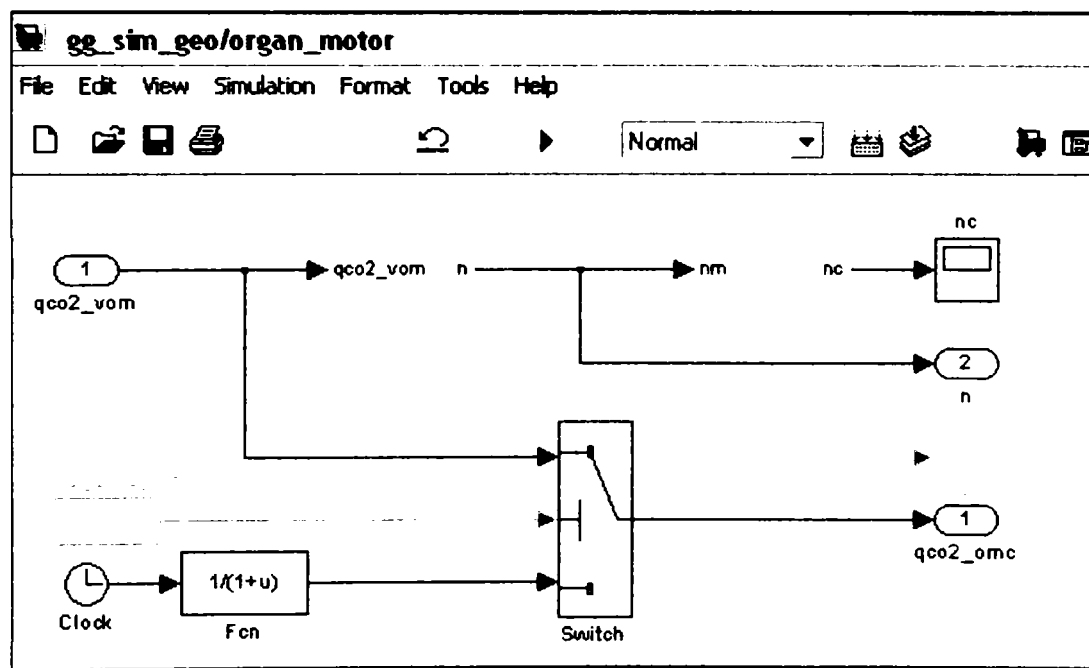


Figura 3.5.3. Elementele blocului organ\_motor

### 3.5.2. Scenarii de simulare

#### a) Simularea regimului de pornire a instalării ciclului termodinamic

Pornirea centralei electrice geotermale se realizează prin creșterea treptată a turației pompei de CO<sub>2</sub> lichid simultan cu deschiderea robinetelor RB1 și RB2, ceea ce determină creșterea debitului de apă geotermală și respectiv apă de răcire. Creșterea turației pompei de CO<sub>2</sub> lichid este corelată cu deschiderea robinetelor RB1 și RB2, urmărindu-se menținerea parametrilor CO<sub>2</sub> în limite cât mi apropiate de ciclul optim de funcționare

definit de punctele 1-4 din figura 3.2.1. Comanda elementelor de acționare ale pompei de CO<sub>2</sub> lichid și a robinetelor RB1 și RB2 este asigurată de reglatoarele automate RA4, RA1 și RA3.

Figura 3.5.2.1 prezintă zona de deplasare acceptabilă pentru cele patru puncte ale ciclului termodinamic la pornirea centralei electrice geotermale [Ant 99].

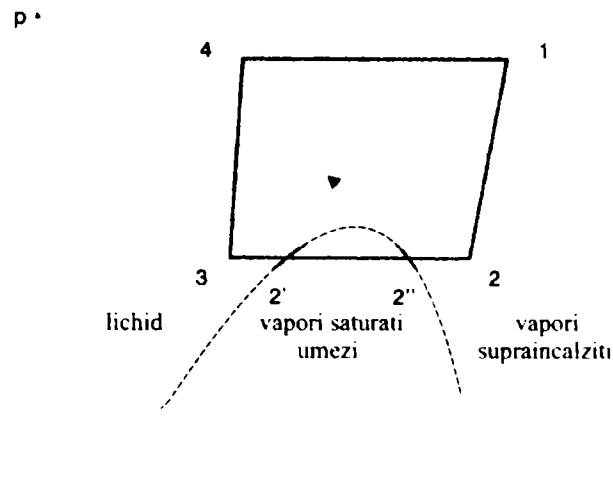


Figura 3.5.2.1. Zona de deplasare acceptabilă pentru ciclul termodinamic la pornirea centralei electrice geotermale

Calculul mecanic și termodinamic efectuate, permit variații ale presiunii punctelor 1-4 într-o marjă de 1-2 bar față de valorile presiunii pentru punctele ciclului optim de funcționare; din aceleleași considerente temperatura de CO<sub>2</sub> poate varia în jurul valorilor corespunzătoare ciclului optim cu maxim 1-2°C [Mag 02].

La pornirea programului de simulare s-a vizualizat în primul rând modul în care se poate ajunge în regim staționar și s-a realizat modificarea parametrilor reglatoarelor astfel încât timpul necesar ajungerii în regim staționar să fie în concordanță cu parametrii funcționali ai centralei electrice geotermale existente.

În figura 3.5.2.2 este prezentată evoluția temperaturii  $t_1$  (la ieșirea din vaporizatoare) până la atingerea regimului staționar.

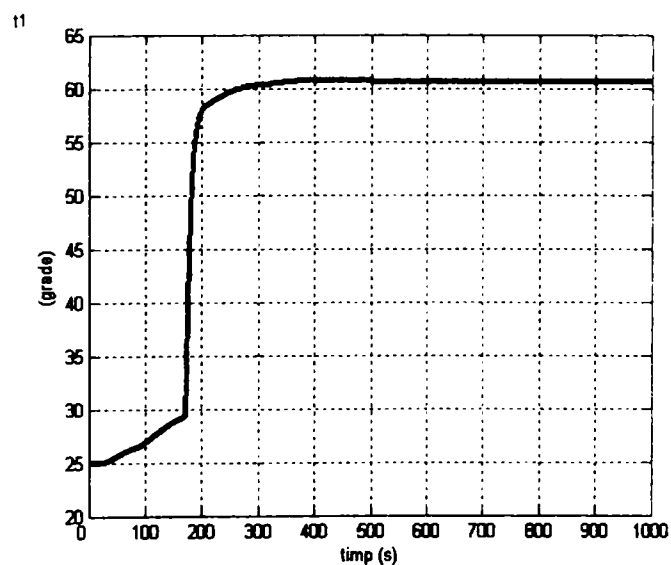


Figura 3.5.2.2 Evoluția temperaturii  $t_1$  de la pornire până la atingerea regimului staționar

Evoluția temperaturii  $t_1$  din figura 3.5.2.2, corespunde pornirii centralei geotermale în condițiile în care temperatura apei geotermale ( $t_{iac}$ ) a fost considerată de  $85^{\circ}\text{C}$ , valoarea inițială a temperaturii  $t_1 = 25^{\circ}\text{C}$ , valoarea prescrisă pentru  $t_1$  fiind de  $60^{\circ}\text{C}$ .

Figura 3.5.2.3. prezintă evoluția temperaturii  $t_3$  (la iesirea din condensatoare) până la atingerea regimului staționar.

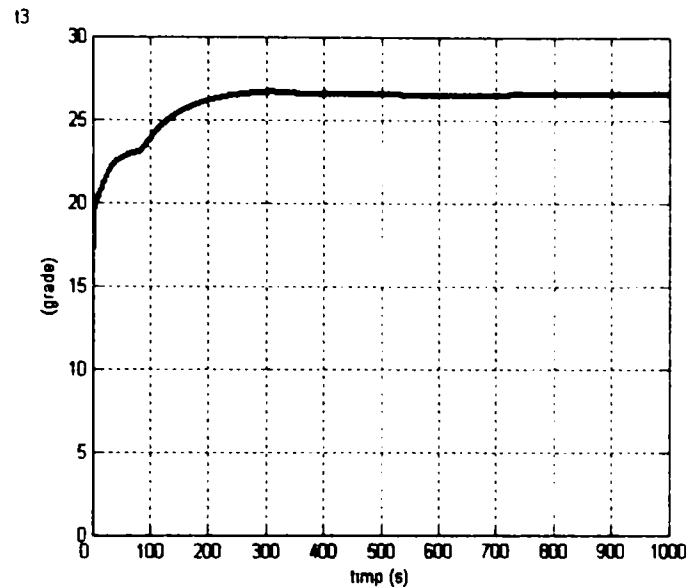


Figura 3.5.2.3 Evoluția temperaturii  $t_3$  de la pornire până la atingerea regimului staționar

Evoluția temperaturii din figura 3.5.2.3 corespunde pornirii centralei geotermale în condițiile în care temperatura apei de răcire ( $t_{rac}$ ) a fost considerată de  $10^{\circ}\text{C}$ , valoarea inițială a temperaturii  $t_3 = 20^{\circ}\text{C}$ , valoarea prescrisă pentru  $t_3$  fiind de  $26.5^{\circ}\text{C}$ .

Studiind evoluția celor două temperaturi  $t_1$  și respectiv  $t_3$ , rezultă faptul că se atinge regimul staționar după o perioadă de aproximativ 720 secunde (12 minute), perioadă care corespunde așteptărilor și este în concordanță cu evoluția sistemului real. Atingerea valorilor staționare se face în ambele cazuri cu un suprareglaj de sub 1 %, ceea ce nu deranjează.

#### b) Studiul influenței principalelor mărimi perturbatoare

În funcționarea centralei în regim staționar toți parametrii ciclului termodinamic (presiune, temperatură) sunt constanți în timp. La apariția unei perturbații care modifică valoarea acestor parametrii, sistemul de reglare trebuie să acționeze astfel încât să readucă valoarea parametrilor modificați la valoarea inițială adică cea corespunzătoare ciclului termodinamic optim de funcționare.

Primul pas, înainte de rularea scenariilor de simulare îl reprezintă determinarea perturbațiilor care pot modifica valorile celor doi parametrii ce trebuie menținuți constanți (temperatura  $t_1$  și temperatura  $t_3$ ).

Temperatura  $\text{CO}_2$  la ieșirea din vaporizatoare/intrarea în motor,  $t_1$ , poate fi afectată de modificarea debitului și a temperaturii de intrare a apei geotermale și/sau a debitului de  $\text{CO}_2$  conform relațiilor (3.3.1) astfel:

dacă debitul de apă geotermală scade și temperatura  $t_1$  se va micșora, cauza posibilă a modificării debitului apei geotermale fiind modificarea presiunii acesteia la intrarea în instalație înainte de robinetul RB1;

dacă debitul masic de CO<sub>2</sub> variază, temperatura  $t_1$  variază și ea, variația fiind de sens contrar sensului de variație a debitului de CO<sub>2</sub> (la debit constant de apă geotermală fluxul termic către CO<sub>2</sub> are o valoare relativ constantă, ca urmare temperatura CO<sub>2</sub> se modifică, modificare de sens contrar modificării debitului de CO<sub>2</sub>);

temperatura de intrare a apei geotermale poate fi considerată o mărime perturbatoare, în condițiile meteorologice deosebite (scădere/creștere temperatură exterioară).

Temperatura CO<sub>2</sub> la ieșirea din vaporizatoare,  $t_1$  se poate modifica și datorită deplasării punctului 4 din ciclul termodinamic, corespunzător modificării temperaturii de CO<sub>2</sub> la ieșirea din pompa de CO<sub>2</sub> lichid.

Temperatura CO<sub>2</sub> la ieșirea din condensatoare,  $t_3$ , poate fi afectată de modificarea debitului și a temperaturii apei de răcire și/sau a debitului de CO<sub>2</sub> conform relațiilor (3.3.2) astfel:

dacă debitul de apă de răcire scade și temperatura  $t_3$  va crește, deoarece un debit mai mic de apă de răcire implică o cantitate mai mică de căldură cedată de CO<sub>2</sub>; cauza posibilă a modificării debitului apei de răcire fiind presiunea apei de răcire la intrarea în centrala electrică, înainte de robinetul RB2;

dacă debitul masic de CO<sub>2</sub> variază, temperatura  $t_3$  variază și ea, variația fiind în același sens cu sensul de variație a debitului de CO<sub>2</sub> (la debit constant de apă de răcire, fluxul termic dinspre CO<sub>2</sub> are o valoare relativ constantă, ca urmare temperatura CO<sub>2</sub> se modifică, modificare de același sens cu modificarea debitului de CO<sub>2</sub>);

temperatura de intrare a apei reci poate fi considerată de asemenea o perturbație, ea afectând temperatura de ieșire a CO<sub>2</sub> din bateria de condensatoare.

Temperatura CO<sub>2</sub> la ieșirea din condensatoare,  $t_3$  se poate modifica și datorită deplasării punctului 2 din ciclul termodinamic, corespunzător modificării temperaturii CO<sub>2</sub> la ieșirea din organul motor.

În contextul prezentării anterioare, mărimile perturbatoare considerate în cadrul programului de simulare, pentru evaluarea evoluției în timp temperaturilor  $t_1$  și  $t_3$  sunt:

$t_1$

– temperatura apei geotermale la intrarea în centrala electrică ( $t_{iac}$ )

– temperatura CO<sub>2</sub> de la pompa de CO<sub>2</sub> lichid ( $t_4$ )

$t_3$

– temperatura apei de răcire la intrarea în centrala electrică ( $t_{iar}$ )

– temperatura CO<sub>2</sub> de la organul motor ( $t_2$ )

În continuare se detaliază rezultatele obținute prin simulări pentru variații de tip rampă ale mărimilor perturbatoare menționate anterior, considerând că perturbațiile apar în general în cazul funcționării inițiale în regim staționar.

Scenariile sunt notate cu prefixul *St1* pentru cazurile care se referă la perturbații care afectează temperatura  $t_1$  respectiv cu prefixul *St3* pentru cazurile care se referă la perturbații care afectează temperatura  $t_3$ .

- *Stl\_1* – temperatura apei geotermale ( $t_{iac}$ ) crește în rampă cu  $2^{\circ}\text{C}$  în timp de 2 minute

În cazul acestui scenariu temperatura apei geotermale,  $t_{iac}$  prezintă la un moment dat (1000 s) o variație rampă de  $2^{\circ}\text{C}$ , care determină apariția unei variații pozitive (supratemperaturi) a temperaturii  $t_1$  a  $\text{CO}_2$  la ieșirea din vaporizatoare, la momentul imediat următor și apoi revenirea ei după cca. 180 - 190 secunde la valoarea dorită, rezultatele obținute sunt în conformitate cu realitatea.

Evoluțiile celor două temperaturi corespunzătoare acestui scenariu sunt prezentate în figura 3.5.2.4, a și b, iar evoluția din al doilea caz este detaliată în figura 3.5.2.4.c.

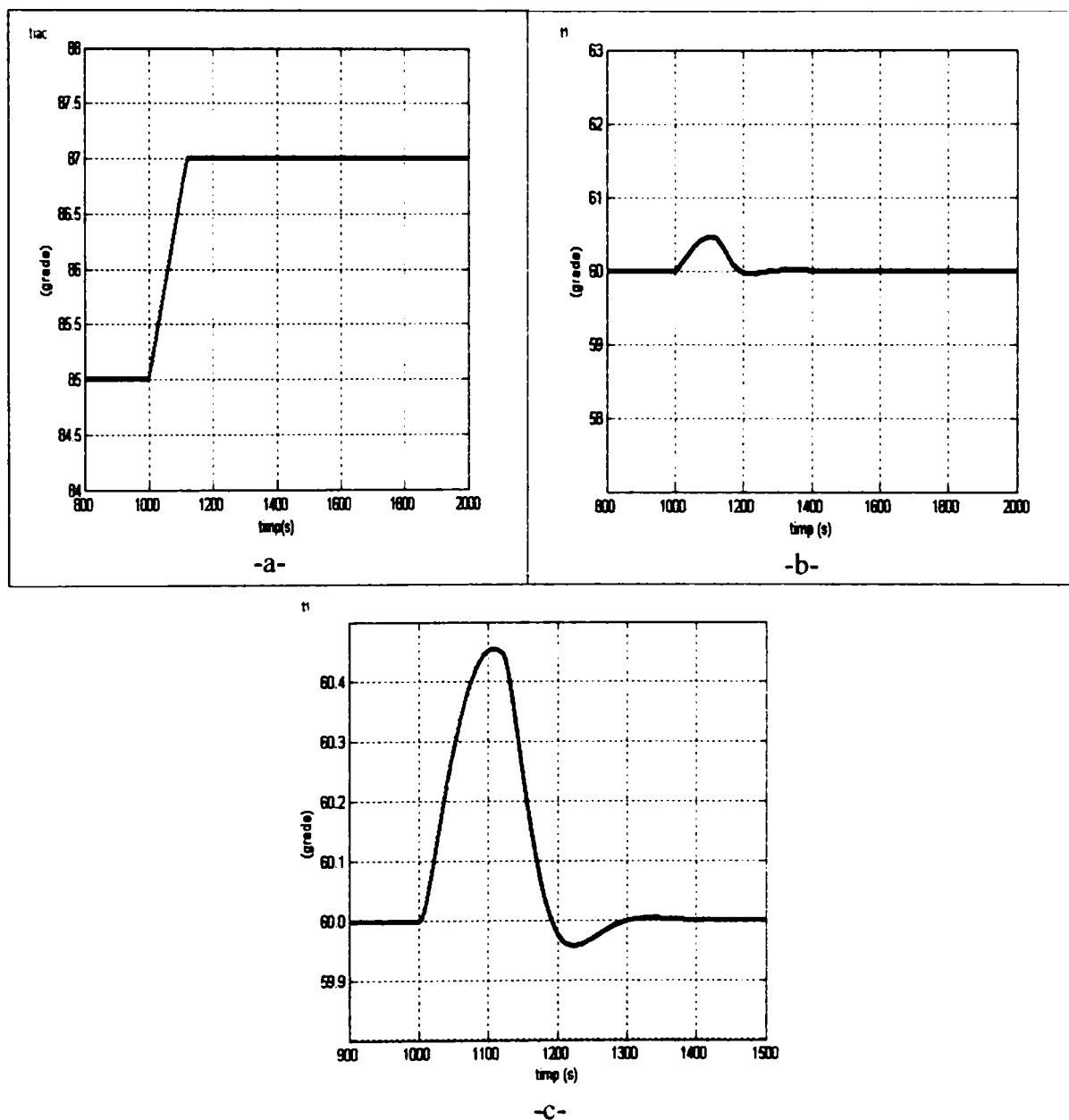


Figura 3.5.2.4. Evoluția temperaturilor  $t_{iac}$  (a),  $t_1$  (b),  $t_1$  prezentat detaliat (c) în cazul scenariului *Stl\_1*



- *St1\_2* – temperatura apei geotermale ( $t_{iac}$ ) scade în rampă cu  $2^{\circ}\text{C}$  în timp de 2 minute

În cazul acestui scenariu temperatura apei geotermale,  $t_{iac}$  prezintă la un moment dat (1000 s) o variație rampă negativă de  $2^{\circ}\text{C}$ , care determină apariția unei variații în același sens al temperaturii  $t_1$  a  $\text{CO}_2$  la ieșirea din vaporizatoare, și apoi redresarea ei după cca. 350 - 360 secunde la valoarea de regim staționar.

Evoluțiile celor două temperaturi corespunzătoare acestui scenariu sunt prezentate în figura 3.5.2.5 a și b. Variația celui de-al doilea caz este detaliată în Fig. 3.5.2.5.c.

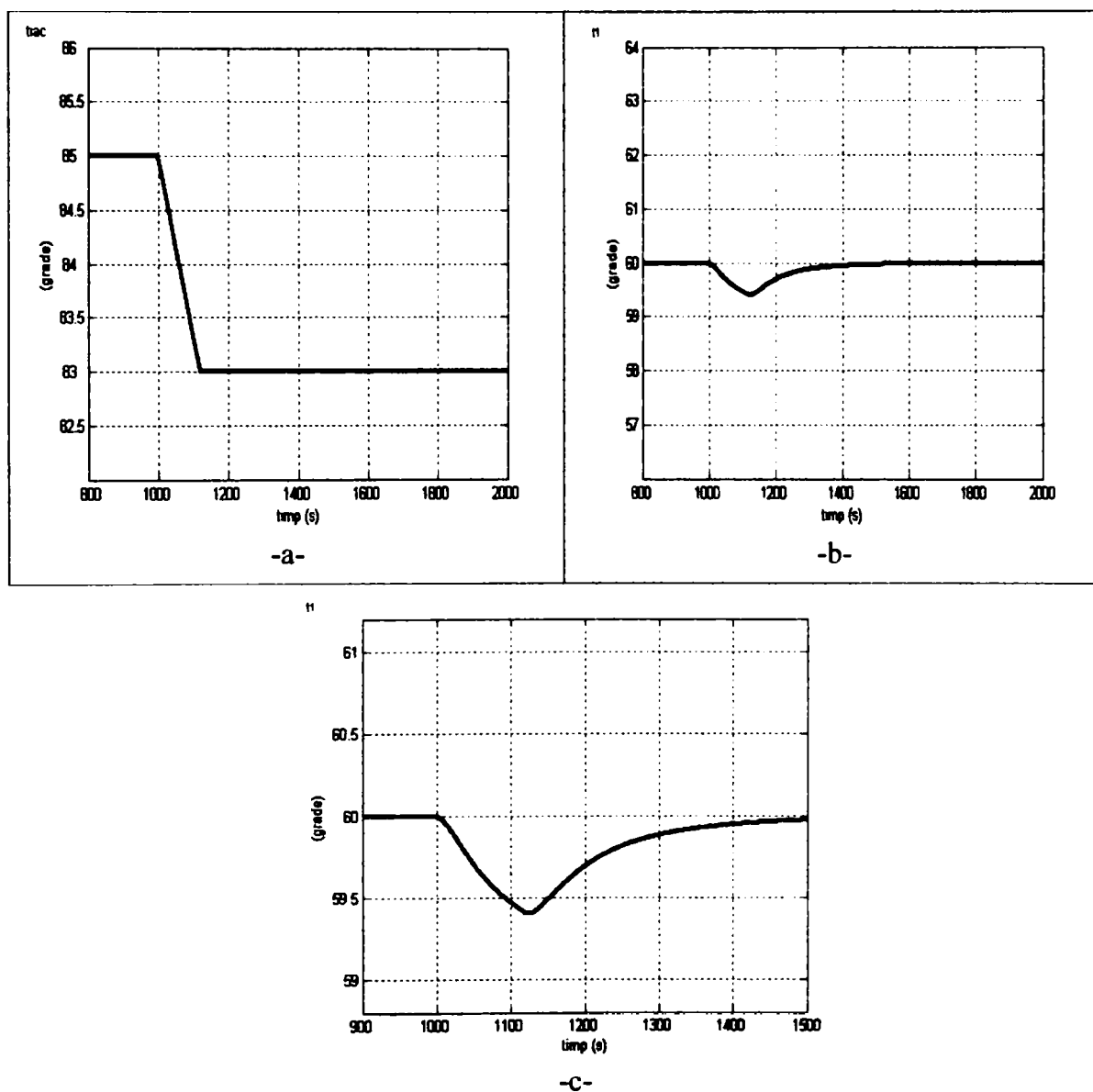


Figura 3.5.2.5. Evoluția temperaturilor  $t_{iac}$  (a),  $t_1$  (b),  $t_1$  în detaliu (c) în cazul scenariului *St1\_2*

- **Stl\_3** – temperatura  $t_4$  a CO<sub>2</sub> de la ieșirea din pompă crește în rampă cu 2°C în timp de 2 minute

Acest scenariu corespunde creșterii temperaturii CO<sub>2</sub> de la pompă,  $t_4$  la un moment dat (1000 s) cu 2°C, creștere care are loc în rampă și determină apariția unei creșteri în același sens al temperaturii  $t_1$  a CO<sub>2</sub> la ieșirea din vaporizatoare. Redresarea temperaturii  $t_1$  se realizează după cca. 240 - 250 secunde timp în care ajunge la valoarea prescrisă, rezultatele obținute sunt conforme cu realitatea.

Evoluțiile celor două temperaturi considerate  $t_1$  și  $t_4$  corespunzătoare acestui scenariu sunt prezentate în figura 3.5.2.6 a și b cu detaliere în fig.c.

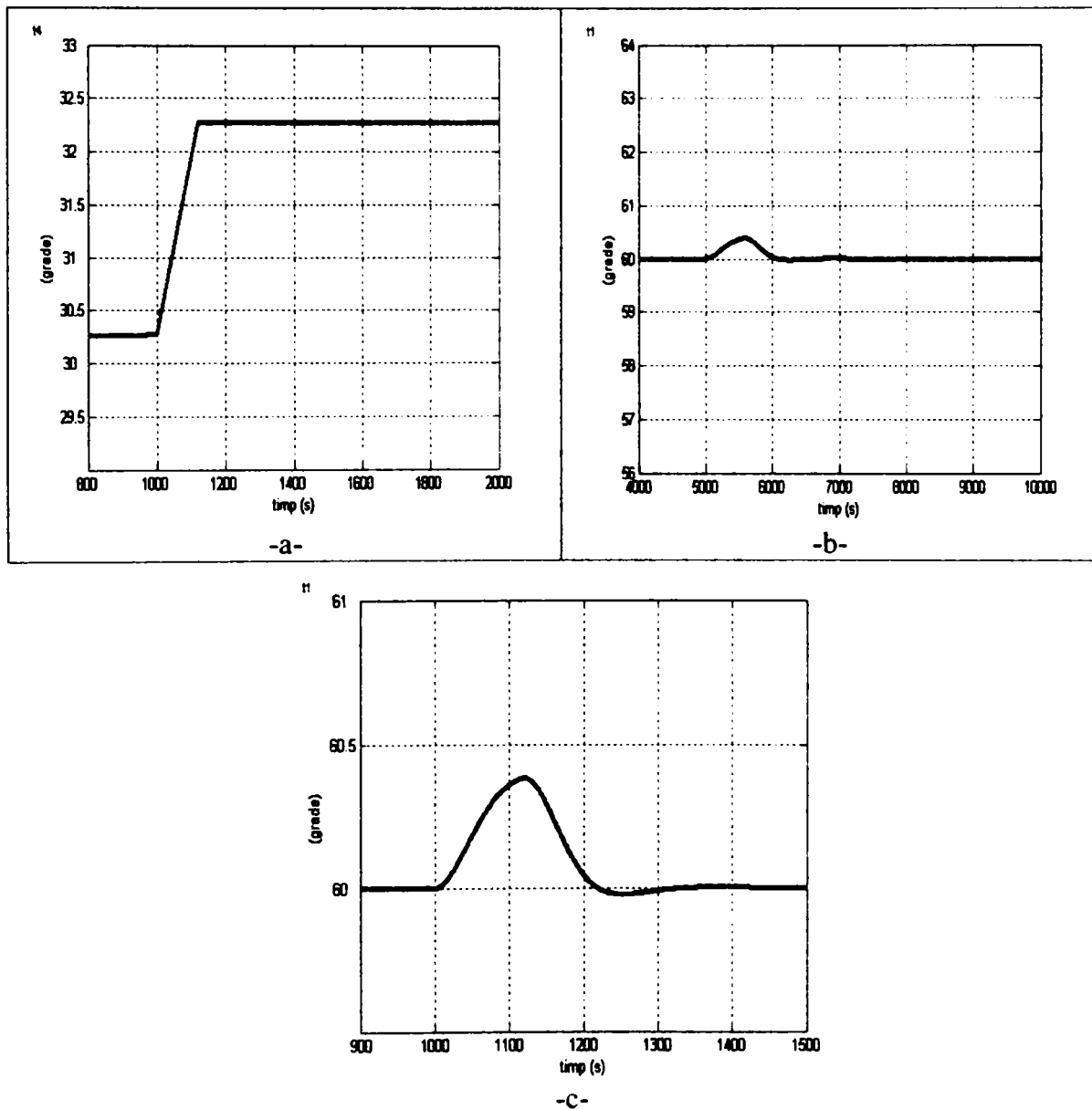


Figura 3.5.2.6. Evoluția temperaturilor  $t_4$  (a),  $t_1$  (b),  $t_1$  detaliat (c) în cazul scenariului **Stl\_3**

- *Stl\_4* – temperatura  $t_4$  a CO<sub>2</sub> de la ieșirea din pompă scade în rampă cu 2°C în timp de 2 minute

Scenariul corespunde descreșterii treptate a temperaturii CO<sub>2</sub> de la pompă,  $t_4$  (începând cu momentul 1000 s) cu 2°C, descreștere care determină o evoluție în același sens a temperaturii  $t_1$  a CO<sub>2</sub> la ieșirea din vaporizatoare. Redresarea temperaturii  $t_1$  se realizează după cca.310 – 320 secunde, timp în care ajunge la valoarea prescrisă de 60°C .

Evoluțiile celor două temperaturi considerate  $t_1$  și  $t_4$  corespunzătoare acestui scenariu sunt prezentate în figura 3.5.2.7 a și b cu detalieri în figura c.

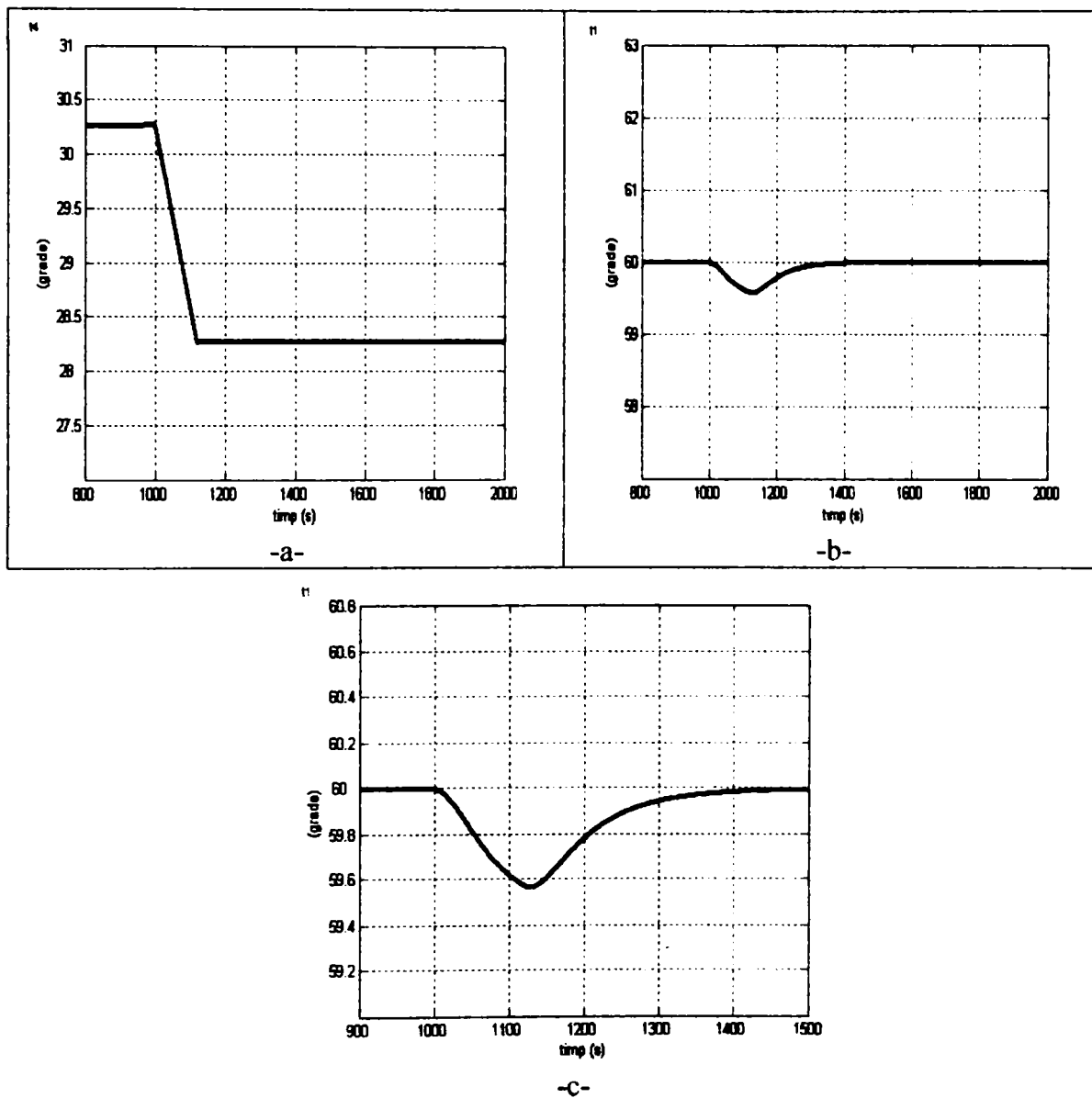


Figura 3.5.2.7. Evoluția temperaturilor  $t_4$  (a),  $t_1$  (b),  $t_1$  detaliat (c) în cazul scenariului *Stl\_4*

Realizând o analiză comparativă a rezultatelor obținute din simulările corespunzătoare scenariilor St1\_1 – St1\_4, se constată faptul că revenirea la valorile prescrise în cazul unor perturbații cu valori negative este mai lentă decât în cazul unor perturbații având valori pozitive.

- St3\_1 – creșterea temperaturii apei reci ( $t_{iar}$ ) în rampă cu  $5^{\circ}\text{C}$  în timp de 2 minute

Creșterea temperaturii apei reci ( $t_{iar}$ ) în rampă începând cu momentul (1750 s) cu  $5^{\circ}\text{C}$ , determină o scădere a temperaturii  $\text{CO}_2$  la ieșirea din condensatoare,  $t_3$ , urmată de o ușoară creștere și o stabilizare după cca. 300 secunde, la valoarea  $26.55^{\circ}\text{C}$ . O creștere a temperaturii apei reci cu  $5^{\circ}\text{C}$  în 2 minute nu este plauzibilă. În realitate variațiile sunt mult mai lente. Din punctul de vedere al performanțelor sistemului scenariul este însă relevant, solicitarea fiind practic foarte intensă, deci acoperitoare. Precizarea este valabilă și pentru scenariul St3\_2.

Evoluțiile celor două temperaturi considerate, corespunzătoare acestui scenariu sunt prezentate în figura 3.5.2.8. a și b. Este de remarcat faptul că inițial sistemul nu s-a găsit în regim staționar.

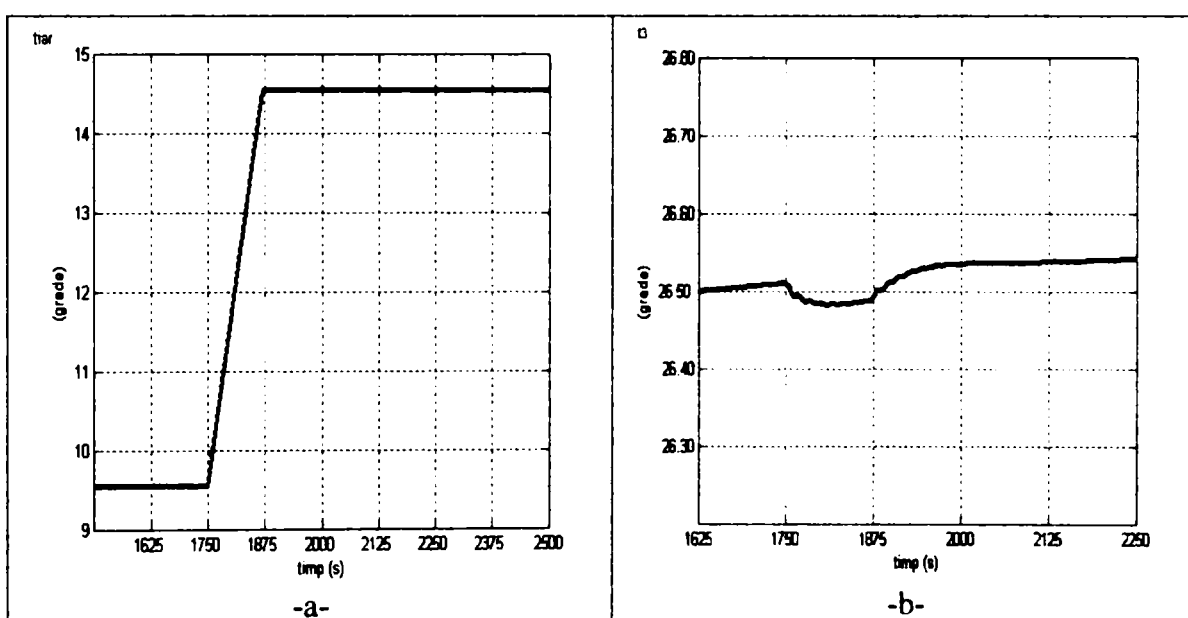


Figura 3.5.2.8. Evoluția temperaturilor  $t_{iar}$  (a) și  $t_3$  (b) în cazul scenariului St3\_1

- St3\_2 – scăderea temperaturii apei reci ( $t_{iar}$ ) în rampă cu  $5^{\circ}\text{C}$  în timp de 2 minute

Scăderea temperaturii apei reci ( $t_{iar}$ ) în rampă începând cu momentul (1750 s) cu  $5^{\circ}\text{C}$ , determină o creștere a temperaturii  $\text{CO}_2$  la ieșirea din condensatoare,  $t_3$ , urmată de o ușoară descreștere și apoi o stabilizare după cca. 380 secunde la valoarea  $26.55^{\circ}\text{C}$ .

Evoluțiile celor două temperaturi corespunzătoare scenariului *St3\_2* sunt prezentate în figura 3.5.2.9. a și b. Trebuie remarcat și în acest caz faptul că inițial sistemul nu se găsea în regim staționar.

