

**MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE**  
**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" TIMIȘOARA**  
**FACULTATEA DE INGINERIE HUNEDOARA**

**TEZĂ DE DOCTORAT**

**CERCETĂRI PRIVIND MODELAREA**  
**ȘI CONDUCEREA PROCESELOR**  
**DIN FABRICILE DE CIMENT**

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA  
BIBLIOTECA CENTRALĂ

Conducător științific:  
Prof.dr.ing. SAIMAC ANTON

Nr. Inv. 2212

Dulap 2212 Lit. C

Autor:  
ing. ANGHEL STELA

1998

# CUPRINS

	pag.
Introducere .....	5
Cap.1 Considerații tehnologice .....	7
1.1 Generalități .....	7
1.2 Cimentul portland .....	8
1.2.1 Chimismul formării cimentului portland .....	8
1.2.2 Compoziția oxidică și mineralogică a clincherului de ciment portland .....	9
1.2.3 Modularea în chimia cimentului portland .....	13
1.2.4 Calculul compoziției mineralogice a clincherului de ciment portland .....	15
1.2.5 Calculul compoziției amestecului de materii prime pentru clincherul de ciment portland .....	17
1.2.6 Aptitudinea la clincherizare a amestecului de materii prime .....	20
1.2.7 Aptitudinea la măcinare a clincherului .....	22
1.3 Fluxul tehnologic al fabricii de ciment S.C. CASIAL S.A. Deva .....	24
1.3.1 Extracția și dozarea materiilor prime .....	24
1.3.2 Uscarea și măcinarea materiilor prime .....	25
1.3.3 Omogenizarea și depozitarea făinei .....	26
1.3.4 Extracția, dozarea și transportul făinei .....	26
1.3.5 Arderea făinei. Obținerea clincherului .....	27
1.3.6 Răcirea și transportul clincherului .....	28
1.3.7 Extracția și dozarea clincherului și a adaosurilor .....	28
1.3.8 Măcinarea amestecului .....	28
1.3.9 Transportul și expediția cimentului .....	29
1.4 Concluzii .....	30
Cap.2 Stadiul actual al automatizării fabricilor de ciment și perspective de modernizare .....	31
2.1 Generalități .....	31
2.2 Automatizarea procesului tehnologic la S.C. CASIAL S.A. ....	33
2.3 Conducerea ierarhizată a fabricilor de ciment .....	43
2.3.1 Generalități .....	43
2.3.2 Sistem de conducere integrată a fluxului de fabricație a cimentului .....	43
2.4 Concluzii .....	55

Cap.3 Sisteme expert pentru conducerea proceselor industriale .....	56
3.1 Generalități .....	56
3.2 Bazele teoretice ale reglării Fuzzy .....	60
3.3 Controlerul Fuzzy .....	74
3.3.1 Generalități .....	74
3.3.2 Microcontrolerul PIC 16C74 .....	74
3.3.3 Controlerul propriu-zis .....	75
3.4 Concluzii .....	84
Cap.4 Cercetări experimentale privind identificarea unor procese din fabricile de ciment .....	85
4.1 Generalități .....	85
4.2 Modelarea matematică prin metode statistice a procesului din cuptorul de clincher .....	85
4.2.1 Ipoteze statistice fundamentale .....	85
4.2.2 Estimatori .....	88
4.2.3 Regresia multidimensională .....	93
4.2.4 Metode de prelucrare a datelor .....	95
4.2.5 Modelul procesului .....	99
4.3 Determinarea încărcării morilor de ciment și făină .....	112
4.3.1 Generalități .....	112
4.3.2 Metoda propusă .....	112
4.4 Concluzii .....	142
Cap.5 Structuri și algoritmi de conducere a proceselor din fabricile de ciment .....	143
5.1 Generalități .....	143
5.2 Dozarea materiilor prime .....	146
5.2.1 Structura sistemului și algoritmul de conducere .....	146
5.2.2 Proiectarea algoritmului Fuzzy .....	148
5.3 Măcinarea materiilor prime .....	154
5.3.1 Structura sistemului și algoritmul de conducere .....	154
5.3.2 Proiectarea algoritmilor Fuzzy .....	158
5.4 Clincherizarea .....	170
5.4.1 Structura sistemului și algoritmul de conducere .....	170
5.4.2 Proiectarea algoritmului Fuzzy .....	171
5.5 Măcinarea clincherului și a adaosurilor .....	178
5.5.1 Structura sistemului și algoritmul de conducere .....	178
5.5.2 Proiectarea algoritmilor Fuzzy .....	183
5.6 Concluzii .....	191

Cap.6 Rezultate experimentale .....	192
6.1 Generalități .....	192
6.2 Determinarea experimentală a caracteristicilor statice ale reguletoarelor Fuzzy proiectate .....	192
6.2.1 Dozarea materiilor prime .....	193
6.2.2 Măcinare materii prime .....	195
6.2.3 Clincherizare .....	200
6.2.4 Măcinarea clincherului și a adaosurilor .....	202
6.3 Experimentări industriale .....	205
6.4 Concluzii .....	208
 Cap.7 Concluzii și contribuții .....	 209
 Anexa 1. Program pentru determinarea compoziției fazale a clincherului de ciment portland .....	 212
 Anexa 2. Schema fluxului tehnologic al fabricii de ciment S.C.Casial S.A. Deva ..	 217
 Anexa 3. Procese verbale și concluzii C.T.E. privind Contractul de cercetare NR. 195/1996 cu S.C. CASIAL S.A. DEVA .....	 225
 Bibliografie .....	 230

# INTRODUCERE

Automatica este unul din domeniile cu cele mai spectaculoase evoluții în ultimul timp, legate în special de dezvoltarea sistemelor de calcul, a unor noi concepții de conducere a proceselor și a unor noi echipamente. Constatarea este valabilă și în automatizarea fabricilor de ciment.

Realizările din România, în acest domeniu, sunt minime, iar, în general, echipamentele de automatizare existente în fluxurile de fabricație a cimentului sunt uzate fizic și moral.

În lucrarea de față se propun, pe baza unor cercetări proprii efectuate de-a lungul mai multor ani, unele principii, structuri, algoritmi și echipamente noi, pentru automatizarea proceselor din fluxul de fabricație a cimentului. O parte din acestea au fost aplicate practic în cadrul unui Contract de cercetare științifică, iar majoritatea au fost publicate în diverse periodice.

Teza este structurată în șapte capitole, la care se adaugă trei anexe și o dischetă cu programe. Ea cuprinde 235 pagini, 167 figuri, 16 tabele, 218 relații matematice și 112 referințe bibliografice.

În *Capitolul 1* sunt analizate principalele probleme care apar din punct de vedere tehnologic în procesul de fabricație a cimentului. Cunoașterea lor este importantă pentru sinteza sistemelor de conducere automată a diferitelor faze de producție.

*Capitolul 2* analizează situația actuală privind automatizarea unei fabrici de ciment autohtone. În urma acestei analize și pe baza tendințelor actuale în domeniu pe plan mondial, se propune un sistem de conducere ierarhizat a întregului flux de fabricație a cimentului.

În *Capitolul 3* se face o analiză teoretică a principalelor probleme privind reglarea fuzzy și se prezintă un controler (hardware și software) conceput și realizat practic pentru implementarea principiilor reglării fuzzy.

*Capitolul 4* prezintă o serie de cercetări experimentale pentru obținerea unor corelații între mărimile caracteristice ale unor procese din fabrica de ciment care, împreună cu considerațiile tehnologice de expert, vor permite întocmirea algoritmilor fuzzy de conducere.

În *Capitolul 5* sunt prezentate, pentru fiecare fază importantă din procesul de fabricație a cimentului, structuri și algoritmi fuzzy care să permită conducerea lor automată.

*Capitolul 6* analizează rezultatele experimentale obținute prin testarea controlerului proiectat și prin conducerea efectivă a regimului de funcționare a unei mori de ciment, după algoritmi concepuți anterior.

În *Capitolul 7* sunt prezentate concluziile generale rezultate din studiile efectuate și principalele contribuții originale ale autorului.

Autorul mulțumește în mod deosebit conducătorului științific prof.dr.ing Anton Saimac pentru sprijinul competent și permanent acordat. De asemenea, mulțumește colegilor din Catedra de Electrotehnică a Facultății de Inginerie Hunedoara pentru sprijinul moral și sfaturile competente acordate în procesul de elaborare a tezei.

Nu în ultimul rând, mulțumesc colectivului tehnic și conducerii S.C.- CASIAL - S.A. Deva, care mi-a acordat încrederea și mi-a facilitat efectuarea cercetărilor experimentale.

Hunedoara,  
iunie 1998

Autorul,

# CONSIDERAȚII TEHNOLOGICE

## 1.1 Generalități

Industria de ciment este una din componentele de bază ale economiei unei țări. Alături de oțel și energie electrică, producția și consumul de ciment pe cap de locuitor caracterizează atât nivelul cât și ritmul dezvoltării economice.

În România, industria cimentului este puternic dezvoltată, cu o bogată experiență tehnico-științifică și cu un corp de specialiști competenți. Mărturie stau numeroasele fabrici de ciment construite de români atât în țară cât și în străinătate, care se bucură de aprecieri pozitive [31].

Problema esențială care se pune în prezent în industria autohtonă de ciment o reprezintă modernizarea instalațiilor existente (uzate în mare parte fizic și moral) urmărind reducerea consumului energetic, creșterea fiabilității utilajelor, creșterea productivității, conducerea informatizată. Evoluția în timp a perfecționărilor tehnice arată că, și în industria de ciment, progresul se realizează pe o spirală în care soluțiile fundamentale revin în actualitate, dar pe o treaptă superioară. Astfel, primele tehnologii de clincherizare au fost dezvoltate în cuptoare pe verticală, au urmat apoi cele dezvoltate pe orizontală în cuptoare lungi, ca din nou să apară tehnologii de calcinare în instalații pe verticală, în suspensie, cu reducerea continuă a părții rotative orizontale. Este, deci, de așteptat ca tehnologiile de vârf ale viitorului din domeniul clincherizării să se dezvolte în continuare pe verticală, în cadrul unor instalații în care întregul proces va avea loc în suspensie în instalații statice, cu reducerea consumului de combustibil sub 100 t.c.c./1000 t clincher.

Cu tot progresul realizat, în industria cimentului mai există instalații cu randamente reduse. Instalațiile de măcinare de pretutindeni continuă să aibă randamente scăzute. Îmbunătățirile susceptibile de aplicat se referă la reducerea plajei granulometrice a materialului la intrarea în mori, prin pretensionare în instalații de sfărâmare cu randamente superioare față de ale celor cu bile. Pe de altă parte, se urmărește îmbunătățirea randamentului măcinării prin perfecționarea instalațiilor de separare a produsului finit, astfel încât particulele fine recirculate să reprezinte sub 30-40% din grișul recirculat. Pe această cale, se contează pe o reducere a consumului de energie electrică, la măcinare, cu 20-30%.

Principala metodă de creștere a productivității și calității cimentului o reprezintă însă automatizarea complexă a proceselor, utilizând concepte și echipamente avansate: conducerea ierarhizată, sisteme expert, modelarea stochastică, sisteme adaptive și extremale, toate beneficiind de aportul tehnicii de calcul. Asupra acestor probleme se va reveni pe larg în capitolele următoare.

Scopul capitolului de față îl constituie analiza principalelor probleme care apar, din punct de vedere tehnologic, în procesul de fabricație a cimentului. Cunoașterea lor este importantă pentru sinteza sistemelor de conducere automată a diferitelor faze de producție.

## 1.2 Cimentul portland

### 1.2.1 Chimismul formării cimentului portland

Cimentul portland folosește ca materii prime calcarul și argila în diferite proporții, cu diverse adaosuri de corecție. Calcarul și argila mai conțin diferite impurități, care în procesul de ardere se combină cu componenții materiilor prime. La arderea amestecului de calcar, argilă și impurități se produc o serie de reacții în stare solidă și în topitură în urma cărora rezultă componenții mineralogici care conferă acestor lianți caracterul hidraulic [26], [102].

Transformările care au loc la arderea materiilor prime sunt prezentate, schematic, în fig.1.1.

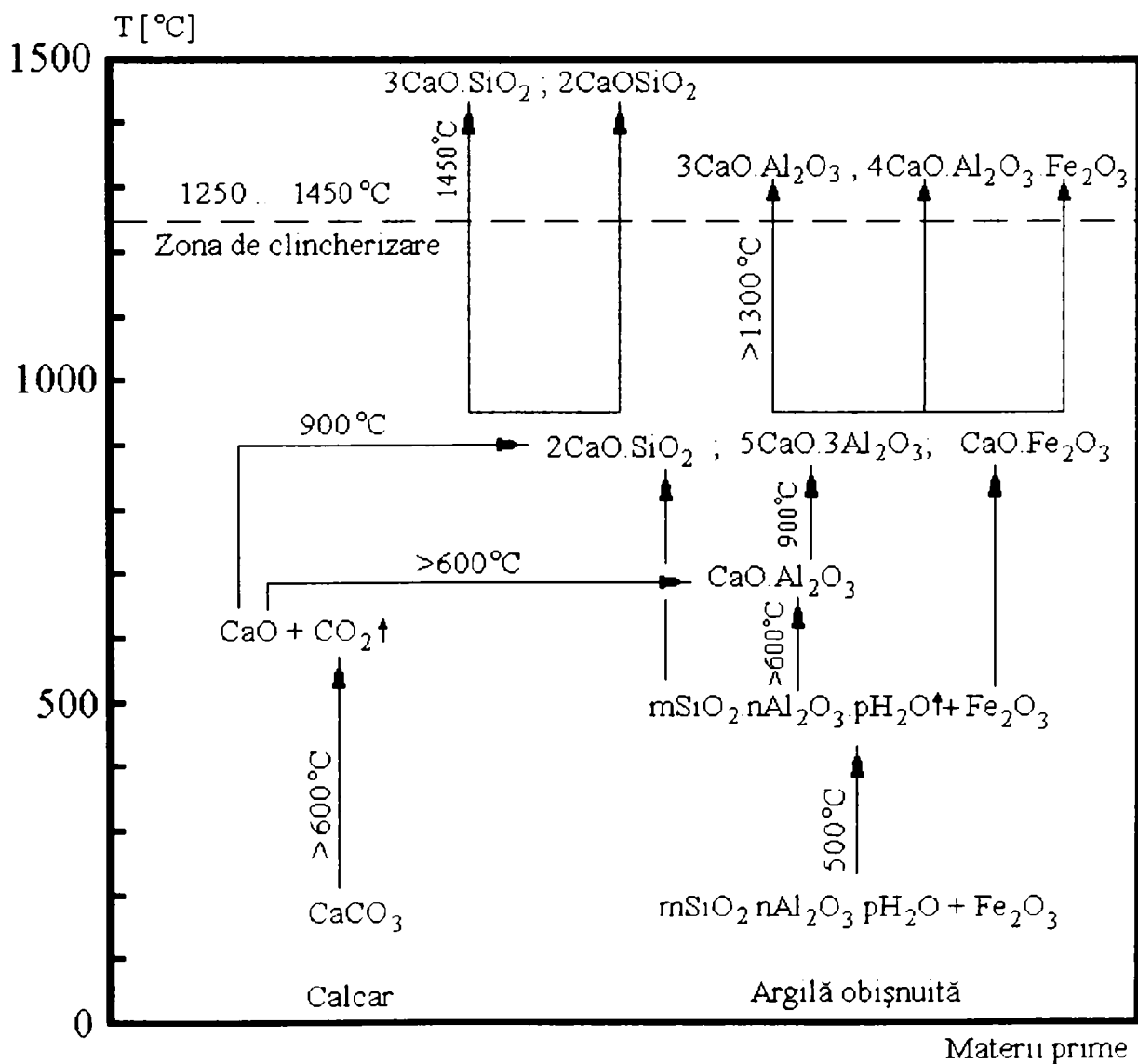


Fig.1.1

La temperaturi de 100 ... 250 °C are loc eliminarea apei fizice și a substanțelor volatile, iar pe la 500 °C argila pierde apa de cristalizare, bioxidul de siliciu și trioxidul de aluminiu trecând în stare activă. Când temperatura depășește 600 °C, începe decarbonatarea calcarului care este mult accelerată datorită prezenței bioxidului de siliciu și trioxidului de



aluminii, activi din argilă, care au un caracter acid și leagă oxidul de calciu; primul component care se formează este aluminatul monocalic,  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ . La temperaturi în jur de  $900^\circ\text{C}$  reacționează și bioxidul de siliciu și formează silicatul bicalcic  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , iar aluminatul monocalic mai leagă oxid de calciu și se transformă în trialuminatul pentacalic,  $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ ; oxizii de fier din argilă formează feritul monocalic,  $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ . Reacțiile chimice prezentate mai sus se produc în fază solidă, fără formarea topiturilor, produsul rezultat fiind un material poros. Această situație se păstrează până la temperatura de  $1250 \dots 1300^\circ\text{C}$  și este caracteristică formării lianților hidraulici neclincherizați - varurile hidraulice.

Ridicând temperaturile peste  $1300^\circ\text{C}$ , aluminații și ferii de calciu încep să se topească, favorizând legarea unor noi cantități de oxid de calciu: se formează aluminatul tricalcic,  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  și feritaluminat tetracalic,  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ . La temperaturi de peste  $1300^\circ\text{C}$  silicatul bicalcic reacționează cu oxidul de calciu existent încă nelegat, cu formare de silicat tricalcic,  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , transformare care nu este completă, rămânând în produs și silicat bicalcic. Acești componenți, formați peste temperatura de  $1300^\circ\text{C}$ , sunt caracteristici lianților hidraulici clincherizați - cimentul portland.

Pentru simplificarea scrierii, s-a convenit ca oxizii din compușii formați să se noteze prescurtat, astfel:  $\text{CaO}$  cu C,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  cu A,  $\text{SiO}_2$  cu S, și  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  cu F. În acest fel formulele prescurtate ale compușilor chimici devin:  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$ ;  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$ ;  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$  și  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$ .

### 1.2.2 Compoziția oxidică și mineralogică a clincherului de ciment portland

Compoziția oxidică a clincherului de ciment portland normal variază între următoarele limite:  $\text{CaO}$ : 60-67%,  $\text{SiO}_2$ : 19-24%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 4-7%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 2-6%,  $\text{MgO}$  până la 4-5%,  $\text{SO}_3$  până la 3% etc. Pentru a obține această compoziție, materia primă folosită trebuie să conțină circa 75-80%  $\text{CaCO}_3$  și 20-25%  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  și  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  [31].

Din materia primă cu un conținut scăzut în oxizi de fier și alți oxizi coloranți se obțin clinchere de ciment portland alb. Conținutul în  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  al amestecului brut nu trebuie să depășească 0,5-0,8%, iar ceilalți oxizi coloranți sunt admiși doar ca urme. Compoziția oxidică a cimenturilor albe se încadrează de obicei în următoarele limite:  $\text{CaO}$ : 64-69%,  $\text{SiO}_2$ : 23-26%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 4-7,5%,  $\text{MgO}$ : 0,5-2%,  $\text{SiO}_3$ : 0,5-2%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 0,25-2,8%.

În condițiile în care alături de calce, silice și alumină, amestecul brut supus arderii conține mici cantități din anumiți oxizi coloranți, inclusiv oxizi de fier (în proporții ceva mai mari decât se admit în cimentul portland alb), se pot obține clinchere colorate. Compoziția oxidică a cimenturilor colorate obținute pe această cale este asemănătoare cu aceea pentru obținerea cimenturilor portland albe, numai că, în funcție de culoare, nuanță și ton, cum și de compoziția lor mineralogică, ele mai conțin, în proporție variind de la câteva zecimi de procent și până la 3-4%, diverși oxizi coloranți (de crom, cobalt, nichel, mangan, fier).

De obicei, compoziția oxidică corespunzătoare clincherelor de ciment portland se realizează corectând amestecurile de calcar și argilă. În mod curent, în cazul clincherelor obișnuite de ciment portland, se efectuează corecția conținutului în  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (cu cenușă de pirită sau zguri din metalurgia neferoasă); în unele cazuri se face corecția conținutului în  $\text{SiO}_2$  (cu diatomit, tufuri) sau a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (cu bauxită).

În afara cerințelor privind proporțiile în oxizi principali, materiile prime trebuie să răspundă și unor cerințe referitoare la conținutul în  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$  etc. care peste anumite limite, fie că introduc dificultăți tehnologice, fie că influențează negativ proprietățile clincherului obținut. Astfel, limita superioară până la care pot fi admiși acești oxizi este:  $\text{MgO}$ : 3,7%,  $\text{SO}_3$ : 1,1%, oxizi alcalini ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ): 0,9%,  $\text{TiO}_2$ : 1,5%,  $\text{P}_2\text{O}_5$ : 0,35%.

Structura și compoziția mineralogică ale clincherelor de ciment portland, chiar și atunci când au o compoziție oxidică foarte apropiată, pot fi cu totul diferite, în funcție de natura mineralogică a materiilor prime, de modul în care s-a efectuat arderea amestecului brut, de tratamentul termic la răcirea clincherului. Ca urmare, raportul dintre faza vitrosă și cea cristalină, precum și proporția și compoziția constituentilor cristalini, pot varia între limite foarte largi.

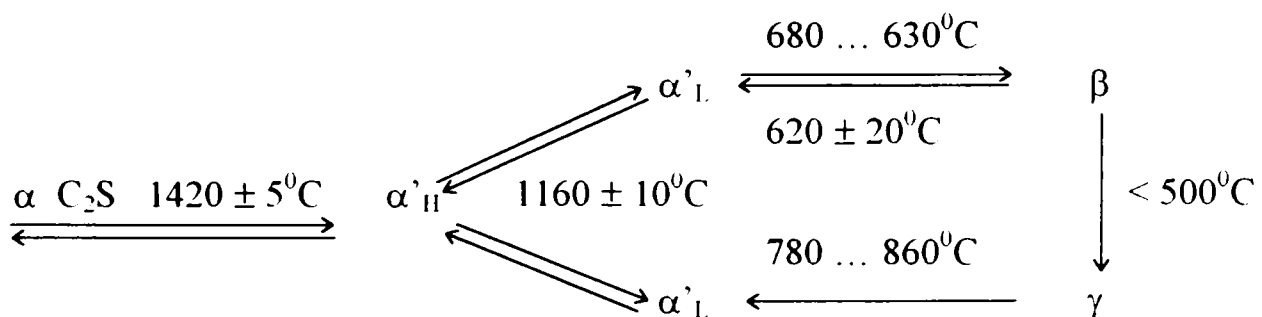
Mineralele clincherului nu sunt combinații pure, ci faze cristaline mixte care conțin, în cantități mici, și componentii altor faze. Ele mai cuprind, de asemenea, și celelalte substanțe chimice de însoțire a clincherului, care pot forma faze independente.

Principalele faze cristaline ale clincherelor portland sunt: alit, belit, celit și aluminat tricalcic. Alături de acestea, coexistă în proporție redusă multe alte faze.

*Alitul* este mineralul principal al clincherului, constituit în mod esențial din silicat tricalcic ( $\text{C}_3\text{S}$ ), determinând în principal proprietățile de rezistență ale cimentului.

*Belitul* este constituit, în principal, din modifiacțiile  $\alpha$  și  $\beta$  ale silicatului dicalcic ( $\text{C}_2\text{S}$ ). Silicatul dicalcic se prezintă sub următoarele forme polimorfe:  $\alpha$  (trigonal),  $\alpha'_H$  și  $\alpha'_L$  (rombic);  $\beta$  (monoclinic);  $\gamma$  (rombic).