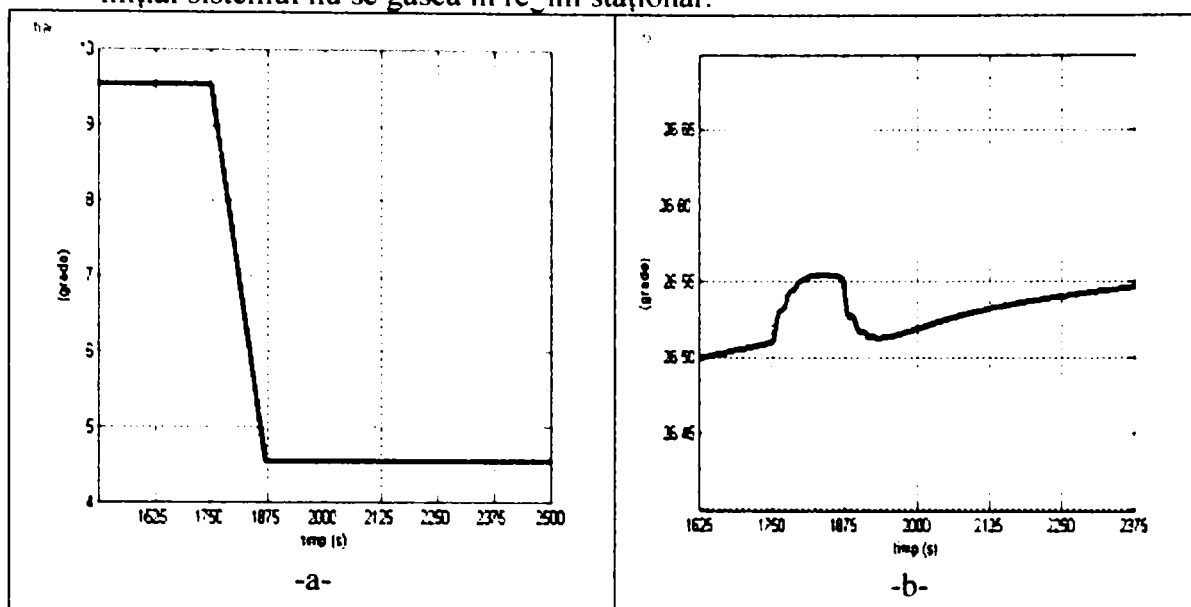


Figura 3.5.2.9. Evoluția temperaturilor  $t_{1ar}$  (a) și  $t_3$  (b) în cazul scenariului *St3\_2*

- *St3\_3* – creșterea temperaturii CO<sub>2</sub> la ieșirea din organul motor ( $t_2$ ) în rampă cu 3°C în timp de 2 minute

Creșterea temperaturii CO<sub>2</sub> de la organul motor,  $t_2$  începând cu momentul 1750 s determină o creștere a temperaturii CO<sub>2</sub> la ieșirea din condensatoare,  $t_3$ , urmată de o descreștere și stabilizare la valoarea 26.65°C după cca 280 - 300 secunde.

Evoluțiile celor două temperaturi corespunzătoare acestui scenariu sunt prezentate în figura 3.5.2.10. a și b. Este de remarcat faptul că inițial sistemul nu s-a așezat în regim staționar.

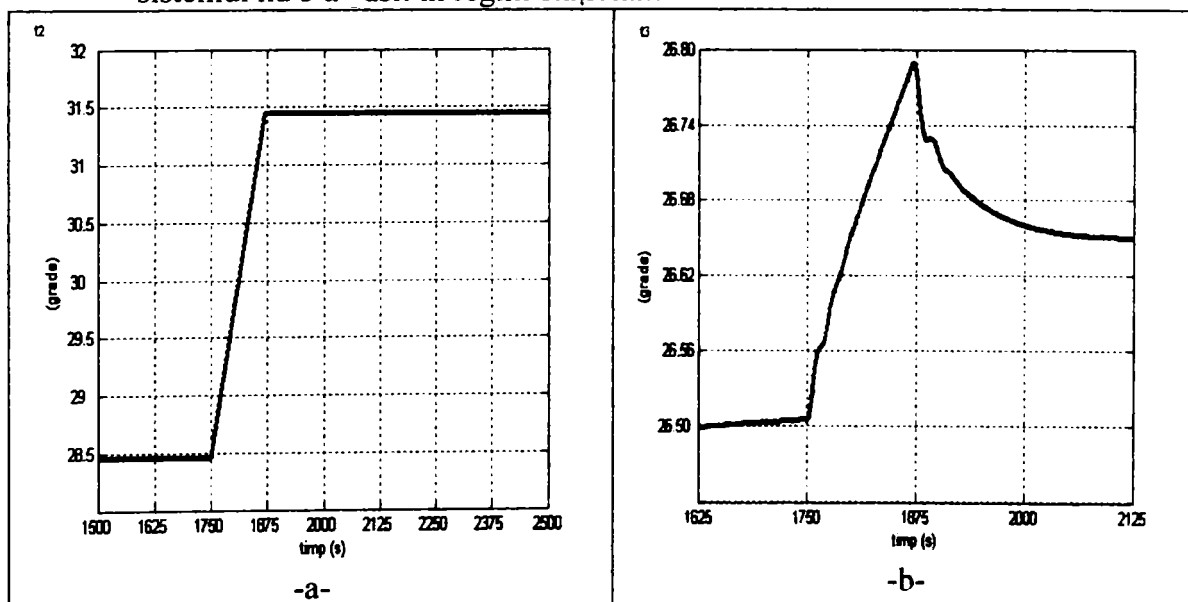


Figura 3.5.2.10. Evoluția temperaturilor  $t_2$  (a) și  $t_3$  (b) în cazul scenariului *St3\_3*

- *St3\_4* – creșterea temperaturii CO<sub>2</sub> la ieșirea din organul motor ( $t_2$ ) în rampă cu 3<sup>0</sup>C în timp de 2 minute

Descrescerea temperaturii CO<sub>2</sub> de la organul motor determină o evoluție în același sens a temperaturii  $t_3$  a CO<sub>2</sub> la ieșirea din condensatoare. În acest caz temperatura  $t_3$  se stabilizează la valoarea 26.35<sup>0</sup>C după cca 400 – 420 secunde.

Evoluțiile celor două temperaturi corespunzătoare acestui scenariu sunt prezentate în figura 3.5.2.11. a și b.

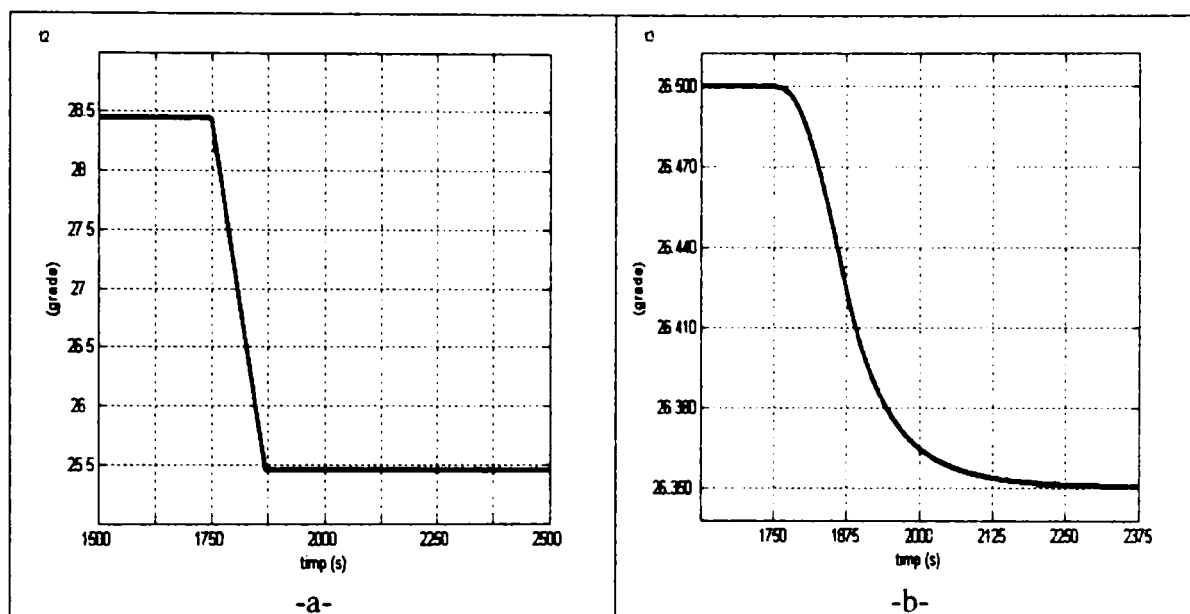


Figura 3.5.2.11. Evoluția temperaturilor  $t_2$  (a) și  $t_3$  (b) în cazul scenariului *St3\_4*

\* \* \*

În cadrul acestui capitol s-a prezentat partea de modelare a procesului condus din centrala electrică geotermală și principalele strategii de conducere utilizate pentru fixarea ciclului termodinamic al agentului CO<sub>2</sub> utilizat de centrala electrică.

Contribuțiile personale ale autoarei vizează în primul rând partea de modelare a centralei electrice geotermale și a sistemului de conducere aferent, respectiv implementarea strategiei de conducere pe AP de tip Allen Bradley SLC 5/03.

Prezentarea corectează și completează toate demersurile de modelare realizate până în prezent referitoare la sistemul automat al centralei electrice geotermale [Gab1 03], [Gab2 03], [Pop1 03],[Pop2 03] lăsând deschise problemele de optimizare ale reglajului respectiv de modelare a organului motor. Rezultatele obținute din simulare sunt corespunzătoare din punct de vedere practic.

## CAPITOLUL 4. SOLUȚII DE CREȘTERE A DISPONIBILITĂȚII CENTRALEI ELECTRICE GEOTERMALE

Conform celor discutate în paragrafele anterioare, în cadrul centralei geotermale pot fi implementate entități redundante atât pe partea de măsurare cât și pe partea de elemente de execuție sau module de AP. În cadrul acestei teze, autoarea se rezumă la tratarea redundanței doar pe partea de măsurare datorită faptului că implementarea unei astfel de redundanțe este practic posibilă precum și datorită faptului că prin implementarea unor entități redundante la acest nivel se realizează o creștere a fiabilității întregului sistem (v. subcapitol 2.7).

În lucrările [Dra1 04], [Dra2 04] se prezintă faptul că există posibilitatea implementării unor structuri redundante și pe partea de elemente de execuție a sistemelor de reglare ale centralei geotermale, aspect care nu a constituit însă subiectul prezentei teze.

În continuare se prezintă în detaliu implementarea a două sisteme de măsurare redundante, unul pentru temperatura  $t_1$  (v. subcapitol 3.4.1.2), celalalt pentru temperatura  $t_3$  (v. subcapitol 3.4.1.3). Pentru fiecare dintre aceste sisteme de măsurare s-a considerat câte o structură redundantă specifică, selectate în urma studierii mai multor variante posibile și luării în considerare a posibilității de implementare.

Pentru a ajunge la modul de implementare final, s-a studiat comportarea sistemului prevăzută cu structuri redundante prin intermediul programului de simulare prezentat în capitolul 3, adaptat prin completării impuse de structurile redundante. Soluțiile validate au fost implementate utilizând limbajul APS (Advanced Programming Software) (v. subcapitol 3.4.3).

Deoarece în discuție intră atât varianta cu două cât și cea cu trei traductoare, pentru cele două variante s-au utilizat strategii diferite. Astfel pentru varianta cu două traductoare, pentru a decide logica de comutare pe traductorul care funcționează corect, a fost necesară apelarea la o a treia mărime de încredere ca urmare a faptului că fiabilitatea sistemului de măsurare e superioară. În cazul celor 3 traductoare se consideră defect traductorul a cărui mărime de ieșire se abate cu o anumită valoare de prag de la media aritmetică a valorii mărimilor indicate de cele trei traductoare în discuție, caz în care la defectarea unui traductor se ajunge la un caz similar și anume cel al redundanței duble pentru care se aplică algoritmul stabilit pentru redundanța dublă, considerând o a treia mărime de încredere. Strategia de lucru cu sistemele redundante a presupus urmărirea în regim nominal a variației valorii medii (suma variațiilor valorilor medii), abaterea valorii medii cu o valoare de prag interpretându-se ca traductor defect.

### 4.1. Sistem redundant de măsurare a temperaturii $t_1$

Datorită importanței elementului de măsurare a temperaturii  $t_1$  în cadrul sistemului de reglare a acestei temperaturi și datorită condițiilor de lucru, s-a considerat necesară realizarea măsurării de o manieră redundantă care să asigure creșterea disponibilității sistemului. În cele ce urmează se prezintă ca și studiu de caz o variantă de implementare care face uz de *două traductoare de temperatură pentru temperatura  $t_1$*  și de *un sistem de decizie bazat pe folosirea, suplimentară, a informației provenite de la traductorul aferent temperaturii  $t_{eac}$*  (temperatura apei calde la ieșirea din vaporizatoare).

Ca puncte de plecare se consideră dublarea elementului traductor „*trad\_TT1*” (destinat măsurării temperaturii  $t_1$ ) din figura 3.4.1.2.6. și elementele teoretice discutate în subcapitolul 3.4.1.2.

Pentru stabilirea strategiei de acționare, implementată prin sistemul de decizie, s-a considerat ca ipoteză de lucru ideea că defectarea unui traductor de măsurare a temperaturii  $t_l$  se manifestă prin apariția unei informații eronate la ieșirea acestuia. Ipoteza a fost instrumentată prin schema din Fig. 4.1.1.

Potrivit schemei, temperatura  $t_l$  este măsurată cu două traductoare:  $Trad_{tl}$ , inclus în bucla de reglare conform celor prezentate în capitolul 3, și  $Trad_{tlr}$ , de rezervă, neinclus în buclă, prevăzut pentru a fi introdus în bucla de reglare atunci când  $Trad_{tl}$  se defectează. Perturbarea funcționării traductorului  $Trad_{tl}$  se face de la blocul  $Pert_{tl}$ , iar a traductorului de rezervă de la blocul  $Pert_{tlr}$ . În acest mod, se pot studia diferite situații prin scenarii în care sunt afectate de erori ieșirile unuia sau ambelor traductoare. De exemplu, atunci când ieșirea traductorului de rezervă nu este afectată de erori, dar este afectată de erori ieșirea traductorului din buclă, traductorul  $Trad_{tlr}$  va indica temperatura reală, reglată însă pe baza unei indicații eronate provenite de la traductorul din buclă.

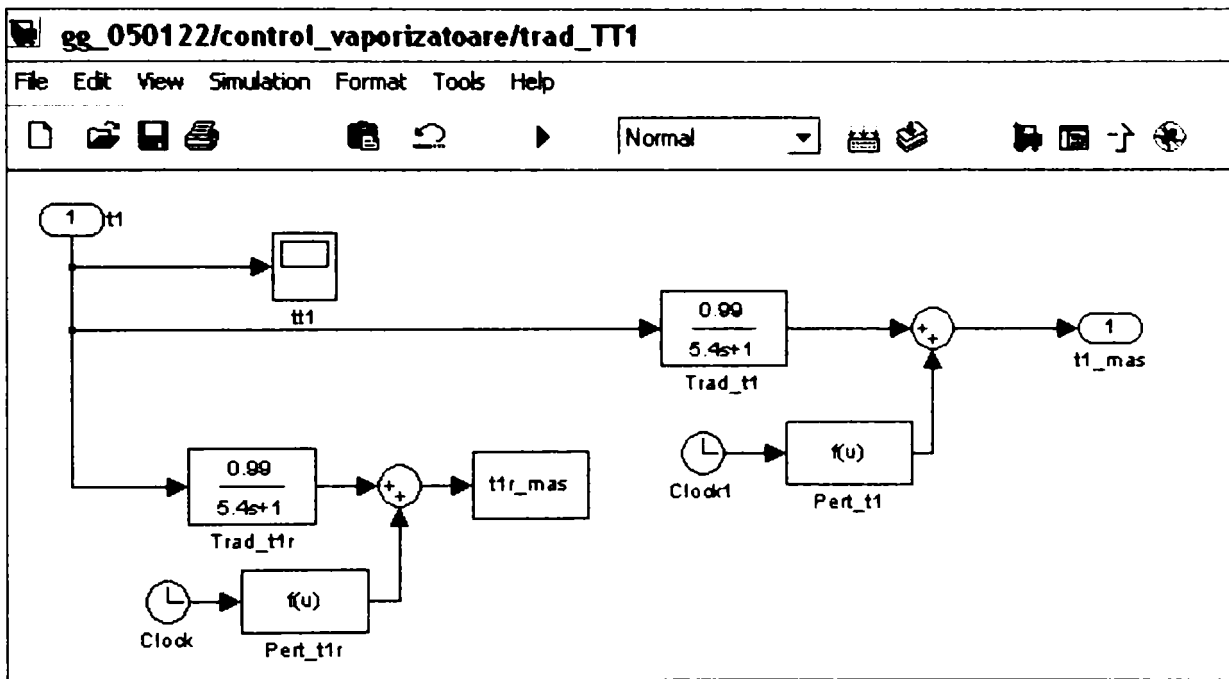


Figura 4.1.1. Model simulink de analiză a efectelor defectării traductorului „ $trad_{TT1}$ ” din bucla de reglare și/sau a traductorului de rezervă  $Trad_{tlr}$

Cu schema din Fig. 4.1.1. a fost studiată comportarea sistemului de automatizare prezentat în capitolul 3 prin intermediul a două scenarii de simulare. Ambele scenarii se referă la perturbarea sistemului automat aflat în regim nominal staționar. Primul scenariu corespunde considerării unor perturbații de tip treaptă în ieșirea traductoarelor de temperaturii  $t_l$  (Regim 1), iar al doilea considerării unor perturbații sinusoidale de joasă frecvență în ieșirile celor două traductoare (Regim 2).

Volumul mare de informație acumulat pe parcursul studiului face ca, la nivelul acestei lucrări, referirile să se rezume doar la primul scenariu (Regim 1). Rezultatele sunt sintetizate în figurile 4.1.2., 4.1.3. și în tabelul 4.1.1. Cele două figuri redau variațiile staționare ale ieșirilor traductorului TT1 (Scope 2), traductorului TTeac care măsoară temperatura  $t_{eac}$  (Scope 3), traductorului TT1r (Scope 4) și temperaturii reale  $t_l$  (Scope 5), în funcție de abateri staționare ale ieșirii traductorului TT1. În tabel se analizează aceste informații și se formulează observații pe baza lor.



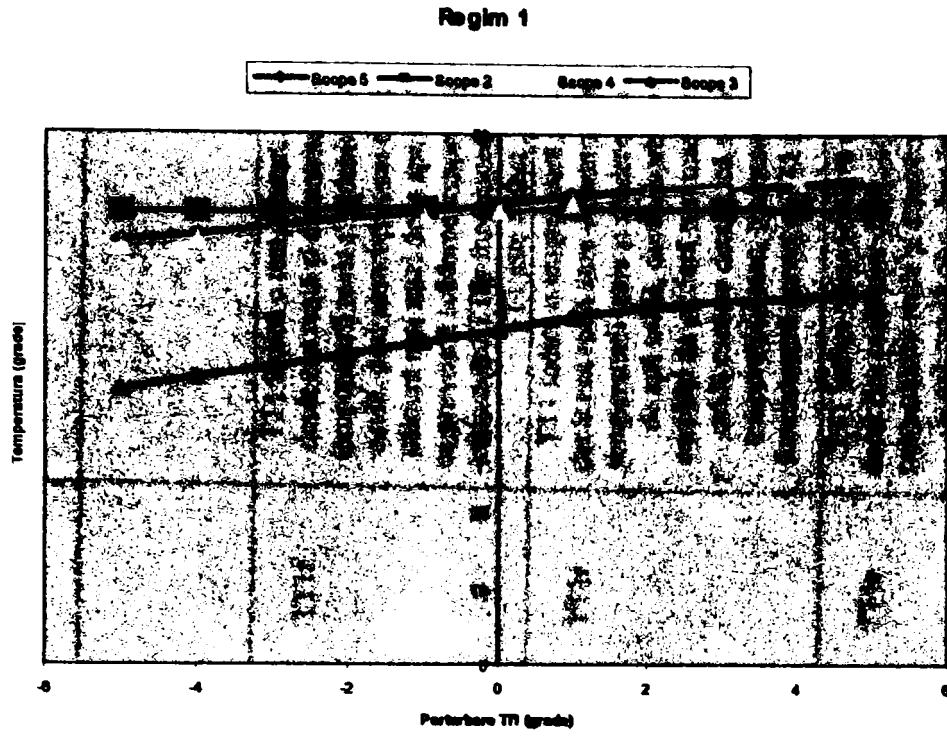


Fig. 4.1.2. Regim 1 – defectare TT1

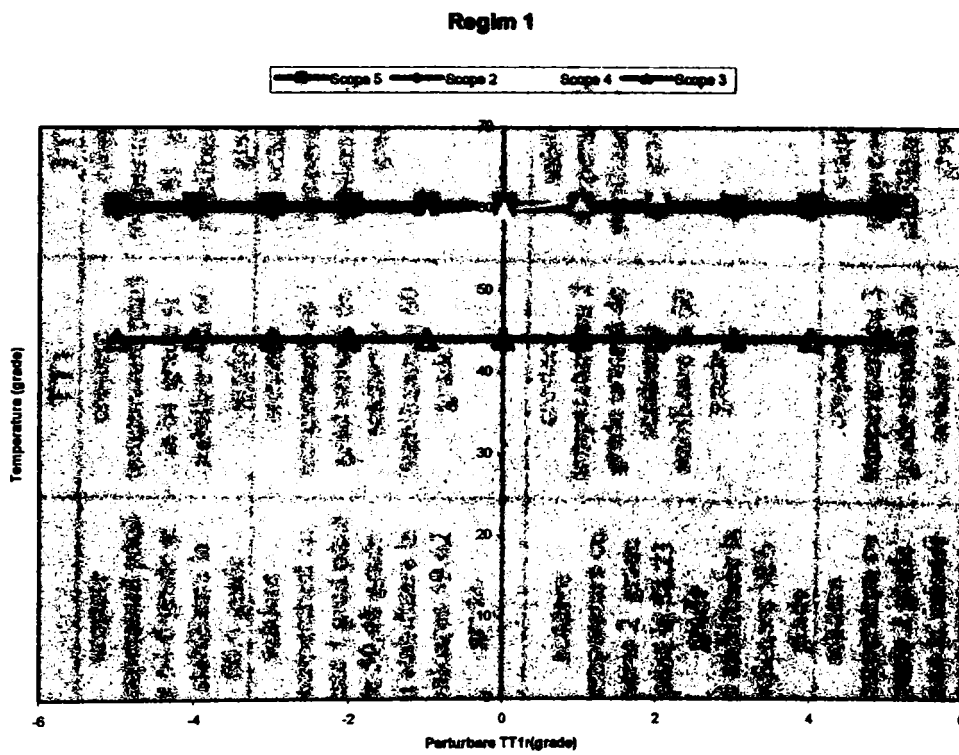


Fig. 4.1.3. Regim 1 – defectare TT1r

Tabel 4.1.1 Sinteza scenariului "Regim 1" referitor la defectarea traductoarelor de măsurare a temperaturii $t_r$ .								
Nr. crt	Cod caz	Cauza ce perturbă sistemul	Variațiile mărimii reale ( $t_1$ )	Observații referitoare la ieșirea traductor TTI	Observații referitoare la ieșirea traductor TTlr	Observații referitoare la temperatura $t_{eac}$ (ieșirea Teac)	Traductorul care indică temperatura reală	Observații de corelare
1	R1_fn	fără element perturbator	creștere temperatură până la 61.6 grade și stabilizare la 60.6 grade	creștere temperatură până la 61 grade și stabilizare la 60 grade	creștere temperatură până la 61 grade și stabilizare la 60 grade	stabilizare temperatura 44.15 grade		
2	R11-1	perturbarea traductorului TTI: scade cu 1 grad indicația de temperatură a traductorului TTI	scădere temperatură cu peste 1 grad până la 59.48 grade și stabilizare la valoarea 59.62 grade	creștere temperatură cu 1 grad urmată de scădere și stabilizare la 60 grade	scădere temperatură și stabilizare la 59 grade	scădere temperatură și stabilizare la 42.55 grade	TTlr	TTI indică o temperatură mai mare decât cea reală și determină scăderea temperaturii reale și a debitului de apă caldă, deci absorbția unei cantități de căldură mai mari de la apa caldă ceea ce provoacă scăderea temperaturii teac, traductorul TTlr funcționează corect și TTI este defect.
3	R11-2	perturbarea traductorului TTI: scade cu 2 grade indicația de temperatură a traductorului TTI	scădere temperatură cu peste 2 grade până la 58.23 grade și stabilizare la valoarea 58.6 grade	creștere temperatură cu 2 grade urmată de scădere și stabilizare la 60 grade	scădere temperatură și stabilizare la 58 grade	scădere temperatură și stabilizare la 40.9 grade	TTlr	TTI indica o temperatură mai mare decât cea reală care determină scăderea temperaturii reale și scăderea debitului de apă caldă, deci absorbția unei cantități de căldură mai mari de la apa caldă ceea ce determină scăderea temperaturii teac, traductorul TTlr funcționează corect și TTI este defect.
4	R11-3	perturbarea traductorului TTI: scade cu 3 grade indicația de temperatură a traductorului TTI	scădere temperatura cu peste 3 grade pana la valoarea 56.5 grade și stabilizare la valoarea 57.6 grade	creștere temperatură cu 3 grade urmată de scădere și stabilizare la 59.95 grade	scădere temperatură și stabilizare la 57 grade	scădere temperatură și stabilizare la 39.25 grade	TTlr	TTI indica o temperatură mai mare decât cea reală care determină scăderea temperaturii reale și scăderea debitului de apă caldă, deci absorbția unei cantități de căldură mai mari de la apa caldă ceea ce determină scădere temperaturii teac, traductorul TTlr funcționează corect și TTI este defect.

5	R11-4	perturbarea traductorului TT1: scade cu 4 grade indicația de temperatură a traductorului TT1	scădere temperatura cu peste 4 grade pana la valoare 55.5 grade si stabilizare la valoare 56.6 grade	creștere temperatură cu 4 grade urmată de scădere și stabilizare la 59.95 grade	scădere temperatură și stabilizare la 56 grade	scădere temperatură și stabilizare la 36 grade	TT1r	TT1 indica o temperatură mai mare decât cea reală care determină scăderea temperaturii reale și scăderea debitului de apă caldă, deci absorbția unei cantități de căldură mai mari de la apa caldă ceea ce determină scădere temperaturii teac, traductorul TT1r funcționează corect si TT1 este defect
6	R11-5	perturbarea traductorului TT1: scade cu 5 grade indicația de temperatură a traductorului TT1	scădere temperatura cu peste 5 grade pana la valoare 54.2 grade si stabilizare la valoare 55.6 grade	creștere temperatură cu 5 grade urmată de scădere și stabilizare la 59.95 grade	scădere temperatură și stabilizare la 55 grade	scădere temperatură și stabilizare la 36 grade	TT1r	TT1 indica o temperatură mai mare decât cea reală care determină scăderea temperaturii reale și scăderea debitului de apă caldă, deci absorbția unei cantități de căldură mai mari de la apa caldă ceea ce determină scădere temperaturii teac, traductorul TT1r funcționează corect si TT1 este defect
7	R11+1	perturbarea traductorului TT1: crește cu 1 grad indicația de temperatură a traductorului TT1	creștere temperatură și stabilizare la valoare 61.6 grade	scădere temperatura cu 1 grad urmată de stabilizare la 60 grade	creștere temperatură și stabilizare la 61 grade	creștere temperatura si stabilizare la valoare 45.75 grade	TT1r	TT1 indica o temperatură mai mică decât cea reală care determină creșterea temperaturii reale și creșterea debitului de apă caldă, deci absorbția unei cantități de căldură mai mici de la apa caldă ceea ce determină creșterea temperaturii teac, traductorul TT1r funcționează corect si TT1 este defect
8	R11+2	perturbarea traductorului TT1: crește cu 2 grade indicația de temperatură a traductorului TT1	creștere temperatură și stabilizare la valoare 62.5 grade	scădere temperatura cu 2 grade urmată de stabilizare la 60 grade	creștere temperatură și stabilizare la 62 grade	creștere temperatura si stabilizare la valoarea 47.2 grade	TT1r	TT1 indica o temperatură mai mică decât cea reală care determină creșterea temperaturii reale și creșterea debitului de apă caldă, deci absorbția unei cantități de căldură mai mici de la apa caldă ceea ce determină creșterea temperaturii teac, traductorul TT1r funcționează corect si TT1 este defect
9	R11+3	perturbarea traductorului TT1: crește cu 3 grade	creștere temperatură și stabilizare la valoare 63.1 grade	scădere temperatura cu 3 grad2 urmată de stabilizare la 60 grade	creștere temperatură și stabilizare la 63 grade	creștere temperatura si stabilizare la valoarea 48	TT1r	TT1 indica o temperatură mai mică decât cea reală care determină creșterea temperaturii reale și creșterea debitului de apă caldă, deci absorbția unei

		indicația de temperatură a traductorului TTI	grade	grade	grade	creștere și temperatură și stabilizare la 64 grade	grade	cantități de căldură mai mici de la apa caldă ceea ce determină creșterea temperaturii teac, traductorul TTI r funcționează corect și TTI este defect
10	R11+4	perturbarea traductorului TTI: crește cu 4 grade indicația de temperatură a traductorului TTI	creștere și temperatură și stabilizare la valoarea 63.4 grade	scădere temperatura cu 4 grade urmată de stabilizare la 60 grade	creștere și temperatură și stabilizare la 64 grade	creștere și temperatură și stabilizare la valoarea 48.5 grade	TTI r	TTI indica o temperatură mai mică decât cea reală care determină creșterea temperaturii reale și creșterea debitului de apă caldă, deci absorbția unei cantități de căldură mai mici de la apa caldă ceea ce determină creșterea temperaturii teac, traductorul TTI r funcționează corect și TTI este defect
11	R11+5	perturbarea traductorului TTI: crește cu 5 grade indicația de temperatură a traductorului TTI	creștere și temperatură și stabilizare la valoarea 63.5 grade	scădere temperatura cu 5 grad urmată de stabilizare la 60 grade	creștere și temperatură și stabilizare la 65 grade	creștere și temperatură și stabilizare la valoarea 48.7 grade	TTI r	TTI indica o temperatură mai mică decât cea reală care determină creșterea temperaturii reale și creșterea debitului de apă caldă, deci absorbția unei cantități de căldură mai mici de la apa caldă ceea ce determină creșterea temperaturii teac, traductorul TTI r funcționează corect și TTI este defect
12	R12+1 R12+2 R12+3 R12+4 R12+5	perturbarea traductorului TTI r: crește cu 1,2,3,4,5 grade indicația de temperatură a traductorului TTI r	temperatura nu se modifică rămâne la valoarea 60.6 grade	temperatura nu se modifică rămâne la valoarea 60 grade	crește valoarea temperaturii cu 1, 2, 3, 4, 5 grade	temperatura nu se modifică ea rămâne la valoarea 44.15 grade	TTI	TTI r indică o valoare mai mare decât cea reală, dar în sistem nu sunt prezente modificări de temperatura astfel nu se modifică nici temperatura apei reci și nici temperatura indicată de TTI, deci traductorul TTI r este defect iar TTI este funcțional
13	R12-1 R12-2 R12-3 R12-4 R12-5	perturbarea traductorului TTI r: scade cu 1,2,3,4,5 grade indicația de temperatură a traductorului TTI r	temperatura nu se modifică rămâne la valoarea 60.6 grade	temperatura nu se modifică rămâne la valoarea 60 grade	scade valoarea temperaturii cu 1, 2, 3, 4, 5 grade	temperatura nu se modifică ea rămâne la valoarea 44.15 grade	TTI	TTI r indică o valoare mai mare decât cea reală, dar în sistem nu sunt prezente modificări de temperatura astfel nu se modifică nici temperatura apei reci și nici temperatura indicată de TTI, deci traductorul TTI r este defect iar TTI este funcțional

Observațiile cumulate în tabel se referă la o mulțime de cazuri notate cu R1 urmat de alte simboluri al căror sens reiese din tabel. Ele sunt sintetizabile prin două *reguli de identificare a traductorului care funcționează corect și de decizie a oportunității efectuării operației de comutare* pentru implementarea continuă a operației de reglare realizată de regulatorul automat RA1. Acestea reguli sunt:

<b>REGULA R1_1:</b>	Dacă	$\left\{ \begin{array}{l} \text{iesirea traductorului} \\ \text{de rezervă variază și} \\ \text{iesirea traductorului} \\ \text{TTeac este constantă} \end{array} \right\}$	atunci	$\left\{ \begin{array}{l} \text{traductorul conectat în} \\ \text{bucla funcționează corect,} \\ \text{traductorul de rezerva este defect,} \\ \text{iar sistemul de măsurare ramane} \\ \text{pe traductorul conectat} \end{array} \right\}$
<b>REGULA R1_2:</b>	Dacă	$\left\{ \begin{array}{l} \text{iesirea traductorului de} \\ \text{rezervă și iesirea} \\ \text{traductorului Teac} \\ \text{variază în același sens} \end{array} \right\}$	atunci	$\left\{ \begin{array}{l} \text{traductorul conectat este} \\ \text{defect, traductorul de} \\ \text{rezervă funcționează} \\ \text{corect, iar sistemul} \\ \text{comuta pe traductorul} \\ \text{de rezerva} \end{array} \right\}$

În particular, pentru situația din Fig. 4.1.1. traductorul în funcțiune este TT1, traductorul de rezervă TT1r, iar traductorul ajutător Teac. Atunci când acționează, regula R1\_1 păstrează în bucla de reglare traductorul TT1, iar regula R1\_2 face ca reacția în buclă să fie comutată pe TT1r.

Practic pentru implementarea celor două reguli se va utiliza un sistem de măsurare redundant, încadrat în ansamblu, ca și în schema din figura 4.1.4. Blocul vaporizatoare furnizează traductoarelor TT1 și TT1r temperatura reală  $t_1$ . În schemă  $t_{1_1}$  este rezultatul măsurării temperaturii  $t_1$  de către traductorul TT1, iar  $t_{1_r1}$  rezultatul măsurării aceleiași temperaturi de către traductorul de rezervă TT1r. Temperatura  $t_{eac}$  este temperatura măsurată de traductorul TTeac,  $t_{1\_mas}$  – mărimea de ieșire a sistemului redundant de măsurare a temperaturii  $t_1$  (temperatura măsurată folosită pentru realizarea reacției în bucla de reglare).

Figura surprinde, totodată, și amplasarea sistemului de măsurare a temperaturii  $t_1$  în raport cu AP și cu bucla de reglare deservită. Mărimea  $t_{1ref}$  reprezintă temperatura de referință pentru  $t_1$ , iar  $u_{11}$  valoarea mărimii de comandă a robinetului RB1 de către regulatorul automat RA1 încorporat în automatul programabil AP.

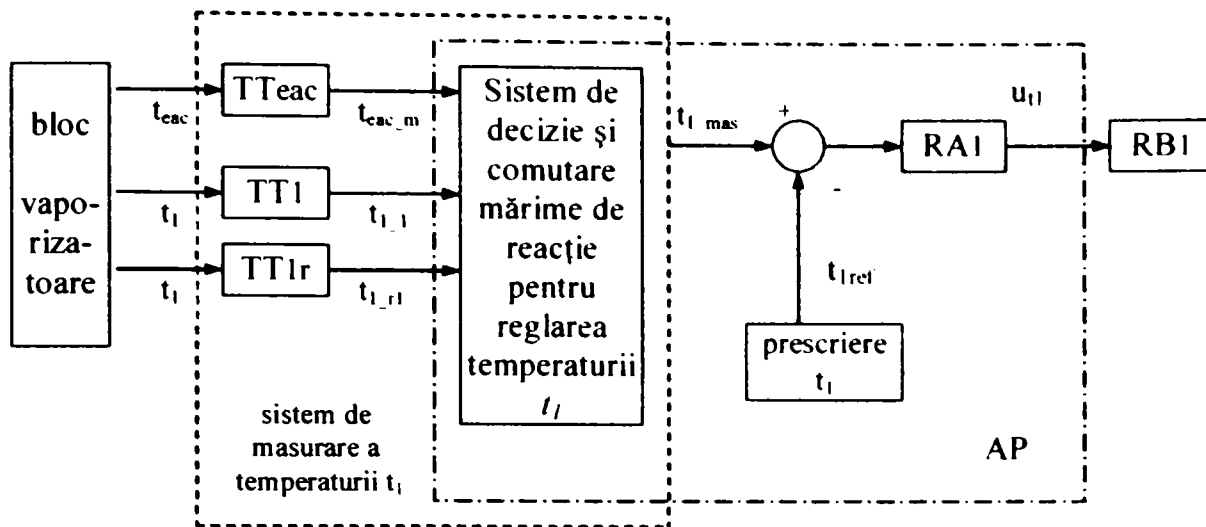


Figura 4.1.4. Schema bloc a sistemului redundant de măsurare a temperaturii  $t_l$

Pentru implementarea regulei R1\_1 sistemul de decizie și comutare a mărimii de reacție pentru măsurarea temperaturii  $t_l$  folosește următoarele patru mărimi:

- $sumTTlr$  - suma variațiilor ieșirii traductorului de rezervă
- $deltasumTTlr$  - valoarea de prag a mărimii  $sumTTlr$
- $sumteac$  - suma variațiilor temperaturii indicate de Teac
- $deltateac$  - valoarea de prag a mărimii  $sumteac$ .

Cu ajutorul lor regula R1\_1 s-a implementat astfel (regula R1\_1i):

**REGU-  
LA  
R1\_1i:** Dacă  $\left\{ \begin{array}{l} |sumTTlr| > deltasumTTlr, \\ \text{și} \\ sumteac < deltateac \end{array} \right\}$  atunci  $\left\{ \begin{array}{l} \text{se semnalizeaza faptul că} \\ \text{traductorul de rezerva} \\ \text{este defect și se avertizeaza} \\ \text{periodic operatorul} \\ \text{asupra acestui lucru} \end{array} \right\}$

(4.1.1)

Pentru implementarea regulei R1\_2 sistemul de decizie și comutare a mărimii de reacție pentru măsurarea temperaturii  $t_l$  folosește în afară de mărimile  $sumTTlr$  și  $sumteac$  și următoarele mărimi:

- $gdeltasumTTlr$  – valoare de prag a mărimii  $sumTTlr$
- $gdeltasumteac$  - valoarea de prag a mărimii  $sumteac$ .

Cu ajutorul lor regula R1\_2 s-a implementat astfel (regula R1-2i)

$$\begin{array}{l}
 \text{REGU-} \\
 \text{LA} \\
 \text{R1\_2i:}
 \end{array}
 \quad
 \text{Dacă}
 \quad
 \left.
 \begin{array}{l}
 \text{sumTT1r} \cdot \text{sumteac} > 0 \\
 \text{și} \\
 |\text{sumTT1r}| > \text{gdeltasumTT1r}, \\
 \text{și} \\
 |\text{sumteac}| > \text{gdeltateac}
 \end{array}
 \right\}
 \quad
 \text{atunci}
 \quad
 \left.
 \begin{array}{l}
 \text{se semnalizează faptul că} \\
 \text{traductorul conectat} \\
 \text{este defect și se comuta} \\
 \text{reactia pe traductorul de} \\
 \text{rezerva}
 \end{array}
 \right\}$$

(4.1.2)

Între formele inițiale ale regulilor, (R1\_1, R1\_2), și formele folosite în implementare, (R1\_1i, R1\_2i), apare o diferență care se cuvine a fi explicată:

Pe de-o parte, măsurările sunt întotdeauna afectate de mici perturbații care acționează aleator atât asupra valorilor reale cât și asupra rezultatelor măsurării. Într-un astfel de caz, filtrarea perturbațiilor se face uzual prin mediere între mai multe valori determinate consecutiv [Zai 02], [Sar 03].

Pe de altă parte, ansamblul regulilor conține, implicit, și cerința de a sesiza și sensul de variație al unor mărimi în situațiile unor variații care se pot produce mai mult sau mai puțin rapid.

Aceste considerente au impus ca în forma de implementare să se introducă mărimi de tipul  $\text{sum } x$ , folosite pentru mediere, și diferite praguri prin care să se creeze zone de insensibilitate față de variații aleatoare de scurtă durată.

Astfel, mărimile de tipul  $\text{sumTT1r}$  reprezintă suma variațiilor mediei calculate pentru grupuri de NE ( $\text{NE} = 5$ ) valori consecutive (corespunzătoare la 5 cicluri de scanare consecutive) ale temperaturii măsurate de traductorul TT1r, ca primă variație considerându-se diferența față de prima valoare măsurată după activarea modului de program de măsurare redundantă a temperaturii  $t_j$ .

Evident, suma variațiilor este reprezentată de diferența dintre valoarea medie curentă și valoarea prescrisă [Rab 75]. S-a păstrat însă ideea de „sumă” pentru a se putea utiliza variațiile valorii medii de la un grup de eșantioane la altul în scopuri de protecție și semnalizare (operații a căror detaliere depășește cadrul acestei lucrări).

Metoda de identificare a traductorului care furnizează informația corectă cu privire la valoarea temperaturii  $t_j$  este prezentată sub formă de schemă logică în figura 4.1.5.

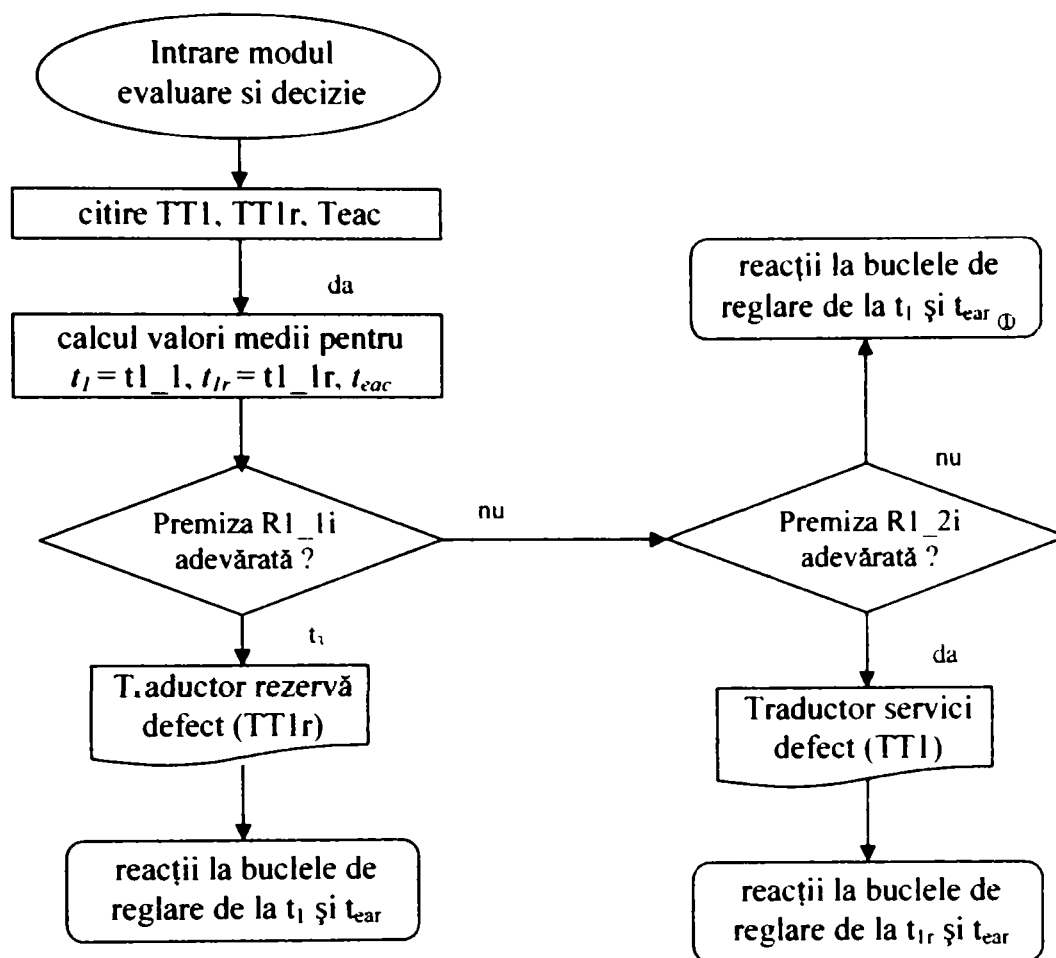


Figura 4.1.5. Modulul „algoritm de identificare și decizie” corespunzător sistemului de măsurare redundant al temperaturii  $t_l$

Se observă că algoritmul face uz și de o a treia regulă, implicită:

*dacă {premizele regulilor RI\_1i și RI\_2i nu sunt îndeplinite} atunci {reacția de temperatură rămâne neschimbată}.*

Ei îi corespunde ieșirea notată în fig. 4.1.5. cu Ⓣ .

Funcționarea algoritmului de identificare implementat pe automatul programabil s-a studiat prin simulare pe baza schemei Simulink din Figura 4.1.6.

Schema modelează algoritmul de identificare a traductorului defect în cadrul sistemului redundant de măsurare al temperaturii  $t_l$  și de comutare a reacției, utilizând un fișier (practic o funcție) Matlab care comunică cu modelul Simulink.

Simularea sistemului condus de AP a fost realizată utilizând un pas de discretizare a timpului pentru CAN și CNA utilizate egal cu durata unui ciclu de scanare.



Modalitatea efectivă de implementare a algoritmului de identificare a traductorului defect și comutare a reacției s-a realizat prin funcția notată „Sist. de decizie și comut.  $t_1$ ” din Fig. 4.1.6, și este prezentată în detaliu în anexa 5.

Această funcție corespunde sistemului de decizie și comutare a mărimii de reacție pentru reglarea temperaturii  $t_1$  din Fig.4.1.4. Pentru inițializare se utilizează fișierul `init_r2.m`.

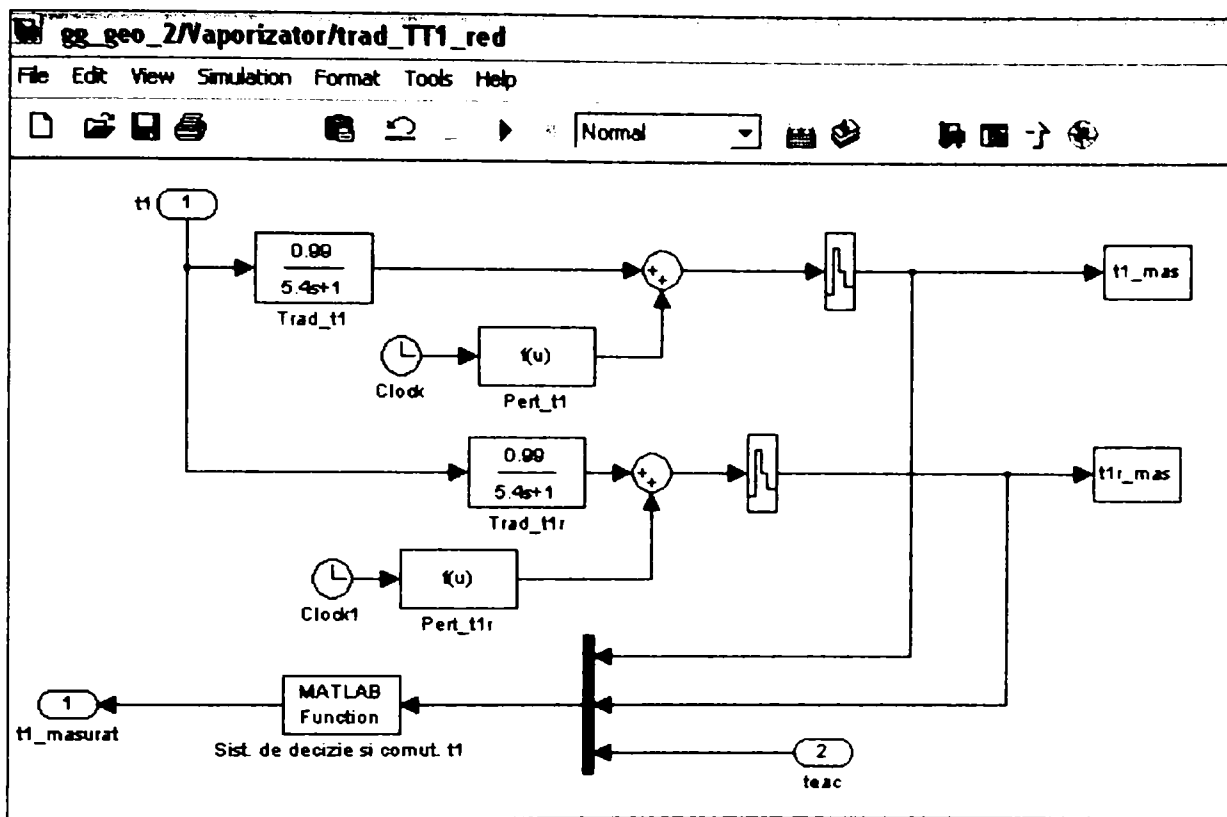
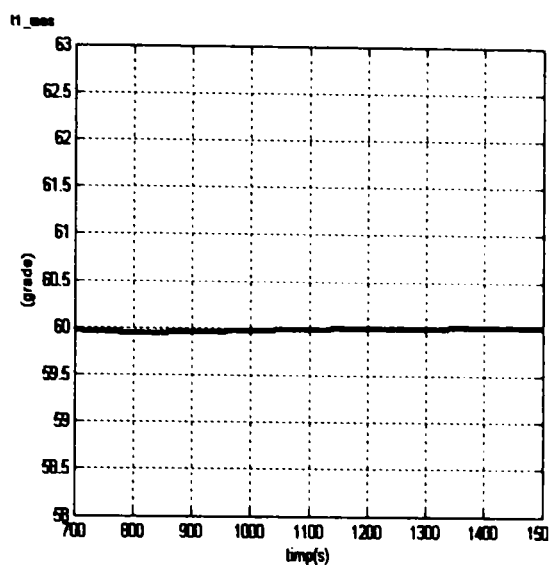


Figura 4.1.6 . Schema Simulink/Matlab utilizând funcția „Sist.de decizie și comut.  $t_1$ ”.

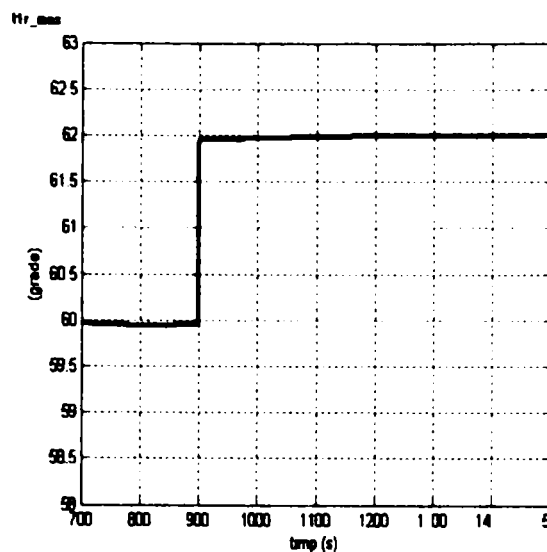
În cele ce urmează se prezintă două dintre scenariile de simulare implementate pe schema din fig. 4.1.6.

Primul scenariu considerat corespunde situației în care traductorul de rezerva *Trad\_t1r* (TT1r) se defectează, traductorul din bucla de reglare *Trad\_t1* (TT1) păstrându-se funcțional. În momentul defectării traductorului sistemul era în regim permanent constant.

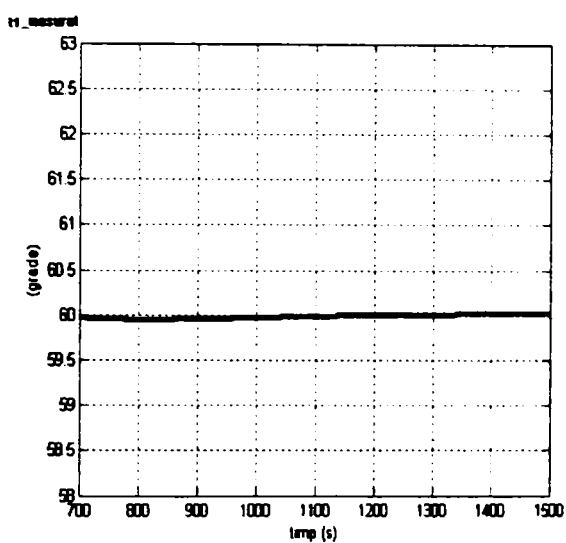
Situația este surprinsă în fig. 4.1.7., explicațiile fiind sintetizate în textul figurii. Rezultatul obținut este cel scontat: sistemul este insensibil la acest tip de defecțiune, temperatura reală  $t_1$  rămânând constantă.



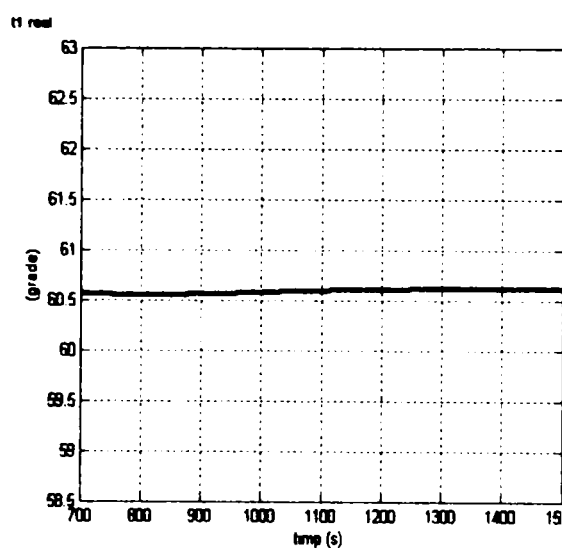
-a-



-b-



-c-



-d-

Figura 4.1.7. Valorile temperaturilor măsurate de traductorul din buclă,  $t1\_mas$  (a), de traductorul de rezervă,  $t1r\_mas$  (b), mărimii de reacție utilizată în bucla de reglare a temperaturii  $t_1$ ,  $t1\_masurat$  (c) și valorile temperaturii reglate  $t_1$  ( $t1$  real) (d) în situația scenariului „TT1 funcțional, TT1r defect”.

Defecțiunea apare la momentul 900 secunde când la ieșirea traductorului TT1r apare un salt pozitiv de două grade, iar sistemul de măsurare rămâne insensibil la acest tip de defecțiune.

Al doilea scenariu considerat în cadrul programului se simulează corespunde cazului în care traductorul în funcțiune  $Trad\_t1$ (TT1) se defectează, traductorul de rezervă rămâne funcțional, iar sistemul de măsurare comută în mod automat pe traductorul de rezervă  $Trad\_t1r$ (TT1r). Rezultatele sunt sintetizate în fig. 4.1.8.

Sistemul s-a găsit inițial în regim permanent constant. Variația din fig. 4.1.8.c este redată detaliat în fig. 4.1.9.

Se observă că bucla de reglare nu resimte defecțiunea apărută la nivelul traductorului cu care lucra inițial și nici nu resimte procesul de comutare.

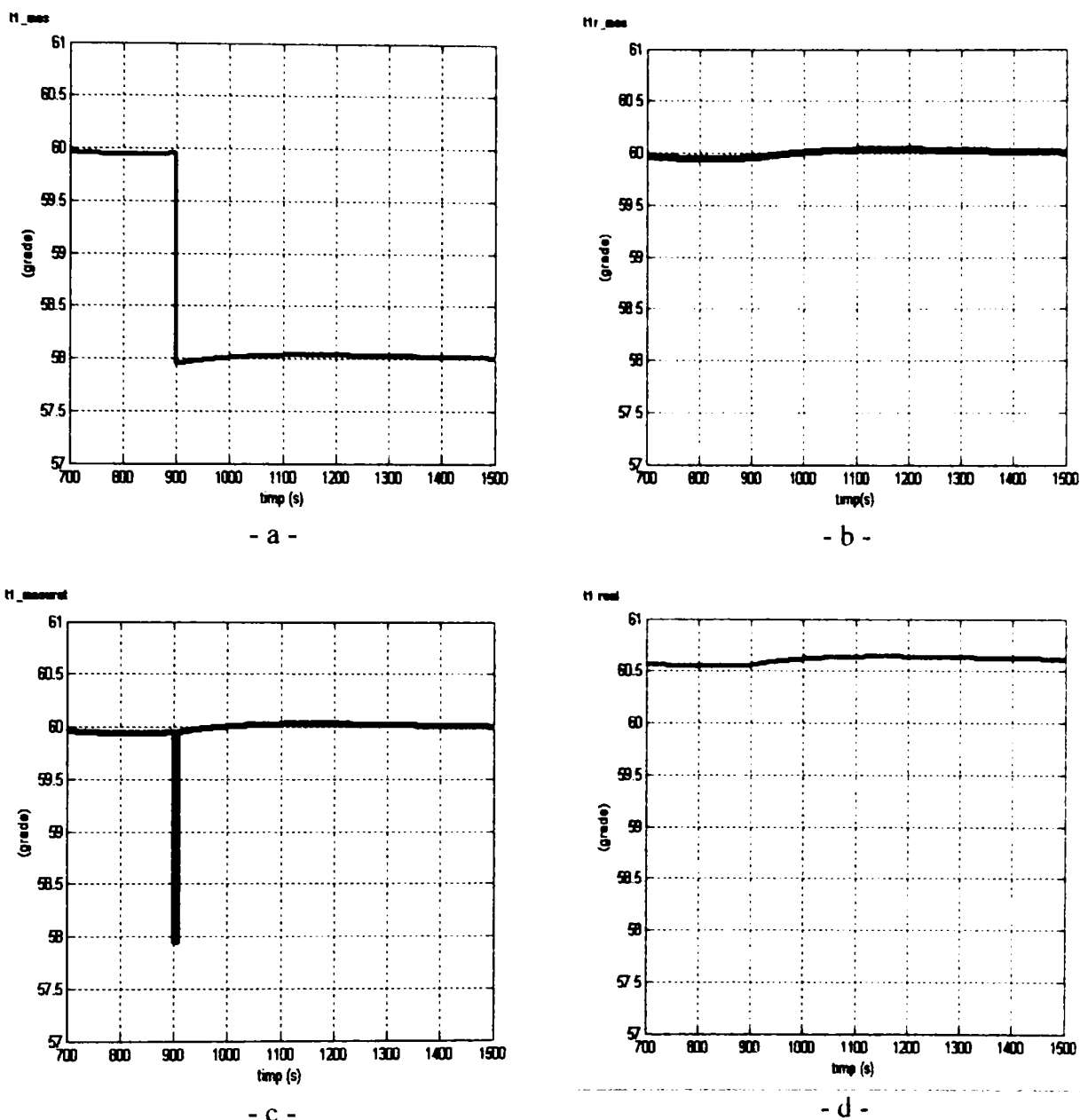


Figura 4.1.8. Valorile temperaturilor măsurate de traductorul din buclă  $t1\_mas$  (a), de traductorul de rezervă  $t1r\_mas$  (b), mărimii de reacție utilizată în bucla de reglare a temperaturii  $t1$  (c),  $t1\_masurat$  și temperaturii reglate  $t1$  ( $t1$  real) (d) în situația scenariului „TT1 defect, TT1r funcțional”.

Defecțiunea apare la momentul 900 secunde, când la ieșirea traductorului TT1 apare un salt negativ de două grade. Sistemul de măsurare se redresează pe parcursul a cca. 7.5 secunde iar bucla de reglare nu reacționează practic la defecțiunea produsă( oscilațiile în plaja  $60.5^{\circ}C - 60.65^{\circ}C$  nefiind relevante)

În figura 4.1.9 este prezentat în detaliu modul în care variază mărimea de ieșire a blocului de măsurare a temperaturii  $t1$  în cazul celui de-al doilea scenariu considerat.

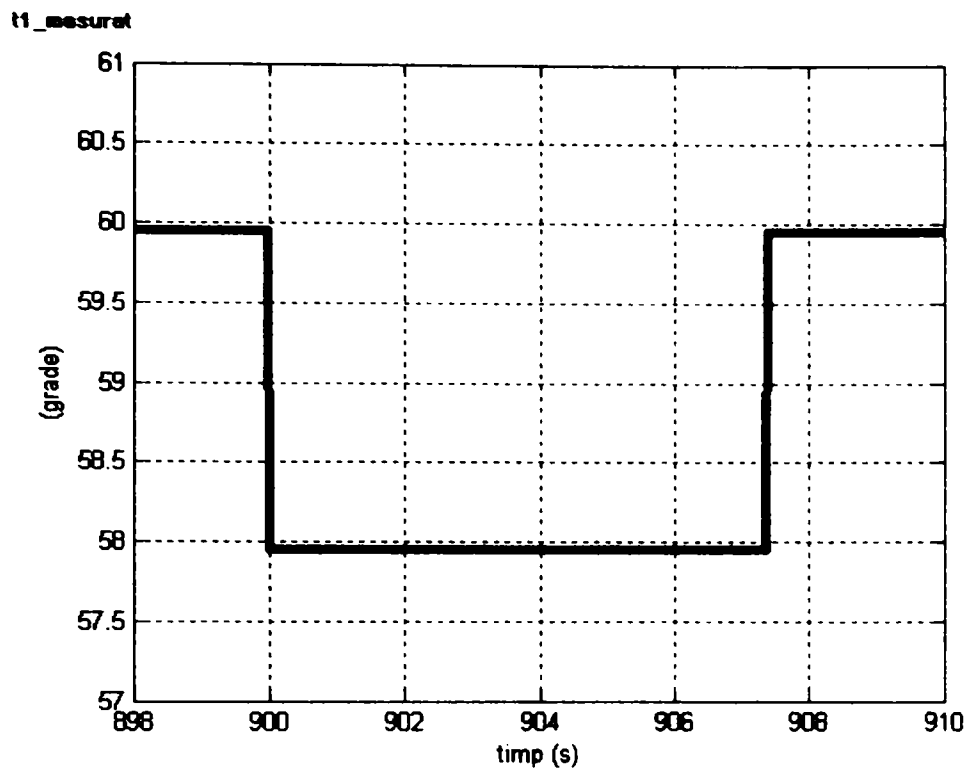


Figura 4.1.9. Detalierea variației mărimii de ieșire a blocului de măsurare a temperaturii  $t_1$  în cazul scenariului al doilea

Odată validat prin simulare, sistemul de măsurare redundantă al temperaturii  $t_1$ , s-a trecut la implementarea programului pentru automatul programabil Allen Bradley existent, utilizându-se limbajul de programare special elaborat pentru AP de acest tip, APS (Advanced Programming Software) [Roc1 94], [Roc2 94].

Potrivit aspectelor discutate în cele prezentate până aici partea de program din AP corespunzătoare algoritmului care realizează implementarea funcției „Sist. de decizie și comut.  $t_1$ ” trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

- Să ofere posibilitatea de activare opțională prin comandă externă (buton interfață utilizator din camera de comandă = comutare bit B3/100 din 0 în 1) a părții de program din AP corespunzătoare algoritmului care realizează implementarea funcției „Sist. de decizie și comut.  $t_1$ ”.
- Să realizeze monitorizarea ieșirilor ambelor traductoare de măsurare a temperaturii de ieșire a  $\text{CO}_2$  din vaporizatoare, TT1 și TT1r, precum și a ieșirii traductorului TTeac.
- Să calculeze valoarea medie a unui număr de NE eșantioane consecutive, număr ales în funcție de durata ciclului automatului programabil (durata ciclu AP=20 ms) pentru fiecare dintre mărimile monitorizate și să permită setarea valorii lui NE de către utilizator, ca valoare implicită considerându-se NE=5.

- Să permită setarea valorilor de referință/prag pentru ieșirea traductorului de rezervă ( $\Delta_{sumTT1r}$ ,  $g_{\Delta_{sumTT1r}}$ ) respectiv pentru ieșirea traductorului TTeac ( $\Delta_{Teac}$ ,  $g_{\Delta_{sumTeac}}$ ).
- Să implementeze Regula 1 sub forma specificată în relațiile (4.1.1) și Regula 2 sub forma specificată în relațiile (4.1.2), împreună cu toate calculele aferente.

În figura 4.1.10 este prezentat la nivel de schemă logică modul de implementare pe AP de tip Allen Bradley SLC 5/03 a părții de program din AP corespunzătoare algoritmului care realizează implementarea funcției „Sist. de decizie si comut. t1”.

Potrivit schemei se citesc valorile curente ale traductoarelor (blocul “citire valori traductoare”) și folosind ultimele patru valori citite se determina media lor aritmetică (media a 5 valori), calculându-se apoi variația curentă a mediilor ca diferență dintre valorile curente ale mediilor și valorile inițiale ale mediilor (subrutinele TTIR și TEAC).

Sumele tuturor acestor variații curente sunt folosite în premisele regulilor R1\_1i și R1\_2i vis-a-vis de diferitele valori de prag.

“Pornirea” algoritmului se face la comanda operatorului, (prin punerea pe 1 a bitului B3/100) după ce a considerat că temperatura  $t$ , a atins regimul nominal. Valoarea inițială a mediei se consideră egală cu prima valoare citită după ce operatorul dă comanda de pornire. Acest lucru este implementat prin intermediul subrutinei INIT.

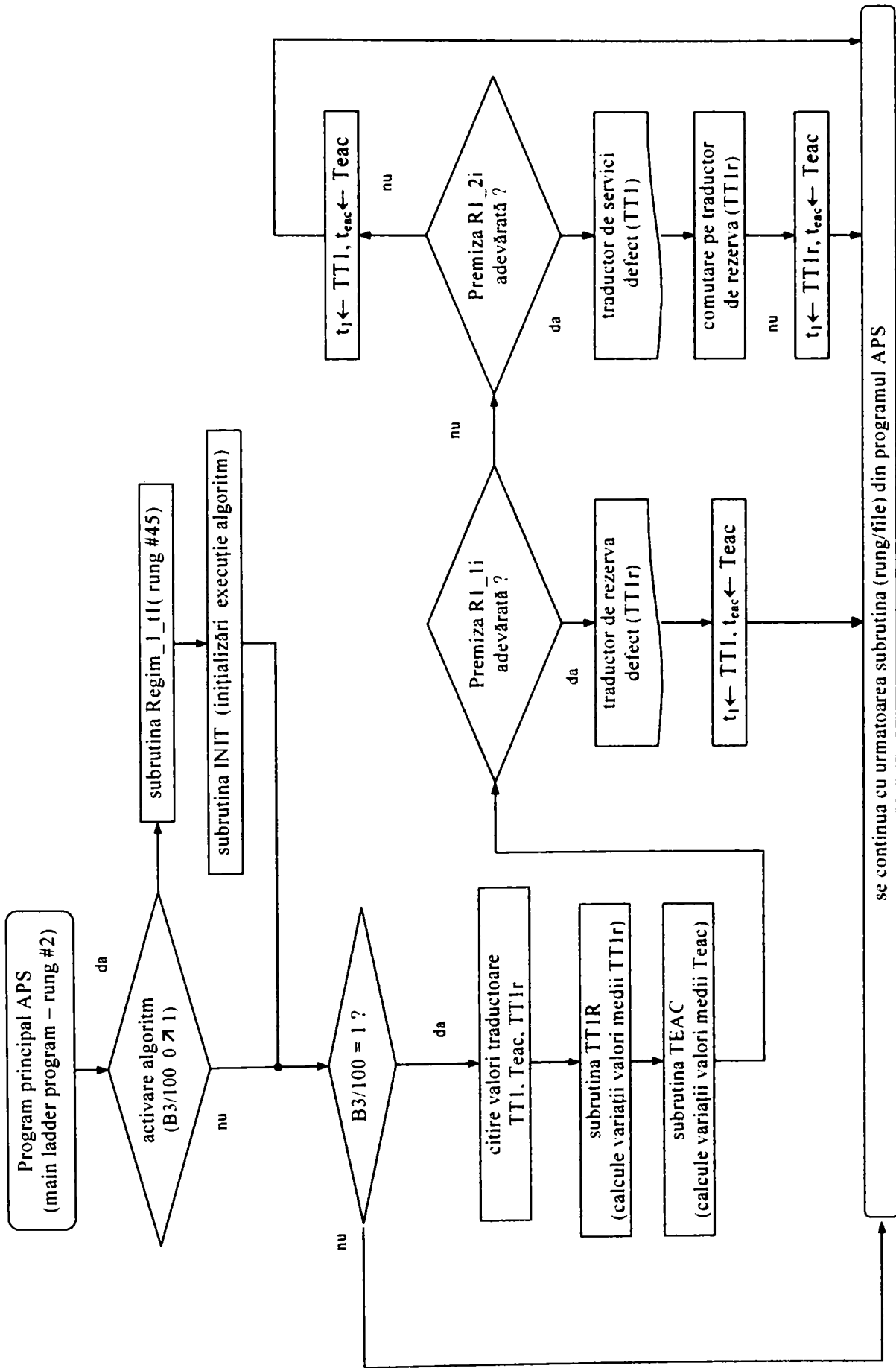


Figura 4.1.10 – Schema logica modalitate implementare algoritm pe AP / Allen Bradley

## 4.2 Sistem redundant de măsurare a temperaturii $t_3$

Din considerente bazate pe importanța elementului de măsurare a temperaturii  $t_3$  în cadrul buclei de reglare a temperaturii  $t_3$ , autoarea a considerat necesară realizarea acestuia de o manieră redundantă.

În cele ce urmează se prezintă ca și studiu de caz o variantă de implementare care face uz de *trei traductoare de temperatură pentru temperatura  $t_3$*  și de un sistem de decizie bazat pe folosirea, suplimentară, a informației provenite de la *traductorul aferent temperaturii  $t_{ear}$*  (temperatura apei reci la ieșirea din condensatoare).

Ca punct de plecare se consideră triplarea elementului traductor „*trad\_TT3*” (destinat măsurării temperaturii  $t_3$ ) din Figura 3.4.1.3.6. și elementele teoretice discutate în subcapitolul 3.4.1.3.

Pentru stabilirea strategiei de acționare, implementată prin sistemul de decizie s-a considerat ca ipoteză de lucru ideea că defectarea unui traductor de măsurare a temperaturii  $t_3$  se manifestă prin apariția unei informații eronate la ieșirea acestuia [Dra 02]. Ipoteza a fost instrumentată prin schema din Fig. 4.2.1.

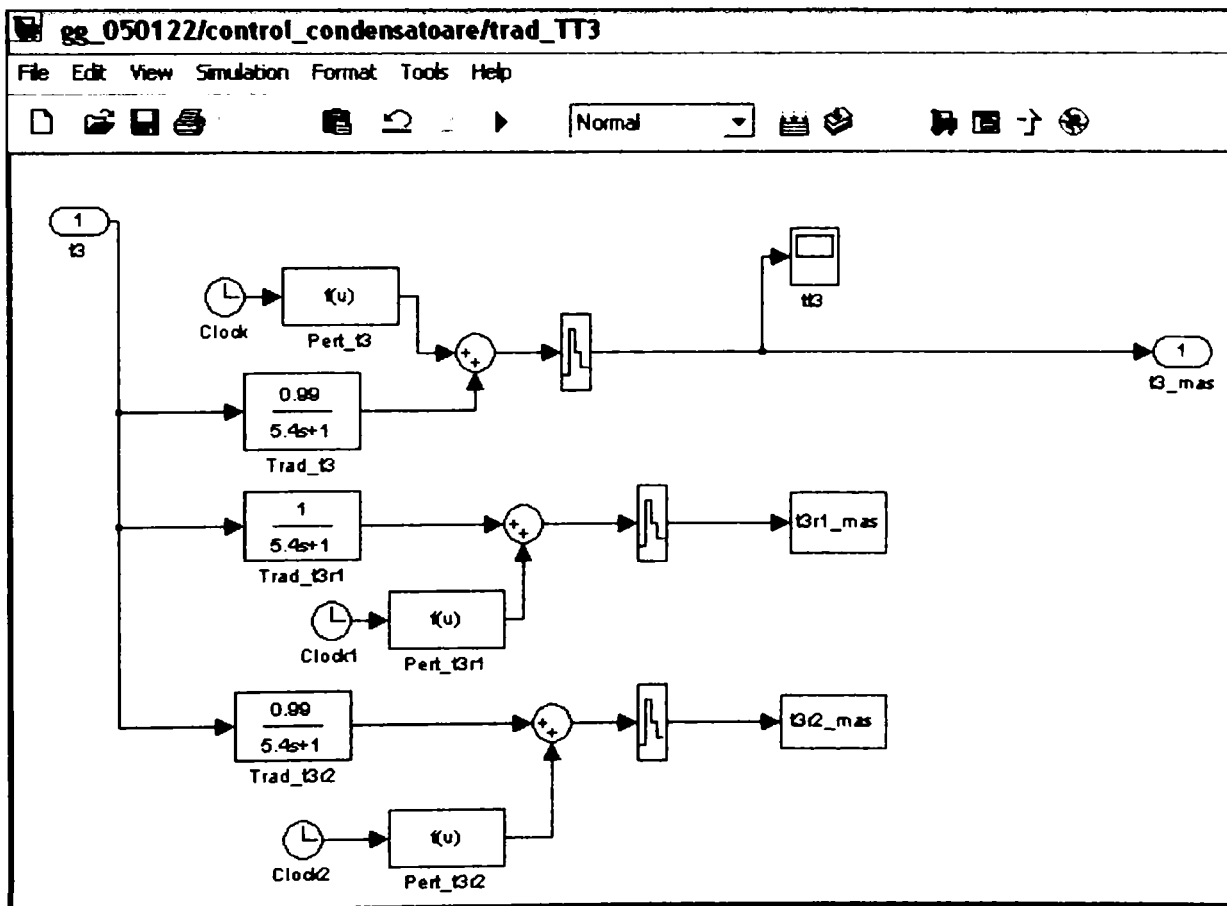


Figura 4.2.1. Structura „*trad\_TT3*” cu redundanță

Potrivit schemei, temperatura  $t_3$  este măsurată cu trei traductoare:  $Trad_{t3}$ , inclus în bucla de reglare conform celor prezentate în capitolul 3, și  $Trad_{t3r1}, Trad_{t3r2}$  traductoare de rezervă.

Aceste traductoare sunt toate incluse în bucla de reglare și funcționează permanent până în momentul defectării. Perturbarea funcționării traductorului  $Trad_{t3}$  se face de la blocul  $Pert_{t3}$ , iar a traductoarelor de rezervă de la blocurile notate  $Pert_{t3r1}$ , respectiv  $Pert_{t3r2}$ . Utilizând blocurile perturbatoare pot fi studiate diferite situații ce pot să apară prin scenarii în care sunt afectate de erori ieșirile celor trei traductoare.

Principiul de lucru al sistemului de măsurare, luat în considerare de autoare se bazează pe distingerea a două situații și anume: sistemul lucrează cu trei traductoare funcționale (situația 1), respectiv sistemul lucrează cu două sau un traductor funcțional (situația 2).

În acest scop, sistemul identifică în mod automat situația în care se găsește și aplică în funcție de aceasta un algoritm adecvat de realizare a reacției necesare pentru funcționarea buclei de reglare a temperaturii  $t_3$ .

În prima situație se compară valorile măsurate de fiecare dintre cele trei traductoare cu media lor aritmetică și se consideră că un traductor este defect în cazul în care valoarea măsurată de acesta se abate de la media aritmetică cu o valoare de prag  $\Delta t_3$  prestabilită [Rab 75].

Acest lucru este redat de regula:

*dacă {valoarea măsurată de un traductor se abate de la media valorilor citite de la toate cele trei traductoare cu valoarea de prag  $\Delta t_3$ } atunci {se elimină valoarea traductorului defect, și reacția va funcționa pe baza valorii medii determinate folosind valorile măsurate de celelalte două traductoare funcționale}*

În a doua situație se ajunge într-un context similar celui din cazul sistemului de măsurare a temperaturii  $t_1$  (subcapitolul 4.1). În acest caz, studiul efectuat este sintetizat în tabelul 4.2.1. În regimurile studiate notate generic cu R3 sunt urmărite temperaturile a două traductoare, notate TT3a și TT3b și temperatura de ieșire a apei reci din blocul de condensatoare  $t_{ear}$ , măsurată cu ajutorul traductorului Tear, considerată ca mărime auxiliară la fel ca temperatura  $t_{eac}$  din paragraful anterior.

Scenariile considerate au fost provocate prin perturbații de tip treaptă ale ieșirilor celor două traductoare de măsurare a temperaturii  $t_3$ .