Transformările sale sunt reprezentate schematic astfel:



Faza belitică din clincher, conținând în principal  $\beta$   $\text{C}_2\text{S}$  și  $\alpha'$   $\text{C}_2\text{S}$  parțial legat în soluții solide cu alți constituenți existenți în sistem (care nu depășesc 5-10%), se întâlnește sub trei forme care se deosebesc între ele prin aspect și modifiacția polimorfă din care sunt constituite, respectiv:

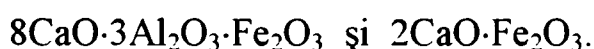
- belitul I conținând  $\alpha'$   $\text{C}_2\text{S}$  care s-a transformat parțial în  $\beta$   $\text{C}_2\text{S}$ ; se obține în cazul clincherelor arse la temperaturi mai mari de  $1450^\circ\text{C}$  și care au fost răcite rapid;

- belitul II conținând  $\beta$   $C_2S$ ; se găsește abundant în clincherele obișnuite, arse la temperaturi în jur de  $1450^\circ C$  și răcite lent;

- belitul III este format, de asemenea, din cristale rotunjite de  $\beta$   $C_2S$ ; provine din transformarea polimorfă în masă a  $\alpha'$   $C_2S$  (belit I); formează soluții solide cu diferiți oxizi acizi  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $NaO$ ,  $MgO$  etc.), cu diferite grade de adiție.

*Faza feritică (celitul)* reprezintă faza ferit-aluminatică care apare în clincherele obișnuite sub forma unor cristale de culoare închisă puternic birefringente. În cazul clincherelor răcite rapid de la temperatura ridicată, celitul nu mai cristalizează, umplând, alături de faza vitroasă, interstițiile dintre cristale.

Compoziția celitului este variabilă. Ea poate oscila între limitele:



În clincherele bogate în oxid de fier, compoziția celitului tinde către  $2CaO \cdot Fe_2O_3$ , în clincherele normale - către  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$  (raportul  $Al_2O_3/Fe_2O_3$  fiind mai mare decât unitatea), iar în cele care au un conținut ridicat de  $Al_2O_3$  - către  $6CaO \cdot 2Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$  sau chiar către  $8CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ .

Celitul se prezintă sub două forme cristaline:

- celitul I, corespunzător clincherelor cu conținut ridicat de fier, în care predomină soluții solide în seria  $C_2F-C_4AF$ ;

- celitul II, existent în clincherele răcite lent mai puțin bogate în oxizi de fier, în care predomină soluțiile solide cu un caracter aluminatic mai pronunțat ce apar în sistemul  $3CaO \cdot Al_2O_3 - Na_2O \cdot 8CaO \cdot 3Al_2O_3$ .

*Masa vitroasă* umple spațiile dintre cristalele de alit și belit, alături de faza celitică. Ea reprezintă resturile de topitură care nu au apucat să cristalizeze datorită răcirii rapide a clincherului. Pentru un clincher obișnuit, ars la  $1450^\circ C$ , la o răcire bruscă, faza sticloasă poate ajunge până la 22%.

*Faza aluminatică* este reprezentată în mod curent prin aluminatul tricalcic ( $C_3A$ ), dar încorporează și ioni străini cum sunt alcaliile ( $Na_2O$ ,  $K_2O$ ), în proporții care depășesc uneori chiar 5%.

Proprietățile hidraulice ale fazei aluminatice sunt slabe, dar, împreună cu alitul face să crească rezistențele inițiale ale cimentului ca o consecință a căldurii mari de hidratare pe care o degajă.

În afara fazelor principale din clincher, amintite mai sus, există și faze cantitativ subsidiare: oxidul de calciu liber, oxidul de magneziu, compușii alcalini etc.

*Oxidul de calciu liber* (calcea liberă) se regăsește în majoritatea clincherelor în cantități de până la 2% și prezența sa se explică prin prepararea necorespunzătoare a făinei (neomogenă sau grosieră), arderea incompletă (când  $CaO$  nu s-a combinat complet cu ceilalți oxizi), răcirea prea lentă a clincherului (cu descompunerea parțială a  $C_3S$  sau  $C_3A$ ) sau conținutul prea mare de  $CaO$  în amestecul de materii prime ( $S_k > 1$ ).

În cantități mari, de regulă peste 2,5%, calcea liberă determină fenomenul de expansiune a cimentului ( $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$ ).

Oxidul de magneziu se găsește în clincher fie combinat, fie liber (periclaz); s-a constatat că 2,0-2,5% din MgO se combină sub forma unor soluții solide cu alte faze ale clincherului, în funcție de compoziția chimică a clincherului și de condițiile tehnologice de fabricație.

Periclazul este nedorit în clincher, deoarece poate determina o expansiune a cimentului similară cu cea a calcei libere, cu deosebirea că, în unele cazuri, poate rămâne nedescoperită pe o perioadă de ani de zile.

Constituenții clincherului care conțin elemente alcaline, peste o anumită limită și sub o anumită formă, sunt de nedorit. Alkaliile se găsesc în clincher sub forma de sulfat și sub formă de combinații duble și soluții solide cu compușii din clincher.

Tabelul 1.1 redă sintetic date referitoare la principalele faze ale clincherului, caracteristicile acestora, precum și influența lor asupra proprietăților cimentului.

**Tabelul 1.1**

**Caracterizarea principalelor faze ale clincherului**

Denumirea fazei din clincher	Alit	Belit	Fază aluminatică	Fază feritică
Denumirea fazei pure	Silicat tricalcic	Silicat dicalcic	Aluminat tricalcic	Feritaluminat tetracalcic
Compoziția fazei pure	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	$4\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3)$
Notația prescurtată	$\text{C}_3\text{S}$	$\text{C}_2\text{S}$	$\text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_4(\text{A},\text{F})$ sau $\text{C}_4\text{A}_n\text{F}_{1-n}$
Ioni străini încorporați în mod obișnuit în fazele din clincher	Mg, Al, Fe	Alcalii, Al, Fe, fluoruri	Alcalii Fe, Mg	Si, Mg
Modificații ce apar în clincherele tehnice	Monoclinic, trigonal	$\beta$ belit monoclinic ( $\alpha$ și $\alpha'$ , belit)	Cubic, ortorombic, tetragonal	Ortorombic
Culoarea fazei pure	Alb	Alb	Alb	Maro închis
Proporția în clincherele de ciment portland (%din greutate):				
- maximă	80	30	15	15
- medie	60	15	11	8
- minimă	40	0	7	4
Proprietăți tehnice în ciment	Hidratare rapidă. Rezistență inițială ridicată și rezistență finală bună. Căldură de hidratare moderată. Constituent principal de rezistență al cimentului portland normal.	Hidratare lentă. Rezistențe finale bune. Căldură de hidratare redusă.	Hidratare rapidă. Căldură de hidratare mare care dezvoltă rezistență timpurie. Constrații apreciabile la hidratare. Reacționează cu sulfatul suferind mărituri de volum.	Hidratare lentă și moderată. Rezistențe mici. Căldură de hidratare moderată. Dă cimentului normal culoarea sa.

### 1.2.3 Modularea în chimia cimentului portland

Compoziția chimică a materiilor prime, ca și compoziția clincherului de ciment, este caracterizată prin câteva rapoarte denumite ‘‘ moduli’’ [31].

Exprimarea modulară a compoziției oxidice introduce reale simplificări în caracterizarea clincherelor de ciment portland, determină avantaje în generalizarea rezultatelor cercetărilor, în calculul compoziției amestecului brut.

Sistemul de modulare care și-a impus utilitatea este cel care ia în considerare gradul de saturare cu oxid de calciu, modulul de silice și modulul de aluminiu.

*Gradul de saturare cu oxid de calciu*  $S_k$  poate fi definit ca raportul dintre conținutul efectiv de oxid de calciu din clincher și conținutul maxim posibil.

Pentru calculul gradului de saturare s-au propus diverse formule, după modul în care s-a considerat saturarea în oxid de calciu a  $Al_2O_3$  și  $Fe_2O_3$ , dioxidul de siliciu se consideră în toate cazurile saturat la  $3CaO \cdot SiO_2$ .

După diverși autori aceste formule se prezintă astfel:

$$S_k = \frac{\%CaO}{2,8\%SiO_2 + 1,18\%Al_2O_3 + 0,65\%Fe_2O_3} \quad (\text{Lea și Parker}) \quad (1.1)$$

$$S_k = \frac{\%CaO}{2,8\%SiO_2 + 1,10\%Al_2O_3 + 0,7\%Fe_2O_3} \quad (\text{Kühl}) \quad (1.2)$$

$$S_k = \frac{\%CaO}{2,8\%SiO_2 + 1,65\%Al_2O_3 + 0,35\%Fe_2O_3} \quad (\text{Guttman și Gille}) \quad (1.3)$$

$$S_k = \frac{\%CaO - (1,65\%Al_2O_3 + 0,35\%Fe_2O_3)}{2,8\%SiO_2} \quad (\text{Kind}) \quad (1.4)$$

În formula lui Kind, gradul de saturare s-a definit prin raportul dintre oxidul de calciu disponibil pentru saturarea  $SiO_2$  și oxidul de calciu necesar pentru saturarea maximă a  $SiO_2$ .

Definirea gradului de saturare și limitele sale valorice sunt adesea impuse prin standard. Se limitează astfel conținutul în oxid de calciu.

Calcea standard ( $C_s$ ) reprezintă, în țara noastră, gradul de saturare calculat cu ajutorul formulei lui Kühl și multiplicat cu 100:

$$C_s = \frac{100 \%CaO}{2,8\%SiO_2 + 1,10\%Al_2O_3 + 0,7\%Fe_2O_3} \quad (1.5)$$

În definirea gradului de saturare și a calcei standard se pot introduce corectări care țin seama de oxidul de calciu și dioxidul de siliciu nelegați în procesul de clincherizare. Rezultă astfel:

$$S_k = \frac{\%CaO - \%CaO \text{ liber}}{2,8\%(SiO_2 - SiO_2 \text{ liber}) + 1,1\%Al_2O_3 + 0,7\%Fe_2O_3} \quad (1.6)$$

În cazul cimentului, calcea standard se poate calcula, presupunând că întreaga cantitate de  $SO_3$  provine din ghipsul adăugat la măcinare, după formula:

$$LSF = \frac{\%CaO - 0,7\%SO_3}{2,8\%SiO_2 + 1,2\%Al_2O_3 + 0,65\%Fe_2O_3} \quad (1.7)$$

Un grad ridicat de saturare în calce conduce la rezistențe mecanice ridicate ale cimentului. Următoarele valori ale calcei standard pot servi drept cifre de orientare pentru cimentul portland:  $C_s = 90 - 95\%$ , ciment portland normal, și  $C_s = 95 - 98\%$ , ciment portland superior.

*Modulul de silice* - reprezintă raportul, în greutate, dintre  $SiO_2$  și suma  $Al_2O_3 + Fe_2O_3$

$$M_{Si} = \frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3} \quad (1.8)$$

În definirea modulului de silice se pot introduce corecturi care țin seama de dioxidul de siliciu nelegat în procesul de clincherizare:

$$M_{Si} = \frac{\%(SiO_2 - SiO_2 \text{ liber})}{\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3} \quad (1.9)$$

Modulul de silice variază, la cimenturile tehnice, între 1 și 4. Un ciment cu modul de silice ridicat este mai bogat în silicați de calciu ( $C_3S + C_2S$ ) și mai sărac în aluminați și ferți de calciu ( $C_3AF + C_3A$ ); modulul de silice este deci legat de raportul  $(C_3S + C_2S) / (C_4AF + C_3A)$ . Modulul de silice ridicat indică un ciment în care predomină proprietățile aferente silicaților de calciu; modulul de silice scăzut indică cimentul la care ies în evidență proprietățile aferente aluminaților și ferților de calciu.

Întrucât silicații ( $C_3S + C_2S$ ) rămân în faza solidă, iar ferții și aluminații trec în topitură, rezultă că  $M_{Si}$  dă indicații asupra clincherizării și a proporției de fază lichidă; ca atare, cimenturile cu  $M_{Si}$  ridicat se ard în condiții mai grele decât cele cu  $M_{Si}$  scăzut.

*Modulul de alumină* - reprezintă raportul, în greutate, dintre alumină și oxidul feric:

$$M_{Al} = \frac{\%Al_2O_3}{\%Fe_2O_3} \quad (1.10)$$

Modulul de alumină poate varia, la cimenturile tehnice, între 0,2 și 5. Modulul de alumină ridicat indică un ciment cu conținut de aluminați mai mare, iar modulul de alumină scăzut indică un ciment cu conținut de ferită mai ridicat.

Dacă modulul de alumină este:

$$M_{Al} = \frac{1 \text{ mol } Al_2O_3}{1 \text{ mol } Fe_2O_3} = \frac{102}{153} = 0,64 \quad (1.11)$$

rezultă că întreaga cantitate de  $Al_2O_3$  și  $Fe_2O_3$  este legată cu  $CaO$  sub formă de  $C_4AF$ .  $M_{Al}$  indică, astfel, subsistemul căruia îi aparține cimentul:

- la  $M_{Al} > 0,64$ , cimenturile aparțin subsistemului  $C_3S-C_2S-C_3A-C_4AF$  și sunt caracterizate prin prezența  $C_3A$ ; cu cât  $M_{Al}$  are valori mai mari, cu atât conținutul de  $C_3A$  din ciment este mai ridicat;

- la  $M_{Al} < 0,64$ , cimenturile aparțin subsistemului  $C_3S-C_2S$  - soluție solidă ( $C_4AF+C_2F$ ) și sunt caracterizate prin absența  $C_3A$  drept component mineralogic.

De asemenea,  $M_{Al}$  indică cărui caz îi corespunde traseul de solidificare pe care îl urmează cimentul.

#### 1.2.4 Calculul compoziției mineralogice a clincherului de ciment portland

Pe baza diagramelor de echilibru [31], se poate calcula compoziția de bază a clincherelor. Calculul poate fi realizat în ipoteza solidificării la echilibru termodinamic și la neechilibru termodinamic.

În cazul solidificării la echilibru complet, faza vitroasă lipsește cu desăvârșire. În realitate, nu se realizează echilibru termodinamic la solidificare și compoziția mineralogică calculată pornind de la o asemenea ipoteză poate fi considerată ca o compoziție potențială, adică posibilă, înțelegând prin aceasta că respectiva compoziție chimică nu este egală cu compoziția mineralelor reale (existente).

a) Presupunând clincherele ca fiind plasate în subsistemul de echilibru termic  $C_3S-C_2S-C_3A-C_4AF$  ( $M_{Al} > 0,64$ ), Bogue a stabilit următoarele formule de calcul pentru constituenții mineralogici:

$$\%C_4AF = 3,04\%Fe_2O_3$$

$$\%C_3A = 2,65\%Al_2O_3 - 1,69\%Fe_2O_3$$

$$\%C_3S = 4,07\%CaO - 7,60\%SiO_2 - 6,72\%Al_2O_3 - 1,42\%Fe_2O_3$$

$$\%C_2S = 8,60\%SiO_2 + 5,06\%Al_2O_3 + 1,07\%Fe_2O_3 - 3,05\%CaO$$

b) Pentru clincherele situate în subsistemul de echilibru termic  $C_3S-C_2A-C_4AF-C_2F$  ( $M_{Al} < 0,64$ ), rezultă printr-un raționament analog celui dezvoltat de Bogue că:

$$\%C_4AF = 4,76\%Al_2O_3$$

$$\%C_2F = 1,70\%Fe_2O_3 - 2,65\%Al_2O_3$$

$$\%C_3S = 4,07\%CaO - 7,60\%SiO_2 - 4,48\%Al_2O_3 - 2,84\%Fe_2O_3$$

$$\%C_2S = 8,60\%SiO_2 + 3,36\%Al_2O_3 + 2,14\%Fe_2O_3 - 3,05\%CaO$$

c) Pentru cazul intermediar, al clincherelor din sistemul  $C_3S-C_2A-C_4AF$  ( $M_{Al} = 0,64$ ), se obține:

$$\%C_4AF = 3,04\%Fe_2O_3$$

$$\%C_3S = 4,07\%CaO - 7,60\%SiO_2 - 5,70\%Fe_2O_3$$

$$\%C_2S = 8,60\%SiO_2 - 4,30\%Fe_2O_3 - 3,05\%CaO$$

Relațiile date de Bogue au caracter particular, utilizând coeficienți specifici subsistemelor de echilibru termic:

$$C_3S-C_2S-C_3A-C_4AF \text{ cu } M_{Al} > 0,64$$

$$C_3S - C_2A-C_4AF- C_2F \text{ cu } M_{Al} < 0,64$$

$$C_3S - C_2A-C_4AF \text{ cu } M_{Al} = 0,64$$

Aceste relații nu sunt valabile pentru alte subsisteme de echilibru termic. Având în vedere acestea, am conceput un program în Turbo-pascal care determină compoziția fazală a clincherului atât în funcție de compoziția mineralogică a făinei, cât și de subsistemul de echilibru termic. Programul s-a obținut prin generalizarea exemplului următor, bazat pe bilanțul masic, și este prezentat în Anexa 1.

*Exemplu:*

Pornind de la un amestec cuaternar cu compoziția 66,7% CaO; 21,4% SiO<sub>2</sub>; 6,9% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 5% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> și știind că acest amestec aparține paragenezei  $C_3S-C_2S-C_3A-C_4AF$  în

condițiile atingerii echilibrului, se cere determinarea compoziției fazale a clincherului obținut.

În timpul proceselor de cristalizare, masa amestecului rămâne constantă. Făcând bilanțul masic pentru fiecare din cei patru oxizi se obține:

$$\begin{cases} m_{\text{CaO}_{\text{inițial}}} = m_{\text{CaO din C}_3\text{S}} + m_{\text{CaO din C}_2\text{S}} + m_{\text{CaO din C}_3\text{A}} + m_{\text{CaO din C}_4\text{AF}} \\ m_{\text{SiO}_2\text{ inițial}} = m_{\text{SiO}_2 \text{ din C}_3\text{S}} + m_{\text{SiO}_2 \text{ din C}_2\text{S}} \\ m_{\text{Al}_2\text{O}_3\text{ inițial}} = m_{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ din C}_3\text{A}} + m_{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ din C}_4\text{AF}} \\ m_{\text{Fe}_2\text{O}_3\text{ inițial}} = m_{\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ din C}_4\text{AF}} \end{cases} \quad (1.12)$$

Ținând cont că:

$$\begin{aligned} M_{\text{C}_3\text{S}} &= 3 \cdot 56 + 60 = 228 \\ M_{\text{C}_2\text{S}} &= 2 \cdot 56 + 60 = 172 \\ M_{\text{C}_3\text{A}} &= 3 \cdot 56 + 102 = 270 \\ M_{\text{C}_4\text{AF}} &= 4 \cdot 56 + 102 + 160 = 486 \end{aligned} \quad (1.13)$$

și notând:  $x = \%C_3S$ ;  $y = \%C_2S$ ;  $z = \%C_3A$  și  $u = \%C_4AF$  rezultă:

$$\begin{aligned} 66,7 &= x \frac{3 \cdot 56}{228} + y \frac{2 \cdot 56}{172} + z \frac{3 \cdot 56}{270} + u \frac{4 \cdot 56}{486} \\ 21,4 &= x \frac{60}{228} + y \frac{60}{172} \\ 6,9 &= z \frac{102}{270} + u \frac{102}{486} \\ 5 &= u \frac{160}{486} \Rightarrow u \end{aligned} \quad (1.14)$$

$$x + y + z + u = 100$$

În urma efectuării calculelor s-a obținut:

$$u = 15,19 \%C_4AF$$

$$z = 9,83 \%C_3A$$

Înlocuind în prima ecuație pe  $u$  și  $z$  se obține:  $\begin{cases} x + y = 74,98 \\ \frac{60}{228}x + \frac{60}{172}y = 21,4 \end{cases}$  din care se

calculează:

$$x = 55,56 \%C_3S;$$

$$y = 19,42 \%C_2S$$

Rularea programului presupune parcurgerea următorilor pași:

Pasul 1. - Afișarea ferestrei de dialog compusă din:

- numele programului: “Determinarea compoziției fazale a clincherului de ciment portland”;
- bara de meniu cu butoanele: “Info”, “Calcul” și “Ieșire”;
- ferestrele pentru introducerea datelor inițiale:  $\%CaO$ ,  $\%Al_2O_3$ ,  $\%SiO_2$ ,



%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> și parageneza;

Pasul 2. - *Introducerea datelor* - se face cu ajutorul tastaturii;

Pasul 3. - *Prelucrarea datelor* - începe în momentul apelării procedurii "Calcul" prin selectarea butonului corespunzător din bara de meniu. Algoritmul parcurs se bazează pe exemplul prezentat anterior, generalizându-l, și implică:

a) - identificarea paragenezei introduse și construirea unei matrici  $N[i,j]$ ,  $i = 1 \dots 4$ ,  $j = 1 \dots 4$ , cu coeficienții oxizilor corespunzători constituenților mineralogici;

b) - calcularea maselor moleculare a fazelor:

$$M[i] = N[i,1]*M_c + N[i,2]*M_a + N[i,3]*M_s + N[i,4]*M_f, \quad i = 1 \dots 4$$

c) - calcularea termenilor liberi (%oxid/masa moleculară oxid) și a coeficienților necunoscutelor sistemului de ecuații:

$$B[i] = x[1]*A[i,1] + x[2]*A[i,2] + x[3]*A[i,3] + x[4]*A[i,4], \quad i = 1 \dots 4$$

unde:

$$A[i,1] = N[1,i]/M[1]; \quad A[i,2] = N[2,i]/M[2]; \quad A[i,3] = N[3,i]/M[3]; \quad A[i,4] = N[4,i]/M[4];$$

d) - rezolvarea sistemului de ecuații prin metoda Gauss;

e) - afișarea rezultatelor;

Pasul 4. - *Închiderea ferestrei de lucru* prin selectarea butonului "Ieșire" sau introducerea de date noi și efectuarea unui nou calcul.

### 1.2.5 Calculul compoziției amestecului de materii prime pentru clincherul de ciment portland

Calculul compoziției amestecului de materii prime are drept scop determinarea proporțiilor cantitative ale componentelor din materiile prime, necesare pentru a conferi clincherului compoziția chimică și mineralogică dorită. Drept bază de calcul servește compoziția chimică a materiilor prime [31].

Componentii amestecului brut sunt în număr de cel puțin doi. De obicei se folosesc adaosuri de corecție, astfel încât amestecul brut rezultă din trei sau patru constituenți. După numărul constituenților amestecului brut, în calculul compoziției acestuia din urmă se ia în considerație valoarea unuia sau mai multor moduli.

În cursul procesului de clincherizare a materiilor prime se pierde dioxidul de carbon din calcar și apa din argilă, și astfel greutatea totală scade.

Cantitățile de materiale uscate necesare pentru a obține clincher de ciment portland se calculează astfel: la 100 părți CaCO<sub>3</sub> corespund 56 părți CaO și 44 părți CO<sub>2</sub>.

Argila pierde, la rândul său, circa 7% din apa de hidratare. De exemplu, pentru o făină brută cu 76% CaCO<sub>3</sub> și 24% argilă, pierderea la calcinare totală va fi aproximativ următoarea:

- pentru CaCO<sub>3</sub>,  $0,76 \times 0,44 \text{ kgCO}_2 = 0,3344 \text{ kgCO}_2$ ;
- pentru argilă,  $0,24 \times 0,07 \text{ kgH}_2\text{O} = 0,0168 \text{ kgH}_2\text{O}$ ;
- pierderea la calcinare totală este, deci, de 0,3512 kg.

02112  
0607

Rezultă că, dintr-un kilogram de făină brută, se obține aproximativ 0,649 kg clincher (1 kg amestec - 0,351 kg pierdere la calcinare = 0,649 kg clincher).