Observațiile cumulate din tabelul 4.2.1 sunt utilizate pentru sintetizarea regulilor de identificare a corectitudinii de funcționare a traductoarelor și stabilirea traductorului utilizat pentru realizarea operației de reglare de către regulatorul automat RA3.



**Tabel 4.2.1 Sinteza scenariului "Regim 3" referitor la defectarea traductoarelor de măsurare a temperaturii t<sub>3</sub>.**

Nr. crt	Cod caz	Cauza ce acționează în sistem	Variațiile mărimii reale t <sub>3</sub>	Observații mărime de ieșire traductor TT3a	Observații mărime de ieșire traductor TT3b	Observații tear (Tear)	Traductor ce indică temperatur. reală	Observații de corelare
1	R3_fn	fără element perturbator	creștere temperatură până la 26.95 grade și stabilizare la 26.75 grade	creștere temperatură până la 26.6845 grade și stabilizare la 26.4925 grade	creștere temperatură până la 26.954 grade și stabilizare la 26.759 grade	stabilizare temperatură la valoarea 24.55 grade		
2	R31-1	perturbarea traductorului TT3a: scade cu 1 grad indicația de temperatură a traductorului TT3a	creștere temperatură și stabilizare la valoarea 27.1 grade	Scadere temperatură cu 1 grad urmată de creștere și stabilizare la 25.822 grade	creștere temperatură și stabilizare la valoarea 27.1 grade	creștere temperatură și stabilizare la valoarea 25.25 grade	TT3b	TT3a indica o temperatură mai mică decât cea reală și determină creșterea temperaturii reale și scăderea debitului de apă rece , aceasta implicând creșterea temperaturii tear, traductorul TT3b funcționează corect si TT3a este defect
3	R31-2	perturbarea traductorului TT3a: scade cu 2 grade indicația de temperatură a traductorului TT3a	creștere temperatură și stabilizare la valoarea 27.1 grade	scădere temperatură cu 2 grade urmată de creștere și stabilizare la 24.82 grade	creștere temperatură și stabilizare la valoarea 27.1 grade	creștere temperatură și stabilizare la valoarea 25.28 grade	TT3b	TT3a indica o temperatură mai mică decât cea reală și determină creșterea temperaturii reale și scăderea debitului de apă rece , aceasta implicând creșterea temperaturii tear, traductorul TT3b funcționează corect si TT3a este defect
4	R31-3	perturbarea traductorului TT3a: scade cu 3 grade indicația de temperatură a traductorului TT3a	creștere temperatură și stabilizare la valoarea 27.1 grade	scădere temperatură cu 3 grade urmată de creștere și stabilizare la 23.826 grade	creștere temperatură și stabilizare la valoarea 27.1 grade	creștere temperatură și stabilizare la valoarea 25.26 grade	TT3b	TT3a indica o temperatură mai mică decât cea reală și determină creșterea temperaturii reale și scăderea debitului de apă rece , aceasta implicând creșterea temperaturii tear, traductorul TT3b funcționează corect si TT3a este defect

5	R31+1	perturbarea traductorului TT3a: crește cu 1 grad indicația de temperatură a traductorului TT3a	scădere temperatură până la 25.35 grade și stabilizare la 25.75 grade	creștere temperatură cu 1 grad urmată de stabilizare la valoarea 26.5 grade	scădere temperatură urmată de stabilizare la valoarea 25.75 grade	scădere temperatură urmată de stabilizare la valoarea 22.5 grade	TT3b	TT3a indica o temperatură mai mare decât cea reală care determină scăderea temperaturii reale și creșterea debitului de apă rece, ceea ce determină scăderea temperaturii tear, traductorul TT3b funcționează corect iar TT3a este defect
6	R31+2	perturbarea traductorului TT3a: crește cu 2 grade indicația de temperatură a traductorului TT3a	scădere temperatură până la 24.25 grade și stabilizare la 24.75 grade	creștere temperatură cu 1 grad urmată de stabilizare la valoarea 26.5 grade	scădere temperatură urmată de stabilizare la valoarea 24.75 grade	scădere temperatură urmată de stabilizare la valoarea 21.05 grade	TT3b	TT3a indica o temperatură mai mare decât cea reală care determină scăderea temperaturii reale și creșterea debitului de apă rece, ceea ce determină scăderea temperaturii tear, traductorul TT3b funcționează corect iar TT3a este defect
7	R31+3	perturbarea traductorului TT3a: crește cu 3 grade indicația de temperatură a traductorului TT3a	scădere temperatură până la 25.35 grade și stabilizare la 23.75 grade	creștere temperatură cu 1 grad urmată de stabilizare la valoarea 26.52 grade	scădere temperatură urmată de stabilizare la valoarea 23.75 grade	scădere temperatură urmată de stabilizare la valoarea 19.5 grade	TT3b	TT3a indica o temperatură mai mare decât cea reală care determină scăderea temperaturii reale și creșterea debitului de apă rece, ceea ce determină scăderea temperaturii tear, traductorul TT3b funcționează corect iar TT3a este defect
8	R32+1 R32+2 R32+3	perturbarea traductorului TT3b: crește cu 1,2,3 grade indicație traductor TT3b	temperatura nu se modifică rămâne la valoarea 26.493 grade	temperatura un se modifică rămâne la valoarea 26.492 grade	crește valoarea temperaturii cu 1,2, 3 grade	temperatura nu se modifică rămâne la 24.55 grade	TT3a	TT3b indică o valoare mai mare decât cea reală, dar în sistem nu sunt prezente modificări de temperatură, astfel nu se modifică nici temperatura apei reci și nici temperatura indicată de TT3a, deci TT3b este defect iar TT3a este funcțional
9	R32-1 R32-2 R32-3	perturbarea traductorului TT3b: scade cu 1,2,3 grade indicație traductor TT3b	temperatura nu se modifică rămâne la 26.493 grade	temperatura nu se modifică rămâne la 26.492 grade	scade valoarea temperaturii cu 1,2, 3 grade	temperatura nu se modifică rămâne la 24.55 grade	TT3a	TT3b indică o valoare mai mare decât cea reală, dar în sistem nu sunt prezente modificări de temperatură, astfel nu se modifică nici temperatura apei reci și nici temperatura indicată de TT3a, deci TT3b este defect iar TT3a este funcțional

Structura sistemului de măsurare a temperaturii  $t_3$  are aspectul din Figura 4.2.2. Blocul condensatoare furnizează traductoarelor TT3, TT3r1 și TT3r2 temperatura reală  $t_3$ . Figura surprinde și amplasarea sistemului de măsurare a temperaturii  $t_3$  în raport cu AP și bucla de reglare deservită. Mărimea  $t_{3ref}$  reprezintă temperatura de referință pentru  $t_3$ ,  $u_{t3}$  este valoarea mărimii de comandă pentru robinetul RB2 dată de către regulatorul automat RA3 încorporat sub formă de program în AP.

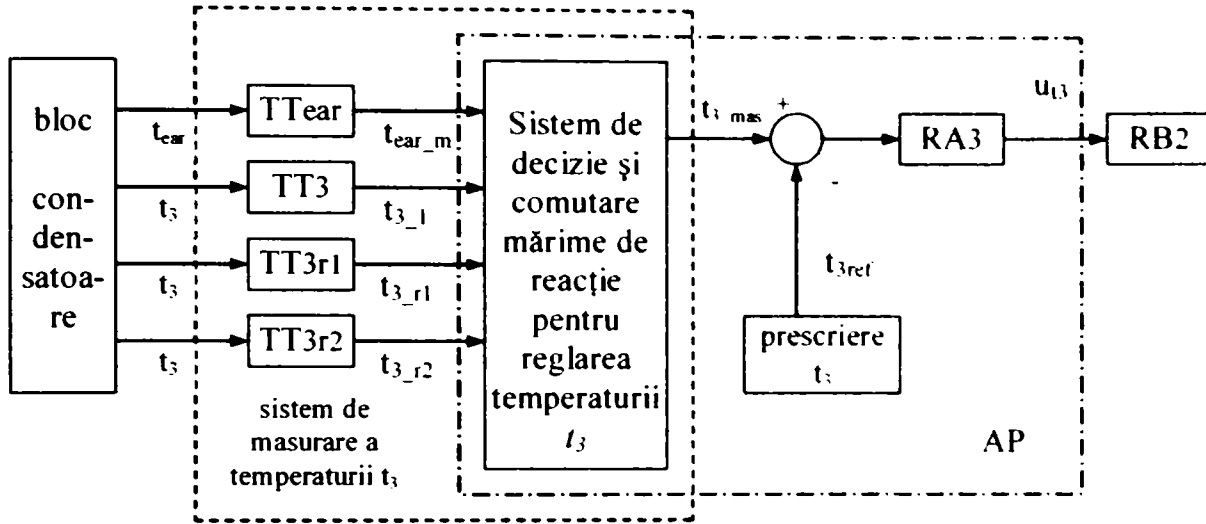


Figura 4.2.2. Schema bloc a sistemului redundant de măsurare a temperaturii  $t_3$

În schemă  $t_{3_1}$  este temperatura măsurată de traductorul TT3,  $t_{3_r1}$  temperatura măsurată de traductorul de rezervă TT3r1,  $t_{3_r2}$  temperatura măsurată de traductorul de rezervă TT3r2,  $t_{ear_m}$  temperatura măsurată de traductorul Tear,  $t_{3_{max}}$  - mărimea de ieșire a sistemului redundant de măsurare a temperaturii  $t_3$  (temperatura măsurată utilizată în cadrul buclei de reglare).

Regulile extrase din tabelul 4.2.1 sunt:

<b>REGULA R3_1:</b>	Dacă	{daca iesirea traductorului TT3b variaza si iesirea traductorului TTear este constanta}	atunci	{traductorul TT3b este defect iar traductorul TT3a a ramas functional}
<b>REGULA R3_2:</b>	Dacă	{iesirea traductorului TT3b și iesirea traductorului TTear variaza în acelasi sens}	atunci	{traductorul TT3a este defect iar traductorul TT3b a ramas functional}

Pentru implementarea regulei R3\_1 sistemul de decizie și comutare a mărimii de reacție pentru măsurarea temperaturii  $t_3$  folosește următoarele mărimi:

- $sumTT3b$  - suma variațiilor ieșirii traductorului de rezervă
- $delta\_t3$  - valoarea de prag a mărimii  $sumTT3b$
- $sumtear$  - suma variațiilor temperaturii indicate de Tear
- $delta\_tear$  - valoarea de prag a mărimii  $sumtear$ .

Cu ajutorul lor regula R3\_1 s-a implementat astfel (regula R3\_1i):

**REGU-  
LA  
R3\_1i:** Dacă  $\left\{ \begin{array}{l} |sumTT3b| > delta\_t3, \\ \text{și} \\ |sumtear| < delta\_tear \end{array} \right\}$  atunci  $\left\{ \begin{array}{l} \text{se semnalizeaza faptul ca} \\ \text{traductorul defect este TT3b} \\ \text{si sistemul comuta reactia pe} \\ \text{traductorul TT3a} \end{array} \right\}$

Pentru implementarea regulei R3\_2 sistemul de decizie și comutare a mărimii de reacție pentru măsurarea temperaturii  $t_3$  folosește în afară de mărimile  $sumTT3b$  și  $sumtear$  și următoarele mărimi:

- $delta\_t3$  – valoare de prag a mărimii  $sumTT3b$
- $delta\_tear$  - valoarea de prag a mărimii  $sumtear$ .

Cu ajutorul lor regula R3\_2 s-a implementat astfel (regula R3\_2i)

**REGU-  
LA  
R3\_2i:** Dacă  $\left\{ \begin{array}{l} sumTT3b \cdot sumtear > 0 \\ \text{și} \\ |sumTT3b| > delta\_t3, \\ \text{și} \\ |sumtear| > delta\_tear \end{array} \right\}$  atunci  $\left\{ \begin{array}{l} \text{se semnalizeaza faptul ca} \\ \text{traductorul defect este TT3a} \\ \text{si sistemul comuta reactia pe} \\ \text{traductorul TT3b} \end{array} \right\}$

În cazul în care ambele traductoare TT3a și respectiv TT3b sunt funcționale, algoritmul utilizează încă o regulă și anume:

*dacă {premisele celor două reguli R3\_1i și R3\_2i nu sunt îndeplinite} atunci {reacția de temperatura va considera pentru  $t_3$  măsurat valoarea medie a celor două valori furnizate de traductoarele functionale}*

Regulile prezentate mai sus, se aplică pentru oricare două din cele trei traductoare rămase funcționale. Chiar dacă în cadrul regulilor de mai sus traductoarele au fost notate generic TT3a și respectiv TT3b. Pe baza modului în care au fost notate aceste traductoare în Figura 4.2.2 cazurile posibile sunt: (TT3, TT3r1), (TT3r1, TT3r2), (TT3, TT3r2).

Schema logică corespunzătoare modului de evaluare a traductorului care funcționează corect în cadrul programului de simulare pentru acest caz este prezentat în figura 4.2.3.

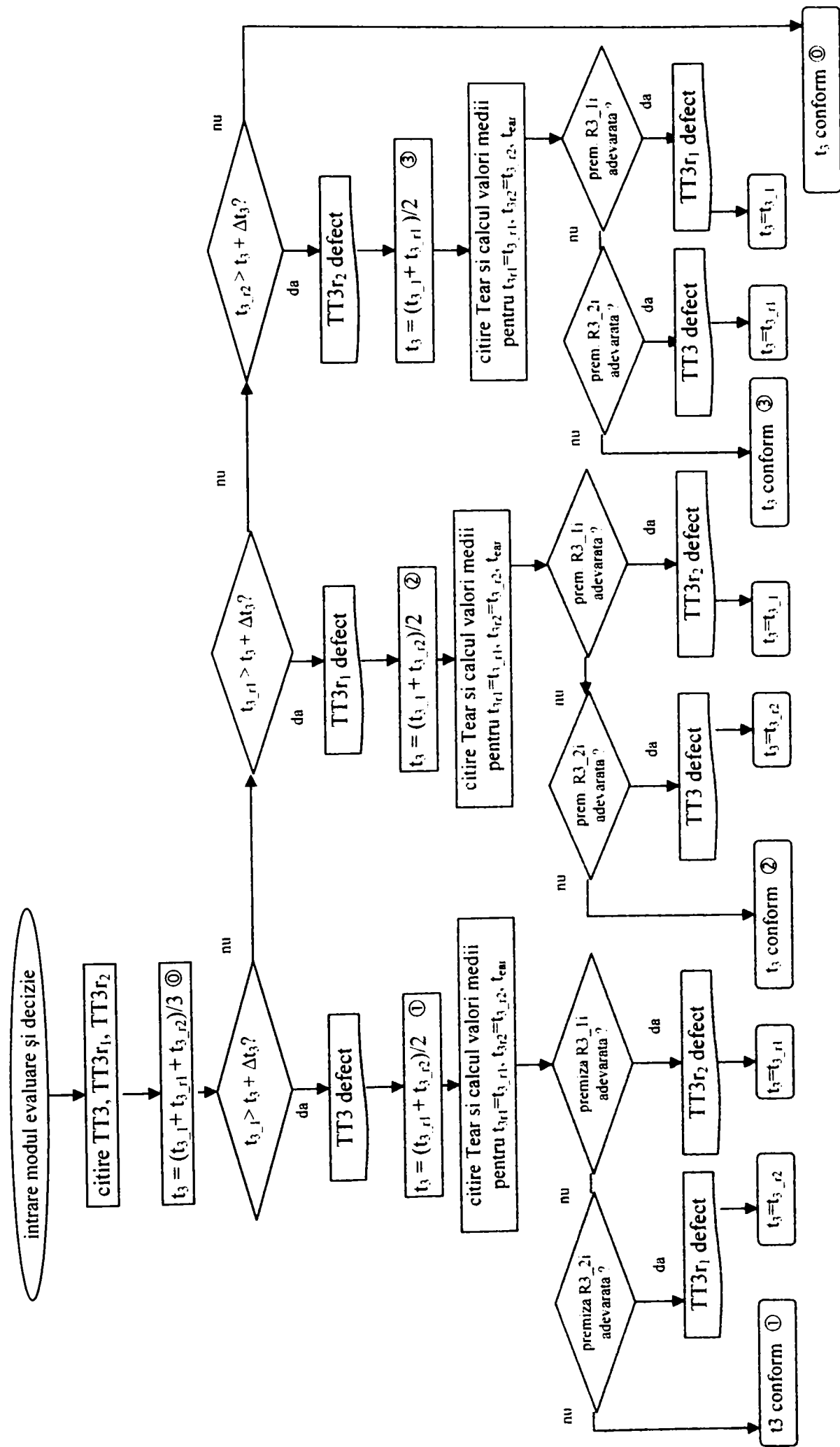


Figura 4.2.3 Modulul „algoritm de identificare și decizie” corespunzător sistemului de măsurare redundant al temperaturii  $t_3$

Sistemul controlat va funcționa corect atâta timp cât cel puțin unul dintre cele trei traductoare de măsurare a temperaturii  $t_3$  este funcțional, furnizând o valoare corectă a acestei temperaturi.

Modalitatea efectivă de implementare a algoritmului de identificare a traductorului defect și comutare a reacției s-a realizat prin funcția notată „Sist. de decizie și comut.  $t_3$ ” (vezi Fig. 4.2.4) și este prezentată în detaliu în anexa 7. Această funcție corespunde sistemului de decizie și comutare mărime de reacție pentru reglarea temperaturii  $t_3$  din Fig. 4.2.2. Pentru inițializarea parametrilor funcției „Sist. de decizie și comut.  $t_3$ ” cu date din proces corespunzătoare regimului staționar, extrase atunci când operatorul decide activarea funcției se folosește fișierul de inițializare `init_r3.m`.

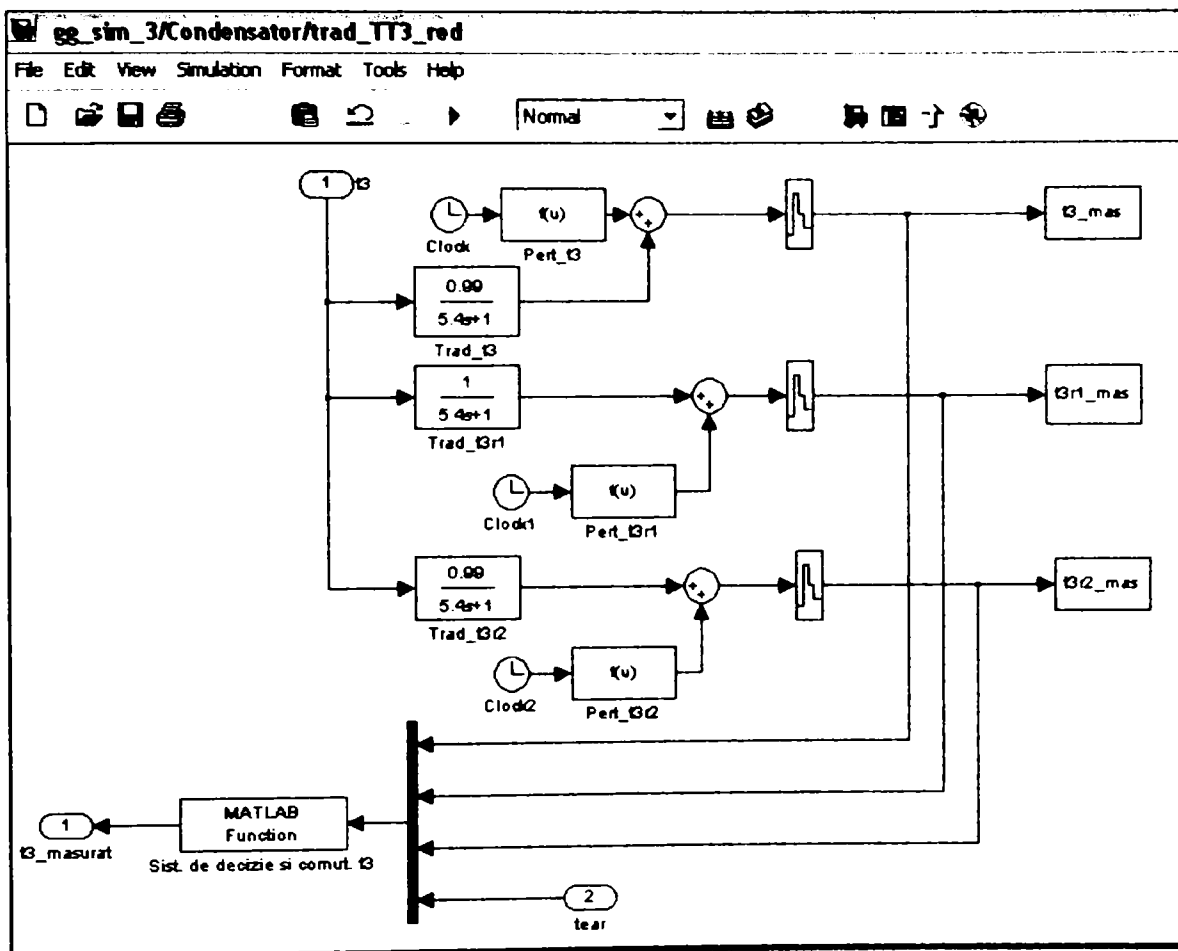


Figura 4.2.4. Schema Simulink/Matlab utilizând funcția „Sist. de decizie și comut  $t_3$ ”

În cele ce urmează se prezintă câteva dintre cele mai sugestive scenarii de simulare implementate pe schema din fig. 4.2.4. Pentru simulările din cazul triplei redundanțe au fost utilizate două tipuri distincte de scenarii de simulare și anume cele în care se defectează un singur traductor (notate S1T) care realizează măsurarea temperaturii  $t_3$ , respectiv scenarii corespunzătoare cazului în care se defectează pe rând câte două traductoare (notate S2T).

Primul scenariu (S1T<sub>1</sub>) considerat, corespunde situației în care traductorul de *Trad\_t3* (TT3) se defectează, iar traductoarele *Trad\_t3r1* (TT3r1) și *Trad\_t3r2* (TT3r2) rămân funcționale. În momentul defectării traductorului TT3, sistemul era în regim permanent constant. Situația este surprinsă în fig. 4.2.5., explicațiile fiind și în acest caz sintetizate în textul figurii. Rezultatul obținut este cel scontat: sistemul detectează traductorul defect după 1 secundă și apoi utilizează ca valoare pentru  $t_{3\_masurat}$ , media aritmetică a valorilor citite de la traductoarele funcționale – TT3r2, TT3r1.

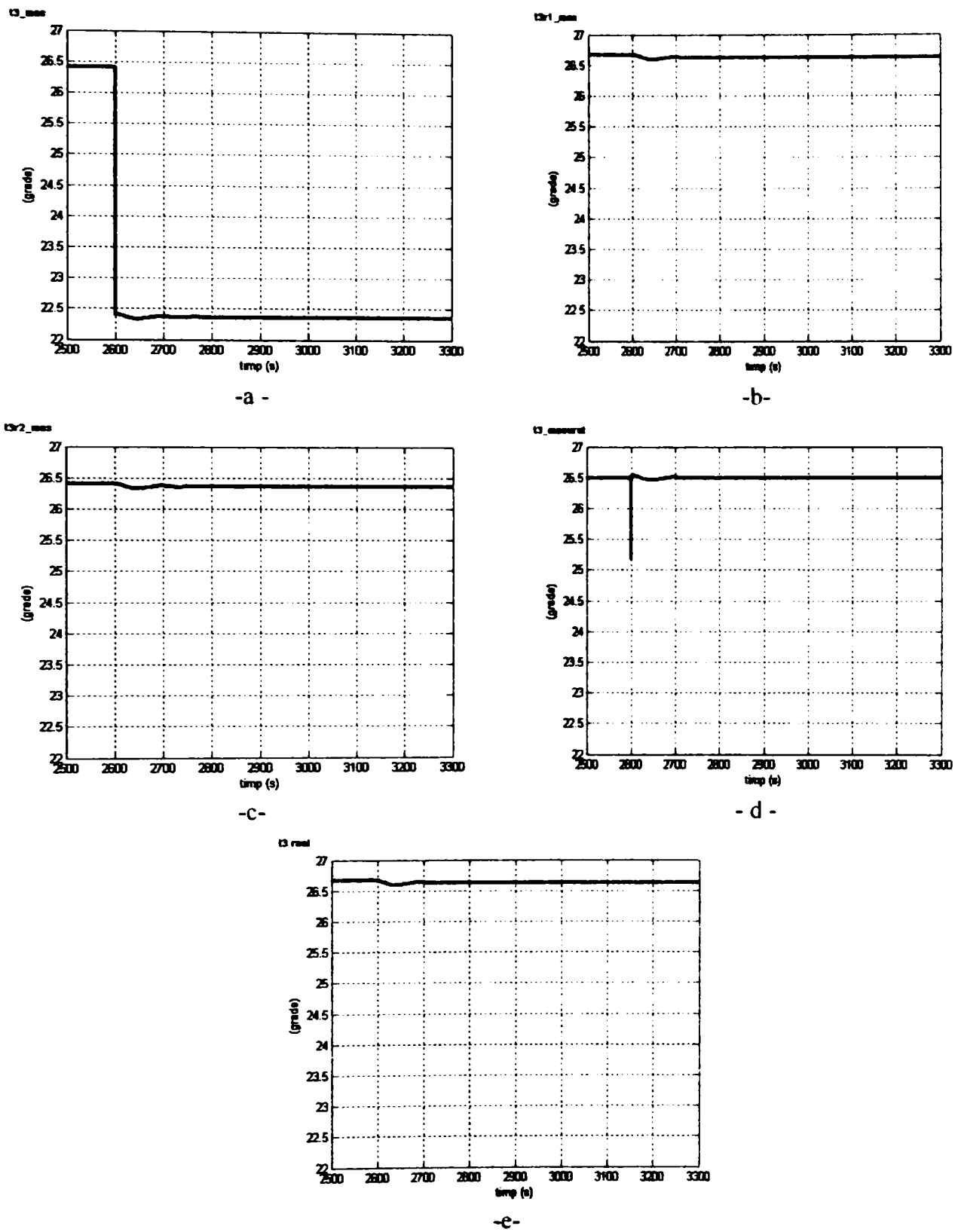


Figura 4.2.5. Valorile temperaturilor măsurate de traductorul  $t3\_mas$  (a), de traductorul  $t3r1\_mas$  (b), de traductorul  $t3r2\_mas$  (c), mărimii de reacție utilizată în bucla de reglare a temperaturii  $t3$ ,  $t3\_masurat$  (d) și temperaturii reglate  $t3$ ,  $t3\_real$  (e) în cazul scenariului „TT3 defect, TT3r1 și TT3r2 funcționale” (SIT-1). Defecțiunea apare la momentul 2600 secunde. Sistemul de măsurare se redresează pe parcursul unei secunde, bucla de reglare nu reacționează practic la defecțiunea produsă (oscilațiile din intervalul  $26.65^{\circ}\text{C} - 26.45^{\circ}\text{C}$  nefiind relevante)

În figura 4.2.6 este prezentat în detaliu modul în care variază mărimea de ieșire a blocului de măsurare a temperaturii  $t_3$  în cazul scenariului SIT-1.

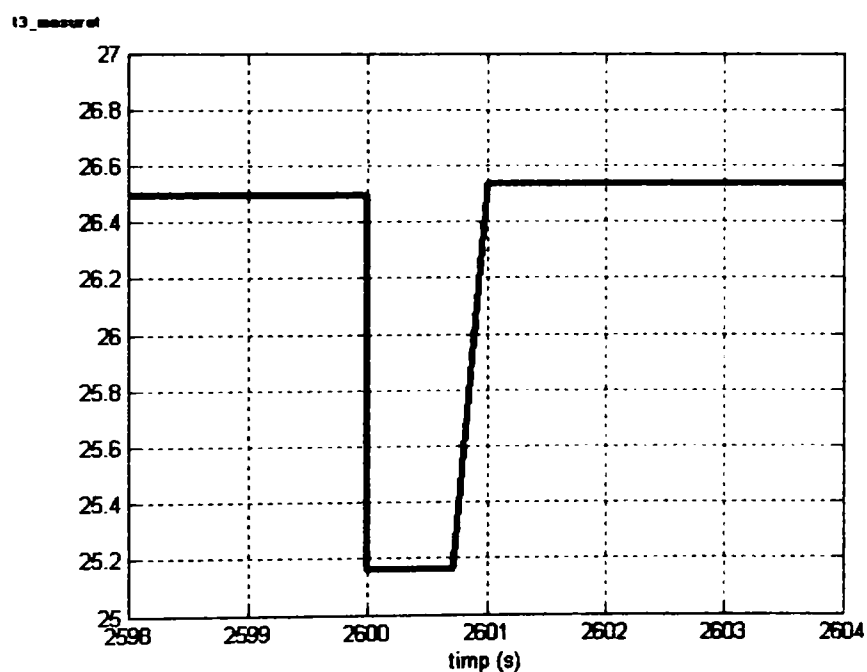
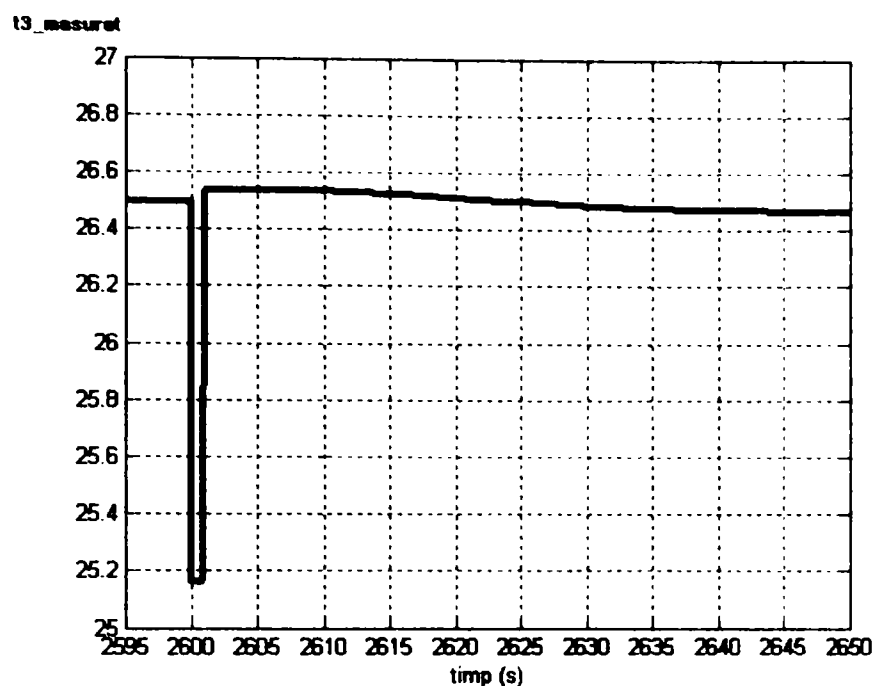


Figura 4.2.6. Detalierea variației mărimii de ieșire a blocului de măsurare a temperaturii  $t_3$  în cazul scenariului SIT-1.

Al doilea scenariu (SIT\_2) considerat, corespunde situației în care traductorul *Trad\_t3r1* (TT3r1) se defectează, iar traductoarele *Trad\_t3*(TT3r) și *Trad\_t3r2*(TT3r2) rămân funcționale. În momentul defectării traductorului, sistemul era în regim permanent constant. Situația este surprinsă în figura 4.2.7., explicațiile fiind sintetizate în textul figurii. Rezultatul obținut este cel scontat: sistemul detectează traductorul defect după 1 secundă și apoi utilizează ca valoare pentru  $t_3\_masurat$ , media aritmetică a valorilor citite de la traductoarele funcționale – TT3, TT3r2.



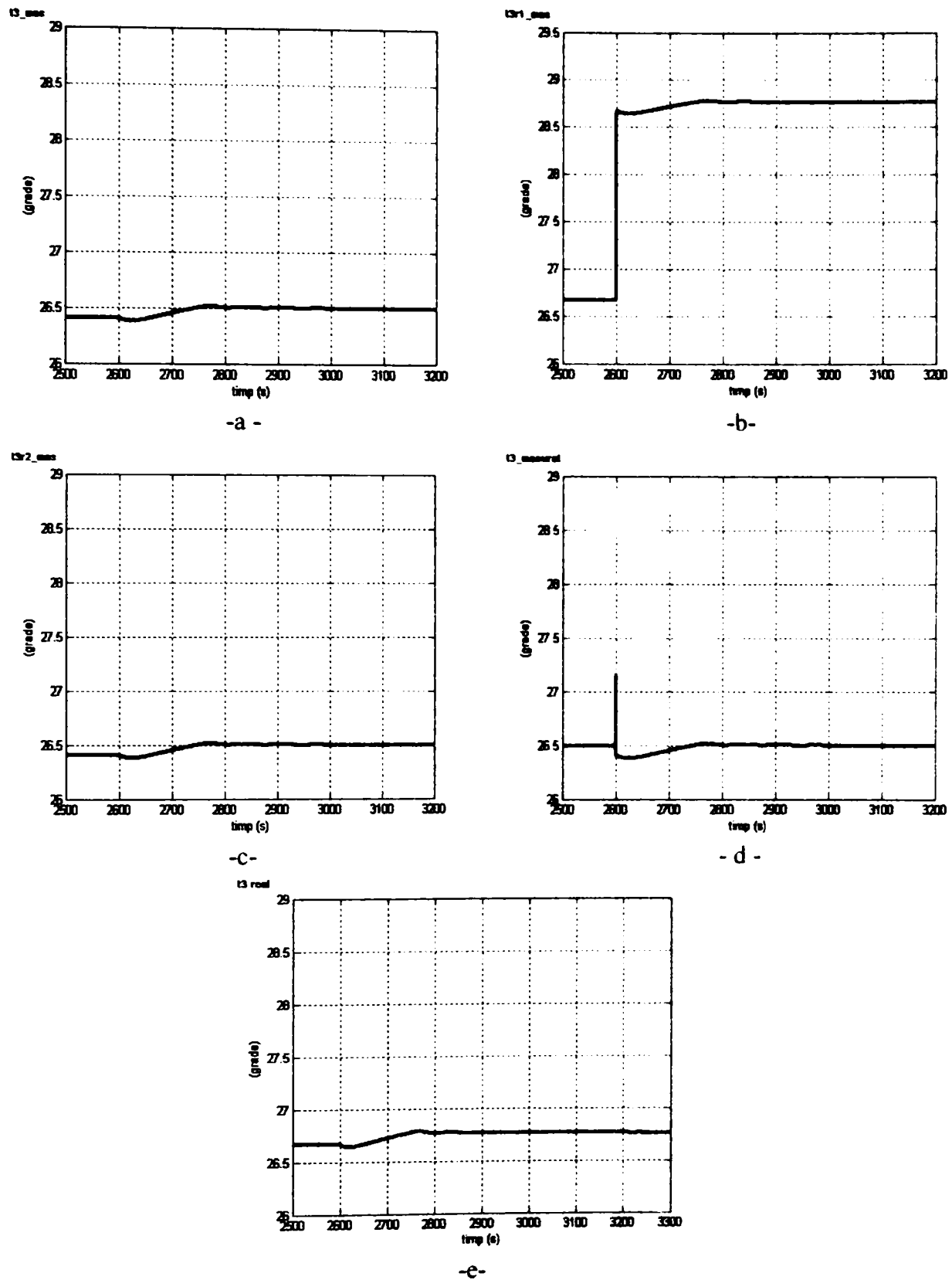


Figura 4.2.7. Valorile temperaturilor măsurate de traductorul  $t3\_mas$  (a) , de traductorul  $t3r1\_mas$  (b), de traductorul  $t3r2\_mas$  (c), mării de reacție utilizată în bucla de reglare a temperaturii  $t_3$ ,  $t3\_masurat$  (d) și temperaturii reglate  $t_3$ ,  $t3\_real$  (e) pentru scenariul „TT3r1 defect, TT3r și TT3r2 funcționale” (SIT-2). Defecțiunea apare la momentul 2600 secunde, iar sistemul de măsurare se redresează pe parcursul unei secunde, bucla de reglare reacționează slab la defecțiunea produsă, oscilațiile din plaja  $26.62^{\circ}\text{C} - 26.73^{\circ}\text{C}$  nefiind relevante.

În figura 4.2.8 este prezentat în detaliu modul în care variază mărimea de ieșire a blocului de măsurare a temperaturii  $t_3$  în cazul scenariului SIT-2.

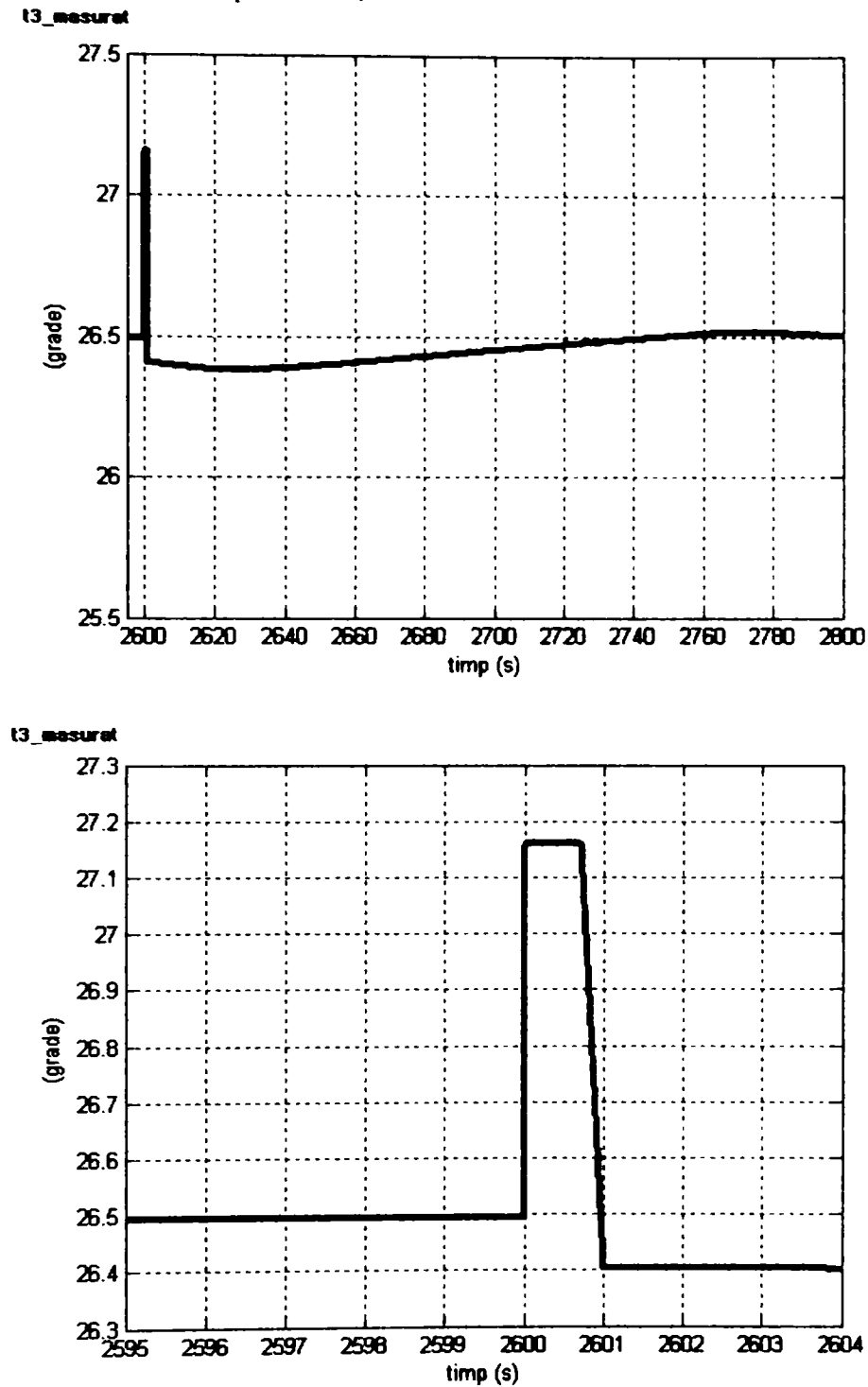


Figura 4.2.8. Detalierea variației mărimii de ieșire a blocului de măsurare a temperaturii  $t_3$  în cazul scenariului SIT-2.