Pentru calculul cantităților de materii prime (a, b, c) raportate la clincher se pot utiliza următoarele formule:

$$a = 1 - \left[ \frac{0,44x\%CaCO_3}{100} + \frac{0,07x(100 - \%CaCO_3)}{100} \right] \text{ [kg clincher/kg materii prime]} \quad (1.15)$$

$$b = \frac{1}{a} \text{ [kg materii prime/ kg clincher]} \quad (1.16)$$

$$c = \frac{\%CaCO_3 \times 56}{ax100} \text{ [%CaO în clincher]} \quad (1.17)$$

#### Calculul amestecului din doi componenți

- Determinarea aproximativă a proporției celor doi componenți ai amestecului de materii prime utilizează o schemă simplă în formă de X. În centru se scrie procentajul de  $CaCO_3$  dorit. Sus, în stânga, se scrie conținutul în  $CaCO_3$  al calcarului, iar jos, în stânga, - cel al argilei. Diferențele obținute între aceste valori și cea din centru sunt înscrise apoi în dreapta, în prelungirea pe diagonală a brațelor semnului X. Raportul între valorile astfel obținute reprezintă proporțiile componenților amestecului. De exemplu, pentru a obține o făină brută cu un conținut de 76%  $CaCO_3$ , se vor amesteca 45 părți calcar cu 15 părți argilă, deci raportul va fi de 3 la 1.

$$\begin{array}{ccc} \text{calcar } 91 & \searrow & 76 & \swarrow & 45 \quad (76 - 31 = 45) \\ & & & & \\ \text{argilă } 31 & \nearrow & & \searrow & 15 \quad (91 - 76 = 15) \end{array}$$

- Calculul amestecului de materii prime formate din 2 componenți se face astfel:

Considerând egală cu unitatea participarea în greutate a unuia dintre componenți și x participarea celuilalt, utilizând compoziția oxidică a componenților se poate scrie pentru amestecul de materii prime:

$$\begin{aligned} C_0 &= \frac{C_1 + xC_2}{1 + x}; & A_0 &= \frac{A_1 + xA_2}{1 + x}; \\ S_0 &= \frac{S_1 + xS_2}{1 + x}; & F_0 &= \frac{F_1 + xF_2}{1 + x} \end{aligned} \quad (1.18)$$

în care:

$C_1, S_1, A_1$  și  $F_1$  reprezintă compoziția, în  $CaO, SiO_2, Al_2O_3$  și  $Fe_2O_3$  a primului component al amestecului,

$C_2, S_2, A_2$  și  $F_2$  - compoziția celui de-al doilea component,

$C_0, S_0, A_0$  și  $F_0$  - compoziția oxidică a amestecului.

Utilizând expresia gradului de saturare (Kühl, de exemplu), în care se introduc notațiile de mai sus, rezultă pentru amestecul de materii prime:

$$S_k = \frac{C_0}{2,8S_0 + 1,1A_0 + 0,7F_0} \quad (1.19)$$

Înlocuind și rezolvând în raport cu x se obține:

$$x = \frac{C_1 - S_k(2,8S_1 + 1,1A_1 + 0,7F_1)}{S_k(2,8S_2 + 1,1A_2 + 0,7F_2) - C_2} \quad (1.20)$$

În cazul unei astfel de dozări, este necesar ca modulii de silice și alumină să se afle în limitele admisibile pentru marca cimentului care se fabrică.

#### *Calculul amestecului din trei componente*

Acesta este cazul cel mai des întâlnit în practica industrială. Pentru calcul se ia în considerație, pe lângă valoarea gradului de saturare, și valoarea unuia dintre cei doi moduli ( $M_{Si}$  sau  $M_{Al}$ ).

Notând cu  $x$  și  $y$  participarea a doi dintre componentii amestecului de materii prime, raportată la o parte, în greutate, a celuilalt, se obține:

$$\begin{aligned} C_0 &= \frac{C_1 + xC_2 + yC_3}{1 + x + y}; & A_0 &= \frac{A_1 + xA_2 + yA_3}{1 + x + y}; \\ S_0 &= \frac{S_1 + xS_2 + yS_3}{1 + x + y}; & F_0 &= \frac{F_1 + xF_2 + yF_3}{1 + x + y} \end{aligned} \quad (1.21)$$

Ca urmare, pentru gradul de saturare și modulul de silice se pot scrie:

$$\begin{aligned} S_k &= \frac{C_0}{2,8S_0 + 1,1A_0 + 0,7F_0} \quad \text{și} \\ M_{Si} &= \frac{S_0}{A_0 + F_0} \end{aligned} \quad (1.22)$$

Înlocuind în aceste relații expresiile pentru  $C_0$ ,  $S_0$ ,  $A_0$  și  $F_0$  rezultă:

$$\begin{aligned} a_1x + b_1y &= C_1 \\ a_2x + b_2y &= C_2 \end{aligned} \quad (1.23)$$

în care:

$$\begin{aligned} a_1 &= S_k(2,8S_2 + 1,1A_2 + 0,7F_2) - C_2 \\ b_1 &= S_k(2,8S_3 + 1,1A_3 + 0,7F_3) - C_3 \\ c_1 &= C_1 - S_k(2,8S_1 + 1,1A_1 + 0,7F_1) \\ a_2 &= M_{Si}(A_2 + F_2) - S_2 \\ b_2 &= M_{Si}(A_3 + F_3) - S_3 \\ c_2 &= S_1 - M_{Si}(A_1 + F_1) \end{aligned} \quad (1.24)$$

Prin rezolvarea sistemului rezultă:

$$\begin{aligned} x &= \frac{c_1b_2 - c_2b_1}{a_1b_2 - a_2b_1} \\ y &= \frac{a_1c_2 - a_2c_1}{a_1b_2 - a_2b_1} \end{aligned} \quad (1.25)$$

În cazul utilizării gazului natural sau a păcurii la arderea clincherului, nu are loc absorbția de cenușă în clincher. Când se folosește cărbune la ardere, trebuie ținut seama de înglobarea în clincher a cenușii de cărbune, care devine astfel un al treilea component al

amestecului. Înglobarea de cenușă poate fi calculată din analizele făinei brute ale clincherului și ale cenușii de cărbune. Simbolurile utilizate sunt:

$C$  - %CaO;  $S$  - %SiO<sub>2</sub>;  $A$  - %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;  $F$  - %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (în clincher);

$C_m$  - %CaO;  $S_m$  - %SiO<sub>2</sub>;  $A_m$  - %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;  $F_m$  - %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (în făină);

$C_a$  - %CaO;  $S_a$  - %SiO<sub>2</sub>;  $A_a$  - %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;  $F_a$  - %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (în cenușă).

Gradul de înglobare a cenușii  $q$  este exprimat în procente din greutatea clincherului.

Se obțin următoarele ecuații:

$$\begin{aligned} 100C &= (100-q_1)C_m + q_1C_a \\ 100S &= (100-q_2)S_m + q_2S_a \\ 100A &= (100-q_3)A_m + q_3A_a \\ 100F &= (100-q_4)F_m + q_4F_a \end{aligned} \quad (1.26)$$

După rezolvarea ecuațiilor se obțin, pentru  $q$ , următoarele expresii:

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{C - C_m}{C_a - C_m} \cdot 100, & q_2 &= \frac{S - S_m}{S_a - S_m} \cdot 100, \\ q_3 &= \frac{A - A_m}{A_a - A_m} \cdot 100, & q_4 &= \frac{F - F_m}{F_a - F_m} \cdot 100. \end{aligned} \quad (1.27)$$

Gradul de înglobare  $q$  este media valorilor  $q_1 \dots q_4$ .

### 1.2.6 Aptitudinea la clincherizare a amestecului de materii prime

#### Definirea aptitudinii la clincherizare

Aptitudinea la clincherizare reprezintă un ansamblu de caracteristici interdependente ale amestecului de materii prime, care determină comportarea acestuia în timpul procesului de clincherizare. Pentru un amestec de materii prime, aptitudinea la clincherizare se exprimă prin coordonatele timp-temperatură, în condiții de finalizare a procesului și obținere a produsului finit [31].

În aceleași condiții de timp-temperatură, aptitudinea la clincherizare este dependentă de reactivitatea componentelor amestecului de materii prime, definită prin viteza tuturor reacțiilor ce au loc la temperaturi specifice.

Exprimarea aptitudinii la clincherizare se bazează, în primul rând, pe gradul de transformare a carbonatului de calciu și de legare a oxidului de calciu de ceilalți componenți oxidici, ceea ce caracterizează felul în care decurg reacțiile de formare a constituenților mineralogici.

Aptitudinea la clincherizare se exprimă prin:

- gradul de decarbonare între 400 și 1000 °C,  $\varphi$ :

$$\varphi = 1 - CO_2'/CO_2 \quad (1.28)$$

în care  $CO_2$  reprezintă conținutul total, în procente, al amestecului de materii prime, iar  $CO_2'$  reprezintă, în procente, valoarea pierdută din  $CO_2$  până în momentul considerat al decarbonării;

- oxidul de calciu pentru clincherele obținute la 1450 °C:

### Factorii care determină aptitudinea la clincherizare

*Compoziția oxidică a amestecului de materii prime.* Din acest punct de vedere, aptitudinea la clincherizare a amestecului de materii prime poate fi caracterizată ca dificilă sau normală, în funcție de conținutul în principalii componenți oxidici.

Se consideră cu o aptitudine la clincherizare normală amestecurile în care suma  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$  se situează la aproximativ 42% din valoarea  $\text{SiO}_2$ , iar conținutul de  $\text{CaO}$  se situează la o valoare aproximativ egală cu  $3 \times \text{SiO}_2$ .

Pentru amestecurile cu aptitudine la clincherizare dificilă, consumul de combustibil poate fi cu până la 20% mai mare decât în cazul celor cu aptitudine normală la clincherizare.

### *Compoziția modulară*

Modulul de silice dă indicații asupra aptitudinii la ardere, dar și în ceea ce privește calitatea clincherului. Creșterea  $\text{SiO}_2$  în defavoarea  $\text{Al}_2\text{O}_3$  și  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  conduce la o ardere dificilă și creșterea temperaturii de clincherizare, cu influențe negative asupra constituenților mineralogici și, implicit, asupra calității cimentului.

În general, se consideră indicat un modul de silice cu valori de 2,3 - 2,7, dar alegerea intervalului de lucru depinde, întotdeauna, de compoziția mineralogică ce se dorește să se obțină.

Modulul de alumină, cu valori mai scăzute, reduce temperatura de clincherizare (cu scăderea corespunzătoare a consumului de combustibil), mărește conținutul în faza lichidă și contribuie la obținerea unui conținut ridicat de  $\text{C}_3\text{S}$  și scăderea conținutului de  $\text{CaO}$  liber.

Se consideră că amestecurile cu modulul de alumină cuprins între 1,4 și 1,6 au o aptitudine de clincherizare bună.

Gradul de saturare în calce,

$$K_s = \frac{\text{CaO}}{2,8\text{SiO}_2 + 1,18\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,65\text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (1.29)$$

influențează aptitudinea la ardere a amestecului de materii prime atât prin valoarea lui, cât și prin conținutul procentual în oxizi.

În cazul  $K_s$  se consideră că valorile de 0,92 - 0,96 sunt cele mai eficiente, mai ales din punct de vedere al consumului de combustibil. Se impune o atenție deosebită în ceea ce privește valorile  $K_s$  și constanța acestora, deoarece se consideră că o modificare de 1% produce o schimbare a aptitudinii la ardere echivalentă cu cea produsă de 0,1  $M_{\text{Si}}$ .

*Compoziția mineralogică.* Aptitudinea la ardere este dependentă de natura și procentul de constituenți mineralogici ai clincherului:

- cu creșterea conținutului de  $\text{C}_3\text{S}$ , scade aptitudinea la ardere a amestecului de materii prime;
- creșterea procentuală a  $\text{C}_3\text{A}$  și  $\text{C}_4\text{AF}$  contribuie la îmbunătățirea aptitudinii la ardere.

*Compoziția granulometrică a amestecului.* Dimensiunile particulelor amestecului de materii au o mare importanță, deoarece reactivitatea este proporțională cu inversul

dimensiunii particulei; cu alte cuvinte, timpul de reacție este proporțional cu inversul suprafeței specifice  $S_s$ , adică:

$$t = \frac{K}{S_s} \quad (1.30)$$

Nu pot fi stabilite reguli absolute cu privire la granulometria particulelor de materii prime, dar se consideră oportun ca fracțiunea grosieră să fie cuprinsă între 100 și 200  $\mu\text{m}$ , pentru producerea cimenturilor portland obișnuite, și 50 - 60  $\mu\text{m}$ , pentru cele cu rezistențe superioare.

*Omogenitatea amestecului.* Reactivitatea amestecului de materii prime este în dependență directă cu gradul de omogenitate a acestuia.

Omogenitatea amestecului de materii prime - înainte ca acestea să fie utilizate în procesul de fabricație - este o caracteristică foarte importantă și depinde de:

- caracteristicile fizico-chimice ale componentelor amestecului de materii prime;
- finețea și granulometria amestecului de materii prime;
- metodele de preparare și eficiența sistemului de omogenizare.

### 1.2.7. Aptitudinea la măcinare a clincherului

Capacitatea de măcinare a clincherului de ciment portland este, pe de o parte, în funcție de proprietățile fizice ale acestuia, ca de exemplu duritatea, porozitatea și granulația, iar pe de altă parte ea depinde de compoziția chimică și mineralogică a acestuia, de mărimea cristalelor diferitelor minerale, de condițiile de ardere și de viteza de răcire [31].

#### *Influența durității*

Clincherul de ciment portland posedă o duritate medie care-l apropie de feldspat; el este, însă, un material eterogen, măsurarea microdurității efectuată pe compușii săi mineralogici evidențiind că alitul este cel mai puțin dur (450-680 h·bar), deci cel mai ușor măcinabil, în timp ce faza interstițială este cel mai greu de măcinat (720-770 h·bar).

#### *Influența porozității*

Spațiul poros al clincherului reprezintă un sistem de pori și capilare a cărui textură se formează în cursul transformărilor fizico-chimice care se desfășoară la arderea și răcirea clincherului.

Din punct de vedere al porozității, clincherul este considerat un material cu structură bidispersă. Porozitatea totală și repartiția pe dimensiuni a porilor este, în mare măsură, determinată de cantitatea de topitură și procedeul de răcire a clincherului. Măcinabilitatea clincherelor crește cu creșterea porozității.

#### *Influența compoziției chimice mineralogice a clincherului*

Influența CaO liber și a MgO. CaO liber îmbunătățește măcinabilitatea clincherului. Acțiunea sa se datorește influenței perturbatoare asupra structurii clincherului. CaO liber se

găsește în clincher sub forma unor sferolite cu diametrul de la 10  $\mu\text{m}$  la 40  $\mu\text{m}$ , fără legătură cu ceilalți componenți, perturbând în acest mod rezistența structurii.

Un conținut de MgO mai mare de 2% înrăutățește măcinabilitatea deoarece, peste această limită, MgO se poate regăsi ca periclaz; acesta din urmă are o rezistență relativ mare la mărunțire (duritate de 6-6,5 ori mai mare ca a CO, a  $\text{C}_3\text{S}$  sau a  $\beta\text{C}_2\text{S}$ ).

Influența unor microcomponenți oxidici ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , BaO,  $\text{P}_2\text{O}_5$  ș.a.). Acești oxizi, formând soluții solide cu mineralele clincherului contribuie la micșorarea densității, durtății și rezistenței lui la măcinare. De exemplu,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , BaO și  $\text{P}_2\text{O}_5$  modifică proprietățile constituenților mineralogici, ale belitului în special, micșorând rezistența clincherului la măcinare.

Influența  $\text{Al}_2\text{O}_3$  și a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Clincherele cu un conținut mai mic de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  și  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sunt mai ușor măcinabile.

Influența  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{A}$ ,  $\text{C}_4\text{AF}$  și a gradului de saturare în oxid de calciu. Măcinabilitatea clincherului se ameliorează pe măsura creșterii conținutului în  $\text{C}_3\text{S}$  și a scăderii conținutului în  $\text{C}_2\text{S}$ . De asemenea, creșterea gradului de saturare determină îmbunătățirea aptitudinii la măcinare.

Influența modulilor și a diferitelor rapoarte oxidice și mineralogice. Pe măsură ce modulul de silice crește, măcinabilitatea scade. Când raporturile  $\text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$  sau  $(\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3)$  scad, aptitudinea la măcinare scade și ea. Creșterea raportului  $\text{C}_3\text{S}/\text{C}_2\text{S}$  sau a raportului  $(\text{C}_3\text{S} + \text{C}_2\text{S})/(\text{C}_3\text{A} + \text{C}_4\text{AF})$  determină îmbunătățirea măcinabilității.

## **1.3 Fluxul tehnologic al fabricii de ciment**

### **S.C. CASIAL S.A. Deva**

Se consideră că fluxul tehnologic al fabricii de ciment Casial Deva este caracteristic pentru industria autohtonă de ciment, motiv pentru care va fi descris succint în cele ce urmează. Schema lui este prezentată în Anexa 2 [38], [39].

#### **1.3.1 Extractia și dozarea materiilor prime**

Materiile prime principale utilizate în cadrul fabricii de ciment sunt: calcarul, argila și cenușa de pirită ca material auxiliar.

Condițiile de calitate a rocilor calcaroase și argilei folosite pentru obținerea cimentului portland sunt:

- rocile calcaroase trebuie să aibă în compoziția lor minim 80%  $\text{CaCO}_3$ , iar conținutul de oxid de magneziu de maxim  $2,5 \div 3\%$ ;

- rocile argiloase sunt considerate corespunzătoare dacă raportul  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  denumit modul de siliciu are valori cuprinse între 1,5 - 3, iar raportul  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$  denumit modul de aluminiu are valori între  $0,64 \div 3$ ;

- cenușa de pirită conține 70% oxid de fier .

Rețeta medie de fabricație luată în considerație pentru obținerea clincherului de ciment portland, conform situației locale este:

- calcar 75%;

- argilă 22%;

- cenușa de pirită 3%;

și umiditatea materiilor prime:

- calcar  $3,5 \div 4\%$ ;

- argilă 6%;

- cenușa de pirită  $1 \div 1,5\%$ .

Materiile prime, pentru a fi introduse în circuitul de uscare - măcinare, trebuie mărunțite până la dimensiunea maximă de 25 mm, iar umiditatea materialului trebuie să fie maxim 8%.

Instalația de dozare și alimentare cu materii prime cuprinde ansamblul de utilaje care asigură extragerea materiilor prime din depozit și transportul la buncărele de dozare, dozarea propriu-zisă și transportul către alimentarea instalației de uscare:

- calcarul este extras din trei silozuri de depozitare, cu un număr de șase extractoare cu brațe, câte două sub fiecare siloz, este preluat de benzile transportoare și deversat pe altă bandă, iar apoi este condus spre silozul tampon de dozare;

- argila de la secția de uscare este adusă de un transportor cu bandă la silozul de depozitare, de unde este apoi extrasă cu ajutorul a două șnecuri extractoare ce se deplasează



pe o cale de rulare având o cursă de aproximativ 5 m ;

- cenușa de pirită este transportată de o bandă transportoare direct de la halda de materii prime și descărcată în silozul de depozitare.

O linie este prevăzută cu două dozatoare de calcar, un dozator de pirită, un dozator de argilă, aceste dozatoare funcționând pe principiul gravimetric.

Punctele de descărcare de pe o bandă pe alta și cele de descărcare a dozatoarelor pe benzi sunt racordate la instalații de desprăfuire.

Pentru a se efectua un dozaj optim a materiilor prime este nevoie să se asigure o compoziție oxidică optimă, o granulometrie corespunzătoare și un grad de impurificare minim.

Modul de verificare a dozajului se face pe baza relației :

$$C + A + P = Q \quad (1.31)$$

unde: Q - debitul total de alimentare moară în (t/h);

C - debitul de calcar în (t/h);

A - debitul de argilă în (t/h);

P - debitul de pirită în (t/h).

sau:  $\%c + \%a + \%p = 100\%q$  (1.32)

Schimbarea dozajului se efectuează de către operatorul din camera de comandă la cererea șefului de schimb din laborator.

Controlul permanent asupra compoziției făinei se execută de către laborator cu ajutorul analizorului cu raze X, pe pastile confecționate din făină, control care se execută la intervale de 1 h sau 1/2 h.

### 1.3.2 Uscarea și măcinarea materiilor prime

#### a) *Uscarea materiilor prime*

Materiile prime, transportate de la dozare pe benzi, intră în turnul de uscare și sunt descărcate printr-un dispozitiv cu clapetă în uscătorul vertical, unde materiile prime circulă în contracurent cu gazele fierbinți, evacuarea materialelor având loc pe partea inferioară a uscătorului direct în moară. Circuitul gazelor fierbinți este ascensional și antrenează la trecerea prin material partea fină pe care o transportă în patru cicloane; aici are loc separarea de aer, iar materialul depus este condus spre buncărul de alimentare a pompelor Fuller.

Ventilatorul de desprăfuire al turnului de uscare refulează apoi în conducta de aspirație a ventilatorului electrofiltrului. Materialul, la intrare în turnul de uscare, conține o umiditate de maxim 9%, iar la ieșire o umiditate de 1 ÷ 2%.

#### b) *Măcinarea materiilor prime*

Materia primă uscată din instalația de uscare trece direct în moara de făină bazată pe principiul măcinării în circuit închis. Ea este o moară tubulară cu bile, cu două camere de măcinare, despărțite printr-un ecran dublu, iar la capătul de evacuare este prevăzută, de

asemenea, cu un ecran dublu; este ventilată puternic cu aer cald.

Camera specială de uscare de la punctul de admisie al materiei prime, prevăzută cu cupe de ridicare, are rolul de a dispersa brutul în curentul de gaze calde, pentru a permite uscarea făinei până la 0,8 - 1% umiditate.

Circuitul gazelor prin moară-ciclon este asigurat de un ventilator de desprăfuire moară, care le refulează apoi în conducta de aspirație a ventilatorului electrofiltrului cuptorului asigurând totodată debitul de gaze circuitate prin moară.

Elevatorul cu cupe transportă făina pe verticală de la moara de făină la separatorul dinamic. Transportul se face prin intermediul lanțului cu eclise. Elevatorul este alimentat cu material la ieșirea din moară prin intermediul rigolelor pneumatice, care, la mijloc se împart pe doi pantaloni.

Ansamblul de utilaje pentru transportul făinei la silozuri de la omogenizare se compune din: rigolă de colectare debit, dispozitiv de luat probe, stație de pompe pneumatice.

Ventilatoarele de desprăfuire au câte o clapetă pe conducta de aspirație, cu rol de reglaj a debitului de gaze calde.

### 1.3.3 Omogenizarea și depozitarea făinei

Operația de omogenizare se face în silozuri destinate acestui scop. Pentru o linie tehnologică sunt prevăzute două silozuri de omogenizare.

Pentru a se realiza o bună omogenizare, este necesar să se respecte:

- alimentarea silozului de omogenizare cu un debit constant;
- umiditatea făinei să nu depășească valoarea de 1%;
- presiunea aerului pentru omogenizare de 2 atm;
- presiunea aerului de fluiditate de 0,5 atm.

Depozitarea făinei omogenizate se face în silozuri de depozitare, care sunt situate sub silozurile de omogenizare și sunt echipate cu indicatoare de nivel pentru plin și uși pentru vizitarea silozului.

### 1.3.4 Extracția, dozarea și transportul făinei

Stația de dozare făină, este situată între silozurile de omogenizare-depozitare. De pe rigolele de transport, făina ajunge în buncărul de control al dozatorului care are rolul de a asigura o alimentare la debit constant.

Extracția făinei din buncărul de control se face cu un extractor cu valț și făina trece în regulatorul de debit Schenk. Făina astfel dozată trece în buncărul pompelor Fuller, care realizează transportul la schimbătorul de căldură.

Instalația de transport a făinei este amplasată între silozurile de depozitare și schim-

bătorul de căldură și cuprinde:

- pompe Fuller;
- conducte de transport pneumatic;
- ventile cu două căi;
- compresoare.

### 1.3.5 Arderea făinei. Obținerea clincherului

Instalația de preîncălzire făină constă în două schimbătoare de căldură cu suspensie de material în curent de gaze, lucrând în contracurent. Făina primește căldura de la gazele calde în timp ce străbate cicloanele schimbătorului de sus în jos în sensul: I - II - III - IV, după care pătrunde în camera de fum și de acolo în cuptor.

Gazele pătrund în schimbător cu o temperatură de aproximativ 1000 °C pe la partea inferioară a schimbătorului, în sensul IV - III - II - I, și sunt evacuate cu ajutorul exhaustoarelor VRA și VRB. În ansamblul instalației, schimbul de căldură se face în contracurent.

În ciclon, gazele încărcate cu material intră tangențial, căpătând o mișcare de rotație. Datorită forței centrifuge, materialul este aruncat spre pereți, se lovește de aceștia și cade, fiind evacuat pe la partea inferioară, iar gazele pe la partea superioară.

Făina preîncălzită la o temperatură de 790 ÷ 800 °C și parțial decarbonată este introdusă în cuptorul de ardere.

Părțile componente ale cuptorului sunt: tola cuptorului, antifocarul, grupul de susținere, role de ghidaj și acționarea cuptorului, iar instalațiile anexe ale cuptorului sunt: instalația de ardere (situată pe platforma de coacere, pe un cărucior mobil ce se mișcă autopropulsat dealungul axului cuptorului pe o cale de rulare suspendată de cadre metalice fixate pe platformă) și instalația de recuperare a căldurii radiate de tola cuptorului.

Făina omogenizată este introdusă prin capătul superior al cuptorului lung, ușor înclinat față de orizontală și care se rotește încet. Prin capătul inferior al cuptorului rotativ se injectează combustibil, care arde, și aer de tiraj (aerul primar) care antrenează gazele fierbinți dealungului cuptorului în contracurent cu materialul. Materialul avansează în josul cuptorului datorită înclinării și rotirii acestuia, având loc o serie de transformări ce determină corespunzător anumite zone în cuptor, în conformitate cu precizările din paragraful 1.2.1. În final, materialul răcit până la 1000 - 1100 °C, în cuptor, este evacuat pe răcitoarele grătar unde răcirea continuă în contact cu aerul atmosferic antrenat de ventilatoare.

Gazele la ieșirea din schimbătorul de căldură sunt desprăfuite de un electrofiltru, care funcționează în condiții optime când temperatura gazelor nu depășește 180 °C. În cazul în care temperatura este mai mare de 180 °C, se face o răcire în turnul de răcire.

Atât praful reținut în turnul de răcire cât și praful reținut de electrofiltru este transportat la silozurile de omogenizare.

### 1.3.6 Răcirea și transportul clincherului

Din cuptor, clincherul este deversat prin capul cald pe răcitorul grătar unde are loc o răcire bruscă la aproximativ 450 °C ( la o granulație normală a clincherului de 25 mm).

Instalația de răcire cuprinde: răcitorul grătar, ventilatoare de insuflare a aerului pentru răcire, lanțuri transportoare, concasor, instalație de desprăfuire.

Din aerul încălzit, la răcirea clincherului o parte se folosește ca aer secundar, iar cealaltă parte e recuperat și folosit ca agent de uscare în uscătorul rotativ de la morile de ciment.

### 1.3.7 Extracția și dozarea clincherului și a adaosurilor

După ce au fost depozitate, materialele ce sunt supuse procesului de măcinare (clincherul, zgura și gipsul) sunt extrase prin cădere liberă din silozuri, transportoare cu plăci metalice și transportoare cu bandă și apoi deversate pe un transportor cu bandă comun, ce alimentează moara de ciment.

Dozajul materialelor se face în conformitate cu sortimentul de ciment fabricat.

La extracția și dozarea materiei prime și adaosurilor, desprăfuirea se realizează cu ajutorul instalației de desprăfuire cu minifiltre.

Fluxul tehnologic a instalației de dozare a aditivilor de măcinare a clincherului cuprinde:

- depozitare aditivi;
- amestecul componentilor;
- dozarea pe banda de alimentare cu clincher și adaosuri a morii.

### 1.3.8 Măcinarea amestecului

Clincherul, zgura și gipsul dozate în funcție de sortimentul de ciment dorit, sunt colectate de un transportor comun ce le deversează în pâlnia de alimentare a morii, apoi împinse cu un șneac în camera morii ( camera I ). Din camera I, materialul zdrobit trece prin fantele peretelui despărțitor în camera II de măcinare.

După măcinare, materialul este evacuat prin rigola pneumatică ce face legătura dintre moară și elevator.

Cimentul preluat de elevator e ridicat și apoi deversat în pâlnia rigolei elevator-separator prin simpla întoarcere a cupelor. Rigola elevator-separator face legătura dintre elevator și separatorul dinamic.

În urma procesului de măcinare rezultă particule suficient măcinate și insuficient măcinate. Separatorul dinamic are rolul de a separa finul de griș în camera de separare, formată din discul de împrăștiere și discul cu paleți. Finul este antrenat de curentul principal

de separare, fiind purtat în cele 6 cicloane ale separatorului. Grișul este colectat la partea inferioară a separatorului și reintrodus printr-o conductă metalică în pâlnia de alimentare. Reglarea fineței de separare se face cu ajutorul registrului de jaluzele mobil, aflat pe conducta de aspirare a ventilatorului separatorului și prin modificarea turației discului de împrăștiere.

### 1.3.9 Transportul și expediția cimentului

Cimentul produs de mori este preluat de două relee de benzi paralele, care asigură transportul lui la silozuri.

Fluxul tehnologic al instalației de dozare a aditivilor de măcinare a clincherului cuprinde: depozitare aditiv, amestecul componentilor, dozarea pe banda de alimentare cu clincher și adaosuri a morii.

Distribuția cimentului în silozuri se realizează prin rigole pneumatice care fac legătura între buncărul ce primește cimentul de la benzi și silozul de destinație. Evacuarea cimentului din fundul silozului se face cu ajutorul unor extractoare de fund cu servomotoare pentru comanda de la distanță.

Pentru expediția în vrac a cimentului se prevăd dispozitive de alimentare automată echipate cu indicatoare de nivel care semnalizează momentul umplerii cisternelor și comandă întreruperea fluxului de ciment.

Însăcuirea cimentului se face în saci de ciment cu valvă, de câte 50 kg fiecare, cu ajutorul unor mașini de însăcuit.

## **1.4 Concluzii**

În capitolul 1 au fost analizate unele considerații tehnologice referitoare la fabricarea cimentului. Deși, în particular, procesele descrise sunt mai complicate decât modul cum au fost prezentate, prin scoaterea în evidență a principalelor probleme ce apar în tehnologia cimentului și stabilirea unor indici de analiză a caracteristicilor acestuia, se asigură caracterul unitar al lucrării și noțiunile de bază necesare în modelarea matematică și automatizarea ulterioară.

S-a acordat o atenție deosebită calculului compoziției clincherului și a proporțiilor de materii prime, pentru obținerea unei anumite calități de ciment. În acest scop, au fost prezentate metodele clasice existente în literatură și a fost elaborat un program care generalizează calculul compoziției clincherului. Acest program are caracter original.

În ultima parte a capitolului s-a prezentat fluxul tehnologic al unei fabrici de ciment din România, cu scopul de a se putea observa legătura între diversele etape ale procesului tehnologic și în special pentru conceperea ulterioară a unui sistem integrat de conducere a acestuia.

Contribuțiile personale ale autorului, în acest capitol, constau în:

a) - elaborarea algoritmului și programului pentru determinarea compoziției fazale a clincherului de ciment portland atât în funcție de compoziția mineralogică a făinei, cât și de subsistemul de echilibru termic, obținut prin generalizarea metodelor existente, pe baza bilanțului masic. Programul este prezentat în Anexa 1 și este util pentru conducerea automată a procesului;

b) - sinteza materialului informativ existent în literatura de specialitate;

c) - analiza procesului tehnologic de la S.C. CASIAL S.A Deva.

## STADIUL ACTUAL AL AUTOMATIZĂRII FABRICILOR DE CIMENT ȘI PERSPECTIVE DE MODERNIZARE

### 2.1 Generalități

Prin automatizarea unei linii de fabricație a cimentului se urmărește producerea unei cantități maxime de ciment de calitate dorită și într-un domeniu de toleranță cât mai restrâns, cu un consum minim de energie și materii prime, protecția echipamentelor și utilizarea rațională a personalului [29, 30, 35, 36, 37, 38, 39, 46].

Printre caracteristicile generale ale procesului de fabricare a cimentului pot fi subliniate următoarele:

- numărul foarte mare a circuitelor de măsurare (c.c.a 300 parametri);
- numărul extrem de mare a circuitelor de comandă a motoarelor (400...1000);
- numărul relativ redus de mărimi reglate (25...30);
- distanțe mari între echipamentele comandate (100...1000 m și chiar mai mult );
- complexitatea deosebită a proceselor tehnologice din unele secții (de exemplu fabricarea clincherului);
- complexitatea foarte diferită a echipamentelor componente ale sistemului (de la analizoare spectrale cu raze X, având microprocesor încorporat, până la simple circuite de comandă ale motoarelor de acționare);
- necesitatea realizării unor volume mari de calcul pentru diferite procese (dozarea materiilor prime, etalonare, conducerea proceselor din moara de făină, cuptor rotativ sau moara de ciment, precum și un număr important de raportări, protocoale curente, histograme etc.).

De exemplu, o fabrică modernă cu o linie de fabricație cuprinde c.c.a. 400 de motoare, de la motorul imens al acționării morii de făină până la mici servomotoare ce acționează ventile sau clapete de reglare, care sunt corespunzător interconectate și funcțional interblocate. Dacă diferite secții ale fabricii operează în combinație unele cu altele (de exemplu, cuptorul cu moara de făină), atunci 150 ÷ 200 elemente trebuie comandate să acționeze simultan și corespunzător, pentru a menține linia tehnologică într-un regim staționar stabil de funcționare.

Utilizarea calculatorului de proces pentru acest scop este inefficientă și neadecvată. Introducerea automatelor programabile pentru a rezolva secvențele de comandă pentru funcționare normală, dar și pentru a realiza complexe secvențe de porniri-opriri curente sau de avarie, a reprezentat o simplificare esențială în conducerea procesului tehnologic. A devenit astfel posibilă realizarea unor secvențe complexe de comandă (de exemplu, pentru 100 ÷ 150 de acționări sau chiar mai mult) care au scheme de comandă cu contactoare și rele sau cu comutație statică.

Tendința actuală în elaborarea sistemului de conducere pentru fabricile de ciment este aceea de a crește ponderea sistemelor distribuite de conducere, urmărindu-se, totodată, realizarea unui compromis optim între tendințele de centralizare și distribuire a structurilor și funcțiilor de conducere.

Arhitectura propriu-zisă a sistemului de control și urmărire a proceselor este selectată, de la caz la caz, în funcție de caracteristicile acestora.

Scopul capitolului de față este analiza situației actuale privind automatizarea unei fabrici de ciment autohtone. Pe baza acestei analize și a soluțiilor existente în domeniu pe plan mondial, se propune un sistem de conducere ierarhizat, care înglobează cele mai noi tendințe cunoscute actualmente.



## **2.2 Automatizarea procesului tehnologic** **la S.C. CASIAL S.A. Deva**

Dotarea inițială cu instrumentație locală și de panou s-a făcut conform proiectului IPA în perioada 1975-1980, în condițiile în care trebuia utilizată la maximum aparatura din țară, iar pentru importuri erau preferate țările socialiste [38, 39].

Proiectarea și execuția într-un ritm susținut, în acea perioadă, nu a lăsat timp pentru studiul condițiilor locale și nici ulterior nu s-a urmărit sistematic îmbunătățirea sistemelor de instrumentație locală. Aceasta s-a suprapus peste un gol de informații în ceea ce privește rezolvarea unor probleme similare în alte țări. Nici beneficiarul nu a manifestat interes deosebit pentru ridicarea nivelului instrumentației locale. Situația este caracteristică tuturor fabricilor de ciment din țară.

Buclele de reglare și măsură se desfășoară între instalațiile tehnologice și camerele de comandă, având o concepție clasică. Este utilizată aparatură pentru semnale analogice aparținând sistemului electronic de aparatură de reglare automată fabricată în România inițial de către FEA și preluat apoi și de alți producători: IEPAM Bârlad, IEA Cluj ș.a.

Local, sunt instalate elemente primare - senzori și traductori de mărimi neelectrice. Pe cabluri multifilare, spre camerele de comandă circulă semnale unificate de curent (2...10 mA, 4...20 mA), de tensiune (0...5 V) sau semnale logice.

Supravegherea principalilor parametri tehnologici este prevăzută a se face din camera centrală de comandă pentru fluxul tehnologic de fabricație a făinei și clincherului (de la dozare materii prime până la depozitare clincher) și din camera de comandă locală pentru fluxul tehnologic de fabricație a cimentului. Echipamentele care concentrează informațiile sunt: panouri cu schemă sinoptică și aparate indicatoare, înregistratoare și de reglare; pupitru de comandă și supraveghere a unor parametri importanți. Aparatele sunt grupate după rolul funcțional.

În cazul abaterii parametrilor tehnologici principali față de valorile normale sau în cazul unor avarii se declanșează semnalizarea de avarie - acustică și luminoasă; operatorul poate anula hupa, dar rămâne semnalizarea optică până la eliminarea cauzelor.

Pentru ca semnalele electrice să reprezinte corect mărimile tehnologice, acestea trebuie să fie prelucrate. De exemplu:

- pentru măsurarea debitului volumetric se folosește metoda căderii variabile de presiune pe un element de ștrangulare, relația fiind:  $F = k\sqrt{(P_1 - P_2)}$  prelucrarea semnalului

făcându-se cu elementul ELX 221 ( $I_c = k\sqrt{I_1 - I_2 + 2}$ );

- pentru păstrarea unui raport constant între două mărimi (ex.: aer combustie / aer diluție) se folosește elementul de raport ELX 126 care realizează  $Q_2 = kQ_1$ ;

- debitul de păcură consumată este diferența dintre debitul pe conducta tur și cea retur, rezultatul obținându-se cu elementul de adunare-scădere ELX 212 ( $I = I_0 + k_2I_2 + k_1I_1$ );

- în buclele de reglare a dozării se folosesc elemente de înmulțire-împărțire ELX 232

$(W = W_0 + k(x - x_0)/(y - y_0))$  care realizează creșterea debitului de materii prime păstrându-se proporțiile componentelor;

- pentru păstrarea temperaturii constante trebuie reglat debitul de păcură; creșterea temperaturii determină scăderea debitului de păcură proporțional cu închiderea ventilului ș.a.; reglajul se obține cu elemente reglatoare ELC 111.

Alte elemente utilizate în scheme sunt:

- ELX 115 pentru prescrierea referinței;
- ELX 176 regulator bi(tri)pozițional pentru alarmarea în cazul atingerii unor valori extreme prestabilite;
- ELI 112 integrator liniar pentru contorizări ș.a.

Trebuie subliniat faptul că elementele SRA asigură numai prelucrarea semnalelor, esențială este însă prelevarea lor.

Instrumentația locală asigură măsurarea parametrilor tehnologici care trebuie cunoscuți și urmăriți pentru buna conducere și menținerea procesului tehnologic în regim de funcționare stabilă. Stabilirea acestor parametri a fost făcută de către tehnologi.

Senzorii utilizați pentru măsurarea mărimilor tehnologice din proces sunt următorii:

- pentru temperaturi:
  - . termometre manometrice cu indicație locală;
  - . termocupluri fier-constantan, maxim 550°C; cromel-alumel, maxim 1200°C; platină-rhodium 13%, maxim 1600 °C;
  - . pirometre de radiație;
  - . pirometre în infraroșu;
  - . termorezistențe Pt-100, maxim 500 °C;
- pentru presiuni:
  - . elemente cu burduf sau tub curbat;
- pentru debite volumetrice (de gaze):
  - . diafragme și traductoare de presiune diferențială;
  - . tub Venturi;
  - . Annubar;
- pentru debite masice (de material):
  - . doze tensometrice, tahogeneratoare și elemente de înmulțire;
- pentru nivele în silozuri:
  - . sonda capacitivă;
- pentru concentrații de CO și O<sub>2</sub>:
  - . analizoare de gaze.

Agresiunea procesului tehnologic asupra elementelor sensibile determină defectarea acestora cu probabilitate mare.

Elementele de execuție reprezintă o altă componentă a sistemului de reglare automată. Ele sunt servomotoare electrice care acționează ventile, clapete, jaluzele, etc. Acestea au întotdeauna un traductor (fie potențiomtru 100 Ω, fie traductor capacitiv sau inductiv în semnal unificat) pentru indicarea poziției în tabloul general.

Structura și elementele componente ale sistemului de automatizare-măsură-control sunt prezentate în tabelele 2.1 ÷ 2.6 care trebuiesc citite împreună cu schema fluxului tehnologic prezentată în Anexa 2

## LEGENDĂ

### Tip parametru

A - analiză gaze;  
B - supraveghere flacăra;  
C - conductivitate;  
F - debit / curgere;  
I - curent electric;  
J - putere electrică;  
K - timp funcționare;  
L - nivel;  
O - vibrații;  
P - presiune;  
S - mișcare / viteză;  
T - temperatură;  
U - tensiune electrică;  
W - greutate;  
X - finețe măcinare;  
Y - detecție metale;  
Z - poziție.  
L - minimum  
LL - minimum - minimorum  
H - maximum  
HH - maximum - maximorum

### Tip traductor (semnalizator)

FT - traductor de debit  
CT - traductor de curent  
JT - traductor de putere  
LS - semnalizator de nivel  
LT - traductor de nivel  
PT - traductor de presiune  
TT - traductor de temperatură  
SS - semnalizator de mișcare  
VT - traductor de tensiune  
TR - termorezistență  
TC - termocuplu  
OT - traductor vibrații  
FS - semnalizator curgere  
FQ - cântărire cu contorizare

Tabelul 2.1

BUCLE DE MĂSURĂ ȘI REGLARE			CASIAL DEVA		
DEPARTAMENT : MORI FĂINĂ					
TIP PARAMETRU			ALARMARE		
DOMENIU DE MĂSURĂ			FUNCTIE DE REGLARE		
LOCALIZARE			TRADUCTOR		SEMNAL
F	0 - 380000	GAZE TURN USCARE		PT	2 - 10 mA
F	0 - 100000	GAZE MOARĂ		PT	2 - 10 mA
F	0 - 18000	GAZE FOCAR AUXILIAR		PT	2 - 10 mA
F	0 - 300 t/h	TOTAL MOARĂ	*	FT + FQ	2 - 10 mA
F	0 - 150 t/h	CALCAR I	*	FT + FQ	2 - 10 mA
F	0 - 150 t/h	CALCAR II	*	FT + FQ	2 - 10 mA
F	0 - 150 t/h	ARGILĂ	*	FT + FQ	2 - 10 mA
F	0 - 20 t/h	PIRITĂ	*	FT + FQ	2 - 10 mA
I	0 - 200 A	POMPĂ APĂ TURN RĂCIRE		CT	2 - 10 mA
I	0 - 200 A	POMPĂ APĂ REZERVĂ		CT	2 - 10 mA
I	0 - 150 A	VENT. DESPRĂF. MOARĂ		CT	2 - 10 mA
I	0 - 100 A	VENT. DESPR. TURN USC.		CT	2 - 10 mA
I	0 - 75 A	SEPARATOR A		CT	2 - 10 mA
I	0 - 75 A	SEPARATOR B		CT	2 - 10 mA
I	0 - 300 A	ELEVATOR 1		CT	2 - 10 mA
I	0 - 300 A	ELEVATOR 2		CT	2 - 10 mA
I	0 - 75 A	VENT. COMB. FOCAR AUX.		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	VENT. DIL. FOCAR AUX.		CT	2 - 10 mA
I	0 - 150 A	BANDA TRANSP. ( 521 )		CT	2 - 10 mA
J	0 - 100 kW	ELEVATOR		CT	2 - 10 mA
P	-1010 mb	ÎNAINTE DE MOARĂ		PT	2 - 10 mA
P	0 - 50 mb	DUPĂ MOARĂ		PT	2 - 10 mA
P	0 - 50 mb	ÎNAINTE DE TURN USC.		PT	2 - 10 mA
P	10 - 0 mbar	DUPĂ TURN USC.		PT	2 - 10 mA
		BANDA B1		SS	CONT
S		ELEVATOR 1		SS	CONT
S		ELEVATOR 2		SS	CONT
S	0 - 150 rpm	BANDA DOZAT. 1 CALCAR		TAHOGENERATOR	0 - 5 V
S	0 - 150 rpm	BANDA DOZAT. 1 CALCAR		TAHOGENERATOR	0 - 5 V
S	0 - 100 rpm	BANDĂ DOZAT. 1 ARGILĂ		TAHOGENERATOR	0 - 5 V
S	0 - 50 rpm	BANDA DOZAT. 1 PIRITĂ		TAHOGENERATOR	0 - 5 V
T	0 - 150 °C	SEPARATOR A		TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 150 °C	SEPARATOR B	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 600 °C	GAZE INTR. ELFITRU A	HH	TR Cr - Al	2 - 10 mA
T	0 - 600 °C	GAZE INTR. ELFITRU B	HH	TR Cr - Al	2 - 10 mA
T	0 - 500 °C	GAZE IES. ELFITRU A	HH	TR Cr - Al	2 - 10 mA
T	0 - 500 °C	GAZE IES. ELFITRU B	HH	TR Cr - Al	2 - 10 mA
T	0 - 1200 °C	FOCAR AUXILIAR		TC Fe - Co	2 - 10 mA
T	0 - 1000 °C	ÎNAINTE DE MOARĂ		TC Fe - Co	2 - 10 mA
T	0 - 1000 °C	ÎNAINTE DE TURN USC.		TC Fe - Co	2 - 10 mA
T	0 - 500 °C	DUPĂ TURN USCARE		TC Cr - Al	2 - 10 mA
T	0 - 200 °C	DUPĂ MOARĂ	H	* TC Cr - Al	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 1 MOARĂ	HH	* TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 2 MOARĂ	HH	* TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 1 MOARĂ	H	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 2 MOARĂ	H	TR Pt - 100	2 - 10 mA
Z	0 - 100 %	CL. VENT. DESP. TURN USC.		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	CLAP. VENT. DESP. MOARĂ		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	JALUZELE SEPARATOR A		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	JALUZELE SEPARATOR B		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	CL. VENT. DESP. TURN USC.		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	CLAP. GAZ. AER FOC AUX.		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω

Tabelul 2.2

BUCLE DE MĂSURĂ ȘI REGLARE			CASIAL DEVA		
DEPARTAMENT : SILOZURI FĂINĂ					
TIP PARAMETRU			ALARMARE		
DOMENIU DE MĂSURĂ			FUNCTIE DE REGLARE		
LOCALIZARE			TRADUCTOR		SEMNAL
I	0 - 100 A	VENTILATOR DESPRĂF.		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	COMPRESOR OMOG. C12		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	COMPRESOR OMOG. C13		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	COMPRESOR OMOG. C11		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	COMPR. TRANSP. C1 (C10)		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	COMPR. TRANSP. C6 (C3)		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	POMPA FULLER		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	COMPR. TRANSP. C2 (C9)		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	COMPR. TRANSP. C7 (C4)		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	POMPA FULLER		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	COMPR. REZERVĂ C3 (C8)		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	POMPA FULLER REZERVA		CT	2 - 10 mA
L		SILOZ A OMOGENIZARE	H	LS	CONT.
L		SILOZ B OMOGENIZARE	H	LS	CONT.
L		SILOZ A OMOGENIZARE	HH	LS	CONT.
L		SILOZ B OMOGENIZARE	HH	LS	CONT.
L		SILOZ A DEPOZITARE	H	LS	CONT.
L		SILOZ B DEPOZITARE	H	LS	CONT.