Următorul scenariu (S2T\_1) considerat, corespunde situației în care se defectează două traductoare și anume traductorul  $Trad_{t3r1}$  (TT3r1) la momentul 2600 secunde, traductoarele  $Trad_{t3}$  (TT3) și  $Trad_{t3r2}$  (TT3r2) rămânând funcționale, iar apoi  $Trad_{t3r2}$  (TT3r2) la momentul 3400 secunde, rămânând funcțional doar  $Trad_{t3}$  (TT3). În momentul defectării traductoarelor, sistemul era în regim permanent constant. Situația este surprinsă în figura 4.2.9., explicațiile fiind sintetizate în textul figurii. Rezultatul obținut este cel scontat: sistemul detectează traductorul defect după cca.1 secundă și se redresează.

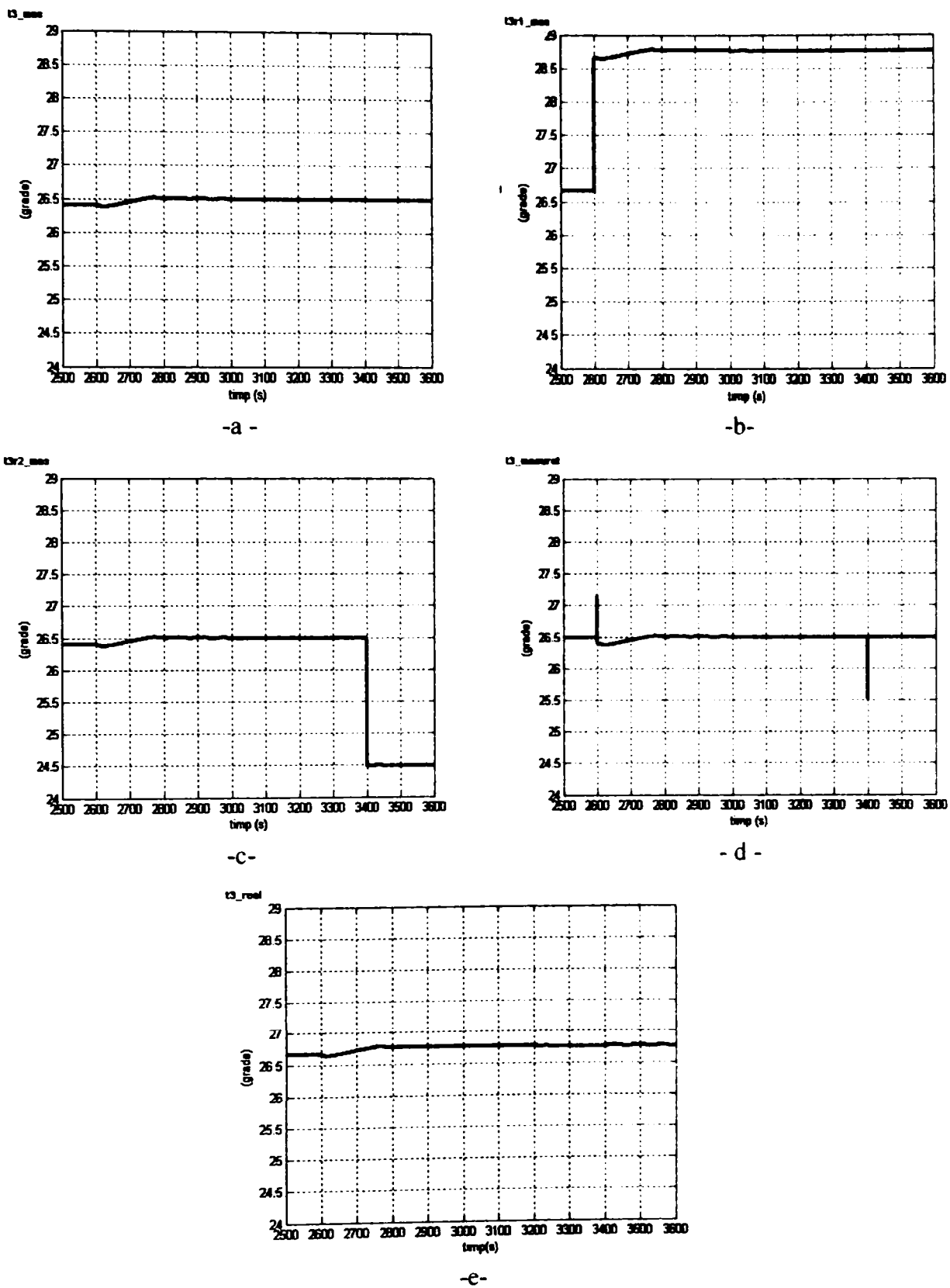


Figura 4.2.9. Valorile temperaturilor măsurate de traductorul  $t3\_mas$  (a), de traductorul  $t3r1\_mas$  (b), de traductorul  $t3r2\_mas$  (c), de reacție utilizată în bucla de reglare a temperaturii  $t3$ ,  $t3\_masurat$  (d) și temperaturii reglate  $t3$ ,  $t3\_real$  (e) în cazul scenariului „TT3r1 și TT3r2 defecte, TT3 funcțional” (S2T-1).

Prima defecțiunea apare la momentul 2600 secunde, a doua la 3400 secunde. Sistemul de măsurare se redresează repede în jur de 1 secundă, bucla de reglare nu reacționează practic la defecțiunea produsă, oscilațiile ce apar nefiind relevante

În figura 4.2.10 este prezentat în detaliu modul în care variază mărimea de ieșire a blocului de măsurare a temperaturii  $t_3$  în cazul scenariului S2T-1.

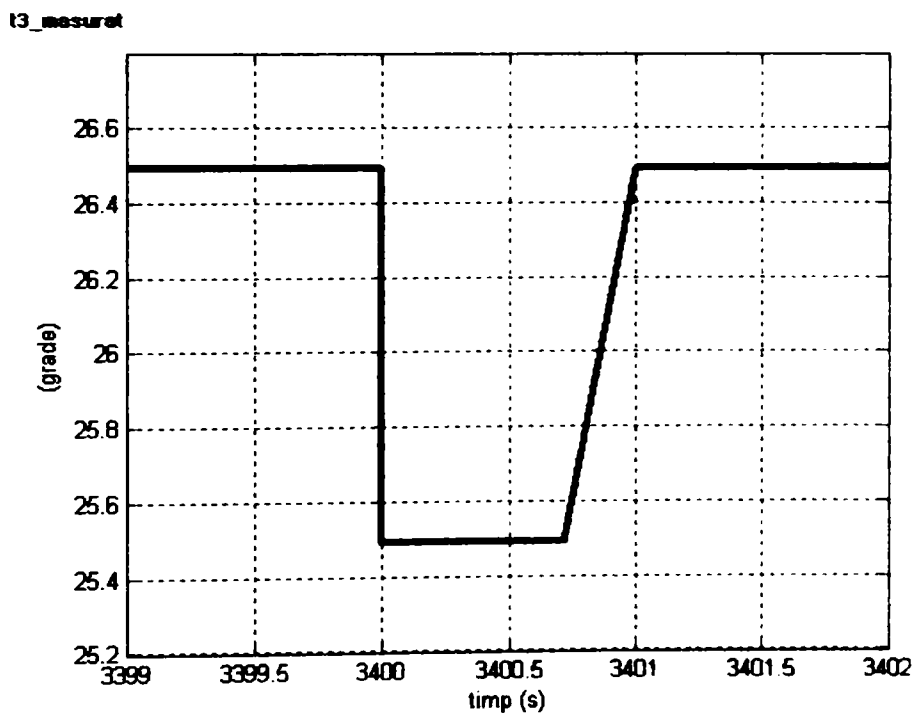
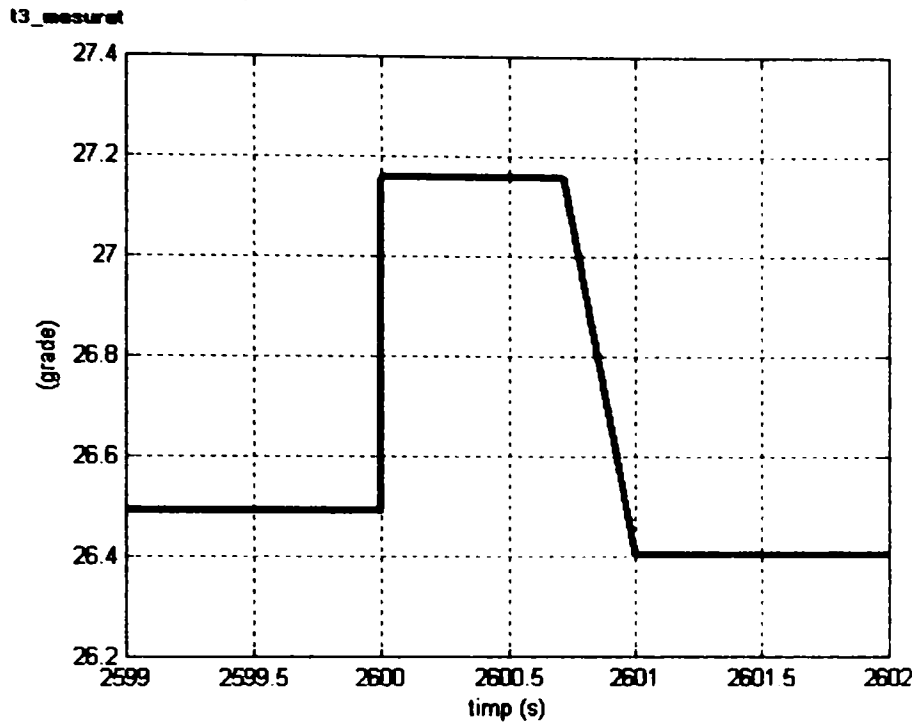


Figura 4.2.10. Detalierea variației mărimii de ieșire a blocului de măsurare a temperaturii  $t_3$  în cazul scenariului S2T-1.

Alt scenariu (S2T\_2) considerat, corespunde situației în care se defectează două traductoare și anume traductorul  $Trad_{t3}$  (TT3) la momentul 2600 secunde, traductoarele  $Trad_{t3r1}$  (TT3r1) și  $Trad_{t3r2}$  (TT3r2) rămânând funcționale, iar la momentul 3400 secunde se defectează  $Trad_{t3r2}$  (TT3r2) rămânând funcțional doar  $Trad_{t3r1}$  (TT3r1). În momentul defectării traductoarelor, sistemul era în regim permanent constant. Situația este surprinsă în figura 4.2.11., explicațiile fiind sintetizate în textul figurii. Rezultatul obținut este cel scontat: sistemul detectează traductorul defect după cca. 1 secundă și se redresează.

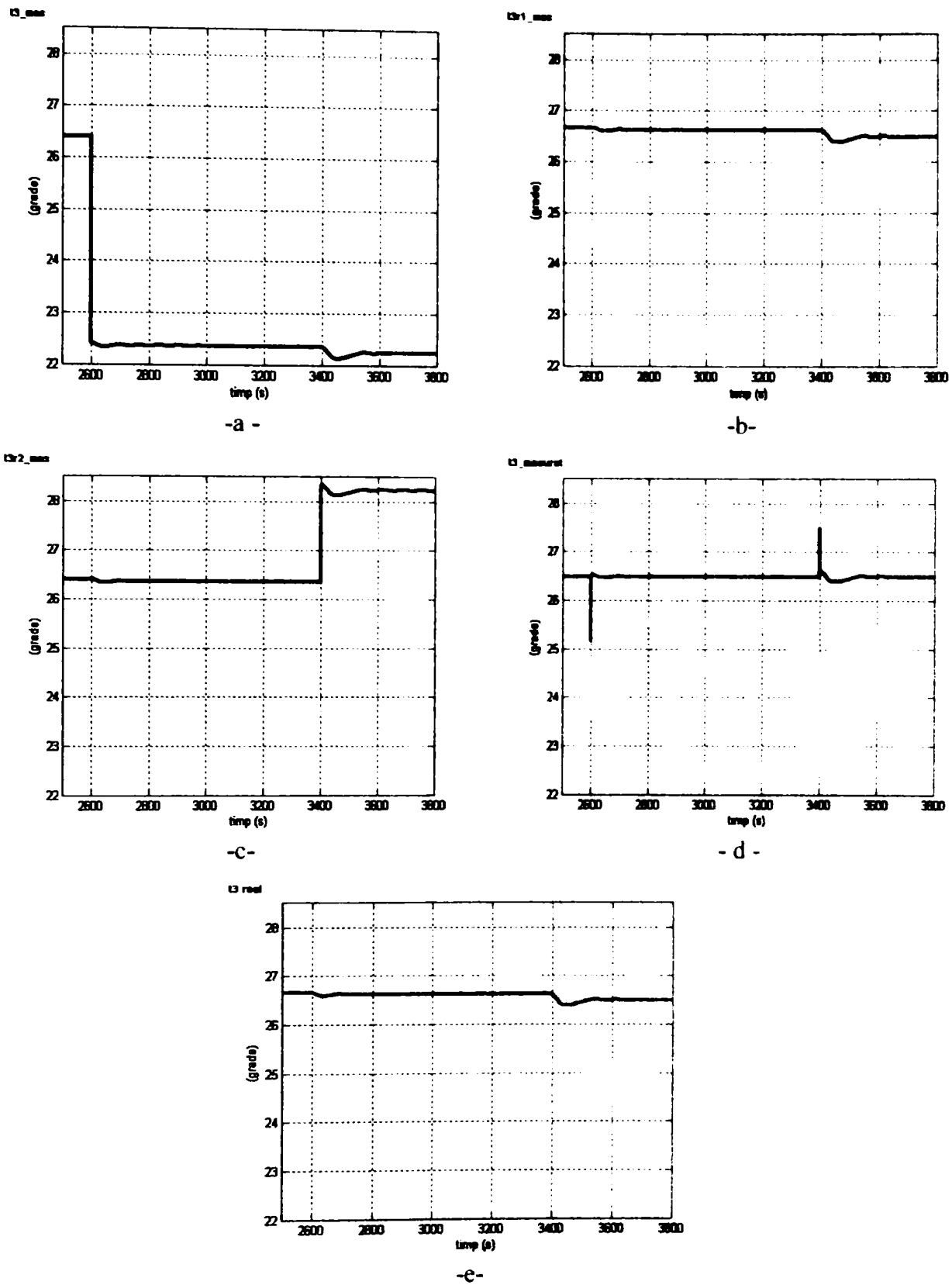


Figura 4.2.11. Valorile temperaturilor măsurate de traductorul *t3\_mas* (a) , de traductorul *t3r1\_mas* (b), de traductorul *t3r2\_mas* (c), mărimumi de reacție utilizată în bucla de reglare a Temperaturii  $t_3$ ,  $t_3\_masurat$  (d) și temperaturii reglate  $t_3$ ,  $t_3\_real$  (e), în cazul scenariului „TT3 și TT3r2 defecte, TT3r1 funcțional” (S2T-2). Prima defecțiunea apare la momentul 2600 s, a doua la 3400 s. Sistemul de măsurare se redresează în cca. 1 secundă , bucla de reglare nu reacționează practic la defecțiunea produsă, oscilațiile produse nefiind relevante.

În figura 4.2.12 este prezentat în detaliu modul în care variază mărimea de ieșire a blocului de măsurare a temperaturii  $t_3$  în cazul scenariului S2T-2.

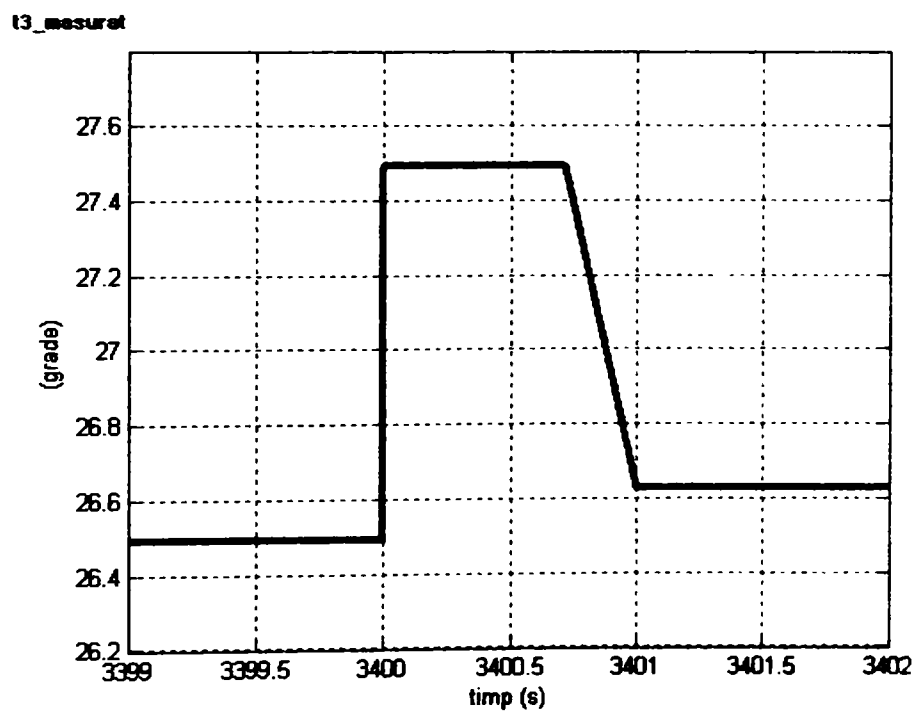
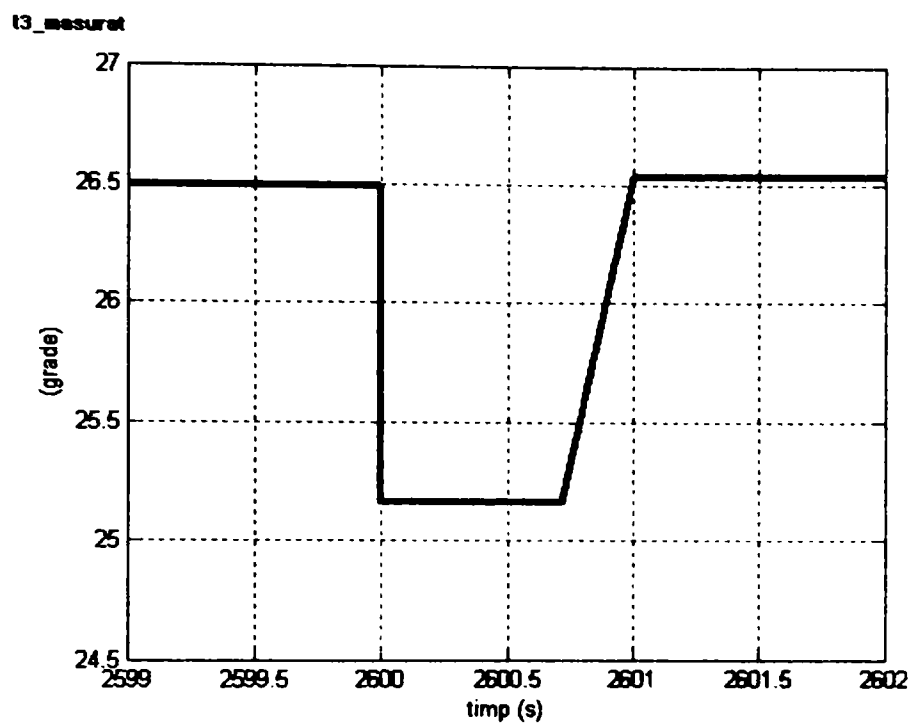


Figura 4.2.12. Detalierea variației mărimii de ieșire a blocului de măsurare a temperaturii  $t_3$  în cazul scenariului S2T-2.

### 4.3. Reducerea timpului de diagnoză - studiu de caz

În subcapitolul 2.3.2 s-a constatat faptul că timpul de diagnoză este un element important al MDT. Pentru minimizarea timpului de diagnoză este necesară existența unei metode sistematice de diagnosticare a defectelor bazată pe colectarea și analizarea datelor relevante. Timpul de diagnoza poate fi redus prin implementarea pe AP a unor module de diagnoză. Notațiile utilizate în cadrul acestui subcapitol corespund celor utilizate în subcapitolele anterioare.

Elaborarea unei strategii de diagnosticare presupune analizarea graduală, în mod ierarhic (top-down), a defectului, până se ajunge la localizarea sursei defectului. O astfel de strategie de diagnosticare este exemplificată în continuare considerând centrala electrică geotermală parte integrantă a sistemului geotermal din Oradea [Gab3 02]. Centrala electrică și buclele de reglare au fost prezentate în detaliu în subcapitolul 3.4. Strategia de diagnosticare expusă consideră trei nivele ierarhice și anume *nivelul sistem* (în cazul de față al centralei electrice geotermale), *nivelul subsistem* (în cazul de față o zonă a centralei) și *nivelul entitate*. La nivelul entității se termină activitatea de diagnosticare care determină elementul entității care de defectează.

Punctele importante din cadrul centralei geotermale corespund în principiu punctelor la care se referă mărimile caracteristice asociate ciclului termodinamic. În consecință, este esențial ca în aceste puncte să se controleze valorile mărimilor caracteristice. Pentru fiecare mărime caracteristică trebuie definit un interval de funcționare normală, deci o valoare minimă și o valoare maximă (limite admisibile). Pentru evaluarea amplasării valorii curente a unei mărimi caracteristice în intervalul de funcționare normală se pot folosi diferite mijloace. În acest sens, în continuare considerăm că fiecărei mărimi caracteristice i se asociază două variabile discrete (în particular logice), o *variabilă de proximitate*, care ia valorile L, H, după cum mărimea caracteristică este în apropierea limitei inferioare, respectiv superioare a intervalului admisibil, și o *variabilă de prag*, care ia valorile LL, HH după cum mărimea caracteristică depășește pragul inferior, respectiv superior a intervalului admisibil. Variabilele de proximitate sunt utilizate pentru generarea semnalelor de atenționare în cazul în care funcționarea se realizează în apropierea limitei admisibile. Variabilele de prag se utilizează pentru generarea semnalelor de alarmă în cazul în care funcționarea se realizează într-un punct la limita admisibilă. Variabilele de proximitate și de prag sunt variabile din programul de conducere asociate, evident, mărimilor fizice din sistemul controlat.

În studiul de caz din cadrul acestui subcapitol sunt utilizate doar variabilele de prag deoarece se dorește localizarea defectului. Prezentarea are în primul rând rolul de a indica o modalitate de abordare a problemei diagnosticării automate a defectelor și de a sublinia diversitatea situațiilor care pot apare, iar în al doilea rând de a sublinia operații care trebuie avute în vedere în dezvoltarea aplicațiilor pe AP.

Figura 4.3.1 prezintă o diagramă funcțională la nivelul centralei electrice geotermale. În figură sunt indicate 4 puncte de măsurare a temperaturii CO<sub>2</sub>. Cu ajutorul lor se poate localiza zona în care se produce evenimentul "temperatura CO<sub>2</sub> este foarte mare", considerat defect major la nivelul sistemului.

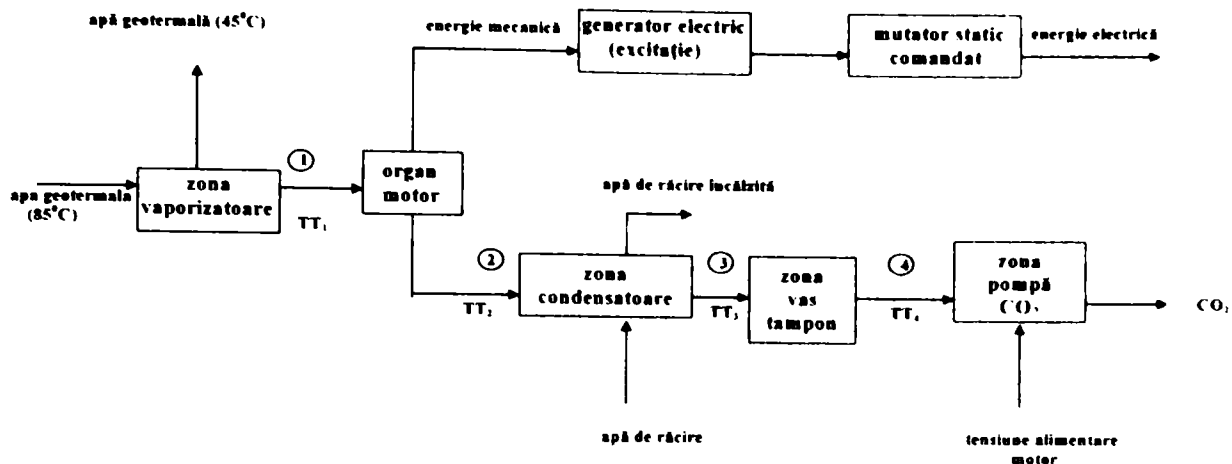


Figura 4.3.1 Schemă bloc funcțională la nivelul centralei electrice geotermale

Localizarea zonei, denumită și „localizarea defectului la nivelul sistemului”, este o primă etapă a abordării ierarhice. Măsurarea temperaturii CO<sub>2</sub> a fost realizată cu ajutorul traductoarelor de temperatură TT1, TT2, TT3, TT4, specificate și în tabelul 4.3.1. În tabel se consideră doar trei din multitudinea de scenarii posibile.

Conform datelor prezentate în tabelul 4.3.1, pentru fiecare valoare a temperaturii CO<sub>2</sub> măsurată de traductoarele TT1 – TT4 este verificată apartenența sa la intervalul admisibil. Valorile măsurate sunt notate generic  $vmTTx$ , valorile de prag minime cu  $vTTxLL$ , iar cele maxime cu  $vTTxHH$ . În funcție de combinația obținută rezultă că defectul se localizează în diferite zone.

Scena-riu	Punctul ①	Punctul ②	Punctul ③	Punctul ④	Zonă de localizare defect
S1	$vTT1LL < vmTT1$ și $vmTT1 < vTT1HH$	$vTT2LL < vmTT2$ și $vmTT2 < vTT2HH$	$vmTT3 > vTT3HH$	$vmTT4 > vTT4HH$	zona condensatoare
S2	$vmTT1 > vTT1HH$	$mTT2 > vTT2HH$	$vTT3LL < vmTT3$ și $vmTT3 < vTT3HH$	$vTT4LL < vmTT4$ și $vmTT4 < vTT4HH$	zona vaporizatoare
S3	$vTT1LL < vmTT1$ și $vmTT1 < vTT1HH$	$vTT2LL < vmTT2$ și $vmTT2 < vTT2HH$	$vTT3LL < vmTT3$ și $vmTT3 < vTT3HH$	$vmTT4 < vTT4LL$	zona vas tampon

Tabel 4.3.1. Localizarea la nivel sistem a defectului “temperatura CO<sub>2</sub> este foarte mare”

Pentru detectarea defectului la nivelul sistemului se adoptă două principii: i) se consideră ca potențial subsistem defect orice subsistem din schema funcțională la nivelul centralei la a cărei ieșire temperatura nu se încadrează între limitele admisibile;



ii) într-un lanț de subsisteme considerate defecte, succesive, defectul este asociat primului subsistem din lanț.

Diferențele temperaturi asociate punctelor din figura 4.3.1 pot fi reprezentate

$$\text{vectorial prin vectorul valorilor măsurate } t_{mCO_2} = \begin{bmatrix} v_{mTT1} \\ v_{mTT2} \\ v_{mTT3} \\ v_{mTT4} \end{bmatrix}, \text{ vectorul valorilor minime}$$

$$t_{\min CO_2} = \begin{bmatrix} v_{\min TT1} \\ v_{\min TT2} \\ v_{\min TT3} \\ v_{\min TT4} \end{bmatrix} \text{ și vectorul valorilor maxime } t_{\max CO_2} = \begin{bmatrix} v_{\max TT1} \\ v_{\max TT2} \\ v_{\max TT3} \\ v_{\max TT4} \end{bmatrix}.$$

Funcționarea în limita admisibilă presupune determinarea vectorilor semnelor diferențelor  $t_{mCO_2} - t_{\min CO_2}$ , respectiv  $t_{\max CO_2} - t_{mCO_2}$ , notați cu  $(\Delta t)_s$  și  $(\Delta t)_d$ . În cazul în care vectorii rezultați au numai semne pozitive, nu se pune problema existenței unui defect, deci nu se pune problema diagnosticării și localizării defectului. Defectele apar în cazul în care unul sau mai multe dintre semne nu mai sunt strict pozitive. În acest de al doilea caz se disting două tipuri de situații și anume *situații neconflictuale*, când doar una dintre componentele lui  $(\Delta t)_s$ , respectiv  $(\Delta t)_d$  este negativă, caz în care defectul se consideră în spiritul primului principiu, adică se asociază aceluși subsistem din schemă căruia mărimea respectivă îi corespunde ca mărime de ieșire și *situații conflictuale*, când două sau mai multe dintre semnele din  $(\Delta t)_s$ , respectiv  $(\Delta t)_d$  sunt negative.

Astfel, scenariului S1 corespunde unei situații conflictuale întrucât, cu toate că

$$(\Delta t)_s = \begin{bmatrix} > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \end{bmatrix}, \text{ în } (\Delta t)_d = \begin{bmatrix} > 0 \\ > 0 \\ < 0 \\ < 0 \end{bmatrix} \text{ apar două semne negative, } v_{mTT3} \text{ și } v_{mTT4} \text{ depășind valorile}$$

admisibile. Conflictul se rezolvă aplicând cel de al doilea principiu. Potrivit lui în figura 4.3.1 defectul se asociază zonei condensatoarelor.

$$\text{Pentru cazul scenariului S2 } (\Delta t)_s = \begin{bmatrix} > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \end{bmatrix}, \text{ iar } (\Delta t)_d = \begin{bmatrix} < 0 \\ < 0 \\ > 0 \\ > 0 \end{bmatrix}. \text{ Și în acest caz există}$$

două valori care depășesc valorile limită admisibile și anume  $v_{mTT1}$  respectiv  $v_{mTT2}$ . De data aceasta defectul apare, pe baza aceluiași principiu, la nivelul zonei vaporizatoarelor.

O situație neconflictuală este cea considerată de scenariul S3 din cadrul tabelului.

$$\text{Pentru acest caz } (\Delta t)_s = \begin{bmatrix} > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \end{bmatrix}, \text{ iar } (\Delta t)_d = \begin{bmatrix} > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ < 0 \end{bmatrix}. \text{ O singura valoare depășește limita}$$

admisibilă și anume cea măsurată de traductorul TT4 ( $v_{mTT4}$ ) din punctul ④. Pe baza primului principiu rezultă că defectul se localizează la nivelul zonei tampon.

În contextul mai sus prezentat, strategia de diagnosticare automată a defectelor presupune existența unei aplicații  $\partial_S : ((\Delta t)_s, (\Delta t)_d) \rightarrow \delta_S$ , în care  $\partial_S$  este simbolul aplicației „diagnosticare”,  $((\Delta t)_s, (\Delta t)_d)$  este mulțimea tuturor perechilor de vectori de semn, iar  $\delta_S$  este mulțimea defectelor la nivel sistem. Aplicația poate fi imaginată, în cazul cel mai simplu sub forma unui tabel de corespondență.

Practic, este necesar un program care să opereze cu vectorii valorilor curente și cu cei ai valorilor minime (construiți pe baza valorilor LL) și maxime (construiți pe baza valorilor HH), să calculeze vectorii de semn și să caute în tabel. Vectorii construiți pe baza valorilor LL și respectiv HH sunt memorați în locații de memorie stabilite de programator, valoarea lor fiind inițializată în cadrul subrutinei de inițializare, fișier notat #31 (vezi subcapitol 3.4.3).

În continuare admitem că ne găsim în condițiile scenariului S2, adică defectul a fost localizat la nivelul zonei vaporizatoarelor [Gab3 02]. Procedura de diagnoză se continuă cu nivelul următor, nivelul zonei vaporizatoarelor.

Figura 4.3.2 prezintă schema bloc funcțională la nivel de zonă defectă, în cazul de față schema corespunzătoare zonei vaporizatoarelor, necesară continuării activității de diagnosticare pentru a determina entitatea defectă. Schema include și bucla de reglare a temperaturii  $t_1$  a CO<sub>2</sub>.

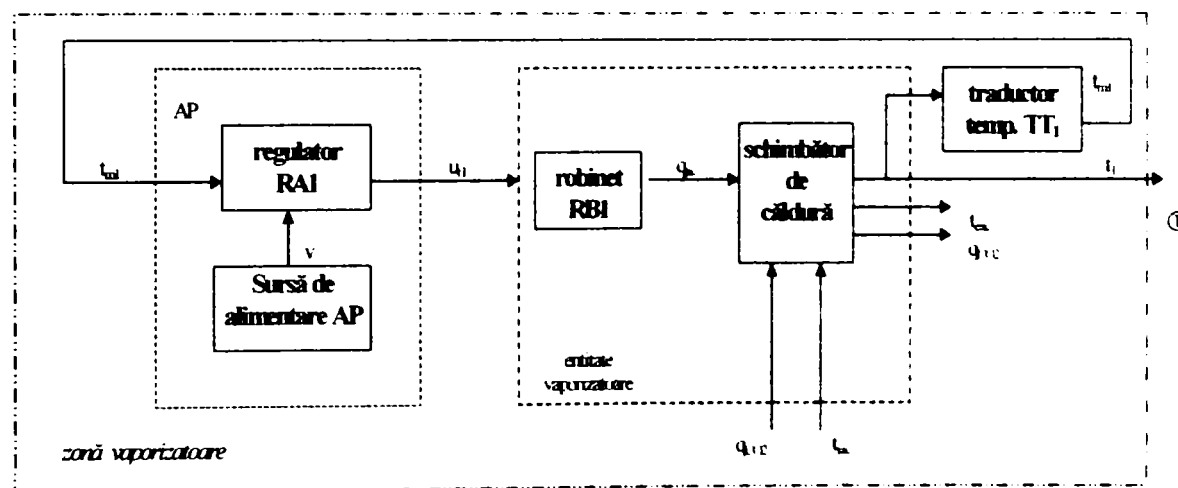


Figura 4.3.2. Schemă bloc funcțională la nivelul zonei vaporizatoarelor

Schema indică locurile importante la nivelul zonei vaporizatoarelor în care trebuie efectuate măsurători pentru a putea realiza o diagnoză corespunzătoare. Este vorba de următoarele mărimi (prezentate în tabelul 4.3.2): temperatura  $t_1$  reală ( $t_1$ ) la ieșirea din vaporizatoare, valoarea temperaturii  $t_1$  măsurată de traductorul de temperatură TT<sub>1</sub> ( $t_{m1}$ ), tensiunea de alimentare a AP ( $v$ ), mărimea de comandă (ieșire a regulatorului RAI,  $u_{11}$ ) și debitul apei calde ( $q_{ac}$ ). Spre deosebire de nivelul anterior în acest caz la nivelul zonei vaporizatoarelor avem o structură în buclă închisă care ridică probleme de diagnosticare deosebite, principiile aplicate la nivelul anterior fiind inaplicabile. Totuși, și în astfel de cazuri se pot face observații utilizabile pentru diagnosticare.

Astfel, pe baza schemei funcționale din figura 4.3.2. se pot constata, de exemplu, și următoarele patru situații:

1. valoarea lui  $t_m$  se modifică vizibil, iar  $u_{II}$  rămâne practic fixă, fără să atingă valorile limită; rezultă faptul că algoritmul de reglare RAI nu funcționează corect iar defectul se localizează la nivelul regulatorului RAI;
2. tensiunea de alimentare corespunzătoare AP,  $v$ , depășind una din limitele admisibile; este probabil ca AP să nu mai funcționeze corect și să apară o blocare automată a acestuia; deci defectul se localizează la nivelul sursei AP;
3. valoarea lui  $u_{II}$  se modifică iar debitul  $q_{ac}$ , fără a-și atinge valorile limită, nu se modifică; rezultă că robinetul RBI este defect;
4. valoarea debitului  $q_{ac}$  se modifică semnificativ iar temperatura  $t_I$  nu se modifică, deducem că defectul este la nivelul blocului vaporizatoare, în schimbătorul de căldură.