Tabelul 2.3

BUCLE DE MĂSURĂ ȘI REGLARE			CASIAL DEVA		
DEPARTAMENT : SCHIMBĂTOR CĂLDURĂ					
TIP PARAMETRU			ALARMARE		
DOMENIU DE MĂSURĂ			FUNCTIE DE REGLARE		
LOCALIZARE			TRADUCTOR		SEMNAL
A	0 - 6 %	CONȚINUT 02	HH	ANALIZATOR GAZE	0 - 20 mA
A	0 - 2 %	CONȚINUT CO	HH	ANALIZATOR GAZE	0 - 20 mA
A	0 - 8 %	CONȚINUT CO	H	ANALIZATOR GAZE	0 - 20 mA
A		DEPRES. COND. ANALIZA	H	ANALIZATOR GAZE	CONT.
A	0 - 6 %	CONȚINUT 02 INTR.CICL.		ANALIZATOR GAZE	0 - 20 mA
A	0 - 6 %	CONȚINUT REDUS 02	L	ANALIZATOR GAZE	0 - 20 mA
I	0 - 75 A	SUFL. FLUIDIZARE S5		CT	2 - 10 mA
I	0 - 100 A	SULF. FLUIDIZARE S6		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	COMPR. C17 TRANSP. A		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	COMPR. C18 TRANSP. A		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	POMPA FULLER TRANSP. A		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	COMPR. C21 TRANSP. B		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	COMPR. C22 TRANSP. B		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	POMPA FULLER TRANSP. B		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	COMPRESOR C19		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	POMPA FULLER		CT	2 - 10 mA
I	0 - 250 A	EXHAUSTOR VRA		CT	2 - 10 mA
I	0 - 250 A	EXHAUSTOR VRB		CT	2 - 10 mA
P	-515 mb	GAZE DUPĂ VRA		* PT	2 - 10 mA
P	-515 mb	GAZE DUPĂ VRB		* PT	2 - 10 mA
S	300 - 500r	EXHAUSTOR VRA		SS	2 - 10 mA
S	300 - 500r	EXHAUSTOR VRB		SS	2 - 10 mA
T	20 - 600 °C	INTR. GAZE EXHAUST VRA		TC Cr - Al	2 - 10 mA
T	20 - 600 °C	INTR. GAZE EXHAUST VRB		TC Cr - Al	2 - 10 mA
T	20 - 1200 °C	IES. GAZE DIN CICLOANE		TC Cr - Al	2 - 10 mA
T	20 - 1200 °C	IES. GAZE CICL. 1A1, 1B1		TC Cr - Al	2 - 10 mA
T	0 - 1000 °C	GAZE CICLOANE 2A, 2B	HH	TC Cr - Al	2 - 10 mA
T	0 - 500 °C	FĂINA CICL. 1A1, 1B1	HH	TC Cr - Al	2 - 10 mA
T	0 - 500 °C	FĂINA CICL. 1A2, 1B2	HH	TC Cr - Al	2 - 10 mA
T	0 - 1000 °C	GAZE CICLOANE 3A, 3B	HH	TC Cr - Al	2 - 10 mA
T	0 - 500 °C	FĂINA CICLOANE 2A, 2B		TC Cr - Al	2 - 10 mA
T	0 - 500 °C	FĂINA CICLOANE 3A, 3B	H	TC Cr - Al	2 - 10 mA
T	0 - 1000 °C	GAZE CICLOANE 4A, 4B		TC Cr - Al	2 - 10 mA
T	0 - 1000 °C	FĂINA CICLOANE 4A, 4B		TC Cr - Al	2 - 10 mA
T		APA RĂCIRE		FS	CONT.
Z	0 - 100 %	CLAPETA EXHAUSTOR		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	CLAPETA EXHUASTOR		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω

Tabelul 2.4

BUCLE DE MĂSURĂ ȘI REGLARE			CASIAL DEVA		
DEPARTAMENT : CUPTOR					
TIP PARAMETRU			ALARMARE		
DOMENIU DE MĂSURĂ			FUNCTIE DE REGLARE		
LOCALIZARE			TRADUCTOR		
				SEMNAL	
F	0 - 300Nmc	AER PRIMAR		FT	2 - 10 mA
F	0 - 25 mc/h	PĂCURA ARZĂTOR CUPTOR		* FT + FQ	2 - 10 mA
I	0 - 100 A	MOTOR 1 CUPTOR		CT	2 - 10 mA
I	0 - 100 A	MOTOR 2 CUPTOR		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	VENTILATOR AER PRIMAR		CT	2 - 10 mA
I	0 - 600 A	AȚIONARE 1 CUPTOR		CT	2 - 10 mA
I	0 - 600 A	AȚIONARE 2 CUPTOR		CT	2 - 10 mA
I	0 - 75 A	POMPA PĂCURA		CT	2 - 10 mA
I	0 - 75 A	POMPA PĂCURA REZERVĂ		CT	2 - 10 mA
P	0 - 20 mbar	GAZ ARZĂTOR CUPTOR		PT	2 - 10 mA
P	0 - 100 kgf	PRESIUNE ULEI		PRESOSTAT	CONT.
S	0 2.5 rpm	CUPTOR			CONT.
S	0 - 60	DEPLASARE CUPTOR			2 - 10 mA
T	0 - 20 °C	APA RAC. MOT. ANTREN. A		TERMOMETRU	CONT.
T	0 - 65 °C	IEȘIRE AER DIN MOTOR		TERMOMETRU	CONT.
T	0 - 45 °C	IEȘIRE AER RĂCITOR		TERMOMETRU	CONT.
T	0 - 20 °C	APA RAC. MOT. ANTREN. B		TERMOMETRU	CONT.
T	0 - 45 °C	IEȘIRE AER RĂCITOR		TERMOMETRU	CONT.
T	0 - 100 °C	LAGĂR 1 ROLA A REAZ. 1	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 2 ROLA A REAZ. 1	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 1 ROLA B REAZ. 1	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 2 ROLA B REAZ. 1	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 1 ROLA A REAZ. 2	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 2 ROLA A REAZ. 2	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 1 ROLA B REAZ. 2	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 2 ROLA B REAZ. 2	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 1 ROLA A REAZ. 3	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 2 ROLA A REAZ. 3	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 1 ROLA B REAZ. 3	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 2 ROLA B REAZ. 3	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 1 ROLA A REAZ. 4	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 2 ROLA A REAZ. 4	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 1 ROLA B REAZ. 4	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 2 ROLA B REAZ. 4	HH	TR Pt - 100	2 - 10 mA
T	-10 - 50 °C	GAZ ARZĂTOR CUPTOR		TT	2 - 10 mA
T	< 1600 °C	ZONA ARDERE CUPTOR		PIROMETRU IR	2 - 10 mA
T	0 - 500 °C	MANTA CUPTOR		PIROMETRU RADIAT	2 - 10 mA
Z	0 - 100 %	PĂCURA ARZĂTOR CUPTOR		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	VENTIL REGLARE GAZ		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	CLAPETA VRA ( VRB )		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	CLAP.VENT.AER COMBUS.		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 90 dgr	PIROM. MANTA CUPTOR		POTENȚIOMETRU(Ω)	0 - 100 Ω

Tabelul 2.5

BUCLE DE MĂSURĂ ȘI REGLARE			CASIAL DEVA		
DEPARTAMENT : RĂCITOR GRĂTAR					
TIP PARAMETRU			ALARMARE		
DOMENIU DE MĂSURĂ			FUNCTIE DE REGLARE		
LOCALIZARE			TRADUCTOR		SEMNAL
F	0 - 28500	AER RĂCIRE CAMERA 1		FT	2 - 10 mA
F	0 - 60000	AER RĂCIRE CAMERA 2		FT	2 - 10 mA
F	0 - 90000	AER RĂCIRE CAMERA 4		FT	2 - 10 mA
F	0 - 77000	AER RĂCIRE CAMERA 5		FT	2 - 10 mA
F	0 - 50400	AER RĂCIRE CAMERA 6		FT	2 - 10 mA
F	0 - 46500	AER RĂCIRE CAMERA 7		FT	2 - 10 mA
F	0 - 52500	AER RĂCIRE CAMERA 8		FT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	VENTILATOR AER PRIMAR		CT	2 - 10 mA
I	0 - 100 A	VENTILATOR DESPRĂF.		CT	2 - 10 mA
I	0 - 250 A	VENTILATOR CAMERA 1		CT	2 - 10 mA
I	0 - 500 A	VENTILATOR CAMERA 2		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	VENTILATOR CAMERA 3		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	VENTILATOR CAMERA 4		CT	2 - 10 mA
I	0 - 500 A	VENTILATOR CAMERA 5		CT	2 - 10 mA
I	0 - 200 A	VENTILATOR CAMERA 6		CT	2 - 10 mA
I	0 - 150 A	VENTILATOR CAMERA 7		CT	2 - 10 mA
I	0 - 200 A	VENTILATOR CAMERA 8		CT	2 - 10 mA
I	0 - 150 A	TRADUCTOR 1		CT	2 - 10 mA
I	0 - 150 A	TRADUCTOR 2		CT	2 - 10 mA
I	0 - 300 A	GRĂTAR RĂCITOR 3		CT	2 - 10 mA
I	0 - 300 A	GRĂTAR RĂCITOR 2		CT	2 - 10 mA
I	0 - 300 A	GRĂTAR RĂCITOR 1		CT	2 - 10 mA
I	0 - 150 A	CONCASOR CLINCHER		CT	2 - 10 mA
I	0 - 150 A	BANDA CLINCHER		CT	2 - 10 mA
I	0 - 100 A	VENT. 1 DESPR. RĂCITOR		CT	2 - 10 mA
I	0 - 100 A	VENT. 2 DESPR. RĂCITOR		CT	2 - 10 mA
P	0 - 50 mb	AER ÎN EXCES	H	PT	2 - 10 mA
P	0 - 67 mb	RĂCITOR CAMERA 1		* PT	2 - 10 mA
P	0 - 55 mb	RĂCITOR CAMERA 2		* PT	2 - 10 mA
P	0 - 56 mb	RĂCITOR CAMERA 3		* PT	2 - 10 mA
P	0 - 40 mb	RĂCITOR CAMERA 4		* PT	2 - 10 mA
P	0 - 37 mb	RĂCITOR CAMERA 5		* PT	2 - 10 mA
P	0 - 22 mb	RĂCITOR CAMERA 6		* PT	2 - 10 mA
P	0 - 22 mb	RĂCITOR CAMERA 7		* PT	2 - 10 mA
P	0 - 22 mb	RĂCITOR CAMERA 8		* PT	2 - 10 mA
P	0 - 22 mb	FILTRU 1 RĂCITOR		* PT	2 - 10 mA
P	0 - 20 mb	FILTRU 2 RĂCITOR		PT	2 - 10 mA
S		VENTILATOR DESPRAF.		SS	2 - 10 mA
S	340 - 1350	GRĂTAR 1		TAHOGENERATOR	0 - 20 V
S	340 - 1350	GRĂTAR 2		TAHOGENERATOR	0 - 20 V
S	340 - 1350	GRĂTAR 3		TAHOGENERATOR	0 - 20 V
T	0 - 1200 °C	AER SECUNDAR		TC Cr - Al	2 - 10mA
T	0 - 500 °C	PLĂCI RĂCITOR GRĂTAR		* TC Cr - Al	2 - 10mA
Z	0 - 100 %	CLAPETA ( 120M ) CAM. 1		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	CLAPETA ( 123M ) CAM. 4		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	CLAPETA ( 126M ) CAM. 7		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	CLAPETA ( 127M ) CAM. 2		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	CLAPETA ( 122M ) CAM. 3		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	CLAPETA ( 124M ) CAM. 5		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	CLAPETA ( 125M ) CAM. 6		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω
Z	0 - 100 %	CLAPETA ( 127M ) CAM. 8		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω



Tabelul 2.6

BUCLE DE MĂSURĂ ȘI REGLARE			CASIAL DEVA		
DEPARTAMENT : MORI CIMENT					
TIP PARAMETRU			ALARMARE		
DOMENIU DE MĂSURĂ			FUNCTIE DE REGLARE		
LOCALIZARE			TRADUCTOR		SEMNAL
F		LAGĂR IES. MOARA		FS	CONT.
F		ULEI UNGERE REDUCTOR1		FS	CONT.
F		ULEI REDUCTOR 2		FS	CONT.
I	0 - 50 A	VENTILATOR ELFILTRU		CT	2 - 10 mA
I	0 250 A	VENTILATOR SEPARATOR		CT	2 - 10 mA
I	0 - 50 A	SEPARATOR		CT	2 - 10 mA
I	0 - 100 A	VENTILATOR MOT. MOARĂ		CT	2 - 10 mA
J	0 -2000 kW	MOTOR MOARĂ		JT	0 - 5 V
J	0 - 300 kW	SEPARATOR		JT	0 - 5 V
L		BUNCĂR CIMENT	H	LS	CONT.
P	0 - 8 bar	ULEI UNGERE RED. JP		PT	2 - 10 mA
P	0 - 8 bar	ULEI REDUCTOR 1		PT	2 - 10 mA
P	0 - 8 bar	ULEI REDUCTOR 2		PT	2 - 10 mA
P	0 - 8 bar	UNG. PINION COROANĂ		PT	2 - 10 mA
P	0 - 10 mb	IEȘIRE MOARĂ		PT	2 - 10 mA
P	0 - 22 mb	INTRARE EL - FILTRU	HH	PT	2 - 10 mA
P	0 - 22 mb	IEȘIRE EL - FILTRU		PT	2 - 10 mA
P	-5010 mb	INTRARE MOARĂ		PT	2 - 10 mA
P	0 - 30 mb	INTERIOR SEPARATOR		PT	2 - 10 mA
P	0 - 30 mb	INTRARE VENT. SEPART.		PT	2 - 10 mA
T	0 - 100 °C	LAGĂR 1 MOARA	HH	TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 100 °C	LAGĂR 2 MOARA	HH	TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 100 °C	ACTIONARE AUX. MOARĂ		TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 100 °C	ACTIONARE AUX. MOARĂ		TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 60 °C	INTRARE ELECTROFILTRU		TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 200 °C	SEPARATOR		TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 60 °C	ACTIONARE MOARĂ		TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 100 °C	APA PULVERIZARE	H	TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 60 °C	REDUCTOR ELEVATOR	H	TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 60 °C	POMPA UNG. RED. 2 MOARA	H	TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 100 °C	ULEI IP LAGĂR INTRARE	HH	* TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 60 °C	ULEI JP LAGĂR IEȘIRE	H	* TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 160 °C	ULEI IP LAGĂR 2 IES.	HH	TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 100 °C	POMPA UNGERE SEPARAT	HH	TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 100 °C	ULEI UNGERE RED. IP	H	TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 100 °C	ULEI UNGERE RED. 1 IP	H	TR Pt - 100	0 - 10 V
T	0 - 100 °C	ULEI UNGERE RED. 2 IP	H	* TR Pt - 100	0 - 10 V
Z	0 - 100 %	CLAPETA SEPARATOR		POTENȚIOMETRU	0 - 100 Ω

Concluziile rezultate din analiza tabelelor prezentate și a situației reale din fabrică sunt:

- instrumentația este depășită tehnic (parte din ea nefuncțională în prezent);
- lipsa unei conduceri centralizate a procesului iar buclele de reglare locale sunt strict convenționale și nemodernizate;

- traductoarele sunt în mare parte ieșite din clasa de precizie inițială, iar unele mărimi importante nici nu se mai măsoară, motiv pentru care precizia reglajului este nesatisfăcătoare;

- în afară de laboratorul de analize (modernizat), nu există echipamente numerice de conducere a proceselor.

Toate acestea (și altele) conduc la: consumuri energetice mult peste nivelul mondial; pierderi de materie primă; calitate necorespunzătoare a cimentului (în special neuniformă); productivitate redusă; regimuri de funcționare necorespunzătoare pentru utilaje, cu repercursiuni asupra fiabilității și duratei lor de viață.

## **2.3 Conducerea ierarhizată a fabricilor de ciment**

### **2.3.1 Generalități**

Caracteristicile esențiale ale unei fabrici de ciment, care dictează și structura sistemului de conducere sunt: procese tehnologice cu diferite complexități, răspândite pe o arie geografică destul de mare și interconectate funcțional într-un flux tehnologic unic. Rezultă că principul conducerii pe nivele ierarhice este singurul ce se poate aplica și el a fost adoptat de majoritatea firmelor de prestigiu din lume (Siemens - Germania, Onoda - Japonia, FLS - Danemarca etc.).

Analizând un material bibliografic numeros (articole, documentații de firmă etc.) s-a ajuns la concluzia că, în general, structura sistemului de conducere a fabricilor de ciment este aproape standardizată și va fi expusă în cele ce urmează.

Rămâne, însă, o multitudine de alte probleme, care, chiar dacă marile firme de automatizare din lume le au rezolvate într-un fel sau altul, constituie secrete care nu sunt furnizate nici contra-cost, rămânând în proprietatea lor. Menționăm printre acestea: modelele matematice ale proceselor propriu-zise; algoritmi de conducere a proceselor; software-ul de intercomunicație pe "bus"-uri între nivele ierarhice și în cadrul unui nivel etc.

Toate acestea (și altele) au o importanță esențială în realizarea propriu-zisă a unui sistem integrat de conducere a unei fabrici de ciment.

În privința algoritmilor de conducere și a modelării proceselor se poate spune că o perioadă relativ îndelungată s-a apelat numai la metode deterministe, cu rezultate îndoielnice: fie modele prea complicate și inoperante (din acest motiv), fie modele mai simple dar cu grad de precizie scăzut.

În ultima perioadă de timp se utilizează tot mai mult sisteme expert, care sunt sisteme de calcul capabile să simuleze raționamentele și comportarea unui expert uman.

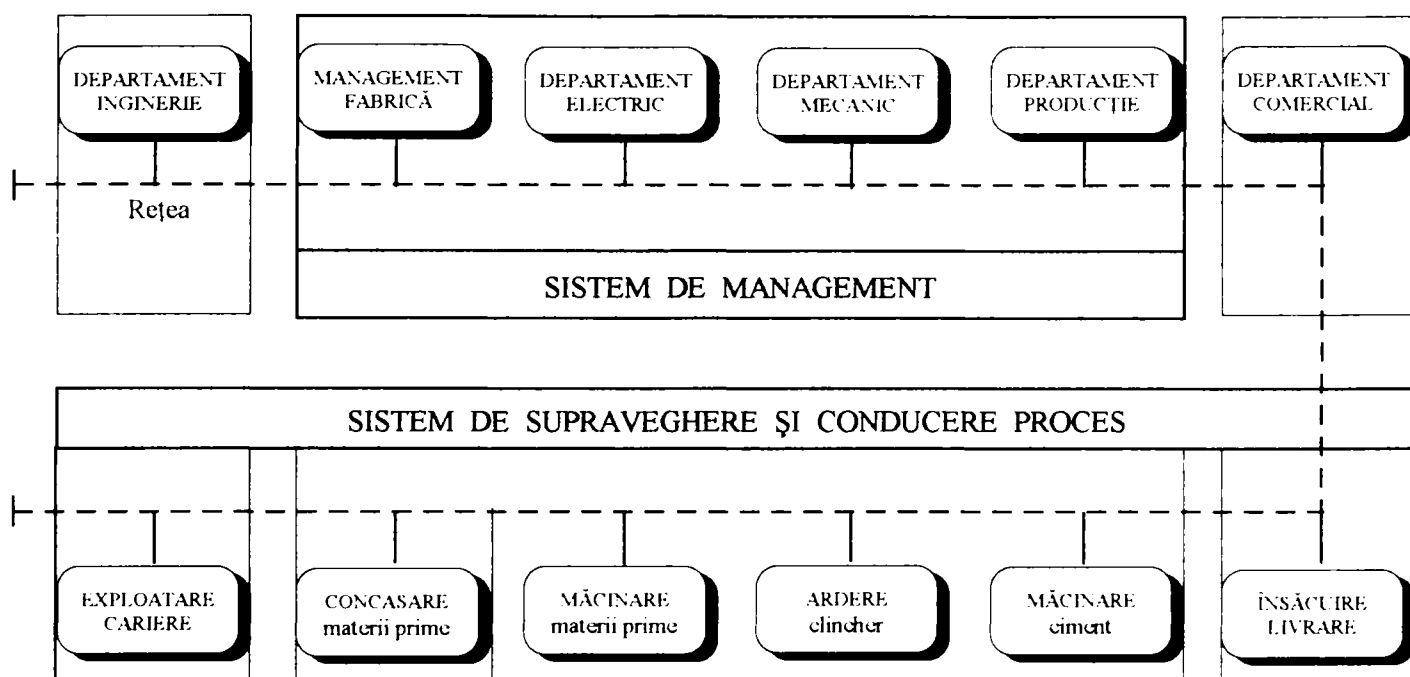
### **2.3.2 Sistem de conducere integrată a fluxului de fabricație a cimentului**

Soluțiile prezentate în cele ce urmează se bazează pe documentații elaborate și publicate de firme de prestigiu (FLS, Onoda, Siemens ș.a.). Pornind de la acestea, s-a conceput un sistem unitar, cu unele aspecte de originalitate.

#### **2.3.2.1 Sistemul informatic de proces**

[1], [10], [16], [24], [25], [27÷30], [37], [40], [48÷51], [62], [64], [66], [68], [69], [73÷80], [82÷101], [106÷107], [111÷112].

Un sistem de conducere automată a procesului de fabricare a cimentului este alcătuit din următoarele sisteme subordonate (fig.2.1):



**Fig.2.1**

- supraveghere și conducere a procesului tehnologic;
- management;
- inginerie de proces.

*Sistemul de supraveghere și conducere a procesului tehnologic* realizează supravegherea și conducerea automată a principalelor faze de fabricație: exploatare cariere; concasare materii prime; preomogenizare materii prime; dozare-măcinare materii prime; omogenizare făină; ardere făină; măcinare clincher; însăcuire și livrare ciment.

*Sistemul de management* furnizează informații sintetice cu privire la desfășurarea procesului tehnologic, cu scopul de a permite factorilor de conducere elaborarea de decizii și stabilirea de strategii de optimizare a activității de fabricație. Este structurat pe următoarele departamente: management general; electric; mecanic; întreținere; producție.

*Sistemul de inginerie de proces* are rolul de a asigura supravegherea funcționării sistemului informatic și de a permite continua îmbunătățire a performanțelor acestuia prin reconfigurare periodică, conform celor mai noi realizări din domeniu.

#### a. *Sistemul de supraveghere și conducere*

Sistemul informatic de proces se organizează pe nivele ierarhice, toate sistemele subordonate comunicând între ele prin intermediul aceleiași rețele.

În figura 2.2 se prezintă detaliat structura de echipamente a unui astfel de sistem de conducere. Nivelul interfețelor de proces, constituit din automate programabile standardizate, are configurația modulară.

La nivelul camerei de comandă sistemul utilizează calculatoare compatibile IBM-PC industriale standardizate, ce permit afișarea pe monitoare color a tuturor informațiilor necesare procesului.

Comunicația între nivelul interfețelor de proces și cel al camerei de comandă se realizează, ca și comunicația dintre subsisteme, prin intermediul rețelei.