Este evident faptul că în acest caz raționamentul nu mai este similar celui de la primul nivel ierarhic, situația fiind mult mai complicată, datorită buclei închise existente. Pentru o diagnosticare automată la nivelul zonei vaporizatoarelor, trebuie adoptate tehnici adecvate [Kat 99], [Vîn 01] care să facă față numeroaselor scenarii de defectare posibile, în particular situațiilor menționate anterior. Sunt necesare programe complexe de monitorizare a tuturor mărimilor prezentate în figura 4.3.2 și de prelucrare a datelor obținute de o manieră similară celei implementate pentru structurile de măsurare redundante (vezi paragrafele 4.1 și 4.2.). Problema fiind de mare complexitate, autoarea se rezumă la sublinierea atât a importanței ei cât și a utilității soluționării – chiar parțiale – pe echipamentul existent.

Pentru a continua demersul metodologic, presupunem că ne găsim în condițiile celei de a patra situații menționate mai sus ( $q_{ac}$  se modifică sesizabil iar temperatura  $t_I$  nu se modifică) în ipoteza disponibilității unui program de monitorizare pe o durată limitată a valorilor debitului  $q_{ac}$  și a temperaturii  $t_I$  (v. paragraful 4.1). Notăm acest scenariu, al cărui rezultat este „defectul la nivelul blocului vaporizatoare, este în schimbătorul de căldură”, cu S2-4. Ca urmare, analiza se poate continua la nivelul ierarhic următor.

Figura 4.3.3 prezintă schema bloc funcțională la nivelul entității vaporizatoare, care cuprinde două circuite și anume unul corespunzător apei geotermale iar celălalt corespunzător CO<sub>2</sub>. Pe schemă sunt prezentate mărimile ce trebuie măsurate pentru a putea realiza diagnosticarea defectului la acest nivel. Este vorba de trei temperaturi (măsurate de traductoarele TT1, TTac1, TTac2), două presiuni (măsurate de traductoarele TP1, TPac) și un debit (măsurat de traductorul de debit TDac).

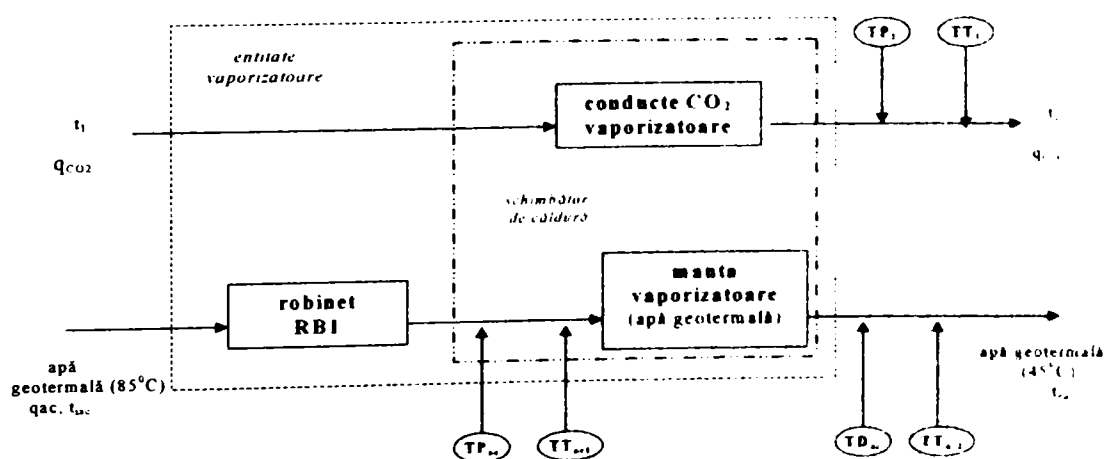


Figura 4.3.3. Schemă bloc funcțională entitate vaporizatoare

Pentru detectarea defectului la acest nivel ierarhic (cel al entității vaporizatoare) se adoptă două principii similare cu cele considerate pentru nivelul ierarhic superior:

S2-4i) se consideră ca potențială componentă defectă orice componentă din schema funcțională a entității vaporizatoare la a cărei ieșire mărimea măsurată nu se încadrează între limitele admisibile;

S2-4ii) într-un lanț neîntrerupt de componente considerate defecte, defectul este asociat primei componente din lanț.

În ipoteza principiilor enunțate mai sus, diferitele valori ale variabilelor asociate punctelor din figura 4.3.3 pot fi organizate vectorial prin vectorul valorilor măsurate

$$t_{mS2-4} = \begin{bmatrix} v_{mTP1} \\ v_{mTT1} \\ v_{mTTac1} \\ v_{mTPac} \\ v_{mTDac} \\ v_{mTTac2} \end{bmatrix}, \text{ și vectorii } t_{\min S2-4} = \begin{bmatrix} v_{\min TP1} \\ v_{\min TT1} \\ v_{\min TTac1} \\ v_{\min TPac} \\ v_{\min TDac} \\ v_{\min TTac2} \end{bmatrix} \text{ și } t_{\max S2-4} = \begin{bmatrix} v_{\max TP1} \\ v_{\max TT1} \\ v_{\max TTac1} \\ v_{\max TPac} \\ v_{\max TDac} \\ v_{\max TTac2} \end{bmatrix} \text{ corespunzători}$$

valorilor minime, respectiv maxime.

Funcționarea în limita admisibilă corespunzător scenariului S2-4, presupune determinarea vectorilor  $(\Delta t)_{S2-4d}$  și  $(\Delta t)_{S2-4s}$  ai semnelor diferențelor  $t_{mS2-4} - t_{\min S2-4}$  și respectiv  $t_{\max S2-4} - t_{mS2-4}$ . Defectele apar în cazul în care unul sau mai multe dintre semnele din cei doi vectori nu sunt strict pozitive.

Două scenarii posibile, utilizabile pentru localizarea defectului, în asociere cu scenariul S2-4 sunt prezentate în tabelul 4.3.2. Ele corespund defectării mantalei, respectiv conductelor din interiorul schimbătorului de căldură “vaporizatoare”.

Scenariu	Valoare indicată TP1	Valoare indicată TT1	Valoare indicată TPac	Valoare indicată TTac1	Valoare indicată TDac	Valoare indicată TTac2	Localizare defect
S2-4-1	$v_{mTP1} < v_{TP1LL}$	$v_{TT1LL} < v_{mTT1}$ și $v_{mTT1} < v_{TT1HH}$	$v_{TPacLL} < v_{mTPac}$ și $v_{mTPac} < v_{TPacHH}$	$v_{TTac1LL} < v_{mTTac1}$ și $v_{mTTac1} < v_{TTac1HH}$	$v_{TDacLL} < v_{mTDac}$ și $v_{mTDac} < v_{TDacHH}$	$v_{TTac2LL} < v_{mTTac2}$ și $v_{mTTac2} < v_{TTac2HH}$	conducte vaporizatoare sparte
S2-4-2	$v_{TP1LL} < v_{mTP1}$ și $v_{mTP1} < v_{TP1HH}$	$v_{TT1LL} < v_{mTT1}$ și $v_{mTT1} < v_{TT1HH}$	$v_{mTPac} < v_{mTPacLL}$	$v_{TTac1LL} < v_{mTTac1}$ și $v_{mTTac1} < v_{TTac1HH}$	$v_{TDacLL} < v_{mTDac}$ și $v_{mTDac} < v_{TDacHH}$	$v_{TTac2LL} < v_{mTTac2}$ și $v_{mTTac2} < v_{TTac2HH}$	mantă vaporizatoare spartă

Tabel 4.3.2. Localizarea defectului în cadrul entității, la nivel de componentă entitate

Scenariul S2-4-1 corespunde unei situații neconflictuale. Pentru acest scenariu

$$\text{avem } (\Delta f)_{S2-4s} = \begin{bmatrix} < 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \end{bmatrix}, \text{ iar } (\Delta f)_{S2-4d} = \begin{bmatrix} > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \end{bmatrix}.$$

O singură valoare este sub limita admisibilă și anume cea măsurată de traductorul TP1 ( $v_{mTP1}$ ). Pe baza primului principiu S2-4i) rezultă că defectul se localizează la nivelul conductelor de CO<sub>2</sub> din cadrul schimbătorului de căldură “vaporizatoare”.

Scenariul S2-4-2 conține, de asemenea o situație neconflictuală. Pentru acest

$$\text{scenariu considerat } (\Delta f)_{S2-4s} = \begin{bmatrix} > 0 \\ > 0 \\ < 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \end{bmatrix}, \text{ iar } (\Delta f)_{S2-4d} = \begin{bmatrix} > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \\ > 0 \end{bmatrix}.$$

O singură valoare este sub limita admisibilă și anume cea măsurată de traductorul TPac ( $v_{mTPac}$ ). Pe baza primului principiu S2-4i) rezultă că defectul se localizează la nivelul mantalei din cadrul schimbătorului de căldură “vaporizatoare”.

În concluzie, aplicând metoda implementării schemelor bloc funcționale pe diverse nivele ierarhice în cadrul unui sistem și folosind diferite metode de identificare și prelucrare a informației, se poate realiza o strategie de diagnosticare a defectului până la nivel de componentă a unei entități în cadrul oricărui sistem, utilizând diverse scenarii pentru posibile tipuri de defecțiuni.

Dacă într-un sistem automat putem măsura valorile mărimilor caracteristice în punctele cele mai importante ale sale și pe baza acestora putem realiza o diagnosticare rapidă a defectelor, se realizează o reducere a timpului de diagnoză. În cazul în care prin programul de conducere putem implementa semnale de atenționare și alarmă relevante (vezi subcapitol 3.4) se poate reduce și timpul necesar conștientizării apariției defectului.

Din punct de vedere practic o schemă de măsurare bine concepută și o logică de interpretare coerentă implementată pe un AP reduc timpul de diagnoză.

\* \* \*

Prezentul capitol este destinat prezentării realizării sistemelor de măsurare redundantă a temperaturilor  $t_1$  și  $t_3$ . Soluțiile se bazează pe suportul teoretic din capitolul 2 și pe strategii originale propuse de autoare.

Pentru măsurarea temperaturii  $t_1$  se folosește un sistem cu două traductoare asistat de traductorul de măsurare a temperaturii apei geotermale la ieșirea din vaporizatoare, iar pentru măsurarea temperaturii  $t_3$  un sistem de trei traductoare care în situația defectării unuia aplică principiul folosit la temperatura  $t_1$ . Rezultatele obținute sunt corespunzătoare din punct de vedere practic.

În partea finală a capitolului se fac referiri la implementarea unui sistem de diagnoză în cazul apariției unui defect în cadrul centralei electrice geotermale vis-a vis de evenimentul „CO<sub>2</sub> are temperaturi normale în toate punctele sistemului”.

## CAPITOLUL 5. CONCLUZII FINALE

Principalele rezultate obținute și contribuțiile personale ale autoarei sunt prezentate în detaliu în cadrul acestui capitol de concluzii finale. Se realizează o defalcare a rezultatelor obținute, respectiv a contribuțiilor personale pe capitole.

### 5.1 Principalele rezultate ale tezei

În cadrul capitolul 2 sunt sintetizate, aprofundate și completate noțiuni de bază pentru domeniul fiabilității și disponibilității sistemelor. Sunt de reținut:

- aprofundarea noțiunilor fundamentale de fiabilitate și disponibilitate și sintetizarea unui suport teoretic pentru dezvoltările din teză;
- sintetizarea principalelor aspecte referitoare la structurile relevante din punctul de vedere al sistemului de conducere al centralei geotermale cu detalierea rezultatelor obținute pentru sistemele k redundante din buclele de reglare importante ale ciclului termodinamic al centralei;
- prezentarea unei metodologii de calcul pentru determinarea intensităților de defectare și reparare simultană;
- sintetizarea unei clasificări a principalelor tipurilor de defecte ce pot să apară în sistem și a cauzelor apariției acestora, exemplificată cu situații concrete din centrala electrică geotermală.
- sintetizarea aspectelor legate de fiabilitatea / disponibilitatea aplicațiilor de simulare și prezentarea principalilor pași ce trebuie parcurși pentru dezvoltarea unui model de simulare pentru sistemele conduse în timp real.

În capitolul 3 sunt prezentate rezultate referitoare la modelarea și simularea procesului termodinamic automatizat din centrala geotermală. Sunt de reținut următoarele aspecte:

- analizarea și sistematizarea principalelor aspecte particulare ale fiabilității / disponibilității automatelor programabile atât din punct de vedere software cât și hardware, cu detalierea unor aspecte legate de AP Allen Bradley SLC 5/03;
- prezentarea unei strategii de automatizare a centralei electrice geotermale împreună cu principalele bucle de reglare, echipamente de măsură și comandă ;
- obținerea unui model matematic al procesului corespunzător ciclului termodinamic al CO<sub>2</sub>; prin combinarea modele matematice corespunzătoare fiecărei entități a sistemului;
- implementare unui program de simulare a procesului de automatizare a realizării ciclului termodinamic cu considerarea principalelor elemente de control;
- validarea modelului matematic implementat pe baza rezultatelor obținute pentru cazul pornirii sistemului;
- stabilirea principalilor factori perturbatori ce pot afecta funcționarea centralei electrice geotermale și validarea întregii strategii de automatizare pe baza conceperii de scenarii coerente corespunzătoare apariției factorilor perturbatori;
- sintetizarea principalelor avarii ce pot să apară în cadrul sistemului cu precizarea modului de tratare și a buclelor de avarie utilizate.

Capitolul 4 sintetizează rezultate referitoare la:

studiul comportării sistemului cu entități de măsurare redundante utilizând scenarii concludente, pe baza cărora autoarea a sintetizat reguli de determinare a traductoarelor care funcționează corect;

implementarea modelului propus de sistem redundant (cu dublă redundanță) de măsurare a temperaturii  $t_1$  în cadrul buclei de reglare a acesteia printr-o schemă Simulink, care utilizează o funcție utilizator Matlab/Simulink și validarea acestuia prin studierea și evaluarea comportamentului pe baza unor scenarii coerente stabilite de către autoare;

implementarea modelului propus de sistem redundant (cu triplă redundanță) de măsurare a temperaturii  $t_3$  în cadrul buclei de reglare a acesteia printr-o schemă Simulink utilizând o funcție utilizator Matlab/Simulink diferită ca abordare de cazul redundanței duble și validarea acestuia prin studierea și evaluarea comportamentului pe baza unor scenarii coerente stabilite de autoare ;

implementarea modulului de program corespunzător sistemului de măsurare redundant la nivelul buclei de reglare a temperaturii  $t_1$  pe automatul programabil tip Allen Bradley, utilizându-se limbajul de programare APS (Advanced Programming Software);

prezentarea unei metode de reducere a timpului de diagnoză în cazul sistemelor cu entități reparabile prezentat pentru cazul concret al centralei electrice geotermale.

## 5.2 Principalele contribuții personale

Principalele contribuții personale obținute prin intermediul rezultatelor prezentate, separate pe capitole, sunt următoarele.

Capitolul 2 conține următoarele contribuții:

2.1 - detalierea unor aspecte statistice referitoare la fiabilitate și disponibilitate prin evidențierea modului de evoluție a disponibilității în procese de reparare propriuzisă și înlocuire;

2.2 - corectarea unei formule de calcul a disponibilitatii pentru sisteme cu evenimente rare, din categoria cărora face parte și sistemul geotermal;

2.3 - elaborarea unei metode de calcul pe baza de analiza Markov a disponibilitatii sistemelor  $k$  redundante și folosirea metodei pentru realizarea de sisteme de măsurare redundante la centrala electrica geotermală;

2.4 - introducerea cenceptelor de intensitate de defectare simultană și intensitatea de reparare simultană și utilizarea acestora pentru analiza sistemelor  $k$  redundante.

În cadrul capitolului 3 principalele contribuții sunt:

3.1 - elaborarea unui model al centralei electrice geotermale care include și AP utilizat pentru automatizare și care corectează și completează modelele existente, permițând o abordare sistematică a problemelor de automatizare;



3.2 - implementarea programului de simulare în mediul de programare Matlab și interfață grafică Simulink a procesului automatizat din centrala electrică geotermală (partea de ciclu termodinamic) și validarea acestuia prin scenarii de simulare adecvate (scenarii referitoare la regimuri normale și perturbate de funcționare);

3.3 - identificarea principalelor avarii la nivelul sistemului de asigurare a ciclului termodinamic al CO<sub>2</sub> cu precizarea posibilităților de tratare a acestora cu automatul programabil.

Contribuțiile capitolului 4 sunt :

4.1 - conceperea unui sistem de măsurare redundantă a temperaturii  $t_1$  a CO<sub>2</sub> la ieșirea din vaporizatoare; studiul și detalierea acestuia, validarea prin simulare și pe automatul programabil existent tip Allen Bradley, utilizându-se limbajul de programare special elaborat pentru AP de acest tip - APS (Advanced Programming Software);

4.2 - conceperea unui sistem de măsurare redundantă a temperaturii  $t_3$  a CO<sub>2</sub> la ieșirea din condensatoare în vederea măririi fiabilității sistemului automat de reglare ; studiul și detalierea acestuia, validarea prin simulare pe baza rezultatelor obținute;

4.3 - identificarea posibilităților de reducere a timpului de diagnoză în cazul nerealizării evenimentului - CO<sub>2</sub> cu temperaturi normale în toate punctele sistemului de asigurare a ciclului termodinamic.

Pentru elaborarea tezei s-au referit 86 de titluri dintre care 25 aparțin autoarei ca unic autor sau coautor.

## BIBLIOGRAFIE

- [Ant 99] Antal, C., *Îmbunătățirea parametrilor centralei electrice geotermale de la Universitatea din Oradea*, teză de doctorat, decembrie 1999
- [Ant 00] Antal, C., Maghiar, T., Gavrilesco, O., Minta, I., *Utilizarea energiei geotermale. Conversia energiei geotermale în energie electrică*, Editura Universitatii din Oradea, ISBN 973-8083-39-7, 2000
- [Ant 01] Antal, C., *Automatic control and data acquisition (SCADA) for geothermal systems*, European Summer School on Geothermal Energy Applications. Text-book, Oradea, pp. 305-310, 26 April – 5 May, 2001
- [Băj 96] Băjenescu, T.I., *Fiabilitatea componentelor electronice*, Editura Tehnică, București, 1996
- [Băj 97] Băjenescu, T.I., *Fiabilitatea, disponibilitatea și mentenabilitatea sistemelor electronice complexe*, Editura de Vest, Timișoara, 1997
- [Beh 95] Behr, A., Camarinopoulos, L., Pampukis, G., *Domination of k out of n Systems*, IEEE Transactions on Reliability, vol.44, no.4, December 1995
- [Ben 99] Bentley, J.P., *Introduction to Reliability and Quality Engineering*, Addison Wesley Longman, 1999
- [Ben 94] Bennet, S., *Real Time Computer Control*, Prentice Hall, 1994
- [Bes 02] Besterfield, D.H., Besterfield-Michna, C., Besterfield, G.H... Besterfield-Sacre. M., *Total Quality Management (third edition)*, Prentice Hall, 2002
- [Bor 00] Bornot, S., Huuck, R., Lachneck, Y., Lukoschus, B., *Utilizing static analysis for programmable logical controllers*, ADPM 2000, 4<sup>th</sup> International Conference on Automation of Mixed Processes: Hybrid Dynamic Systems, Dortmund, Germany, 2000
- [Căl 76] Călin, S., *Regulatoare automate*, Editura Didactică și Pedagogică., București, 1976
- [Căt1 89] Cătuneanu, V.M., Mihalache, A.N., *Reliability Fundamentals*, Elsevier Press, Amsterdam, 1989
- [Căt2 89] Cătuneanu, V.M., Popențiu Vlădicescu, F., *Optimizarea fiabilității sistemelor*, Editura Academiei RSR, București, 1989
- [Dab 02] Dabney, J.B., Harman, T.L., *Mastering Simulink*, Prentice Hall, New Jersey, 2002

- [Dec 99] Deconinck, G., **Gabor, G.**, De Florio, V., Belmans, R., Peperstraete, J., *Considerations on functional safety and how IEC 61508 affects the use of PLC's*, Proceedings of EMES'99, Oradea, pp.169-175, 1999
- [Dhi 99] Dhillon, B.S., *Design reliability*, CRC press, 1999
- [Dra 02] Dragomir N. D., Munteanu R., Tirmovan I., Crişan T., Pruneanu P., *Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice*, Ed. Mediamira, Cluj Napoca, 2002.
- [Dra1 04] Dragomir, T.L., **Gabor, G.**, Korodi, A., *Some Aspects Regarding Availability of Repairable Structures*, Scientific Bulletin of "Politehnica" University of Timișoara, Trans. on A.C.& C.S., vol.49(63), No.2, pp.159-166, 2004
- [Dra2 04] Dragomir, T.L., **Gabor, G.**, Korodi, A., *On an Active Redundant Structure with  $k$  Identically Repairable Components*, Proceedings of the 12th International Symposium on Modeling, Simulation and System Identification, SIMSIS 12, Galați, pp. 54-60, 2004
- [Dra3 04] Dragomir, T.L., *Elemente de teoria sistemelor*, Colecția „Automatică”, Editura Politehnica Timișoara, 2004
- [Dum 93] Dumitrache, I., s.a., *Automatizări electronice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1993
- [Fel 96] Felea, I., *Ingineria fiabilității în electroenergetică*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1996
- [Fel 01] Felea, I., Coroiu, N., *Fiabilitatea și mentenanța echipamentelor electrice*, Editura Tehnică, București, 2001
- [Fra 02] Franklin, G.F, Powel, J.D., *Feedback Control of Dynamic Systems*, Prentice Hall, ISBN – 0130323934, 2002
- [Fri 95] Friedman, M.A., Voas, J.M., *Software Assesment – Reliability, Safety, Testability*, John Wiley & Sons, New-York, 1995
- [Gab1 96] **Gabor, G.**, *General overwiev of the geothermal plant from the University of Oradea and future ways of development*, Proceedings of workshop – Kosice, April 25-27, pp. 22-32, 1996
- [Gab2 96] **Gabor, G.**, *Considerations regarding programmable logical controllers*, Proceedings of ECI '96 , Kosice-Herlany, pp. 77 –82, 1996
- [Gab 97] **Gabor, G.**, *Considerations regarding the security of the automatic control system from the geothermal plant from the University of Oradea*, Proceedings of EMES'97, Fascicola Electrotehnică, Secțiunea D, pp.17-22, 1997
- [Gab1 98] **Gabor, G.**, Zmaranda, D., *Techniques and Strategies Used In Industrial Computer Control*, Proceedings of RSEE'98, Fascicola Electrotehnică, Secțiunea E, pp.13-18, 1998

- [Gab2 98] **Gabor, G.**, *Considerations on software reliability*, Proceedings of 119<sup>th</sup> PAMM '98, Arad, pp.195-203, 1998
- [Gab 99]**Gabor, G.**, *Considerations regarding PLC's in safety-critical systems*, Proceedings ECI'99, Kosice-Herlany, Slovakia, pp.74-79, 1999
- [Gab1 00]**Gabor, G.**, *Using PLC's in safety related process control applications*, Proceedings of ECI'2000, Kosice-Herlany, Slovakia, pp. 189-195, 2000
- [Gab2 00] **Gabor, G.**, Gavrilesu O., *Modeling and simulation of the control system of the geothermal power plant from the University of Oradea*, Proceedings of CONTI 2000, Timisoara, Romania, pp. 45 – 50, 2000
- [Gab1 01] **Gabor, G.**, Gavrilesu O., *Simulation and human computer interface for the control system of a geothermal power plant*, Proceedings of EMES'01, Oradea, Romania, pp. 29 – 35, 2001
- [Gab2 01] **Gabor, G.**, Vladu E., *Considerations on the simulation of the control system for a geothermal power plant using ASCL and Matlab*, Proceedings of EMES'01, Oradea, Romania, pp.24 – 28, 2001
- [Gab1 02]**Gabor, G.**, *Some aspects on control system architectures*, Proceedings of RSEE'2002, Oradea, pp.107 -114, 2002
- [Gab2 02 ]**Gabor, G.**, *Reliability Considerations on the Control System of a Geothermal Power Plant*, Proceedings of ECI'02, section VII – Advanced Information Technologies, Kosice-Herlany, Slovakia, pp.228 -293, 2002
- [Gab3 02]**Gabor, G.**, Gavrilesu, O., *Fault Diagnosis in the Control System of a Geothermal Power Plant*, Scientific Bulletin of “Politehnica” University of Timișoara, Trans. on A.C.& C.S., vol 47, No.1, pp.111-114, 2002
- [Gab1 03 ]**Gabor, G.**, Popescu, D., *Some Aspects Regarding the Reliability of the Control System Proposed for a Geothermal Power Plant*, Proceedings of CSCS-14, Bucharest , Romania, pp.95, 2003
- [Gab2 03] **Gabor, G.**, *Aspects regarding the control system of a geothermal power plant*, Proceedings of EMES 2003, Oradea, Section B - Automatics and Control Systems, pp. 253 – 258, 2003
- [Gaf 04] Gaffney, J., Lockhead, M., *Practical Software and System Availability and Reliability Estimation* , <http://www.softwartechnews.com> , 2004
- [Gav 00] Gavriș, M., *Automate programabile*, Litografia Universității din Oradea, 2000
- [Gel 99] Geller, D.A., *Programmable controllers using the Allen-Bradley SLC-500 family*, Prentice Hall, 1999
- [Ger 03] Gergely, E.I., *Dependabilitatea sistemelor de conducere a proceselor cu automate programabile*, Editura Mediamira, Cluj-Napoca, 2003

- [Gob 95] Goble, W., *Evaluating Control Systems Reliability – Techniques and Applications*, Instrument Society of America- Resources for Measurement and Control Systems, 1995
- [Har 00] Hartmut von Krosigk, *Functional Safety in the Field of Industrial Automation*, Computing and Control Engineering Journal, februarie 2000
- [IEE 93] International Standard IEC 1131, *Programmable Controllers - Part 3: Programming Languages*, Geneva: International Electrotechnical Commission, 1993
- [Jia 95] Jianan Xue, Kai Yan, *Dynamic Reliability Analysis of Coherent Multistate Systems*, IEEE Transactions on Reliability, vol.44, no.4, December, 1995
- [Joh 89 ] Johnson, B.W., *Design and Analysis of Fault Tolerant Digital Systems*, Addison-Wesley Publishing Co., USA, 1989
- [Kat 99] Katebi, R., Johnson, M.A., Wilkie, J., *Control and Instrumentation for Wastewater Treatment Plants*, Springer, 1999
- [Lap 92] Laprie, J.C., Avizienis, A., Kopetz, H., *Dependability: Basic Concepts and Terminology*, Springer Verlag, New York Inc., 1992
- [Lei 95] Leitch, R.D. *Reliability Analysis for Engineers. An Introduction*, Oxford University Press Inc., New York, 1995
- [Lyu 96] Lyu, M.R., *Handbook of Software Reliability Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1996
- [Mad 00] Mader, A., *A classification of PLC models and applications*, WODES 2000, 5<sup>th</sup> Workshop on Discrete Event Systems, Gent, Belgium, 2000
- [Mag 98] Maghiar, T., Antal, C., **Gabor, G.**, Gavrilesco, O., Almășan, I., *The geothermal system from the University of Oradea – a new strategy simulation for the heat station*, Proceedings of RSEE'98, Fascicula Electrotehnică, Secțiunea C, Baile-Felix, Oradea, pp. 21-26, 1998
- [Mag 00] Maghiar, T., Antal, C., **Gabor, G.**, Gavrilesco, O., Almășan, I., Bococi, D., *Simulation of the geothermal binary power plant's heat exchangers from the University of Oradea*, Proceedings of RSEE'2000, Oradea, 2000, pp.63-71, 2000
- [Mag 02] Maghiar, T., Gavriș, M., Antal, C., **Gabor, G.**, Gavrilesco, O., Popa, M., Crăciun, D., Bococi D., *Centrale electrice geotermale cu fluid secundar*, Editura Universitatii din Oradea, ISBN 973-8193-02-8, 2002
- [Mar 95] Martinescu, I., Popescu, I., *Fiabilitate*, Editura Griphon, Brașov, 1995

- [Mil 04] Militaru, R., Militaru, C., *Calitate și fiabilitate – elemente de teorie și practică*, Editura Politehnica, Timișoara, 2004
- [MGA 95] MGA Software, *Advanced Continuous Simulation Language ACSL*, Reference Manual, 1995
- [MGA 96] MGA Software, *Advanced Continuous Simulation Language ACSL, Graphic Modeller*, User's Guide, 1996
- [Mus 02] Musa, J.D., *More Reliable Software Faster and Cheaper (Software Reliability Engineering)* website: <http://members.aol.com/JohnDMusa/>, 2002 (updated regularly)
- [Par 99] Parr, E.A., *Programmable Controllers. An Engineer's Guide (second edition)*. Newnes, An imprint of Butterworth-Heinemann, UK, 1999
- [Par 03] Parr, E.A., *Programmable Controllers. An Engineer's Guide (third edition)*. Newnes, An imprint of Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford, 2003
- [Phi 96] Phillips, L.C., Harbor, D.R., *Feedback Control Systems*, Prentice Hall International, New Jersey, 1996
- [Pop1 03] Popescu, D.E., Popescu, C., Gabor, G., Vladu, E., *Geothermal power plant design optimization by genetic algorithms*, Proceedings of CSCS – 14, Bucuresti, pp.180 - 185, 2003
- [Pop2 03] Popescu, D.E., Popescu, C., Gabor, G., *Monte Carlo simulation using Excel for predicting reliability of a geothermal power plant*, Proceedings of IGC 2003, Reykjavik, Islanda, pp. 7 -12, 2003
- [Pra 96] Pradhan, D.K., *Fault-tolerant Computer System Design*, Prentice Hall, New Jersey, USA, 1996
- [Rab 75] Rabiner, Gold, B., *Theory and Application of Digital Signal Processing*, Prentice Hall International, 1975
- [Ran 95] Randell, B., Laprie, J.C., Kopetz, H., Littlewood, B., *Predictably Dependable Computing Systems*, Springer-Verlag, Germany, 1995
- [Roc1 94] Rockwell Automation, *SLC Family of Small Programmable Controllers. System Overview*, 1994
- [Roc2 94] Rockwell Automation, *Advanced Programming Software (APS). User manual & Reference Manual*, 1994
- [Rut 00] Rutten, E., Fernando, J.F., *Hybrid Simulation of IEC-61131 PLC Programs using Signal and Simulink*, ADPM 2000, 4<sup>th</sup> International Conference on Automation of Mixed Processes: Hybrid Dynamic Systems, Dortmund, Germany, 2000

- [Sar 03] Saracin, M., Saracin, C.G., *Măsurări electrice și electronice*, Editura MatrixRom, București, 2003
- [Sto 96] Storey, N., *Safety -Critical Computer Systems*, Addison Wesley Longman, England, 1996
- [Tew 02] Tewari, A., *Modern Control Design with Matlab and Simulink*, John Wiley and Sons, ISBN - 047149690, 2002
- [Vas 02] Vasilievici, Al., Frigură-Iliasa, F.M., *Exemple de implementare a automatelor programabile în instalațiile de comandă a marilor consumatori industriali*, Analele Universității din Oradea, Fascicola Energetică, Oradea, pp. 56-64, 2002
- [Vlă 82] Vlăduțiu, M., *Tehnologie de ramură și fiabilitate*, Litografia Institutului Politehnic Timișoara, 1982
- [Vlă 89] Vlăduțiu, M., Crișan, M., *Tehnica testării echipamentelor de prelucrare a datelor*, Editura Facla, Timișoara, 1989
- [Vîn 01] Vînătoru, M., *Conducerea automată a proceselor industriale*, vol.1, Universitaria, 2001
- [Zai 02] Zaides, E.P., *Traductoare și senzori*, Editura Teora, București, 2002
- [Zma 00] Zmaranda, D., Gabor, G., *State of the art of the automatic control system from the geothermal plant from the University of Oradea, Romania: present and perspectives*, Proceedings of WGC 2000, Kyushu-Tohoku, Japonia, 2000
- [Zma 04] Zmaranda, D., Gabor, G., *Reliability Improvement Techniques for the Control System of a Geothermal Power Plant*, Proceedings RSEE'04, Oradea, pp.80-84, 2004
- [www1 04] <http://www.mathworks.com> - The MathWorks –MATLAB and Simulink for Technical Computing
- [www2 04] [http://www.eng.fsu.edu/~cockburn/matlab/matlab\\_help.html](http://www.eng.fsu.edu/~cockburn/matlab/matlab_help.html) - MATLAB / SIMULINK Internet Resources
- [www3 04] <http://www.taftan.com/ml/> - Help for PC MATLAB and Simulink

## ANEXA 1 - Modalități de calcul $\mu$ , MUT, disponibilitate, indisponibilitate

Notății conform [Gob 95] și [Joh 89]

1° **Intensitate de reparare ( $\mu$ )**

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (A-1.1)$$

Relația se transformă în relația (2.3.2.1) pe baza precizărilor din § 2.3.1.

2° **Timp mediu de disponibilitate pentru funcționare (MUT)**

Timp mediu de disponibilitate pentru funcționare este notat în [Gob 95] și [Joh 89] ca MTBF și este considerat ca timp mediu de funcționare între două defecțiuni. În fig. A-1.1 sunt prezentate în mod grafic diferențele de notație referitoare la MTBF dintre [Ben 99] (vezi figura A-1.1(a) și ciclul format din activitățile „funcționare” și „defectare”) respectiv [Gob 95], [Joh 89] (figura A-1.1(b) și ciclul format din activitățile „funcționare” și „reparare”).

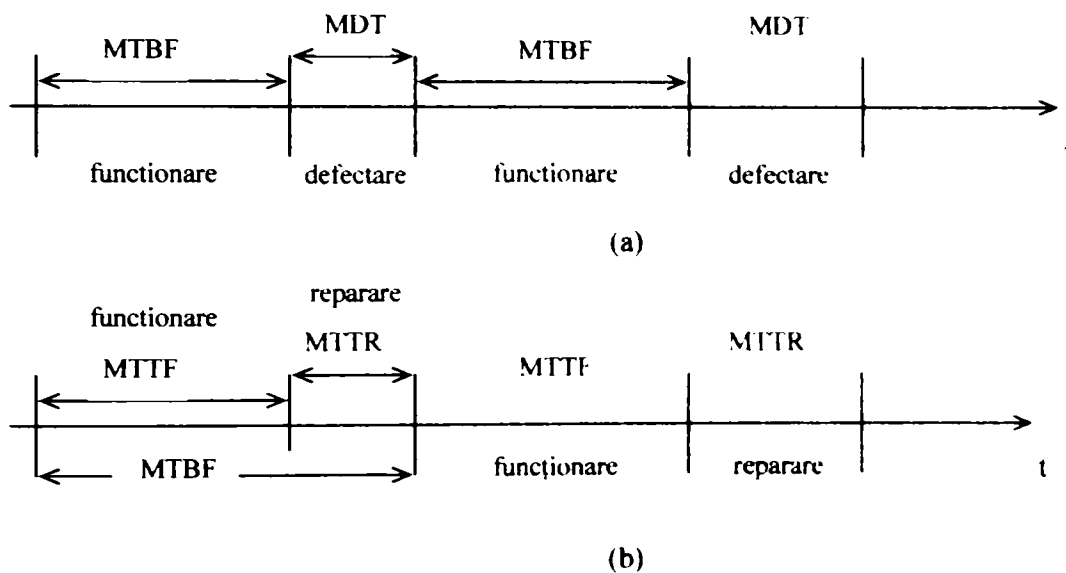


Figura A-1.1

Conform [Gob 95], [Joh 89] și a terminologiei utilizate de ei echivalentul relației (2.3.3.1) este

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad (A-1.2)$$

Atunci când MTTR este mult mai mic decât MTTF (definit anterior ca indicator al entităților nereparabile), se poate aproxima

$$MTBF \approx MTTF. \quad (A-1.3)$$

3° **Disponibilitatea**

Valoarea staționară a disponibilității unei entități reparabile  $A(\infty) = A_x \neq 0$ , se poate determina cu formula :

$$A_{\infty} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (A-1.4)$$

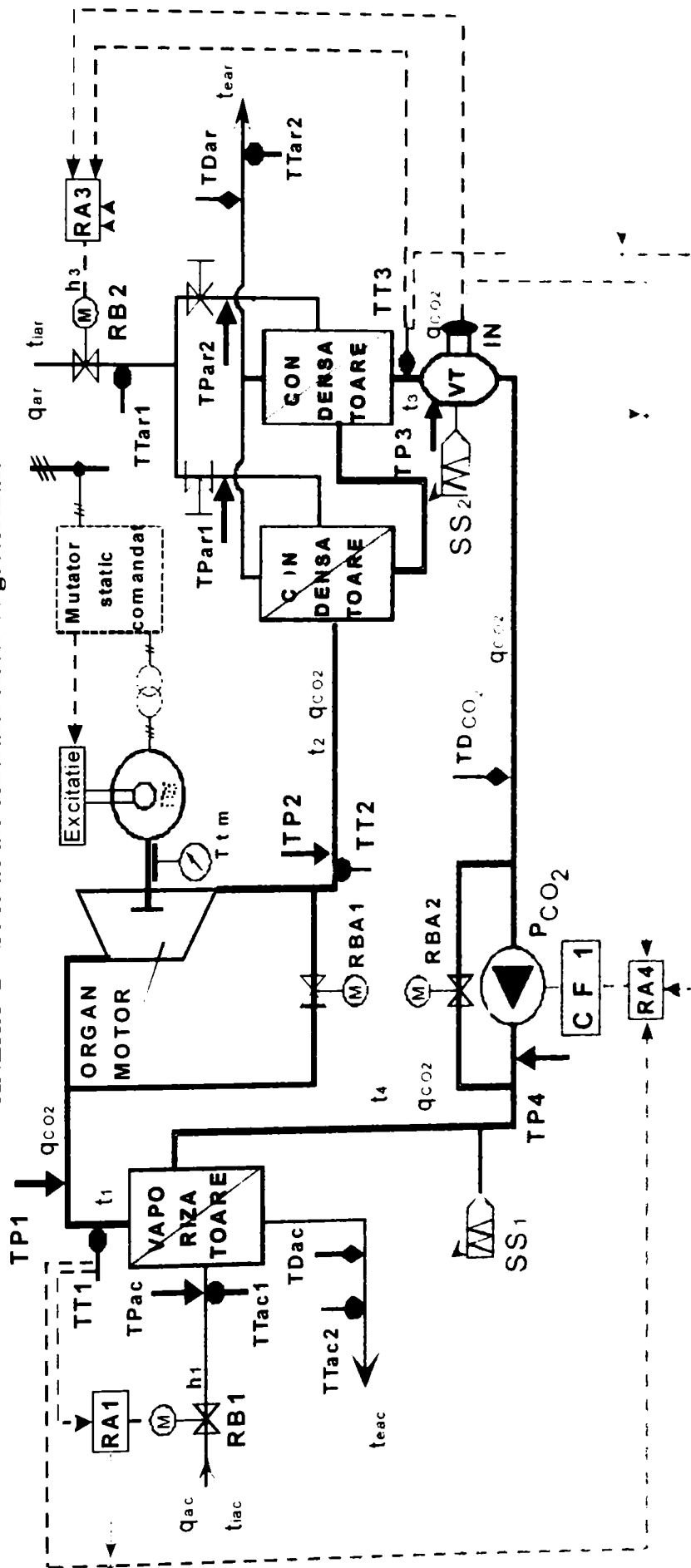
4° **Indisponibilitatea**

Pentru indisponibilitate, eveniment complementar disponibilității, este valabilă relația:

$$U = \frac{MTTR}{MTBF + MTTR} \quad (A-1.5)$$

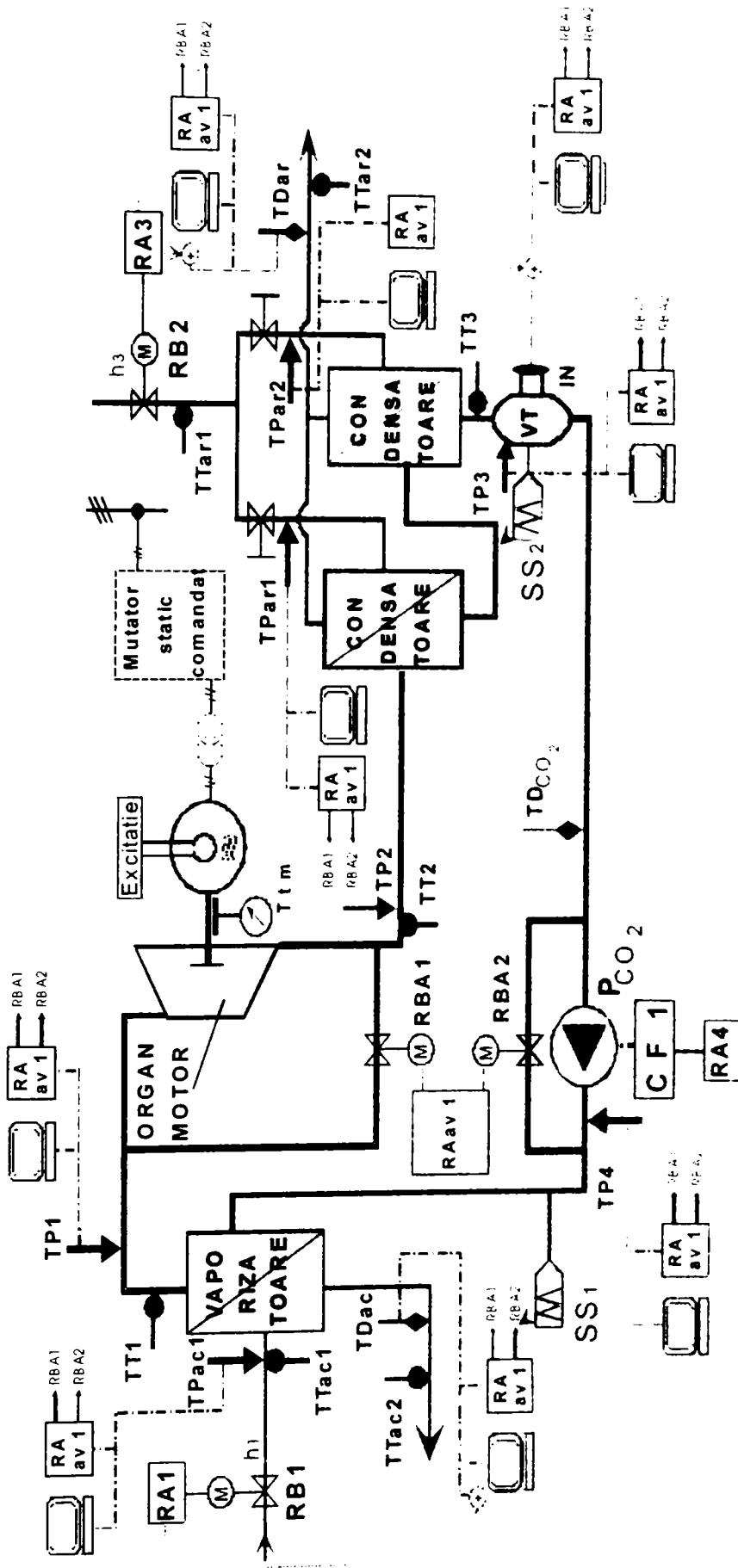


ANEXA 2 – Scheme ale centralei electrice geotermale



- |                 |   |   |
|-----------------|---|---|
| RA              | - | regulator automat                               |
| IT              | - | traductor temperatura                           |
| TP              | - | traductor presiune                              |
| TD              | - | traductor debit                                 |
| CF              | - | convertizor de frecvență                        |
| T <sub>tm</sub> | - | traductor turație motor                         |
| RB              | - | robinet cu acționare electrică                  |
| RBA             | - | robinet cu acționare electrică în caz de avarie |
| IN              | - | indicator de nivel                              |
| V1              | - | vas tampon                                      |
| SS              | - | supapă de siguranță                             |

Figura A2.1. Schema de reglare a ciclului termodinamic al centralei electrice geotermale



- RA - regulator automat
- TT - traductor temperatura
- TP - traductor presiune
- TD - traductor debit
- CF - convertizor de frecvență
- T<sub>im</sub> - traductor turație motor

- RA av 1 - regulator automat avarie
- RB - robinet cu acționare electrică
- RBA - robinet cu acționare electrică în caz de avarie
- IN - indicator de nivel
- VT - vas tampon
- SS - supapă de siguranță

Figura A2.2. Schema centralei electrice cu buclele de avarie

### ANEXA 3 – Simboluri și notații utilizate pentru centrala electrică geotermală

$t$	temperatură	
$\tau$	timp	
$i_x$	entalpie punct x din ciclul termodinamic	
$p_x$	presiune punct x din ciclul termodinamic	
$v_x$	volum CO <sub>2</sub> punct x din ciclul termodinamic	
$q_{x\ nom}$	debit nominal mărime x	
$q_{ac}$	debit apă geotermală	
$q_{ar}$	debit apă de răcire	
$q_{CO_2\ x}$	debit CO <sub>2</sub> punct x	
$n_p$	turația pompei de CO <sub>2</sub> lichid	
$\Delta p_{ac}$	cădere de presiune pe rezistență hidraulică RB1 + vaporizatoare	
$\Delta p_{ar}$	cădere de presiune pe rezistența hidraulică RB2 + condensatoare	
$t_4$	temperatura de intrare CO <sub>2</sub> în vaporizatoare	
$t_1$	temperatura de ieșire CO <sub>2</sub> din vaporizatoare	
$t_{iac}$	temperatura de intrare apă geotermală în vaporizatoare	
$t_{eac}$	temperatura de ieșire apă geotermală din vaporizatoare	
$m_{CO_2\ nom}$	cantitatea de CO <sub>2</sub> din centrala electrica geotermala	
$m_{ac\ nom}$	cantitatea de apă geotermală din vaporizatoare	
$K_1$	coeficientul global de schimb de căldură în vaporizatoare	
$S_V$	suprafața de vaporizare	
$m_{CO_2}$	debit CO <sub>2</sub> din centrala electrica	
$q_{CO_2\ x}$	debit CO <sub>2</sub> din componenta x centrala electrica	
$c_a$	căldura specifică apă	
$c_{CO_2}^{med\ v}$	căldura specifică medie CO <sub>2</sub> , în vaporizatoare	$c_{CO_2}^{med\ v} = \frac{(i_1 - i_4)_{nom}}{t_1 - t_4}$
$t_1$	temperatura de ieșire CO <sub>2</sub> din vaporizatoare	
$t_2$	temperatura de intrare CO <sub>2</sub> în condensatoare	
$t_3$	temperatura de ieșire CO <sub>2</sub> din condensatoare	
$t_4$	temperatura de intrare CO <sub>2</sub> în pompa de CO <sub>2</sub>	
$t_{iar}$	temperatura de intrare apa de răcire în condensatoare	
$t_{ear}$	temperatura de ieșire apa de răcire din condensatoare	
$m_{ar\ nom}$	cantitatea de apă de răcire	
$K_2$	coeficientul global de schimb de căldură în condensatoare	
$S_C$	suprafața de condensare	
$c_{CO_2}^{med\ c}$	căldura specifică medie CO <sub>2</sub> în condensare	$c_{CO_2}^{med\ c} = \frac{(i_2 - i_3)_{nom}}{t_2 - t_3}$
$R_{1\ nom}$	valoare nominală R <sub>1</sub> , $R_{1\ nom} = \frac{1}{K_1 \cdot S_V}$	
$R_{2\ nom}$	valoare nominală R <sub>2</sub> , $R_{2\ nom} = \frac{1}{K_2 \cdot S_C}$	
$n_p$	turație pompă CO <sub>2</sub>	
$c_{il}$	cilindree pompă CO <sub>2</sub>	
$k_h$	constanta vas tampon	

## ANEXA 4 – Încadrarea AP în centrala geotermală

Schema bloc a sistemului de monitorizare și control corespunzătoare complexului geotermal din universitatea orădeană este prezentat în figura A3\_4.1. Acest sistem a fost implementat în primă fază pentru stația sondei, stația pompelor și punctul termic.

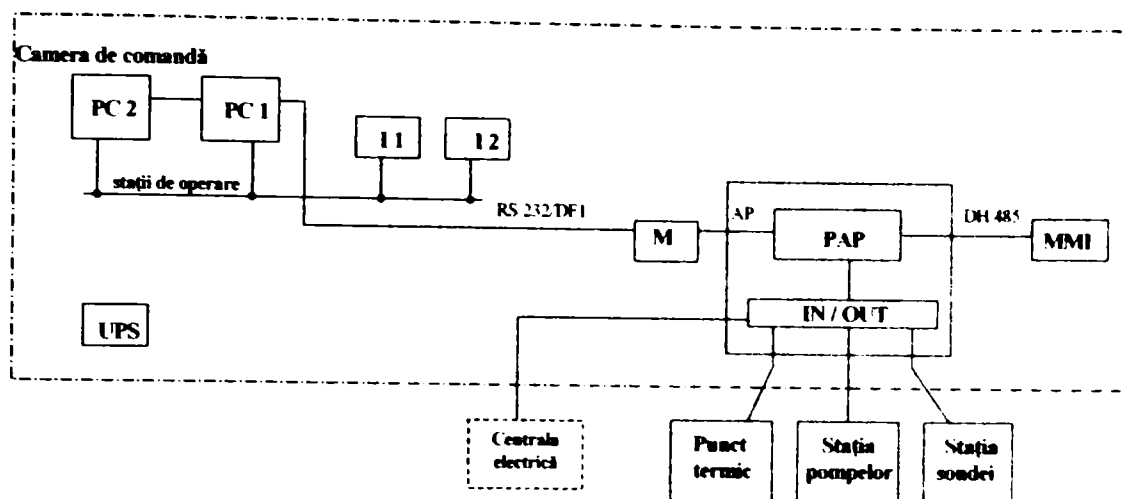


Figura A3\_4.1 Schema bloc sistem de monitorizare și control complex geotermal

AP a fost ales din familia Allen Bradley SLC-500. Procesorul utilizat (PAP) este de tipul SLC - 5/03, el satisfacând pe deplin cerințele performanță/cost ale aplicației date. AP este echipat cu mai multe module de I/O analogice și digitale (IN/OUT) prin intermediul cărora se realizează legăturile către procesul fizic, precum și cu o sursă neîntreruptibilă de tensiune (UPS), capabilă să asigure tensiunea aproximativ 20 de minute.

Cele două calculatoare personale (PC1 și PC2) prevăzute cu monitoare de 20" sunt utilizate pentru „monitorizare proces și control” prin intermediul interfeței grafice utilizator. Într-o schemă minimală era suficient un singur PC dar și în acest caz pentru mărirea fiabilității sistemului se utilizează o redundanță de tip 1 din 2. PC1 comunică direct cu AP pe linie serială (RS 232/DF1) fiind în același timp conectat în rețea cu PC2

În cazul defectării PC1 a fost prevăzut modulul DTAM Micro Operator Interface, prin intermediul căruia se poate realiza monitorizarea și controlul unui număr redus de parametri, în mod text. Utilizarea acestui mod e opțională, dublând (într-o mai mică măsură, evident), interfața grafică. Comunicarea cu AP este realizată prin intermediul portului de comunicare DH-485.

Pentru a satisface necesarul de intrări/ieșiri pentru aplicația dată, precum și pentru a prevedea posibilitatea unei extensii ulterioare (pentru centrala electrică), s-au prevăzut [10]:

- 12 module analogice de intrare: furnizează 4 canale de intrare analogice ( $\pm 10$  V,  $\pm 20$  mA) pe 16 biți; nu necesită sursă de alimentare externă
- 1 modul analogic de ieșire: furnizează 4 canale de ieșire analogice (0 ... 20 mA) pe 16 biți; nu necesită sursă de alimentare externă
- 5 module de intrare digitale: furnizează 32 de canale de intrare digitale (24 V CC)
- 2 module de ieșire digitale: furnizează 32 de canale de ieșire digitale (10/50 V CC) dintre care unul este momentan neutilizat

Structura generală hardware a AP este sintetizată prin schema din figura A3\_4.2.

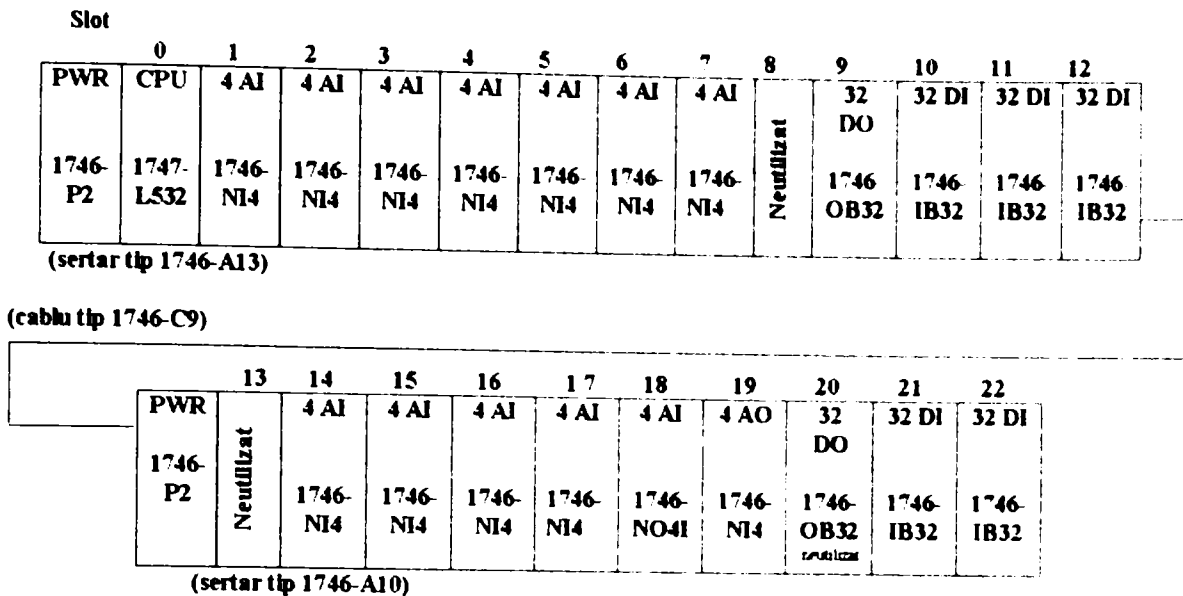


Figura A3\_4.2. Structura generală hardware a AP.

Pentru dezvoltarea programului din AP s-a utilizat mediul de programare Advanced Programming Software (APS), specific automatelor programabile din familia Allen Bradley. Din punctul de vedere al clasificării realizate în subcapitolul 2.7.xx, APS face parte din categoria software-urilor dedicate pentru controlul industrial, de tip block-structured.

La implementarea propriu-zisă a programului s-a ținut cont de specificul aplicației precum și de modul de funcționare al unui AP: faptul că un program poate fi considerat ca o buclă permanentă, în cadrul căreia instrucțiunile sunt executate secvențial, conform programului principal (abordare ciclică). În ceea ce privește modalitatea de operare cu mărimile de intrare și de ieșire se precizează că programul din AP citește la începutul fiecărei perioade de scanare toate intrările. Acestea sunt apoi stocate în memorie, creindu-se așa-numita imagine a intrărilor (input image). Atunci când în cadrul ciclului de scanare programul are nevoie de valoarea unei anumite intrări, el citește valoarea memorată la locația corespunzătoare imaginii sale din memorie la începutul perioadei de scanare curente. În mod analog sunt tratate și ieșirile: acestea nu se schimbă instantaneu ci, după ce zona de memorie corespunzătoare imaginii acestora este schimbată de program. La sfârșitul fiecărei perioade de scanare toate ieșirile sunt actualizate simultan.

La dectarea de către AP a unei căderi de tensiune este setat fanionul corespunzător din memoria sa, indicând faptul că sistemul s-a oprit datorită unei căderi de tensiune, realizează stocarea în memorie a tuturor setărilor reguletoarelor (datele necesare controlului) și oprirea tuturor motoarelor. La revenirea tensiunii AP va reporni sistemul automat utilizând datele stocate în memorie, deci aducând sistemul în starea în care se afla înainte de căderea tensiunii.

Programarea propriu-zisă a AP se poate realiza utilizând un terminal grafic sau orice calculator personal compatibil IBM PC (PC1 sau PC2). În cazul utilizării mediului Microsoft Windows, APS poate rula în cadrul aceleiași sesiuni de lucru cu alte programe: în aplicațiile concrete acestea sunt acelea care realizează interfața cu utilizatorul. Această facilitate a fost utilizată în cazul aplicației: adică a fost utilizat pentru programare calculatorul PC1 pe care a fost realizată și interfața cu utilizatorul; după ce programul a fost realizat, acesta a fost descărcat (downloaded) în AP.

## ANEXA 5 - Funcția „Sist.de decizie si comut. t<sub>1</sub>”

În această aneză se prezintă în detaliu modalitatea de implementare a funcției notate în cadrul subcapitolul 4.1 „Sist.de decizie si comut. t<sub>1</sub>” (*traductor\_r2(e)*) care utilizează ca mărimi de intrare valorile măsurate de cele două traductoare TT1 (*e(1)*) și TT1r (*e(2)*), și de către traductorul Teac(*e(3)*), mărimea de ieșire corespunzătoare lui t<sub>1</sub>\_masurat (*temp\_t1*), variabila *contor* corespunzătoare intervalului de scanare, valoarea medie a ultimelor 5 valori citite de la fiecare traductor care realizează măsurarea temperaturii t<sub>1</sub>(*mc\_t1*, *mc\_t1r*) și a temperaturii teac (*mc\_te*), suma variațiilor valorilor medii masurate de traductoarele (*sumvar\_t1*, *sumvar\_t1r*, *sumvar\_te*) și alte mărimi intermediare necesare pentru calculele ce trebuie realizate în vederea implementării sistemului de decizie și comutare.

```
function temp_t1=traductor_r2(e)
```

```
global contor;
global st1r;
global ste;
global vt1r_5;
global vt1r_4;
global vt1r_3;
global vt1r_2;
global vt1r_1;
global vte_5;
global vte_4;
global vte_3;
global vte_2;
global vte_1;
global m1_t1r;
global m1_te;
global sumvar_t1r;
global sumvar_te;
global m1_t1;
global vt1_5;
global vt1_4;
global vt1_3;
global vt1_2;
global vt1_1;
global sumvar_t1;
global delta_sumtt1r;
global delta_teac;
global gdelta_tt1r;
global gdelta_teac;
global a;
global a1;
%citire curenta
contor=contor+1
if contor<44850
    temp_t1=e(1)
elseif contor==44850
    temp_t1=e(1)
    vte_5=e(3);
    vte_4=e(3);
    vte_3=e(3);
    vte_2=e(3);
    vte_1=e(3);
    m1_te=e(3)
```

```

vtl_5=e(1);
vtl_4=e(1);
vtl_3=e(1);
vtl_2=e(1);
vtl_1=e(1);
ml_tl=e(1)
vtlr_5=e(2);
vtlr_4=e(2);
vtlr_3=e(2);
vtlr_2=e(2);
vtlr_1=e(2);
ml_tlr=e(2);
else
if a==0
temp_tl=e(1)
vtlr_5=vtlr_4;
vtlr_4=vtlr_3;
vtlr_3=vtlr_2;
vtlr_2=vtlr_1;
vtlr_1=e(2);
stlr=vtlr_1+vtlr_2+vtlr_3+vtlr_4+vtlr_5;
mc_tlr=stlr/5;
var_tlr=mc_tlr-ml_tlr;
sumvar_tlr=sumvar_tlr+var_tlr;
vtl_5=vtl_4;
vtl_4=vtl_3;
vtl_3=vtl_2;
vtl_2=vtl_1;
vtl_1=e(1);
stl=vtl_1+vtl_2+vtl_3+vtl_4+vtl_5;
mc_tl=stl/5;
var_tl=mc_tl-ml_tl;
sumvar_tl=sumvar_tl+var_tl;
vte_5=vte_4;
vte_4=vte_3;
vte_3=vte_2;
vte_2=vte_1;
vte_1=e(3);
ste=vte_1+vte_2+vte_3+vte_4+vte_5;
mc_te=ste/5;
var_te=mc_te-ml_te;
sumvar_te=sumvar_te+var_te;
if sign(sumvar_tlr)==sign(sumvar_te) & abs(sumvar_tlr)>gdelta_ttlr &
abs(sumvar_te)>gdelta_teac
beep
a=1;
input('TT1 este defect')
temp_tl=e(2);
elseif abs(sumvar_tlr)>delta_sumttlr & abs(sumvar_te)<delta_teac
beep
a=2;
input('TT1r este defect')
temp_tl=e(1);
end
elseif a==1

```

```
temp_t1=e(2);  
elseif a==2  
temp_t1=e(1);  
end  
end
```



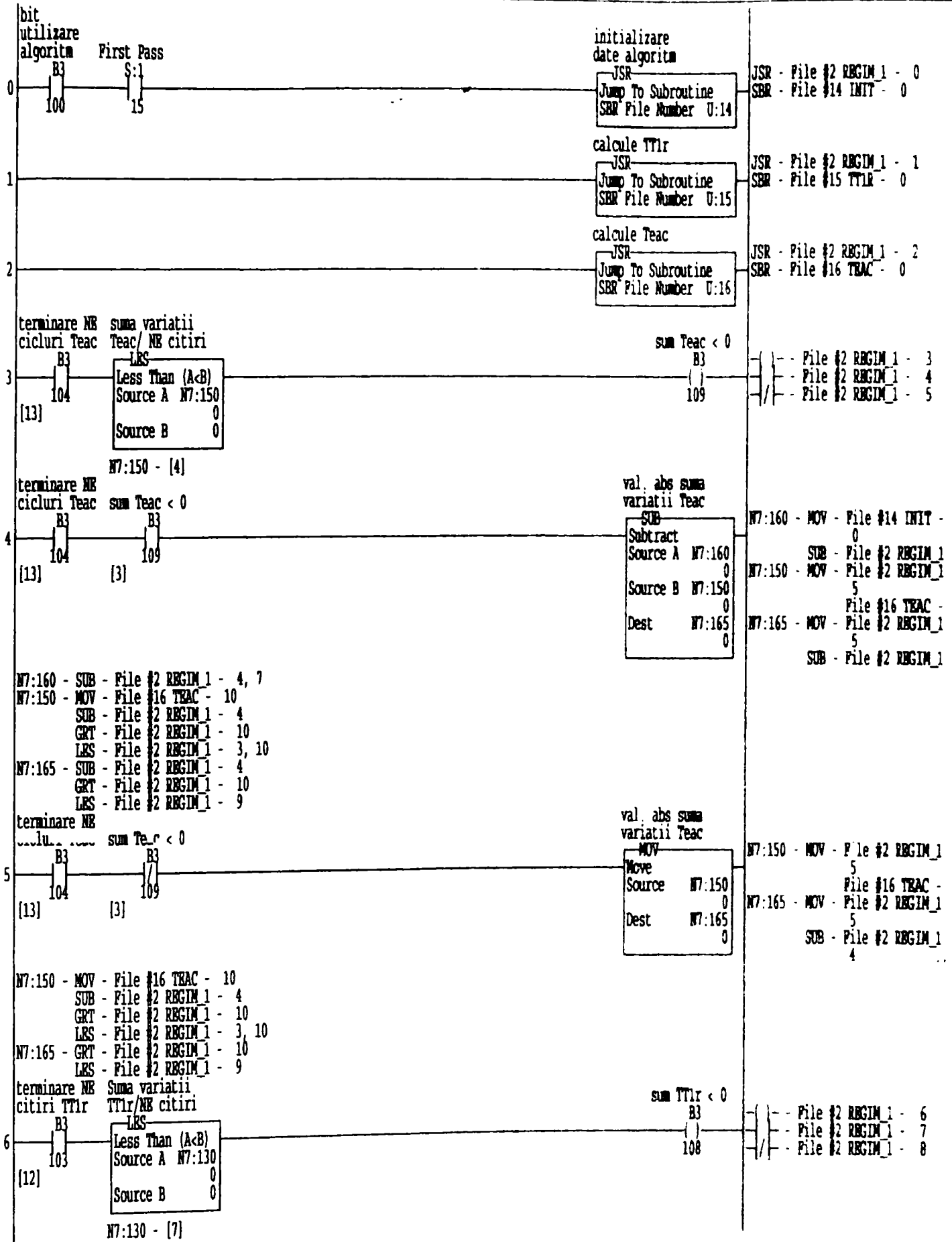
## **ANEXA 6 - Subrutina Regim\_1\_t1**

Subrutina Regim\_1\_t1 implementată în cadrul programului principal fisier #2 implementat pe AP în fisierul # 35 a fost testat în prima fază ca proiect separat salvat sub numele GG\_R1 care conține subprogramul principal notat REGIM\_1 și subrutinele INIT, TTIR, TEAC care sunt chiar subrutinele prezentate și la care se face referire în figura 4.1.10.

Programul sursă utilizat pentru testare înaintea includerii acestuia în programul principal existent, este prezentat în detaliu în cadrul acestei anexe, utilizându-se modalitatea de creare și listare a rapoartelor direct din mediul de programare APS.

PLC-500 LADDER LOGISTICS - Rockwell Software Inc.  
Revision v8.04

Project Name:GG\_R1  
Time/Date:08:00 09/12/04



**PRINTER CONFIGURATION:**

Printer Device Name...: HPLJBT  
 Printer Device Desc...: Hewlett Packard LaserJet Series II Compatible  
 Use IBM Graphics.....: Yes  
 Allows Enhanced Mode.: Yes  
 Paper Type (w/h).....: Custom 8 x 10  
 Normal Chars/Inch.....: 10  
 Compressed Chars/Inch: 20  
 Lines per Inch.....: 8  
 Print Initialize.....: 27 69 27 38 108 48 79 27 38 107 48 83 27 38 108 56 68 27 40 49 48 85  
 Compressed Print.....: 27 38 107 50 83 27 38 107 54 72  
 Normal Print.....: 27 38 107 48 83 27 38 107 49 50 72  
 Expanded Print.....: 27 38 107 48 83 27 38 107 49 50 72

**REPORT CONFIGURATION:**

Report Configuration File: C:\SLC500\PROGS\TEST1\DEFAULT.RCF  
 Ladder Report.....: Yes  
 Xref Report.....: No  
 Data Table Dump Report...: No  
 Data Table Usage Report...: No  
 Data Base Form.....: Address  
 Unused Address Report....: No  
 Program File List Report..: Yes  
 Data File List Report....: No  
 Sequencer Data Report....: No  
 Processor Config Report...: No  
 Rack Description Report...: Overview+Full  
 I/O Parts List Report....: Yes  
 Revision History.....: Yes  
 Table of Contents.....: Yes

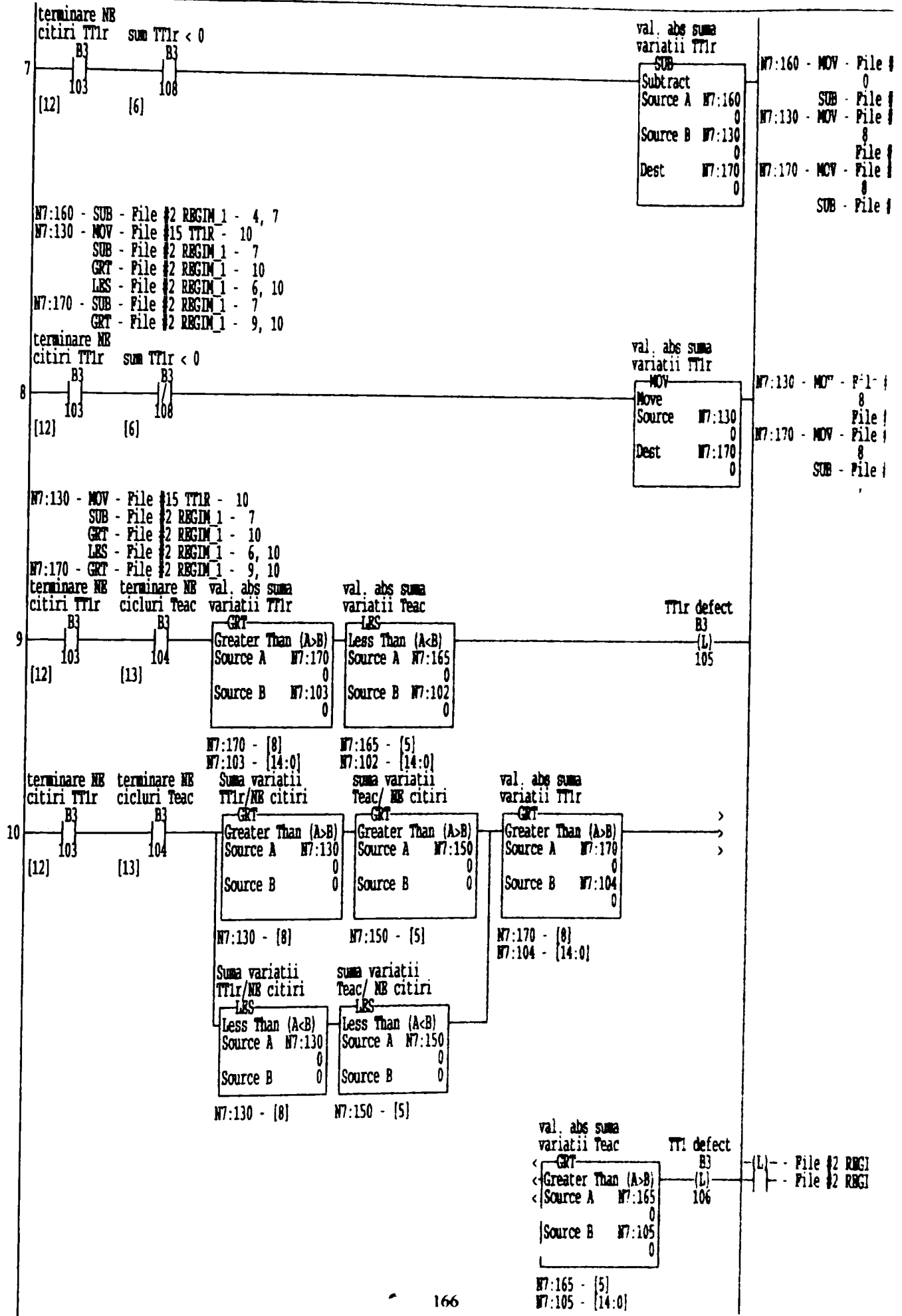
**LADDER REPORT CONFIGURATION:**

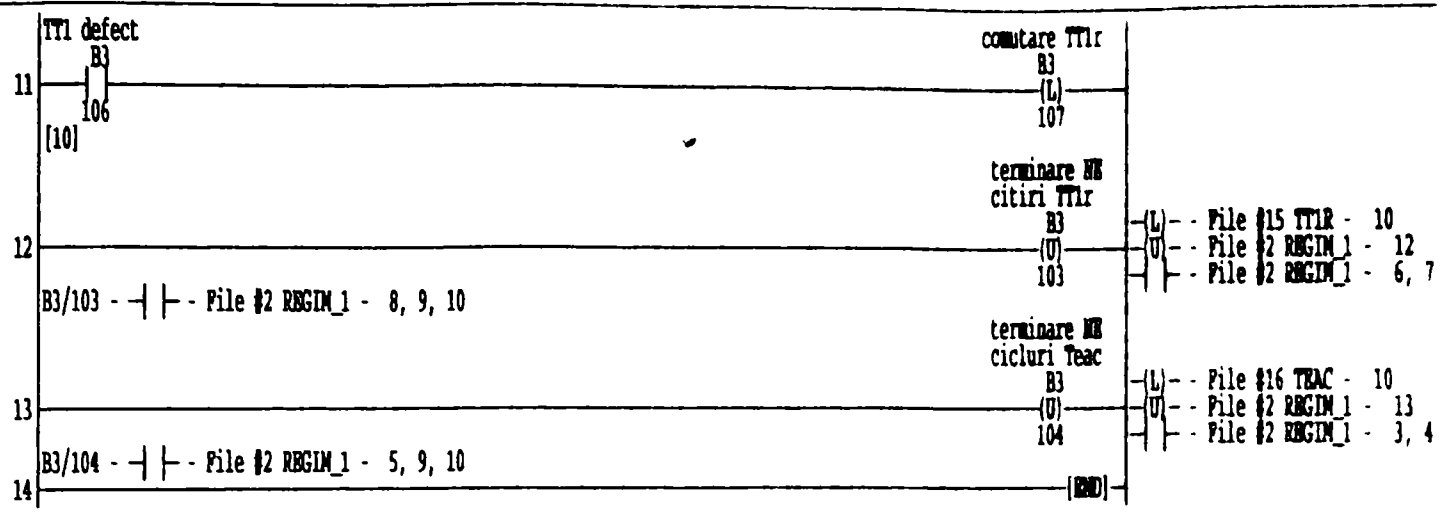
Rung Print List.....: ALL  
 Ladder Print Mode.....: Compressed  
 Rung Desc. Print Mode....: Fit in Rung  
 Box Rung Description.....: No  
 Chk Page on Vert Split...: No  
 # of Des Lines to print...: 5  
 Symbolic Mode.....: Normal  
 Show I/O Cards.....: Yes  
 Output Xref.....: Side/Below  
 Input Xref.....: Yes  
 Ladder Xref Print Mode...: Normal  
 Ignore Xref Disable Flg...: No  
 Force Addr on Side xref...: No  
 Side Xref Column Width...: 32  
 Print Right Power Rail...: Yes  
 Print MSG/PID Config.....: No

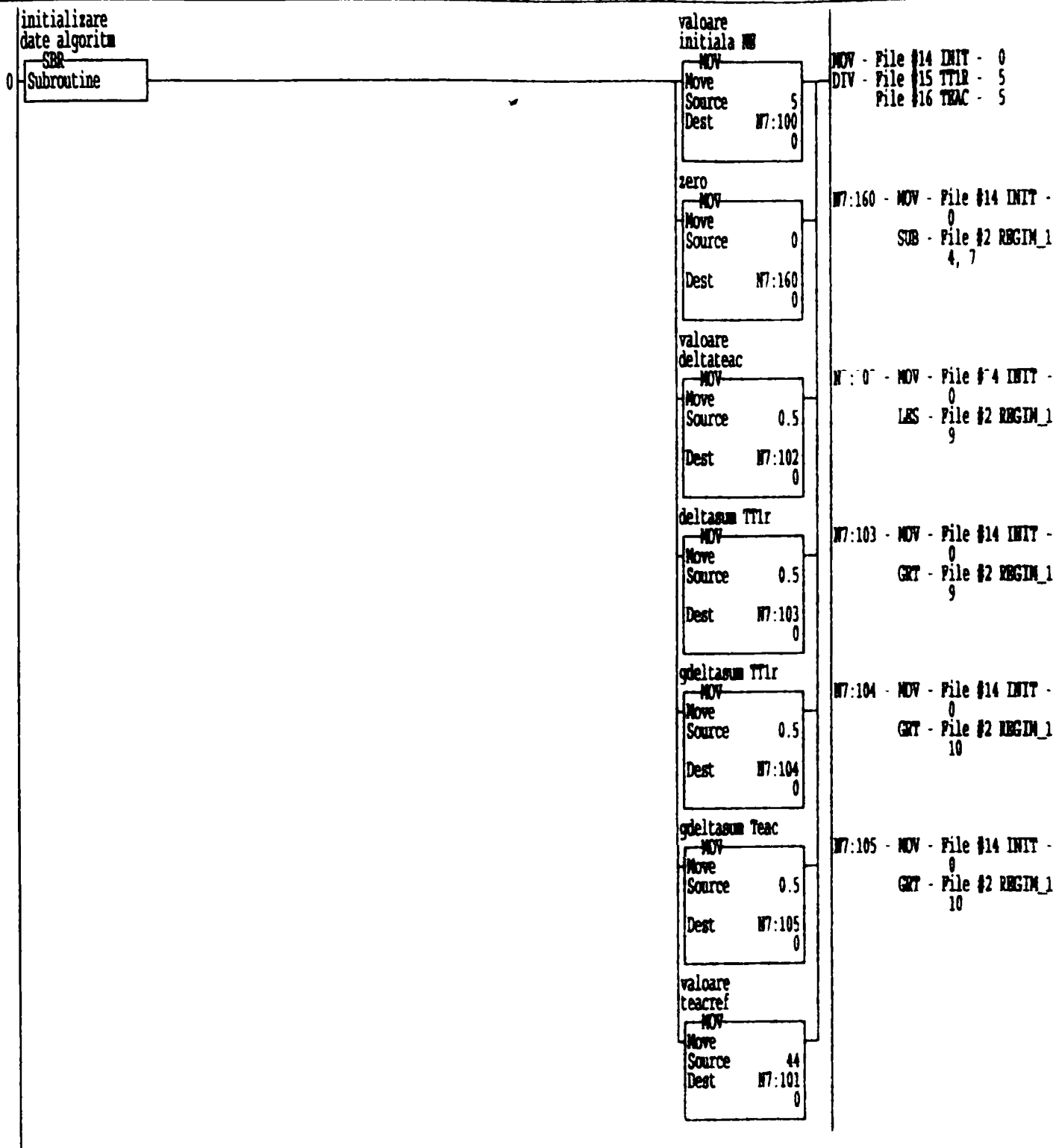
## Program File List

Number of Program Files:17

Name	File	Sub-Program	Description
	0		{SYSTEM DATA STORAGE HEADER}
	1		{RESERVED AREA}
REGIM_1	2		determinare traductor corect masurare t1
INIT	14		initializari algoritm
TT1R	15		calcule TT1r
TRAC	16		calcule Teac