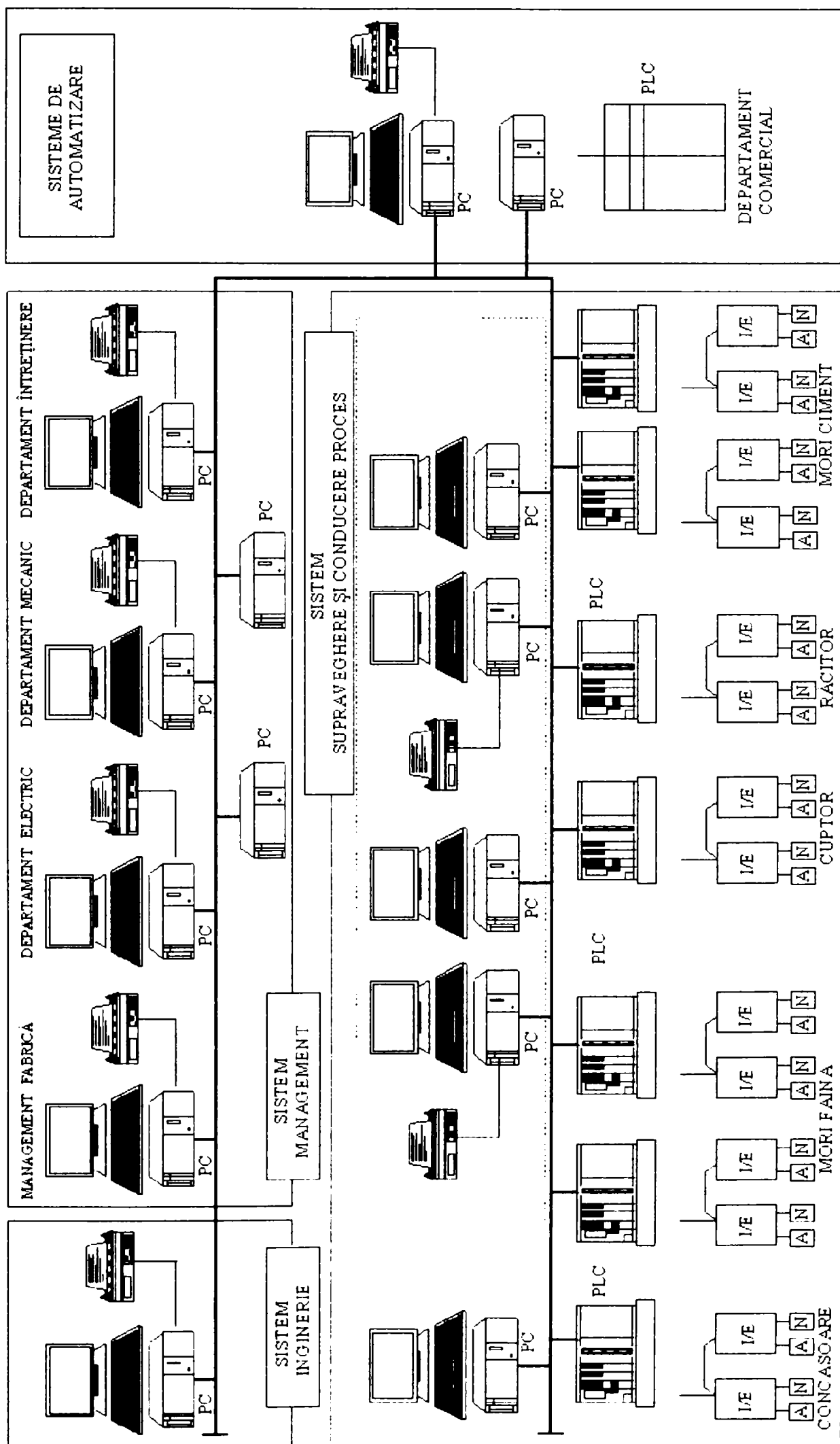


Fig.2.2

Funcțiile și caracteristicile sistemului de conducere la nivelul camerei de comandă se stabilesc și se dezvoltă în conformitate cu strategia utilizatorului, potrivit necesităților și nivelului de pregătire a personalului operator.

Strategia de conducere are la bază pachete de programe cu funcții specifice, integrate într-o structură modulară.

Structura ierarhizată a sistemului poate fi dezvoltată atât în plan orizontal, prin adăugarea de noi echipamente (interfețe de proces, calculatoare compatibile IBM-PC, monitoare), cât și vertical, prin adăugarea de subsisteme pe poziții laterale sau la nivelul cel mai înalt.

Standardizarea echipamentelor (PLC, PC), oferă garanția unui sistem omogen, cu puține echipamente hardware diferite, facilitând întreținerea și crescând fiabilitatea sistemului.

### b. Sistemul informatic de management

Sistemul de management este parte integrantă a sistemului de conducere automată a fabricației. Structura de echipamente (fig. 2.3) are la bază numai calculatoare compatibile IBM-PC industriale standard, conectate la rețea, ce pot fi amplasate în toate punctele de lucru din fabrică.

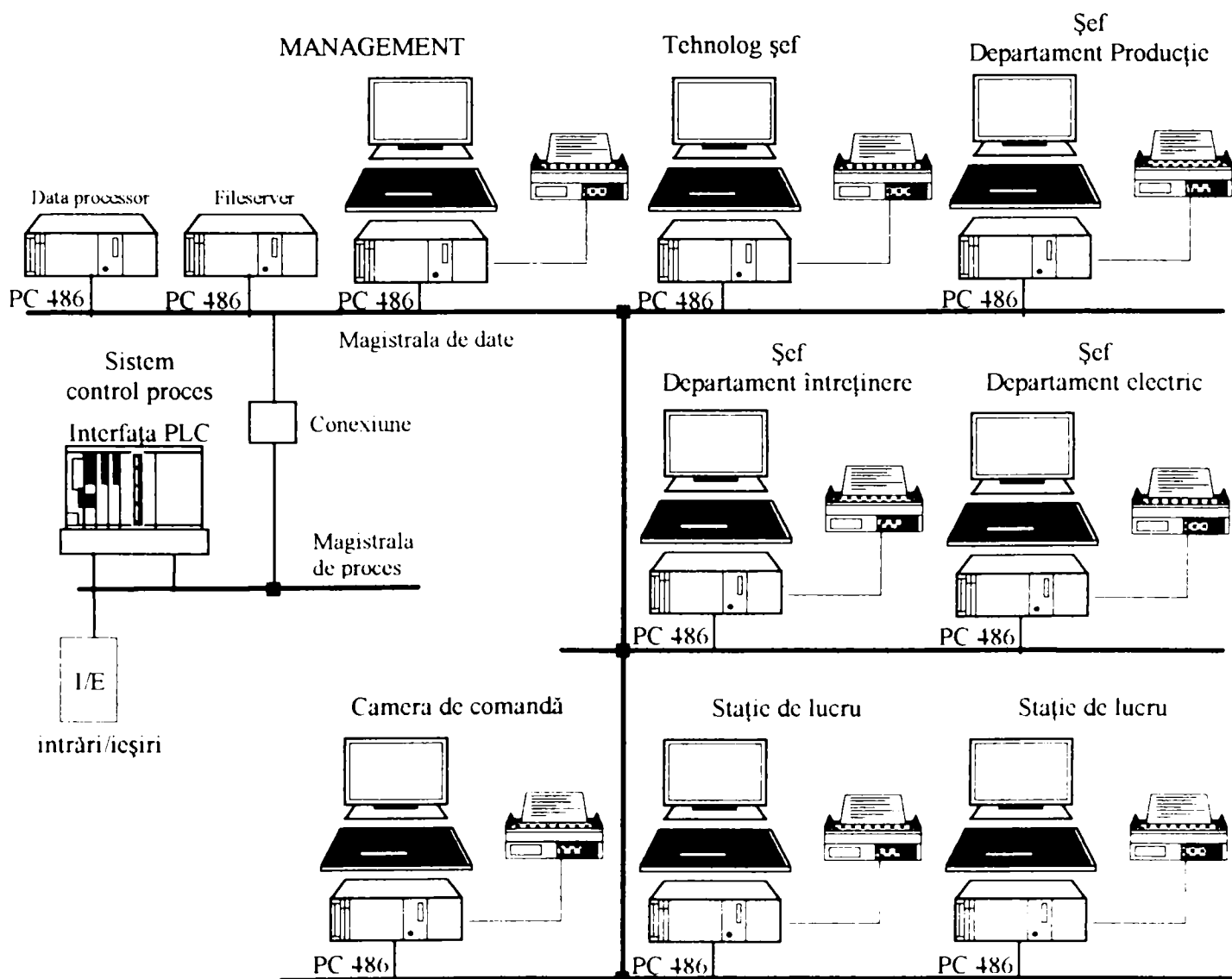


Fig. 2.3

Automatele programabile, situate la nivelul procesului, colectează toate datele și informațiile din fabrică, proces și camera de comandă, le validează și le transmite la nivelul sistemului de management unde se sortează datele în buffere speciale, se integrează valorile consumurilor energetice și ale producției pe oră, zi, schimb, săptămână, lună, și se transmit pentru informare datele și mesajele la calculatorul compatibil IBM-PC cu funcția de FILE SERVER.

Prin intermediul sistemului de management orice utilizator autorizat are acces la informații provenite din întreaga fabrică și la informațiile referitoare la avarii, valori măsurate, consumuri și producții. Pentru vizualizarea acestor informații este necesară o simplă apelare de la orice calculator a sistemului care colectează date din FILE SERVER și le afișează pe ecran în forma solicitată.

Sistemul este flexibil, oferind posibilitatea realizării unei game largi de grafice și rapoarte. Utilizatorul nu este constrâns la acceptarea unui anumit specific al rapoartelor sau reprezentărilor grafice. Fiecare utilizator își poate stabili tipul de raport, formatul, procedura de calcul sau de evaluare, precum și modul de prezentare (pe ecran sau la imprimantă).

### c. Sistemul informatic de inginerie

Sistemul informatic de inginerie (fig. 2.4) permite specialiștilor să efectueze toate lucrările de configurare a sistemului impus de necesități.

Sistemul are caracter expert servind inginerului proiectant expert în tehnologia și know-how de fabrică să definească funcțiile și obiectivele la nivel de proces.

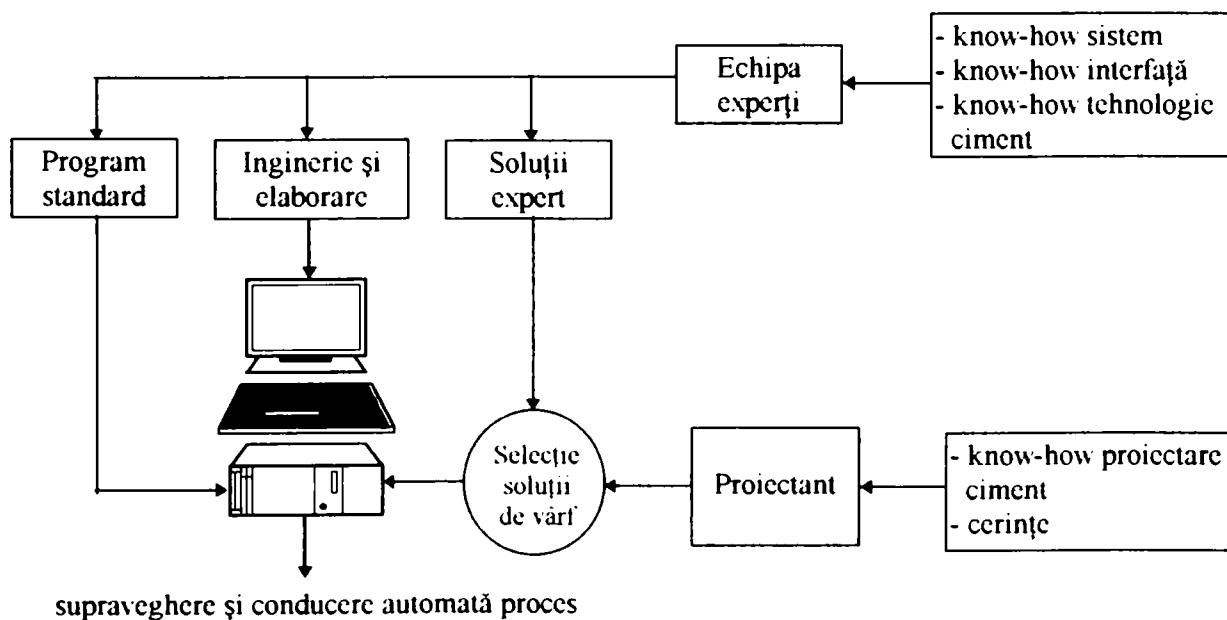


Fig. 2.4

Sistemul de inginerie nu are rolul de programare, structurare sau parametrizare în sens convențional a sistemului de supraveghere și conducere. El definește funcțiile printr-o procedură de dialog cu inginerul proiectant, prin care se generează în mod automat parametrii pentru comunicația de rețea, programele pentru interfețe, parametrii tehnologici,

liniile de text, bargrafurile și diagramele pentru stațiile de lucru din camera de comandă. Trebuie dezvoltate și programate soluții optime pentru controlul tuturor taskurilor necesare într-o fabrică de ciment. Soluțiile sunt introduse în sistemul de inginerie fiind disponibile pentru toți inginerii proiectanți, conform cerinței. Soluția optimă a unei probleme este selectată automat, realizându-se concomitent un înalt nivel de standardizare: pentru întreaga fabrică aceeași problemă tehnologică va avea aceeași soluție informatică tip stocată în memoria sistemului.

### 2.3.2.2 Supravegherea procesului tehnologic

Funcția de supraveghere a parametrilor tehnologici ai fluxului de fabricație a cimentului are rolul de informare operativă a personalului de exploatare, prin analiza și semnalizarea permanentă a stării procesului.

Procesul de fabricație a cimentului se poate împărți în faze distincte (A,B,...). Fiecare fază astfel delimitată poate fi tratată ca un proces continuu, independent funcțional. Datorită capacităților mari de depozitare a materialelor între două faze tehnologice succesive (halde de preomogenizare, silozuri de omogenizare, silozuri de clincher, silozuri de ciment etc.), faze diferite ale fluxului de fabricație a cimentului pot fi operate independent în raport cu variabila timp.

Instalațiile tehnologice sunt dotate cu dispozitive de control și reglare. Prin intermediul acestora se realizează modificarea debitelor de material, gaze, aer, a temperaturilor, presiunilor, încărcării morilor cu material, concentrațiilor de gaze etc.

Sistemele de supraveghere alocate fiecărei faze tehnologice au definite două funcții de control: una destinată pornirii și opririi motoarelor de acționare, cea de a doua rezervată controlului procesului (circuite de măsură, bucle de reglare cu modificarea referinței local, sau direct prin comenzi transmise de sistemul de calcul).

Sistemul informatic de supraveghere a parametrilor procesului de fabricație a cimentului realizează citirea și prelucrarea prin intermediul tehnicii de calcul a parametrilor tehnologici aferenți fluxului de fabricație și afișare a lor în diferite moduri pe monitoarele aflate la dispoziția personalului operator și a celui de conducere.

Modul de circulație a informației se poate realiza într-un singur sens, de la proces spre sistemul de calcul (funcție de supraveghere cu caracter pasiv), sau în dublu sens: de la proces la sistemul de calcul și în sens invers (comenzi în proces în cazul funcției de supraveghere cu caracter activ).

Citirea parametrilor (analogici și/sau numerici) se realizează prin intermediul interfeței de proces, care preia semnalele din proces, transformându-le într-o primă fază în semnale numerice, prelucrate ulterior de către aceasta sau de către calculatorul pe care se realizează funcția de supraveghere.

Realizarea funcției asigură:

- prelevarea (citirea) și înregistrarea automată, în mod periodic, a parametrilor (analogici și numerici);



- verificarea încadrării valorilor măsurate în limitele (maxime și minime) de funcționare normală impuse din punct de vedere tehnologic;
- alarmarea la depășirea limitelor de stare normală a unor parametri tehnologici sau la oprirea accidentală a unor utilaje;
- protocolarea (tabele de valori sau grafice de dependență) informațiilor și din istoric pentru:
  - parametri tehnologici;
  - indici de exploatare și consumuri;
- diagnoza avariilor: elaborarea automată de soluții și strategii indicate a fi urmate în cazul apariției unor avarii a funcționării defectuoase a unor utilaje etc.

- comenzi în proces (cazul supravegherii active).

Realizarea funcției de supraveghere se materializează prin afișarea pe monitoare a:

- schemelor sinoptice caracteristice fazelor fluxului de fabricație, reactualizate periodic;
- valorile curențe ale parametrilor tehnologici:
  - neprelucrate;
  - prelucrate (grafice, prelucrări statistice etc.);
- mesajelor de alarmă ale parametrilor tehnologici ce se află în situații critice:
  - tranziții ON/OFF, respectiv OFF/ON;
  - depășiri ale limitelor tehnologice impuse respectiv revenirea din aceste stări.

Structura hardware necesară implementării aplicațiilor, numărul și tipul interfețelor și a calculatoarelor de proces se stabilesc după analiza parametrilor tehnologici vizați pentru supraveghere și, funcție de opțiunea utilizatorului, pentru configurația dorită.

Programele de aplicație pentru realizarea acestei funcții se introduc pe calculatoarele aflate în camerele de comandă sau, în funcție de opțiuni, pe interfețele de proces.

Funcție de volumul de semnale preluate din proces (numărul parametrilor manipulați), se realizează unul sau mai multe sisteme de supraveghere pentru fiecare fază a fluxului de fabricație a cimentului. În general, se alocă fiecărei faze (exploatare cariere, concasare, preomogenizare, măcinare materii prime, omogenizare, ardere și răcire, măcinare clincher, însăcuire, livrare) câte un sistem de supraveghere.

Sistemele automate de supraveghere destinate fiecărei faze utilizează, de regulă, automate programabile pentru preluarea și tratarea semnalelor de intrare/ieșire și buclelor de reglare utilizând metoda DDC (Direct Digital Control). Funcție de numărul semnalelor preluate și tratate, pentru fiecare fază a procesului sunt utilizate unul sau mai multe automate programabile, localizate în imediata apropiere a secției deservite. În camerele de comandă, pentru comunicația sistemului de calcul cu operatorul, se utilizează de regulă automate programabile sau PC-uri.

Variabilele de comandă, parametrii de control, precum și opțiunea manual/automat sunt tratate de automatul programabil care asigură preluarea mărimilor din proces, calculul mărimilor de comandă și stabilirea referințelor.

La nivel superior, pentru înregistrarea datelor, prelucrare primară, protocolare și diagnoză, se utilizează un calculator de proces. Automatele programabile alocate fiecărei faze a fluxului tehnologic sunt conectate la o magistrală care, la rândul ei, este conectată prin intermediul unei interfețe la calculatorul de proces (calculator compatibil IBM). În timpul funcționării normale, operatorul are posibilitatea de a modifica/ajusta mărimile de comandă și parametrii de control și de a comuta trecerea din modul de operare manual în cel automat și invers.

a) *Structura generală a sistemului de supraveghere*

Sistemul de supraveghere a procesului de fabricație a cimentului este organizat ierarhic, de regulă în patru nivele (fig. 2.5), fiecărui nivel fiindu-i atribuite sarcini specifice de control. Nivelele I, II și III sunt, la rândul lor, organizate în blocuri de control, independente funcțional, fiecare alocat unei faze a fluxului de fabricație a cimentului. La nivelul IV se află sistemul central, dedicat procesului în ansamblu.

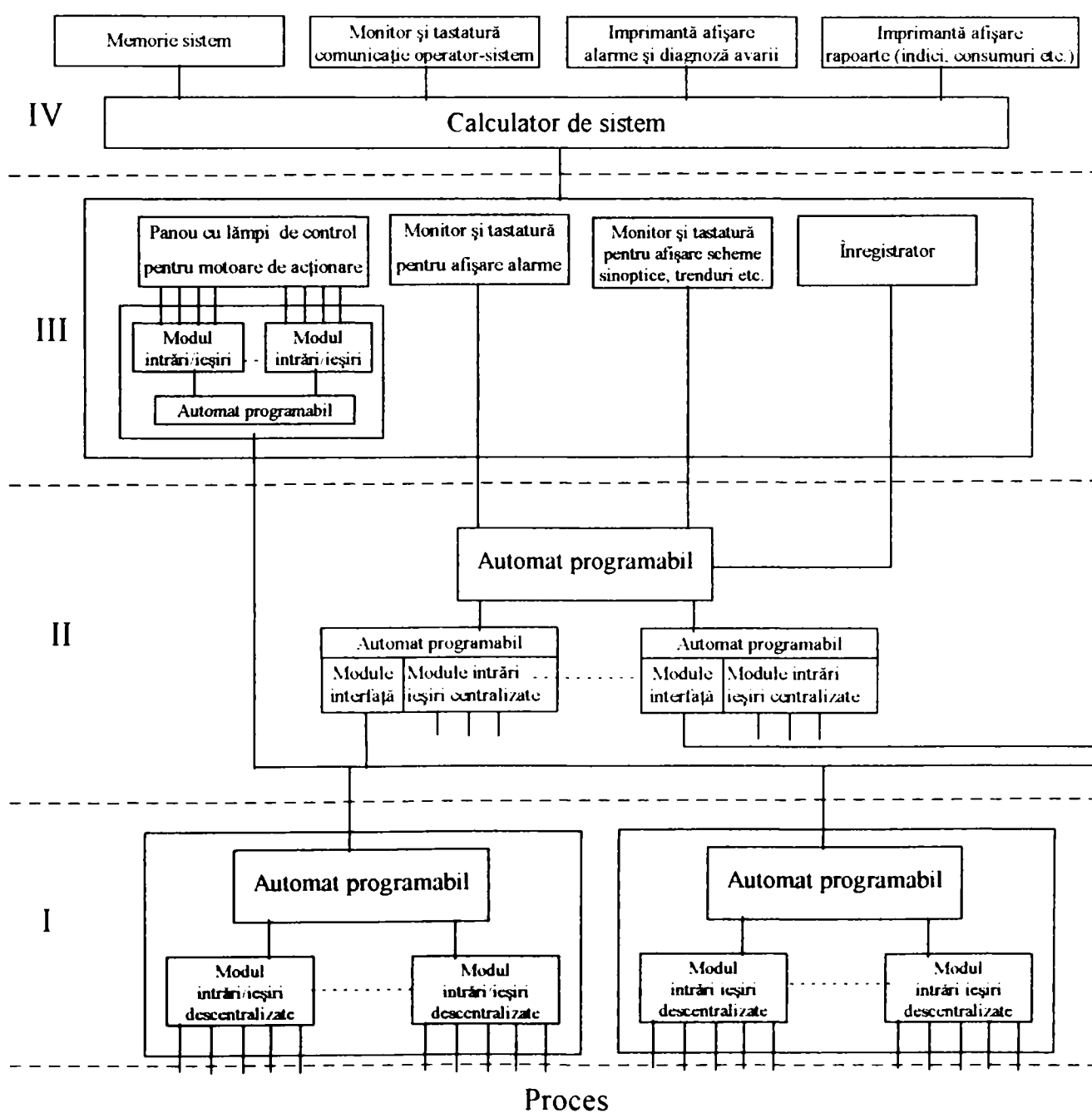


Fig. 2.5

Preluarea, tratarea și transmiterea de semnale din/în proces se realizează prin intermediul interfețelor. Funcție de numărul de semnale ce trebuie culese sau comandate din/în proces, există unul sau mai multe automate programabile, alocate fiecărei faze tehnologice.

#### a<sub>1</sub>) *Funcții de control la nivelul I*

*Controlul funcționării motoarelor de acționare.* Funcția asigură secvențele automate destinate grupurilor de motoare existente pe fiecare fază: pornirea și oprirea motoarelor, interblocajele de siguranță, măsurătorile instantanee ale valorilor curenților și turațiilor, achiziția semnalelor de la aparatele de protecție și monitorizarea valorilor temperaturilor înfășurărilor, lagărelor și aerului de răcire.

*Controlul mărimilor din proces.* Funcția asigură monitorizarea valorilor neelectrice măsurate din proces (temperaturi, presiuni, concentrații de gaze etc.), prin raportare la valorile limită predeterminate (impuse din considerente tehnologice). Când valoarea unui parametru depășește una dintre limitele impuse (minim sau maxim), se inițiază o secvență de avarii (prealarmă), urmată de o secvență de decuplare. În principiu, pentru fiecare punct de măsură se pot lua în considerare două limite inferioare și două limite superioare de avertizare (prealarmă și alarmă).

Cea mai mare parte a mărimilor preluate din proces este folosită pentru afișarea pe un monitor, sub diferite forme, a valorilor măsurate și pentru memorarea lor în scopul creării istoricului procesului. O parte a valorilor măsurate servesc ca variabile de control în bucle de reglare în circuit închis.

În general, funcțiile de control ale buclelor în circuit închis sunt îndeplinite conform unui algoritm PID. Cea mai mare parte a buclelor de reglare au funcționare independentă, iar variabilele de referință sunt determinate prin intermediul unui automat programabil master de clasă mai înaltă, într-o configurație în cascadă.

#### a<sub>2</sub>) *Funcții de control la nivelul II*

La acest nivel există câte un automat programabil afectat fiecărui bloc de control, localizat în imediata vecinătate a panoului de comandă care realizează funcțiile:

- conectarea monitoarelor, cu funcție de afișare continuă, în camera de comandă;
- comunicația cu nivelele III și IV.

#### a<sub>3</sub>) *Funcții de control la nivelul III*

Fiecare bloc de control are propriul său pupitru de comandă (în camera de comandă), corespunzător fazei din fluxul de fabricare a cimentului căreia îi este dedicat. La acest nivel se realizează funcțiile:

- controlul motoarelor de acționare;
- monitorizarea semnalelor de prealarmă și alarmă;
- monitorizarea schemelor sinoptice, diagramelor și a bargrafurilor. Această funcție permite operatorului prin intermediul comunicației pe bază de meniuri, selecția opțională a modului de afișare a parametrilor preluați din proces, oprirea sau pornirea grupurilor de motoare de acționare, modificarea referințelor și a comenzilor etc.

- înregistrarea continuă, în istoric, a valorilor măsurate în proces;

- editarea de rapoarte.

a<sub>4</sub>) *Funcții de control la nivelul IV*

Principala funcție îndeplinită de calculatorul de sistem, aflat la nivelul IV, este prelucrarea, înregistrarea și editarea datelor:

- monitorizarea și tipărirea rapoartelor, statisticilor, a datelor generale conținute în istoricul procesului;
- monitorizarea și tipărirea mesajelor de alarmă, prealarmă și de diagnoză a avariilor;
- utilizarea de proceduri interactive pentru implementarea de noi programe, efectuarea de modificări în programele existente și/sau testarea sistemului de programe.

b) *Modalități de realizare a supravegherii*

b<sub>1</sub>) *Controlul motoarelor de acționare*

Motoarele fiecărei faze a fluxului de fabricație a cimentului sunt împărțite în grupe. Motoarele din cadrul unui grup pot fi pornite/oprite numai în grup, prin intermediul unei comenzi de grup. Operatorul primește informații și confirmări din proces. Curenții și turațiile motoarelor de acționare sunt prezentate semigrafic, pe un monitor color (scheme sinoptice, diagrame, bargrafuri), același cu cel destinat controlului procesului.

b<sub>2</sub>) *Modalități de control al procesului*

La nivelul camerei de comandă, operatorul dispune de posibilități de selecție pe bază de meniuri a modalității de afișare, pe displayuri grafice, a funcției de supraveghere a procesului:

- schema sinoptică a unei faze tehnologice sau a unei secvențe a acesteia;
- bargraf pentru una sau mai multe bucle de reglare;
- diagrama de tip TREND-variație în timp a uneia sau mai multe mărimi tehnologice;
- mesaje de alarmă,

pe același monitor (funcție de opțiune) sau pe monitoare diferite.

*Schemele sinoptice* realizează afișarea și reactualizarea, la intervale prestabilite (15-30 s) a codului și valorii măsurate (instantanee sau medie) a parametrilor aferenți fazei sau secvenței tehnologice selectate prin intermediul unui meniu.

Informații suplimentare pot fi obținute prin utilizarea codurilor de culori. Sistemul de calcul verifică încadrarea valorii instantanee (sau medii) a parametrilor în limitele tehnologice admise și realizează monitorizarea conform codului de culori prestabilit, de exemplu:

- gri, variabile analogice în limitele de operare;
- roșu, variabile analogice sub limita inferioară de operare;
- magenta, variabile analogice peste limita superioară de operare;
- galben, mărimi de ieșire din funcțiile de conducere (comenzi în procese);
- verde, variabile numerice în stare ON;
- maro, variabile numerice în stare OFF.

Schemele sinoptice oferă posibilitatea unei informări rapide a operatorului asupra stării procesului supravegheat.

Intervenții pentru reglarea procesului sunt posibile și prin intermediul schemelor sinoptice, dar nu se recomandă ca procedură uzuală.

Reprezentarea prin *bargraf* se poate realiza simultan pentru un număr limitat (max. 5-8) de mărimi din proces ( puncte de măsură, bucle de reglare, motoare de acționare etc.). Monitorizarea valorilor parametrilor analogici explorați în proces se face în unități fizice, cu excepția valorilor curenților de acționare și a turațiilor motoarelor, care sunt afișate, de regulă, ca procent din limita maximă a scalei aparatului de măsură.

Operatorul are posibilitatea de a interveni prin: selectarea unei (unor) anumite bucle de reglare, modificarea referințelor variabilelor, selectarea modului automat sau manual de reglare.

În modul manual de lucru operatorul poate executa manevre asupra mărimilor controlate.

Pentru fiecare fază a fluxului tehnologic de fabricare a cimentului, afișarea individuală indică aceleași informații ca și afișarea de grup, dar poate conține, în plus, tabele cu valorile limită. În cazul unei bucle de reglare, sunt afișate valorile parametrilor de control pentru acțiunile proporțional, integrativ și derivativ (P, I, D). Aceste valori pot fi modificate, de către operator, prin tastatura numerică și cursor.

De regulă, nu se prevede afișarea de valori limită pentru acționarea motoarelor. În principiu există posibilitatea efectuării unor măsurători suplimentare pentru prevenirea supraîncărcării motoarelor sau utilajelor acționate de acestea.

Reprezentarea prin *diagrame de tip TREND* facilitează urmărirea evoluției în timp (tendința, panta, încadrare în limite) a valorii unei sau mai multor mărimi tehnologice (max. 4-5) și surprinderea operativă a corelațiilor ce se stabilesc între doi sau mai mulți parametri.

Mesajele de funcționare defectuasă a motoarelor de acționare, sau a instalațiilor (*alarmele*), se afișează pe un ecran alfanumeric, în text clar, cu informații asupra naturii defecțiunii prin apelarea unui meniu. Suplimentar, se poate afișa cauza defecțiunii și/sau identitatea elementului care a intrat în alarmă. De regulă, mesajul afișat în cazul apariției unei defecțiuni, ocupă o linie de pe ecran, apariția alarmelor făcându-se în ordine cronologică, ultimul mesaj apărut ocupând linia de sus a ecranului.

Afișarea alarmelor se realizează într-un cod de culori specific, de exemplu:

- maro, tranziții ale motoarelor ON/OFF;
- verde, tranziții ale motoarelor OFF/ON;
- roșu, depășirea limitei superioare de alarmare a unei variabile analogice;
- gri, revenire din depășirea limitei superioare de alarmare a unei variabile analogice;
- magenta, intrarea unei variabile analogice, sub limita inferioară de alarmare;
- gri, revenire din limita inferioară de alarmare a unei variabile analogice.

b<sub>3</sub>) *Facilități de înregistrare și tipărire*

Toate informațiile stocate în memoria sistemului de calcul pot fi exprimate sintetic sau analitic prin rapoarte, statistici etc. și protocolare.

Sistemul oferă variante alternative de protocolare, satisfăcând nevoile și cerințele

utilizatorului. În general, statisticile și rapoartele solicitate de utilizator se tipăresc automat la sfârșitul unei perioade date, fără a fi necesară o cerere explicită. Datele solicitate (statistici, rapoarte) pot fi furnizate pentru fiecare fază tehnologică în parte, pentru grupe de faze, sau pentru întreg fluxul de fabricație a cimentului.

*b<sub>4</sub>) Siguranță operațională. Fiabilitate*

Cerința unui înalt grad de siguranță în operare semnifică faptul că orice dereglare apărută în sistem nu trebuie să determine avarierea echipamentelor, utilajelor, sau să afecteze personalul operator. Avariile potențiale și consecințele lor sunt stabilite printr-o analiză de detaliu. Ca urmare a acestei analize, se stabilesc soluții pentru limitarea consecințelor avariilor la o plajă permisă. În acest scop sunt implementate hard circuite pentru interblocări de siguranță și comutatoare/întreruptoare de urgență, precum și circuite de salvare a măsurătorilor curente.

Conceptul de fiabilitate ține cont de frecvența avariilor (rata de apariție a defecțiunilor) și este exprimat cantitativ prin disponibilitatea operațională a sistemului de supraveghere. Pentru asigurarea unei cât mai bune disponibilități operaționale, producătorul sistemului acționează, de regulă, începând de la alegerea componentelor (în faza de proiectare), până la testarea periodică a acestora, după punerea în funcțiune.

În creșterea fiabilității, un rol esențial îl are însăși structura sistemului, proiectat pe nivele astfel încât apariția unei defecțiuni la un nivel superior să nu afecteze continuitatea operării și, în plus, să permită o diagnoză rapidă și o remediere promptă a avariei. Orice sistem de supraveghere conține un sistem central de control, care este un înregistrator simplu de date, a cărui defecțiune nu afectează operațiile de control ale procesului. În cazul unei defecțiuni, datele memorate sunt păstrate (stocate).

## **2.4 Concluzii**

Din cele prezentate în acest capitol rezultă că, din punct de vedere al automatizării, unele fabrici de ciment din țară sunt într-o situație nefavorabilă, care explică slabele performanțe obținute de acestea referitor la consumul de materii prime și energie pentru tona de ciment produs. Retehnologizarea, deși costisitoare, este singura soluție, mai ales că cimentul este și va fi în continuare un produs solicitat atât în țară cât și la export.

Pe plan mondial există multe soluții “de firmă” pentru automatizarea complexă a fabricilor de ciment, soluții care, din punct de vedere structural, sunt asemănătoare și pe baza cărora, în prezentul capitol s-a propus un sistem ierarhizat de conducere a unei asemenea fabrici. Componenta exactă a sistemului se poate stabili numai după analiza fiecărui proces în parte și elaborarea algoritmilor de reglare. În acest domeniu, nici o firmă nu furnizează indicații. Totul se prezintă sub forma unor pachete de programe, cu măsurile de securitate necesare. Se pare, totuși, că sistemele expert bazate pe algoritmi fuzzy sunt cele mai utilizate.

În privința componentelor hard, structura prezentată poate fi îmbunătățită pe măsura evoluției tehnicii în acest domeniu. De exemplu, utilizarea traductoarelor “inteligente”, care preiau o serie de sarcini suplimentare (conversia A/N, verificarea încadrării în limite, avertizări, liniarizări etc.) fiind dotate cu microprocesoare, simplifică software-ul de comunicație și cel de tratare a semnalelor la nivelul ierarhic superior.

Contribuțiile personale ale autorului, în acest capitol, constau în:

- a) - analiza situației reale existente într-o fabrică de ciment din România, în domeniul automatizării;
- b) - analiza conceptelor privind conducerea procesului de fabricație a cimentului, existente pe plan mondial;
- c) - conceperea unui sistem ierarhizat de conducere a unei fabrici de ciment.

## SISTEME EXPERT PENTRU CONDUCEREA PROCESELOR INDUSTRIALE

### 3.1 Generalități

[12], [15], [16], [23], [32], [38], [39], [41],[42], [53], [59], [65], [108].

Un sistem expert se compune dintr-o bază de date, un program de gestiune a bazei de date și un mecanism de deducere (inferență) a acțiunilor în funcție de mărimile de intrare. Eficiența unui sistem expert depinde de performanțele limbajelor de programare și ale regulilor de calcul utilizate în mecanismul de generare a inferențelor.

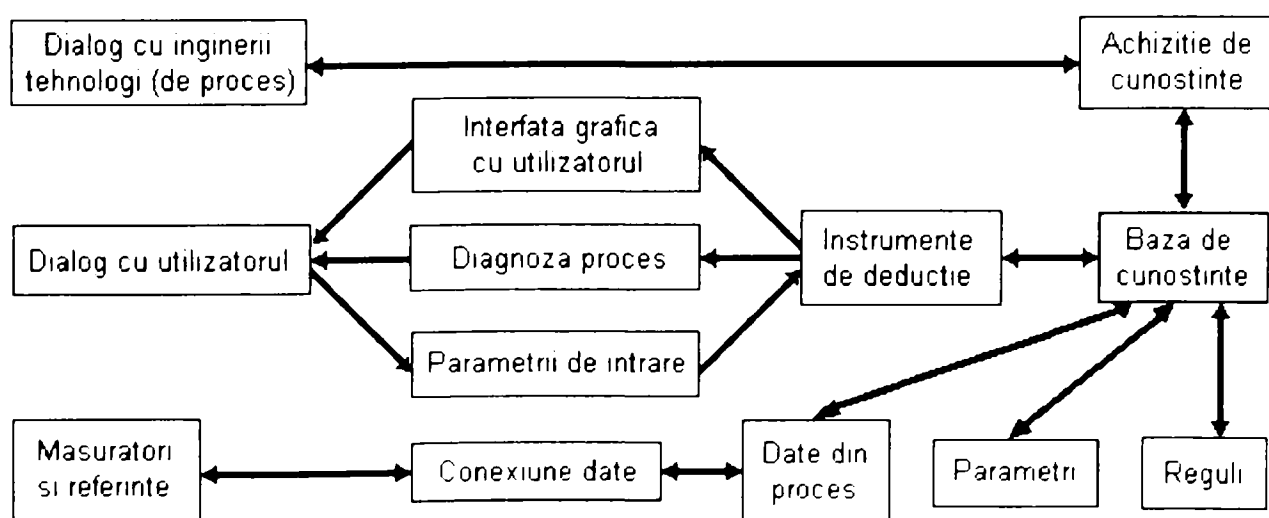
Baza de date a unui sistem expert se actualizează permanent și este exploatată de programe speciale care simulează raționamentul uman, asigurând interfața cu utilizatorii.

După tipul raționamentelor (algoritmilor) utilizate, sistemele expert pot fi: deterministe, probabilistice sau vagi.

În cadrul sistemelor expert moderne nu toate mărimile de intrare sunt certe și nu toți algoritmi au caracter strict determinist. Sistemele expert realizate și implementate în ultimul deceniu folosesc concepte și algoritmi vagi, apropiindu-se astfel de comportamentul uman, în care raționamentele deterministe sunt completate de raționamente euristice, intuiții, "constrângeri de expert" etc.

Un sistem expert este capabil să trateze un raționament atât calitativ, cât și cantitativ și să-și îmbunătățească permanent performanțele. Structura deschisă a sistemelor expert oferă posibilități nelimitate de modificare și extensie a bazei de date, în funcție de caracteristicile aplicației, operații ce pot fi executate și de personal fără cunoștințe informatice deosebite.

În figura 3.1 este prezentată structura unui sistem expert.



**Fig.3.1** Structura unui sistem expert



Pentru dezvoltarea unui sistem expert se utilizează o metodologie bazată pe parcurgerea unor pași similari metodologiei de determinare a modelului matematic pentru un sistem complex. Această metodologie se bazează pe creșterea treptată a unei baze de cunoștințe. Astfel, un sistem expert este realizat la început sub forma unui nucleu, urmând ca mai apoi, acestuia să i se adauge tot mai multe informații. În acest mod furnizarea de către sistemul expert a unor decizii poate fi efectuată încă de la început, dar cu un grad redus de precizie. O astfel de abordare este analogă gândirii umane (omul învață odată cu trecerea timpului iar soluțiile problemelor pe care le rezolvă devin tot mai corecte).

Pașii parcurși în dezvoltarea sistemelor expert, și anume: identificarea, conceptualizarea, formalizarea, implementarea și testarea, se găsesc într-o puternică interconexiune și interdependență.

*Identificarea* este pasul în care are loc analiza cerințelor impuse sistemului expert și presupune o analiză a sarcinilor ce trebuie îndeplinite, o analiză a formei datelor de intrare/ieșire, precum și o specificare a utilizatorilor. În această etapă se identifică cu claritate obiectivele, resursele hardware și software necesare, prețul, utilizatorii cărora le este destinat sistemul expert, precum și limitările de timp.

O altă problemă ce trebuie rezolvată în această etapă este găsirea unui expert (specialist) uman ce poate furniza toate informațiile relativ la domeniul de activitate ce va fi deservit de către sistemul expert. Același expert uman va putea furniza, ulterior, date pentru dezvoltarea și actualizarea sistemului expert existent, precum și pentru corectarea posibilelor erori. O altă cale pe care proiectanții sistemelor expert o pot utiliza pentru obținerea informațiilor este consultarea tratatelor (a literaturii) de specialitate. Acest fapt nu este în contradicție cu definiția sistemelor expert.

Pentru a justifica timpul necesar, precum și costul implementării unui sistem expert, trebuie ca problema ce se dorește a fi rezolvată să fie clar precizată iar rezolvarea acesteia să fie deosebit de importantă. Cu toate că proiectantul nu poate ignora interacțiunile dintre problema respectivă și cadrul exterior (domeniul din care face parte problema), el va trebui să se concentreze asupra limitării, pe cât posibil, a acestui cadru, astfel încât soluțiile furnizate de către sistemul expert să aibă o finalitate clară și să nu fie generale.

Obiectivele pe care sistemul expert trebuie să le satisfacă este necesar a fi stabilite încă din prima fază a proiectării sistemului expert, de comun acord între proiectantul sistemului și viitorul utilizator, prin luarea în considerare a necesităților specificate de utilizator. Numai astfel sistemul expert va răspunde și va eficientiza soluționarea problemelor pentru care a fost conceput. Un rol important, în această etapă, îl are proiectarea unei interfețe cu utilizatorul în care să fie utilizat limbajul caracteristic domeniului, limbaj cunoscut utilizatorului.

În evaluarea necesității dezvoltării unui sistem expert trebuie să se țină seama și de durata de viață estimată pentru acest produs software. O restructurare a nucleului sistemului duce, în mod nemijlocit, la proiectarea unui alt sistem expert.

*Conceptualizarea*, al doilea pas în dezvoltarea sistemului expert presupune proiectarea acestuia astfel încât să se asigure faptul că relațiile specifice între anumite

conceptele sunt bine înțelese și corect definite. În această fază sunt determinate conceptele de bază, corelațiile dintre obiecte și procese, precum și mecanismele de soluționare a problemelor. Practic, este vorba despre prima fază a achiziției cunoștințelor.

Pentru a înțelege acțiunile realizate de către un sistem expert, proiectantul trebuie să-și pună următorul set de întrebări:

- Care este decizia pe care se dorește să o furnizeze expertul ?
- Sub ce formă va fi prezentată această decizie ?
- Ce resurse (intrări pentru sistemul expert) sunt necesare pentru obținerea unei decizii ?
- Ce condiții sunt îndeplinite atunci când o decizie particulară este furnizată de sistemul expert ?
- Cu ce precizie aceste condiții predictează decizia finală ?
- Cât timp durează între aplicarea unor intrări și obținerea deciziei ?
- Deciziile furnizate de către sistemul expert sunt conforme celor date de expertul uman ?

O abordare tipică a acestei achiziții ar fi interogarea expertului uman în obținerea unui set de decizii posibile pentru fiecare caz în parte.

Dezvoltarea sistemului expert după acest punct se va realiza prin creșterea preciziei sau prin creșterea numărului de informații luate în considerare.

Efortul pe care proiectantul trebuie să îl realizeze în această etapă este de a determina sursele de informații pe care expertul uman le utilizează (tratate, cărți, calcule matematice, programe de calculator, experiență practică), precum și regulile în urma cărora sunt furnizate deciziile. Informațiile greu de obținut vor fi reprezentate prin reguli suplimentare sau vor modifica structura bazei de cunoștințe. Structura acesteia va fi precizată doar după “interviuri” frecvente și intensive cu expertul uman.

Informația colectată și analizată va forma baza scenariilor ce se vor prezenta expertului uman în etapa următoare. Descrierea corectă și completă a logicii necesare în obținerea deciziilor este foarte dificilă deoarece, de multe ori, expertul uman nu cunoaște exact modul în care a obținut decizia.

*Formalizarea* presupune organizarea conceptelor cheie, a subproblemelor și a fluxului informațional, și reprezentarea formală a acestora. Ca efect, în această etapă apare o schemă logică.

Efortul proiectantului de sistem expert se concentrează spre construcția unui set de structuri arborescente corelate între ele cu scopul de a reprezenta baze de cunoștințe. Astfel, proiectantul se va decide asupra unui set de mărimi ce vor fi calculate pe parcursul rezolvării problemei, odată cu parcurgerea arborilor de decizie.

Reprezentarea cunoștințelor este importantă pentru viitorul utilizator al sistemului expert. Întrebările ce vor fi puse și regulile la care se face apel trebuie să apară în aceeași înșiruire ca și cum acestea ar fi realizate de către un expert uman.

După cum se poate observa, este dificil de a trata separat etapele de conceptualizare și formalizare, în realitate proiectarea bazei de cunoștințe având loc în paralel cu achiziția cunoștințelor.

În cadrul etapei de *implementare* cunoștințele, precum și schema logică a sistemului expert sunt transpuse într-un program. Tot aici, structurile de cunoștințe, regulile de inferență și strategiile de control a fluxului informațional, stabilite în etapele anterioare vor fi organizate într-un format specific mediului de dezvoltare în care se face implementarea.

Trebuie acordată o importanță mare problemelor de mentenanță. Astfel, trebuie anticipate eventualele modificări în baza de cunoștințe și trebuie reduse la minim posibilitățile de confuzie care ar putea să apară ulterior. Mai mult, sistemul expert trebuie, în anumite cazuri, să furnizeze justificări ale deciziei date, precum și explicații asupra modului de punere în aplicare a acestor decizii. Totodată, sistemul expert va trebui dotat cu un sistem “help” pentru lămurirea on-line a tuturor problemelor pe care utilizatorul le întâmpină.

De asemenea, trebuie stabilit și modul în care acest program (sistemul expert) va interacționa cu alte programe sau structuri (baze) de date.

Ultima etapă, *testarea*, presupune mult mai mult decât găsirea și repararea erorilor de sintaxă. Această etapă trebuie să acopere verificarea fiecărei relații, validarea performanțelor programului, precum și evaluarea utilității acestui pachet de programe. Verificările și validările trebuie să fie realizate pe întreaga dezvoltare a sistemului expert.

Cel mai dificil aspect al test îl constituie tratarea situațiilor “neclare” prin încadrarea lor în tipare cunoscute. Astfel, fiecărei decizii trebuie să i se atașeze un grad de încredere.

Pe parcursul validării trebuie avute în vedere următoarele:

- regulile trebuie să fie corecte, consistente și complete;
- programul trebuie să trateze informațiile în ordinea corespunzătoare avansării pe arborele decizional;
- consistența și necesitatea fiecărei informații solicitate;
- corespondența între decizia dată de sistemul expert și cea furnizată (în paralel) de expertul uman.

Scopul acestui capitol îl constituie analiza problemelor teoretice privind reglarea fuzzy și prezentarea unui controler conceput special pentru implementarea în practică a principiilor reglării fuzzy.

## 3.2 Bazele teoretice ale reglării Fuzzy

[23], [32], [33], [41÷43], [52÷57], [59], [63], [65], [67], [108].

Logica fuzzy permite tratarea variabilelor vagi ale căror valori pot varia între 0 și 1, spre deosebire de logica binară care lucrează cu variabile care au valori numai 0 și 1.

În cazul reglării fuzzy algoritmi de reglare convenționali sunt înlocuiți printr-o serie de reguli lingvistice de forma: *Dacă (premiză) atunci (concluzie)*. Astfel, se obține un algoritm euristic și se poate lua în considerare experiența operatorului pentru conducerea proceselor. În aceste condiții logica fuzzy se pretează foarte bine conducerii proceselor.

În prezent, logica fuzzy se pretează a fi utilizată în domenii particulare, cum ar fi:

- conceperea de reglatoare pentru procese greu modelabile;
- conceperea de reglatoare neliniare pentru procese modelabile.

În primul caz se aplică procedee euristice, aplicându-se cunoștințele operatorului. Pentru ajungerea la rezultate convenabile, este adesea necesar să se facă analize lungi și dificile.

În cel de al doilea caz, se profită de caracteristicile neliniare pentru îmbunătățirea performanțelor sistemelor de reglare convenționale care funcționează într-o manieră neliniară.