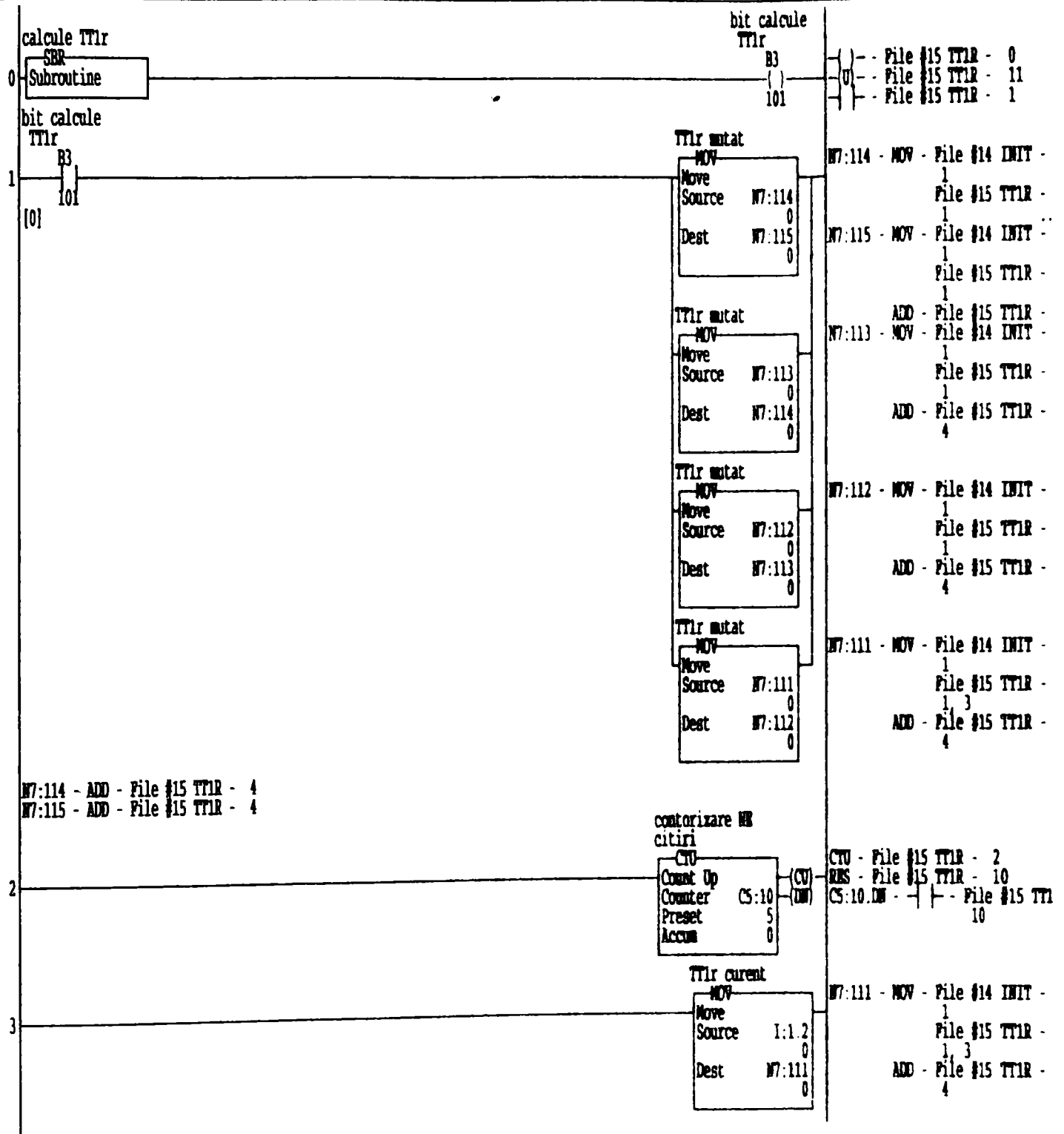




1	TTlr curent	MOV Move Source 0 Dest W7:111 0	MOV - File #14 INIT - 1 File #15 TT1R - 1, 3 ADD - File #15 TT1R - 4
	TTlr mutat	MOV Move Source 0 Dest W7:112 0	W7:112 - MOV - File #14 INIT - 1 File #15 TT1R - 1 ADD - File #15 TT1R - 4
	TTlr mutat	MOV Move Source 0 Dest W7:113 0	W7:113 - MOV - File #14 INIT - 1 File #15 TT1R - 1 ADD - File #15 TT1R - 4
	TTlr mutat	MOV Move Source 0 Dest W7:114 0	W7:114 - MOV - File #14 INIT - 1 File #15 TT1R - 1 ADD - File #15 TT1R - 4
	TTlr mutat	MOV Move Source 0 Dest W7:115 0	W7:115 - MOV - File #14 INIT - 1 File #15 TT1R - 1 ADD - File #15 TT1R - 4
	suma NB valori TTlr	MOV Move Source 0 Dest W7:120 0	W7:120 - MOV - File #14 INIT - 1 File #15 TT1R - 6 ADD - File #15 TT1R - 4 DIV - File #15 TT1R - 5
	suma variatii TTlr	MOV Move Source 0 Dest W7:125 0	W7:125 - MOV - File #14 INIT - 1 File #15 TT1R - 10 ADD - File #15 TT1R - 9
	valoare medie anterioara TTlr	MOV Move Source 60 Dest W7:122 0	W7:122 - MOV - File #14 INIT - 1 File #15 TT1R - 8 SUB - File #15 TT1R - 7

2	Teac curent	MOV - File #14 INIT - 2
	MOV	File #16 TEAC - 1, 3
	Move	ADD - File #16 TEAC - 4
	Source 0	
	Dest N7:131	
	0	
	Teac mutat	N7:132 - MOV - File #14 INIT - 2
	MOV	File #16 TEAC - 1
	Move	ADD - File #16 TEAC - 4
	Source 0	
	Dest N7:132	
	0	
	Teac mutat	N7:133 - MOV - File #14 INIT - 2
	MOV	File #16 TEAC - 1
Move	ADD - File #16 TEAC - 4	
Source 0		
Dest N7:133		
0		
Teac mutat	N7:134 - MOV - File #14 INIT - 2	
MOV	File #16 TEAC - 1	
Move	ADD - File #16 TEAC - 4	
Source 0		
Dest N7:134		
0		
Teac mutat	N7:135 - MOV - File #14 INIT - 2	
MOV	File #16 TEAC - 1	
Move	ADD - File #16 TEAC - 4	
Source 0		
Dest N7:135		
0		
suma PE valori		
Teac	N7:140 - MOV - File #14 INIT - 2	
MOV	File #16 TEAC - 6	
Move	ADD - File #16 TEAC - 4	
Source 0		
Dest N7:140		
0	DIV - File #16 TEAC - 5	
Teac		
suma variatii		
Teac	N7:145 - MOV - File #14 INIT - 2	
MOV	File #16 TEAC - 10	
Move	ADD - File #16 TEAC - 9	
Source 0		
Dest N7:145		
0		
valoare medie		
anterioara Teac	N7:142 - MOV - File #14 INIT - 2	
MOV	File #16 TEAC - 8	
Move	SUB - File #16 TEAC - 7	
Source 44		
Dest N7:142		
0		
	(END)	

3

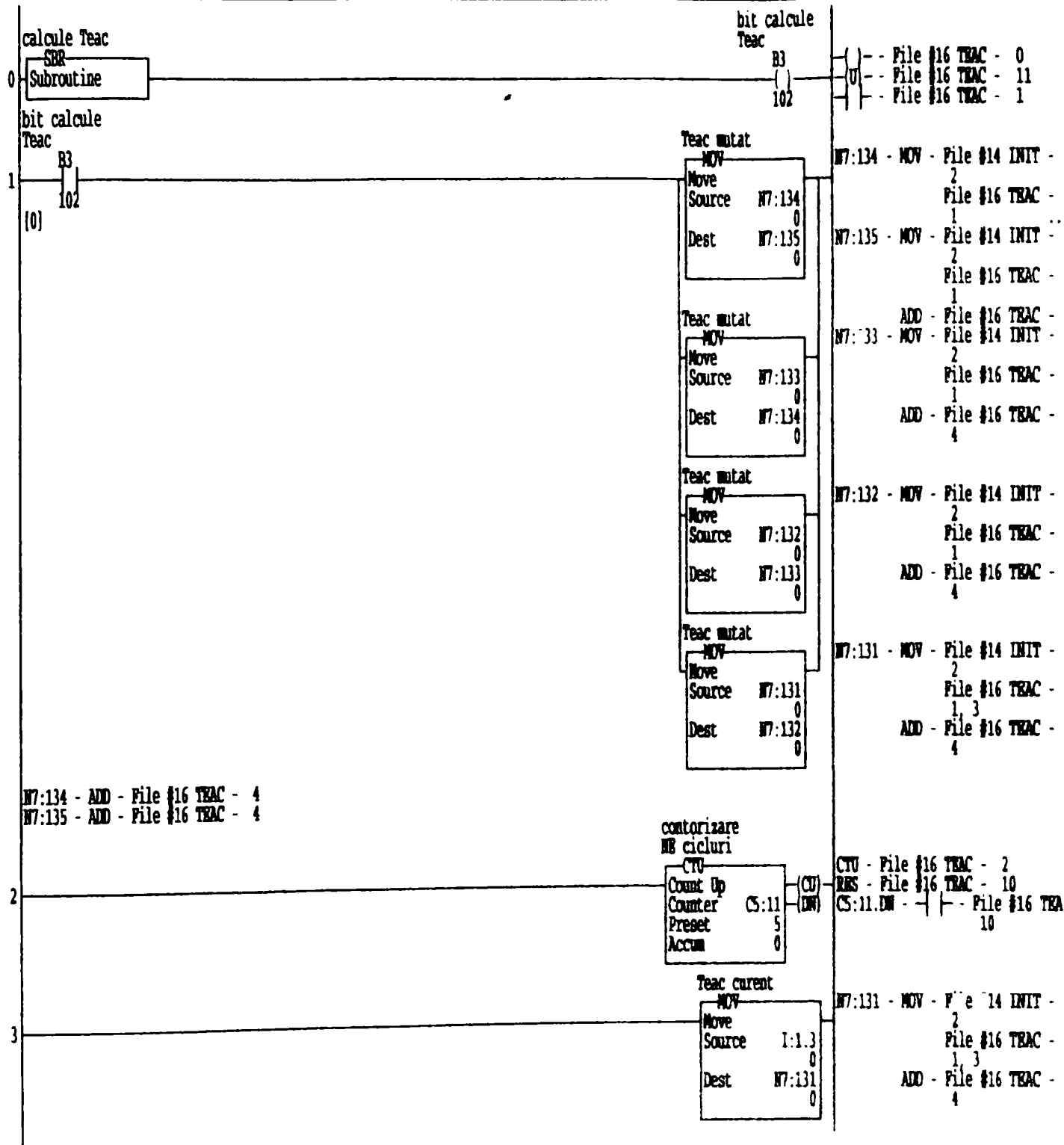


	<p>suma NR valori TT1r</p> <p>ADD</p> <p>Add</p> <p>Source A N7:111 0</p> <p>Source B N7:120 0</p> <p>Dest N7:120 0</p>	<p>N7:111 - MOV - File #14 INIT - 1</p> <p>File #15 TT1R - 1,3</p> <p>ADD - File #15 TT1R - 4</p> <p>N7:120 - MOV - File #14 INIT - 1</p> <p>File #15 TT1R - 6</p> <p>ADD - File #15 TT1R - 4</p>
	<p>suma NR valori TT1r</p> <p>ADD</p> <p>Add</p> <p>Source A N7:112 0</p> <p>Source B N7:120 0</p> <p>Dest N7:120 0</p>	<p>N7:112 - MOV - File #14 INIT - 1</p> <p>File #15 TT1R - 1</p> <p>ADD - File #15 TT1R - 4</p>
	<p>suma NR valori TT1r</p> <p>ADD</p> <p>Add</p> <p>Source A N7:113 0</p> <p>Source B N7:120 0</p> <p>Dest N7:120 0</p>	<p>N7:113 - MOV - File #14 INIT - 1</p> <p>File #15 TT1R - 1</p> <p>ADD - File #15 TT1R - 4</p>
	<p>suma NR valori TT1r</p> <p>ADD</p> <p>Add</p> <p>Source A N7:114 0</p> <p>Source B N7:120 0</p> <p>Dest N7:120 0</p>	<p>N7:114 - MOV - File #14 INIT - 1</p> <p>File #15 TT1R - 1</p> <p>ADD - File #15 TT1R - 4</p>
	<p>suma NR valori TT1r</p> <p>ADD</p> <p>Add</p> <p>Source A N7:115 0</p> <p>Source B N7:120 0</p> <p>Dest N7:120 0</p>	<p>N7:115 - MOV - File #14 INIT - 1</p> <p>File #15 TT1R - 1</p> <p>ADD - File #15 TT1R - 4</p>
<p>N7:120 - DIV - File #15 TT1R - 5</p>		
<p>N7:120 - MOV - File #15 TT1R - 6</p> <p>ADD - File #15 TT1R - 4</p> <p>DIV - File #15 TT1R - 5</p>	<p>valoare medie curenta TT1r</p> <p>DIV</p> <p>Divide</p> <p>Source A N7:120 0</p> <p>Source B N7:100 0</p> <p>Dest N7:121 0</p>	<p>N7:120 - MOV - File #14 INIT - 1</p> <p>File #15 TT1R - 1</p> <p>N7:100 - MOV - File #14 INIT - 0</p> <p>DIV - File #15 TT1R - 8</p> <p>N7:121 - MOV - File #15 TT1R - 8</p> <p>SUB - File #15 TT1R - 8</p>

b

<p>N7: 00 - DIV - File #15 TT1R - 5                  File #16 TRAC - 5                  N7:121 - SUB - File #15 TT1R - 7                  DIV - File #15 TT1R - 5</p>	<p>suma NB valori TT1r</p> <table border="1"> <tr><td>MOV</td></tr> <tr><td>Move</td></tr> <tr><td>Source 0</td></tr> <tr><td>Dest N7:120</td></tr> <tr><td>0</td></tr> </table>	MOV	Move	Source 0	Dest N7:120	0	<p>MOV - File #14 INIT - 1                  File #15 TT1R - 6                  ADD - File #15 TT1R - 4                  DIV - File #15 TT1R - 5</p>			
MOV										
Move										
Source 0										
Dest N7:120										
0										
<p>N7:121 - SUB - File #15 TT1R - 7                  DIV - File #15 TT1R - 5                  N7:122 - MOV - File #15 TT1R - 8                  SUB - File #15 TT1R - 7                  N7:123 - SUB - File #15 TT1R - 7</p>	<p>variatie curenta TT1r</p> <table border="1"> <tr><td>SUB</td></tr> <tr><td>Subtract</td></tr> <tr><td>Source A N7:121</td></tr> <tr><td>0</td></tr> <tr><td>Source B N7:122</td></tr> <tr><td>0</td></tr> <tr><td>Dest N7:123</td></tr> <tr><td>0</td></tr> </table>	SUB	Subtract	Source A N7:121	0	Source B N7:122	0	Dest N7:123	0	<p>N7:121 - MOV - File #15 TT1R - 8                  SUB - File #15 TT1R - 8                  N7:122 - MOV - File #14 INIT - 1                  File #15 TT1R - 1                  N7:123 - ADD - File #15 TT1R - 9                  SUB - File #15 TT1R - 9</p>
SUB										
Subtract										
Source A N7:121										
0										
Source B N7:122										
0										
Dest N7:123										
0										
<p>N7:121 - SUB - File #15 TT1R - 7                  DIV - File #15 TT1R - 5                  N7:122 - SUB - File #15 TT1R - 7</p>	<p>valoare medie anterioara TT1r</p> <table border="1"> <tr><td>MOV</td></tr> <tr><td>Move</td></tr> <tr><td>Source N7:121</td></tr> <tr><td>0</td></tr> <tr><td>Dest N7:122</td></tr> <tr><td>0</td></tr> </table>	MOV	Move	Source N7:121	0	Dest N7:122	0	<p>N7:121 - MOV - File #15 TT1R - 8                  SUB - File #15 TT1R - 8                  N7:122 - MOV - File #14 INIT - 1                  File #15 TT1R - 1                  SUB - File #15 TT1R - 8</p>		
MOV										
Move										
Source N7:121										
0										
Dest N7:122										
0										
<p>N7:125 - ADD - File #15 TT1R - 9                  terminare NB citiri CS:10</p>	<p>suma variatii TT1r</p> <table border="1"> <tr><td>ADD</td></tr> <tr><td>Add</td></tr> <tr><td>Source A N7:125</td></tr> <tr><td>0</td></tr> <tr><td>Source B N7:123</td></tr> <tr><td>0</td></tr> <tr><td>Dest N7:125</td></tr> <tr><td>0</td></tr> </table>	ADD	Add	Source A N7:125	0	Source B N7:123	0	Dest N7:125	0	<p>N7:125 - MOV - File #14 INIT - 1                  File #15 TT1R - 10                  N7:123 - ADD - File #15 TT1R - 9                  SUB - File #15 TT1R - 7</p>
ADD										
Add										
Source A N7:125										
0										
Source B N7:123										
0										
Dest N7:125										
0										
<p>[10]                  DN</p>	<p>Suma variatii TT1r/NB citiri</p> <table border="1"> <tr><td>MOV</td></tr> <tr><td>Move</td></tr> <tr><td>Source N7:125</td></tr> <tr><td>0</td></tr> <tr><td>Dest N7:130</td></tr> <tr><td>0</td></tr> </table>	MOV	Move	Source N7:125	0	Dest N7:130	0	<p>N7:125 - MOV - File #14 INIT - 1                  File #15 TT1R - 10                  N7:130 - MOV - File #2 REGIM_1                  File #15 TT1R - 10</p>		
MOV										
Move										
Source N7:125										
0										
Dest N7:130										
0										
<p>terminare NB citiri TT1r B3 (L) 103 contorizare NB citiri CS:10 [RBS]</p>	<p>terminare NB citiri TT1r B3 (L) 103 contorizare NB citiri CS:10 [RBS]</p>	<p>B3/103 - (L) - File #15 TT1R - 10                  -(O) - File #2 REGIM_1 - 12                  CS:10 - CTU - File #15 TT1R - 6, 7, 8, 9, 1                  RBS - File #15 TT1R -</p>								

N7:125 - ADD - File #15 TT1R - 9			
N7:130 - SUB - File #2 REGIM_1 - 7			
GRT - File #2 REGIM_1 - 10			
LRS - File #2 REGIM_1 - 6, 10			
CS:10 - RRS - File #15 TT1R - 10			
CS:10.DN -   - File #15 TT1R - 10			
		bit calculc	
		TT1R	
		B3	- File #15 TT1R - 0
11		(U)	- File #15 TT1R - 11
		101	- File #15 TT1R - 1
12		(END)	



N7:134 - ADD - File #16 TEAC - 4  
 N7:135 - ADD - File #16 TEAC - 4

4	suma NE valori Teac	ADD	N7:140 - MOV - File #14 INIT -
	Add		2
	Source A N7:140		File #16 TRAC -
	Source B N7:131		6
	Dest N7:140		ADD - File #16 TRAC -
	suma NE valori Teac	ADD	N7:131 - MOV - File #14 INIT -
	Add		2
	Source A N7:140		File #16 TRAC -
	Source B N7:132		1, 3
	Dest N7:140		ADD - File #16 TRAC -
	suma NE valori Teac	ADD	N7:132 - MOV - File #14 INIT -
	Add		2
	Source A N7:140		File #16 TRAC -
	Source B N7:133		1
	Dest N7:140		ADD - File #16 TRAC -
	suma NE valori Teac	ADD	N7:133 - MOV - File #14 INIT -
	Add		2
	Source A N7:140		File #16 TRAC -
	Source B N7:134		1
	Dest N7:140		ADD - File #16 TRAC -
	suma NE valori Teac	ADD	N7:134 - MOV - File #14 INIT -
	Add		2
	Source A N7:140		File #16 TRAC -
	Source B N7:135		1
	Dest N7:140		ADD - File #16 TRAC -
	suma NE valori Teac	ADD	N7:135 - MOV - File #14 INIT -
	Add		2
	Source A N7:140		File #16 TRAC -
	Source B N7:100		0
	Dest N7:141		DIV - File #15 TT1R -
5	medie curenta Teac	DIV	N7:141 - MOV - File #16 TRAC -
	Divide		8
	Source A N7:140		SUB - File #16 TRAC -
	Source B N7:100		
	Dest N7:141		
N7:140 - DIV - File #16 TRAC - 5			
N7:140 - MOV - File #16 TRAC - 6			
ADD - File #16 TRAC - 4			
DIV - File #16 TRAC - 5			

2



N7:100 - DIV - File #15 TTIR - 5  
           File #16 TEAC - 5  
 N7:141 - SUB - File #16 TEAC - 7  
           DIV - File #16 TEAC - 5

suma NR valori  
Teac

MOV
Move
Source
0
Dest
N7:140
0

MOV - File #14 INIT - 2  
           File #16 TEAC - 6  
 ADD - File #16 TEAC - 4  
 DIV - File #16 TEAC - 5

variatie  
curenta Teac

SUB
Subtract
Source A
N7:141
0
Source B
N7:142
0
Dest
N7:143
0

N7:141 - MOV - File #16 TEAC - 8  
           SUB - File #16 TEAC - 8  
 N7:142 - MOV - File #14 INIT - 2  
           File #16 TEAC - 2  
 N7:143 - ADD - File #16 TEAC - 9  
           SUB - File #16 TEAC - 9

N7:141 - SUB - File #16 TEAC - 7  
           DIV - File #16 TEAC - 5  
 N7:142 - MOV - File #16 TEAC - 8  
           SUB - File #16 TEAC - 7  
 N7:143 - SUB - File #16 TEAC - 7

valoarea medie  
anterioara Teac

MOV
Move
Source
N7:141
0
Dest
N7:142
0

N7:141 - MOV - File #16 TEAC - 8  
           SUB - File #16 TEAC - 8  
 N7:142 - MOV - File #14 INIT - 2  
           File #16 TEAC - 2

N7:141 - SUB - File #16 TEAC - 7  
           DIV - File #16 TEAC - 5  
 N7:142 - SUB - File #16 TEAC - 7

suma variatii  
Teac

ADD
Add
Source A
N7:145
0
Source B
N7:143
0
Dest
N7:145
0

N7:145 - MOV - File #14 INIT - 2  
           File #16 TEAC - 10  
 ADD - File #16 TEAC - 10  
 N7:143 - ADD - File #16 TEAC - 9  
           SUB - File #16 TEAC - 7

N7:145 - ADD - File #16 \_\_\_\_\_ - 9  
 termina NR  
 cicluri

suma variatii  
Teac/ NR citir

MOV
Move
Source
N7:145
0
Dest
N7:150
0

N7:145 - MOV - File #14 INIT - 2  
           File #16 TEAC - 10  
 ADD - File #16 TEAC - 10  
 N7:150 - MOV - File #2 RBGIM\_1  
           File #16 TEAC - 5

CS:11  
 DN  
 [10]

terminare NR  
cicluri Teac

B3
(L)
104

3/104 - (L) - File #16 TEAC - 10  
 (U) - File #2 RBGIM\_13  
 + - File #2 RBGIM\_13

contorizare  
NR cicluri

CS:11
[RBS]

CS:11 - CTU - File #16 TEAC - 9  
 RBS - File #16 TEAC - 9

N7:145 - ADD - File #16 TRAC - 9		
N7:150 - SUB - File #2 REGIM 1 - 4		
GRT - File #2 REGIM 1 - 10		
LES - File #2 REGIM 1 - 3, 10		
CS:11 - RES - File #16 TRAC - 10		
CS:11.DN -   - File #16 TRAC - 10		
	bit calcul	
	Teac	
	B3	- File #16 TRAC - 0
11	(U)	- File #16 TRAC - 11
	102	- File #16 TRAC - 1
12	(END)	

## ANEXA 7 - Funcția „Sist.de decizie si comut. t<sub>3</sub>”

În cadrul acestei anexe se prezintă în detaliu modalitatea de implementare a funcției notate în cadrul subcapitolului 4.2 „Sist.de decizie si comut. t<sub>3</sub>” (*traductor\_r3(e)*) care utilizează ca mărimi de intrare valorile măsurate de cele trei traductoare TT3(*e(1)*), TT3r1(*e(2)*) și TT3r2(*e(3)*), și de către traductorul Tear (*e(4)*) mărimea de ieșire corespunzătoare lui t<sub>3</sub>\_masurat (*temp\_t3*), variabila contor corespunzătoare intervalului de scanare, valoarea medie a ultimelor 5 valori citite de la fiecare traductor care realizează măsurarea temperaturii t<sub>3</sub> (*mc\_t3*, *mc\_t3r1*, *mc\_t3r2*) și a temperaturii tear (*mc\_te*), suma variațiilor valorilor medii masurate de traductoare (*sumvar\_t3*, *sumvar\_t3r1*, *sumvar\_t3r2*, *sumvar\_te*) și alte mărimi intermediare necesare pentru calculele ce trebuie realizate în vederea implementării sistemului de decizie și comutare.

```
function temp_t3=traductor_r3(e)
global contor;
global contor1;
global h;
global st3r1;
global st3r2;
global st3;
global ste;
global vt3r1_5;
global vt3r1_4;
global vt3r1_3;
global vt3r1_2;
global vt3r1_1;
global vt3r2_5;
global vt3r2_4;
global vt3r2_3;
global vt3r2_2;
global vt3r2_1;
global vte_5;
global vte_4;
global vte_3;
global vte_2;
global vte_1;
global vt3_5;
global vt3_4;
global vt3_3;
global vt3_2;
global vt3_1;
global m1_t3r1;
global m1_t3;
global m1_t3r2;
global m1_te;
global mc_t3r1;
global mc_t3;
global mc_t3r2;
global mc_te;
global sumvar_t3r1;
global sumvar_t3r2;
global sumvar_t3;
global sumvar_te;
global delta_t3;
global delta_tear;
```

```

global delta_tt3;
global a;
global a1;
global ct1;
%%citire curenta
contor=contor+1
if contor<2500          %%contor<=29650
    temp_t3=(e(1)+e(2)+e(3))/3
elseif contor==2500
    temp_t3=(e(1)+e(2)+e(3))/3
    vt3r1_5=e(2);
    vt3r1_4=e(2);
    vt3r1_3=e(2);
    vt3r1_2=e(2);
    vt3r1_1=e(2);
    m1_t3r1=e(2);
    vt3_5=e(1);
    vt3_4=e(1);
    vt3_3=e(1);
    vt3_2=e(1);
    vt3_1=e(1);
    m1_t3=e(1);
    vt3r2_5=e(3);
    vt3r2_4=e(3);
    vt3r2_3=e(3);
    vt3r2_2=e(3);
    vt3r2_1=e(3);
    m1_t3r2=e(3);
    vte_5=e(4);
    vte_4=e(4);
    vte_3=e(4);
    vte_2=e(4);
    vte_1=e(4);
    m1_te=e(4);
else
    if a==0
        temp_t3=(e(1)+e(2)+e(3))/3
        vt3_5=vt3_4;
        vt3_4=vt3_3;
        vt3_3=vt3_2;
        vt3_2=vt3_1;
        vt3_1=e(1);
        st3=vt3_1+vt3_2+vt3_3+vt3_4+vt3_5;
        mc_t3=st3/5;
        var_t3=mc_t3-m1_t3;
        sumvar_t3=sumvar_t3+var_t3;
        vt3r1_5=vt3r1_4;
        vt3r1_4=vt3r1_3;
        vt3r1_3=vt3r1_2;
        vt3r1_2=vt3r1_1;
        vt3r1_1=e(2);
        st3r1=vt3r1_1+vt3r1_2+vt3r1_3+vt3r1_4+vt3r1_5;
        mc_t3r1=st3r1/5;
        var_t3r1=mc_t3r1-m1_t3r1;
        sumvar_t3r1=sumvar_t3r1+var_t3r1;

```

```

vt3r2_5=vt3r2_4;
vt3r2_4=vt3r2_3;
vt3r2_3=vt3r2_2;
vt3r2_2=vt3r2_1;
vt3r2_1=e(3);
st3r2=vt3r2_1+vt3r2_2+vt3r2_3+vt3r2_4+vt3r2_5;
mc_t3r2=st3r2/5;
var_t3r2=mc_t3r2-m1_t3r2;
sumvar_t3r2=sumvar_t3r2+var_t3r2;
  vte_5=vte_4;
  vte_4=vte_3;
  vte_3=vte_2;
  vte_2=vte_1;
  vte_1=e(4);
ste=vte_1+vte_2+vte_3+vte_4+vte_5;
mc_te=ste/5;
var_te=mc_te-m1_te;
sumvar_te=sumvar_te+var_te;
  if abs(sumvar_t3r1)<delta_t3 & abs(sumvar_t3r2)<delta_t3 & abs(sumvar_t3)<delta_t3
    temp_t3=(e(1)+e(2)+e(3))/3
    a=0;
elseif abs(sumvar_t3)>delta_t3 & abs(sumvar_t3r1)<delta_t3 & abs(sumvar_t3r2)<delta_t3
  beep
  temp_t3=(e(2)+e(3))/2
  input('TT3 defect')
  a=1;
  contorl=contor;
  a1=1;
  sumvar_t3r1=0;
  sumvar_t3r2=0;
  sumvar_te=0;
elseif abs(sumvar_t3r1)>delta_t3 & abs(sumvar_t3r2)<delta_t3 & abs(sumvar_t3)<delta_t3
  beep
  temp_t3=(e(1)+e(3))/2
  a=2;
  contorl=contor;
  input('TT3r1 defect');
  a1=2;
  sumvar_t3=0;
  sumvar_t3r2=0;
  sumvar_te=0;
elseif abs(sumvar_t3r1)<delta_t3 & abs(sumvar_t3r2)>delta_t3 & abs(sumvar_t3)<delta_t3
  beep
  temp_t3=(e(2)+e(1))/2
  a=3;
  contorl=contor;
  a1=3;
  input('TT3r2 defect')
  sumvar_t3r1=0;
  sumvar_t3=0;
  sumvar_te=0;
elseif abs(sumvar_t3r1)>delta_t3 & abs(sumvar_t3r2)>delta_t3 & abs(sumvar_t3)>delta_t3
  beep
  temp_t3=(e(1)+e(2)+e(3))/3
  input('toate depasesc limita')

```

```

    sumvar_t3=0;
    sumvar_t3r1=0;
    sumvar_t3r2=0;
    sumvar_te=0;
    a=4
end
elseif a==1
contorl=contorl+1;
if contorl<3300
    temp_t3=(e(2)+e(3))/2;
    sumvar_t3r2=0;
    sumvar_t3r1=0;
    sumvar_te=0;
elseif contorl==3300
    temp_t3=(e(2)+e(3))/2;
    sumvar_t3r2=0;
    sumvar_t3r1=0;
    sumvar_te=0;
    m1_t3r2=e(3)
    vt3r2_5=e(3);
    vt3r2_4=e(3);
    vt3r2_3=e(3);
    vt3r2_2=e(3);
    vt3r2_1=e(3);
    m1_te=e(4)
    vte_5=e(4);
    vte_4=e(4);
    vte_3=e(4);
    vte_2=e(4);
    vte_1=e(4);
else
if a1==1
    temp_t3=(e(2)+e(3))/2;
    vt3r2_5=vt3r2_4;
    vt3r2_4=vt3r2_3;
    vt3r2_3=vt3r2_2;
    vt3r2_2=vt3r2_1;
    vt3r2_1=e(3);
    st3r2=vt3r2_1+vt3r2_2+vt3r2_3+vt3r2_4+vt3r2_5;
    mc_t3r2=st3r2/5;
    var_t3r2=mc_t3r2-m1_t3r2;
    sumvar_t3r2=sumvar_t3r2+var_t3r2;
    vte_5=vte_4;
    vte_4=vte_3;
    vte_3=vte_2;
    vte_2=vte_1;
    vte_1=e(4);
    ste=vte_1+vte_2+vte_3+vte_4+vte_5;
    mc_te=ste/5;
    var_te=mc_te-m1_te;
    sumvar_te=sumvar_te+var_te;

if abs(sumvar_t3r2)>delta_tt3 & abs(sumvar_te)<delta_tear
    beep
    temp_t3=e(2);

```

```

        a1=5;
        input('TT3r2 este defect')
    elseif sign(sumvar_t3r2)==sign(sumvar_te) & abs(sumvar_t3r2)>delta_tt3 &
abs(sumvar_te)>delta_tear
        beep
        temp_t3=e(3);
        a1=6;
        input('TT3r1 este defect')
    end
elseif a1==5
    temp_t3=e(2);

elseif a1==6
    temp_t3=e(3);
end
end
elseif a==2
contor1=contor1+1;
if contor1<3300
    temp_t3=(e(1)+e(3))/2;
    sumvar_t3r2=0;
    sumvar_t3=0;
    sumvar_te=0;
elseif contor1==3300
    temp_t3=(e(1)+e(3))/2;
    sumvar_t3r2=0;
    sumvar_t3=0;
    sumvar_te=0;
    m1_t3r2=e(3);
    vt3r2_5=e(3);
    vt3r2_4=e(3);
    vt3r2_3=e(3);
    vt3r2_2=e(3);
    vt3r2_1=e(3);
    m1_te=e(4)
    vte_5=e(4);
    vte_4=e(4);
    vte_3=e(4);
    vte_2=e(4);
    vte_1=e(4);
else
    if a1==2
        temp_t3=(e(1)+e(3))/2;
        vt3r2_5=vt3r2_4;
        vt3r2_4=vt3r2_3;
        vt3r2_3=vt3r2_2;
        vt3r2_2=vt3r2_1;
        vt3r2_1=e(3);
        st3r2=vt3r2_1+vt3r2_2+vt3r2_3+vt3r2_4+vt3r2_5;
        mc_t3r2=st3r2/5;
        var_t3r2=mc_t3r2-m1_t3r2;
        sumvar_t3r2=sumvar_t3r2+var_t3r2;
        vte_5=vte_4;
        vte_4=vte_3;
        vte_3=vte_2;

```

```

vte_2=vte_1;
vte_1=e(4);
ste=vte_1+vte_2+vte_3+vte_4+vte_5;
mc_te=ste/5;
var_te=mc_te-m1_te;
sumvar_te=sumvar_te+var_te;
if abs(sumvar_t3r2)>delta_tt3 & abs(sumvar_te)<delta_tear
    beep
    temp_t3=e(1);
    a1=7;
    input('TT3r2 este defect')
elseif sign(sumvar_t3r2)==sign(sumvar_te) & abs(sumvar_t3r2)>delta_tt3 &
abs(sumvar_te)>delta_tear
    beep
    temp_t3=e(3);
    a1=8;
    input('TT3 este defect')
end
elseif a1==7
    temp_t3=e(1);
elseif a1==8
    temp_t3=e(3);
end
end
elseif a==3
    contorl=contorl+1;
    if contorl<3300
        temp_t3=(e(2)+e(1))/2;
        sumvar_t3=0;
        sumvar_t3r1=0;
        sumvar_te=0;
    elseif contorl==3300
        temp_t3=(e(2)+e(1))/2;
        sumvar_t3=0;
        sumvar_t3r1=0;
        sumvar_te=0;
        m1_t3r1=e(2)
        vt3r1_5=e(2);
        vt3r1_4=e(2);
        vt3r1_3=e(2);
        vt3r1_2=e(2);
        vt3r1_1=e(2);
        m1_te=e(4)
        vte_5=e(4);
        vte_4=e(4);
        vte_3=e(4);
        vte_2=e(4);
        vte_1=e(4);
    else
        if a1==3
            temp_t3=(e(2)+e(1))/2;
            vt3r1_5=vt3r1_4;
            vt3r1_4=vt3r1_3;
            vt3r1_3=vt3r1_2;
            vt3r1_2=vt3r1_1;

```



```

vt3r1_1=e(2);
st3r1=vt3r1_1+vt3r1_2+vt3r1_3+vt3r1_4+vt3r1_5;
mc_t3r1=st3r1/5;
var_t3r1=mc_t3r1-m1_t3r1;
sumvar_t3r1=sumvar_t3r1+var_t3r1;
vte_5=vte_4;
vte_4=vte_3;
vte_3=vte_2;
vte_2=vte_1;
vte_1=e(4);
ste=vte_1+vte_2+vte_3+vte_4+vte_5;
mc_te=ste/5;
var_te=mc_te-m1_te;
sumvar_te=sumvar_te+var_te;
if abs(sumvar_t3r1)>delta_tt3 & abs(sumvar_te)<delta_tear
    beep
    temp_t3=e(1);
    a1=9;
    input('TT3r1 este defect')
elseif sign(sumvar_t3r1)==sign(sumvar_te) & abs(sumvar_t3r1)>delta_tt3 &
abs(sumvar_te)>delta_tear
    beep
    temp_t3=e(2);
    a1=10;
    input('TT3 este defect')
end
elseif a1==9
    temp_t3=e(1);

elseif a1==10
    temp_t3=e(2);
end
end
elseif a==4
    temp_t3=(e(1)+e(2)+e(3))/3
end
end
end

```