Regulatorul fuzzy, spre deosebire de un regulator clasic, nu tratează informația printr-o relație matematică bine definită (algoritm de reglare), ci utilizează inferențe cu mai multe reguli, bazându-se pe variabile lingvistice. Aceste inferențe sunt tratate prin operatori ai logicii fuzzy.

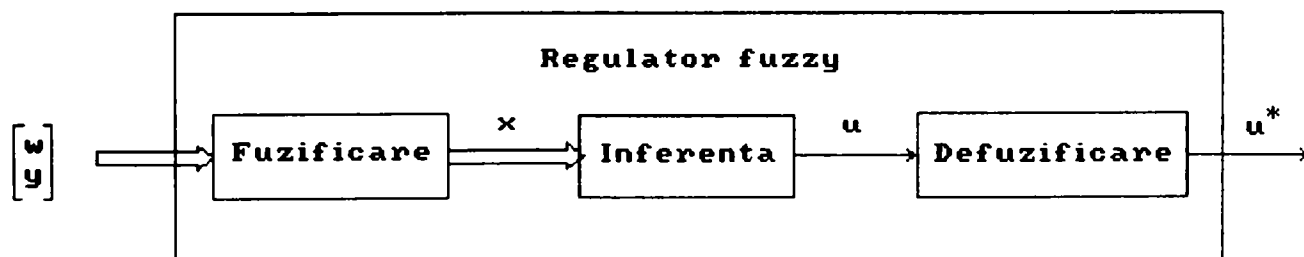


Fig.3.2 Schema bloc principală a unui regulator fuzzy

După cum se vede în fig. 3.2., în configurația unui regulator fuzzy se disting trei părți: - fuzificarea;  
- inferența;  
- defuzificarea.

Blocul de fuzificare realizează o prelucrare preliminară a datelor, de exemplu formarea erorii de reglare, sau determinarea variației unei anumite mărimi, de pildă diferența valorilor de la două momente de discretizare. Aceste mărimi se tratează prin variabile lingvistice, ceea ce necesită asocierea unor funcții de apartenență. Mărimile de intrare ale regulatorului pot fi mărimea prescrisă  $w$  și ieșirile măsurate  $y$  ale procesului. Fuzificarea furnizează o serie de variabile fuzzy, reunite în vectorul  $x$ .

În blocul de inferență, valorile variabilelor fuzzy sunt legate prin mai multe reguli care trebuie să țină cont de comportamentul static și dinamic al sistemului de reglare ca și de scopurile reglării avute în vedere. În particular, bucla de reglare trebuie să fie stabilă și bine amortizată. În fig. 3.2. se consideră cazul regulatorului fuzzy monovariabil la ieșire. Pentru variabila de ieșire a regulatorului, după inferență se obține o informație fuzzy. Rezultatul inferenței este o mulțime fuzzy  $u$  asociată ieșirii regulatorului la momentul  $t$ .

Deoarece elementul de execuție trebuie comandat cu o valoare reală concretă a semnalului de comandă, trebuie să se transforme mulțimea fuzzy  $u$  a ieșirii într-o valoare determinată  $u^*$ . Aceasta se face în blocul de defuzificare.

#### a) Fuzificare

Un proces tehnic este descris prin mărimi fizice, care iau valori reale, precise, bine determinate, într-un domeniu de valori. Descrierea unei anumite situații, a unui fenomen sau a unui procedeu conține în general expresii vagi cum ar fi: *câtva, mult, adesea, rar, cald, frig, rapid, lent, mic, mare* etc. Expresii de acest gen formează valori ale *variabilelor lingvistice* din logica fuzzy. Pentru tratarea numerică, trebuie să se dea o definiție cu ajutorul unor *funcții de apartenență*. Se poate lua ca exemplu mărimea fizică temperatura, căreia  $t$  se asociază variabila lingvistică temperatura. Pentru mediul ambiant într-o regiune cu climat temperat se poate considera că temperatura ia valori reale între  $-20^{\circ}\text{C}$  și  $+35^{\circ}\text{C}$ . În descrierea lingvistică cu mulțimi vagi, se poate spune că variabila lingvistică temperatura ia următoarele *valori lingvistice*: foarte rece între  $-20^{\circ}\text{C}$  și  $0^{\circ}\text{C}$ , rece între  $0^{\circ}\text{C}$  și  $+10^{\circ}\text{C}$ , potrivit între  $10^{\circ}\text{C}$  și  $20^{\circ}\text{C}$ , cald între  $20^{\circ}\text{C}$  și  $30^{\circ}\text{C}$  și foarte cald între  $30^{\circ}\text{C}$  și  $35^{\circ}\text{C}$ . O astfel de descriere este foarte subiectivă. Ea permite o interpretare mai largă, în funcție de maniera de analiză.

Logica fuzzy a fost introdusă tocmai pentru a trata matematic informațiile vagi. Reprezentarea matematică a informației vagi are la bază introducerea *funcției de apartenență* ca o măsură a apartenenței unui element la o mulțime sau la o valoare lingvistică. *Modelarea lingvistică* constă în asocierea unei mărimi fizice a unei variabile lingvistice, cu mai multe valori lingvistice, pe baza cărora se vor putea asocia și diverse funcții de apartenență.

Descrierea unui procedeu poate fi făcută simplu în maniera:

*Dacă condiția 1, atunci operația 1, sau*

*dacă condiția 2, atunci operația 2, sau*

....

*dacă condiția n, atunci operația n.*

Diferitele condiții se compun în general din mai multe variabile lingvistice, legate între ele prin operatorii *ȘI* respectiv *SAU*.

#### Funcții de apartenență

În vederea tratării matematice a variabilelor lingvistice în scopul prelucrării raționamentelor prin logica fuzzy cu calculatorul se asociază valorilor variabilelor lingvistice funcții de apartenență. În acest context se atribuie fiecărei valori lingvistice a variabilei lingvistice o funcție de apartenență  $m_{i,j}(x)$ , ale cărei valori variază între 0 și 1. Se

vorbește în acest caz de fuzificare. Funcția de apartenență  $m$  dă o pondere unei anumite valori de intrare a variabilei  $x$ . Variabila  $x$  poate lua valori într-o mulțime numită univers de discuție (sau de discurs)  $U_X$ .

Astfel, funcțiile de apartenență sunt funcții definite pe universul de discuție  $U_X$  cu valori în intervalul  $[0, 1]$ , prin diverse expresii:

$$m_A(x): U_x \rightarrow [0,1] \quad (3.1)$$

unde  $A$  este mulțimea fuzzy căreia i se asociază funcția de apartenență  $m_A(x)$ . Universul de discuție  $U_X$  poate fi o mulțime continuă infinită sau o mulțime discretă de valori.

O mulțime fuzzy  $A$  este mulțimea de perechi de forma:

$$A = \{(x, m_A(x))\} \quad (3.2)$$

Unei valori lingvistice  $i$  se poate atașa o mulțime fuzzy.

Câteva funcții de apartenență particulare sunt prezentate în continuare.

*Funcția  $S(\alpha < \beta < \gamma)$  cu expresia:*

$$S(x, \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0, & x \leq \alpha \\ 2\left(\frac{x-\alpha}{\gamma-\alpha}\right)^2, & \alpha < x < \beta \\ 1-2\left(\frac{x-\gamma}{\gamma-\alpha}\right)^2, & \beta < x < \gamma \\ 1, & x > \gamma \end{cases} \quad (3.3)$$

*Funcția  $p(\beta < \gamma)$  cu expresia:*

$$p(x, \beta, \gamma) = \begin{cases} S(x, \gamma - \beta, \gamma - \beta/2, \gamma), & x \leq \gamma \\ 1 - S(x, \gamma, \gamma + \beta/2, \gamma + \beta), & x \geq \gamma \end{cases} \quad (3.4)$$

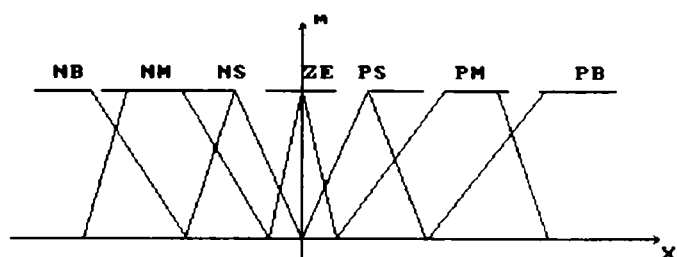
*Funcția  $\Gamma(\alpha \leq \beta)$  cu expresia:*

$$\Gamma(x, \alpha, \beta) = \begin{cases} 0, & x \leq \alpha \\ \Gamma(x, \alpha, \beta) \leq \Gamma(y, \alpha, \beta), & \alpha \leq x \leq y \leq \beta \\ 1, & x \geq \beta \end{cases} \quad (3.5)$$

*Funcția trapezoidală  $t(\alpha \leq \beta \leq \gamma \leq \delta)$  cu expresia:*

$$t(x, \alpha, \beta, \gamma, \delta) = \lambda x \cdot \begin{cases} 0, & x \leq \alpha \\ \frac{x-\alpha}{\beta-\alpha}, & \alpha \leq x \leq \beta \\ 1, & \beta \leq x \leq \gamma \\ \frac{\delta-x}{\delta-\gamma}, & \gamma \leq x \leq \delta \\ 0, & x > \delta \end{cases} \quad (3.6)$$

Pentru o variabilă fuzzy care ia 7 valori fuzzy, atât negative cât și pozitive se pot introduce 7 mulțimi fuzzy: negativ mult  $NB$ , negativ mediu  $NM$ , negativ puțin  $NS$ , aproximativ zero  $ZE$ , pozitiv puțin  $PS$ , pozitiv mediu  $PM$  și pozitiv mult  $PB$ , care pot avea diverse forme, ca în exemplul din fig. 3.3.

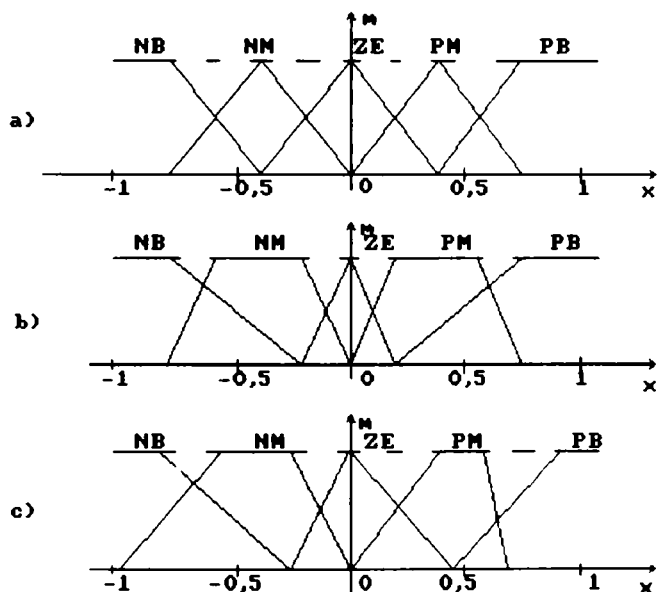


**Fig.3.3** Definierea a 7 valori fuzzy: NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB

În același mod se pot defini 5 valori fuzzy: *NB*, *BS*, *ZE*, *PS* și *PB*, sau respectiv trei: negativ *NG*, aproximativ zero *ZE* și pozitiv *PO*.

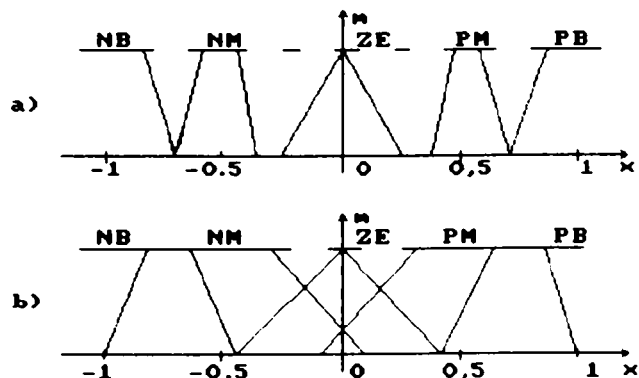
O împărțire mai fină a intervalului pentru o variabilă fuzzy, adică utilizarea a mai mult de șapte valori fuzzy, nu aduce nici o ameliorare a comportamentului dinamic al reglării. Din contră, o astfel de alegere complică formularea regulilor de inferență.

Funcțiile de apartenență pot fi simetrice și distribuite într-o manieră echidistantă (fig.3.4 a), cu acoperire unitară.



**Fig.3.4** Diferite forme posibile pentru funcțiile de apartenență:  
a) simetrice și echidistante;  
b) simetrice și neechidistante;  
c) nesimetrice și neechidistante

Această reprezentare se recomandă să se aleagă pentru o primă analiză, ea urmând a fi schimbată, după caz, odată cu modificarea strategiei de reglare. Pentru obținerea unui comportament optim în reglare, în final se poate ajunge să se utilizeze funcții de apartenență nesimetrice și cu o distribuție neechidistantă (fig.3.4 c), chiar și cu factor de acoperire variabil. Trebuie să se evite lacunele sau spațiile goale între funcțiile de apartenență vecine (fig.3.5.a). Acestea provoacă zone moarte, de neintervenție a regulatorului, ceea ce conduce adesea la instabilitatea reglării.



**Fig.3.5** Forme de evitat pentru funcțiile de apartenență ale variabilelor de intrare

O posibilă regulă de alegere ar fi ca funcțiile de apartenență să se întrepătrundă cu 25%. De asemenea trebuie să se evite zonele cu grade de apartenență 1 lipite una de alta (fig.3.5.b). Aceasta conduce la o aplatizare a caracteristicilor regulatorului.

O altă regulă ar fi ca suma gradelor de apartenență pentru o valoare din universul de discuție să fie 1 (acoperire unitară).

În general alegerea funcțiilor de apartenență pentru mărimile de intrare și de ieșire se face după experiența operatorului.

### b) Inferența

Inferența leagă mărimile de intrare măsurate, care sunt variabilele de intrare fuzzy  $x$  (transformate în variabile lingvistice prin fuzificare), de variabila de ieșire  $u$ , exprimată și ea lingvistic.

Formularea concretă a inferenței depinde de comportamentul static și dinamic al sistemului condus și al organelor de comandă, cât și de scopurile reglării avute în vedere. Nu este posibil să se indice reguli precise. Experiența joacă un rol important. Stabilirea inferențelor poate avea loc iterativ printr-o modificare a strategiei de reglare.

#### Descrierea lingvistică a inferenței

Descrierea lingvistică a unei reguli constă în faptul că fiecare regulă are o premiză în care apare o condiție precedată de simbolul *dacă* și o concluzie, în care apare o operație, o acțiune, precedată de simbolul *atunci*. În cazul mai multor reguli acestea se leagă prin conjuncția "SAU". De pildă putem avea:

*Dacă ( $x_1$  este negativ mult și  $x_2$  este zero atunci  $u$  este pozitiv mult), sau*

*Dacă ( $x_1$  este negativ mult și  $x_2$  este pozitiv mediu atunci  $u$  este pozitiv mediu), sau*

....

#### Descrierea simbolică a inferenței

Descrierea lingvistică a inferenței este în general mai greoaie. Prin descrierea simbolică se obține o anumită simplificare în scriere. Valorile fuzzy sunt utilizate prin simbolul lor:

*Dacă ( $x_1 = NG$  și  $x_2 = ZE$ ), atunci  $u = PG$ , sau*

*dacă ( $x_1 = NG$  și  $x_2 = PM$ ), atunci  $u = PM$ , sau*

...

Descrierea simbolică este mai compactă și în consecință este caracterizată de o mai mare claritate.

#### Descrierea prin matrice de inferență

O simplificare a descrierii inferenței se obține cu ajutorul unei reprezentări grafice, numită matrice de inferență, bază de reguli sau tabel de reguli. Tabelul 3.1 prezintă această matrice de inferență pentru un exemplu ipotetic cu două mărimi de intrare și o mărime de ieșire.

La intersecția unei coloane cu o linie se găsesc valorile fuzzy ale variabilei de ieșire  $u$ , legate de valorile variabilelor de intrare  $x_1$  și  $x_2$ . Variabilele de ieșire sunt legate prin operatorul  $\&/$ , iar regulile sunt combinate prin operatorul  $SAU$ , pentru a obține variabila de ieșire.



Dacă toate pozițiile matricii sunt completate se vorbește de reguli de inferență

		$x_1$			
$u$	NB	NM	ZE	PM	PB
	NB			PB	PM
	NM			PM	ZE
$x_2$	ZE	PB	PM	ZE	
	PM	PM	ZE	NM	
	PB		NM	NB	

complete. În caz contrar este vorba de reguli de inferență incomplete. Pentru sectoarele în care nici o regulă de inferență nu este definită, se obține totuși o valoare bine determinată pentru semnalul de ieșire prin defuzificare. La limită, această valoare poate fi zero.

Dacă există mai mult de două variabile trebuie juxtapse mai multe matrici de inferență.

**Tabelul 3.1** Descriere prin matrice de inferență

Acest gen de descriere devine complicat când sunt mai mult de trei variabile de intrare și dacă acestea sunt împărțite în mai multe valori fuzzy.

Regula nr.	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$u_1$	$u_2$
1	NB	ZE	NB	PB	NB
2	NG	ZE	ZE	PB	NB
3	NB	ZE	PB	ZE	NB

#### Descrierea prin tabela de inferență

Aceasta este o altă posibilitate de descriere, care se pretează în particular pentru un număr ridicat de variabile lingvistice și în special la sisteme multivariabile cu mai multe ieșiri.

Tabelul 3.2 prezintă un exemplu ipotetic cu trei variabile de intrare  $x_{1,2,3}$  și două variabile de ieșire  $u_{1,2}$ .

**Tabelul 3.2** Descriere prin tabelă de inferență

#### Metode de inferență utilizate în reglarea fuzzy

Metoda de inferență precizează cum sunt utilizați diferiți operatori într-o inferență, permițând prelucrarea numerică cu calculatorul.

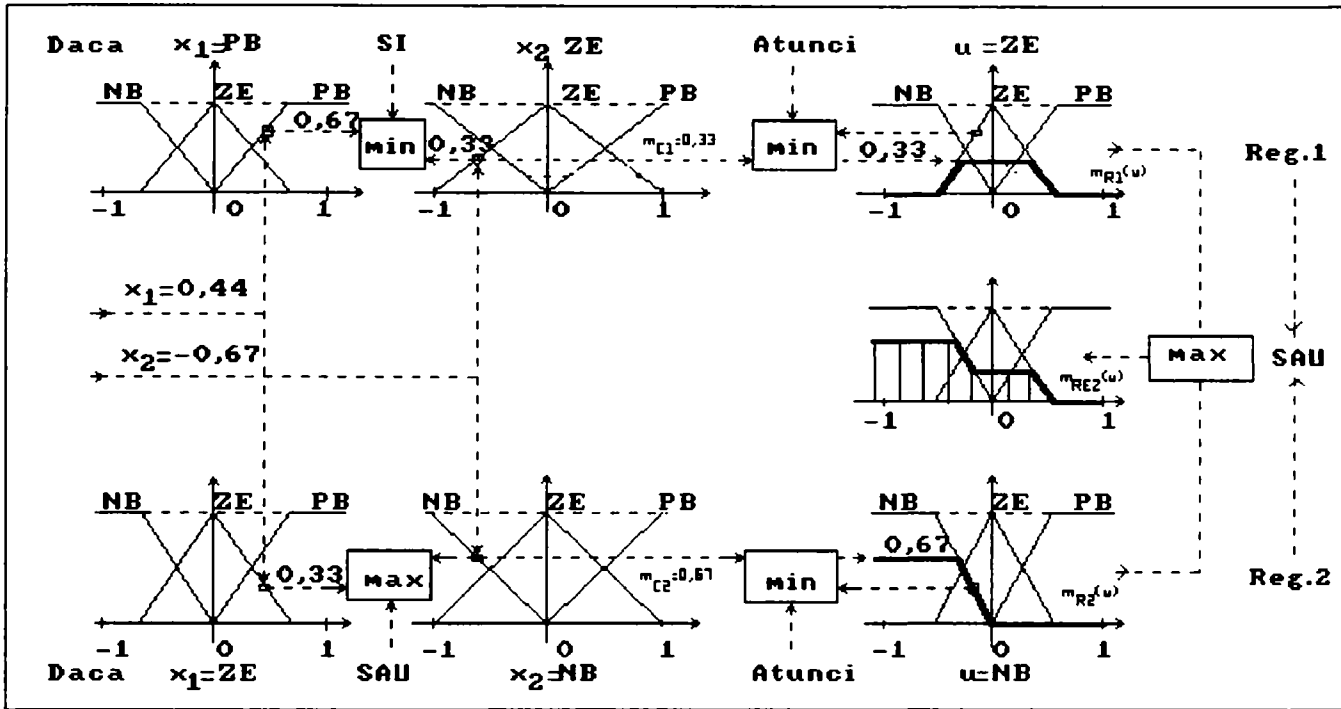
Pentru reglarea fuzzy se utilizează în general una din metodele următoare:

1° *Metoda de inferență max-min* realizează, la nivelul premizei, operatorul SAU prin formare cu maxim și operatorul ȘI prin formare cu minimum. Concluzia din fiecare regulă, introdusă prin *atunci*, leagă gradul de apartenență al premizei cu funcția de apartenență a variabilei de ieșire  $u$  prin operatorul ȘI, realizat în acest caz prin formare cu minim. În sfârșit, operatorul SAU care leagă diferitele reguli este realizat prin formare cu maxim.

Fig. 3.6 reprezintă grafic principiul metodei de inferență max-min.

Premiza C1:  $(x_1 - PB \text{ ȘI } x_2 - ZE)$  din prima regulă, pentru valorile reale nefuzzy ale mărimilor de intrare  $x_1=0,44$  și  $x_2 = -0,67$  care au gradele de apartenență  $m_{PB}(x_1=0,44)=0,67$  și  $m_{ZE}(x_2=-0,67)=0,33$ , ia gradul de apartenență  $m_{C1}=0,33$  (minimumul dintre cele două valori, datorită operatorului ȘI). Funcția de apartenență  $m_{ZE}(u)$  pentru variabila de ieșire are gradul

0,33 (datorită formării minimumului legat de *atunci*). Funcția de apartenență parțială  $m_{R1}(u)$  pentru  $u$  este pusă în evidență printr-o linie îngroșată.



**Fig.3.6** Metoda de inferență max-min pentru două variabile de intrare și două reguli

A doua regulă ia în premiza sa C2:  $(x_1=ZE \text{ SAU } x_2=NB)$  gradele de apartenență  $m_{ZE}(x_1=0,44)=0,33$  și  $m_{PB}(x_2=-0,67)=0,67$ . Premiza are gradul de apartenență  $m_{C2}=0,67$  (maximul dintre cele două valori datorită operatorului SAU). Funcția de apartenență  $m_{NB}(u)$  a ieșirii are deci gradul 0,67 (datorită formării minimumului legat relativ la *atunci*). Funcția de apartenență parțială  $m_{R2}(u)$  pentru  $u$  este pusă în evidență tot printr-o linie îngroșată.

Trebuie determinată o funcție de apartenență rezultantă  $m_{REZ}(u)$ . Ea se obține prin maximumul celor două funcții de apartenență parțiale, dat fiind faptul că cele două reguli sunt legate prin operatorul SAU. Funcția de apartenență rezultantă este prezentată hașurat în fig.3.6.

Metoda de inferență max-min poate fi descrisă în mod general în următorul fel: condiției (premizei) fiecărei reguli  $R_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) i se atribuie un grad de apartenență  $m_{Ci}$ . El depinde de condiția însăși și de valorile determinate pentru valorile de intrare  $x_{1,2,\dots}$ . Dacă condiția nu este verificată de loc atunci, evident  $m_{Ci}=0$ . Operatorii SI respectiv SAU sunt realizați prin minim respectiv maxim.

Pentru fiecare regulă, se obține funcția de apartenență parțială dată de relația:

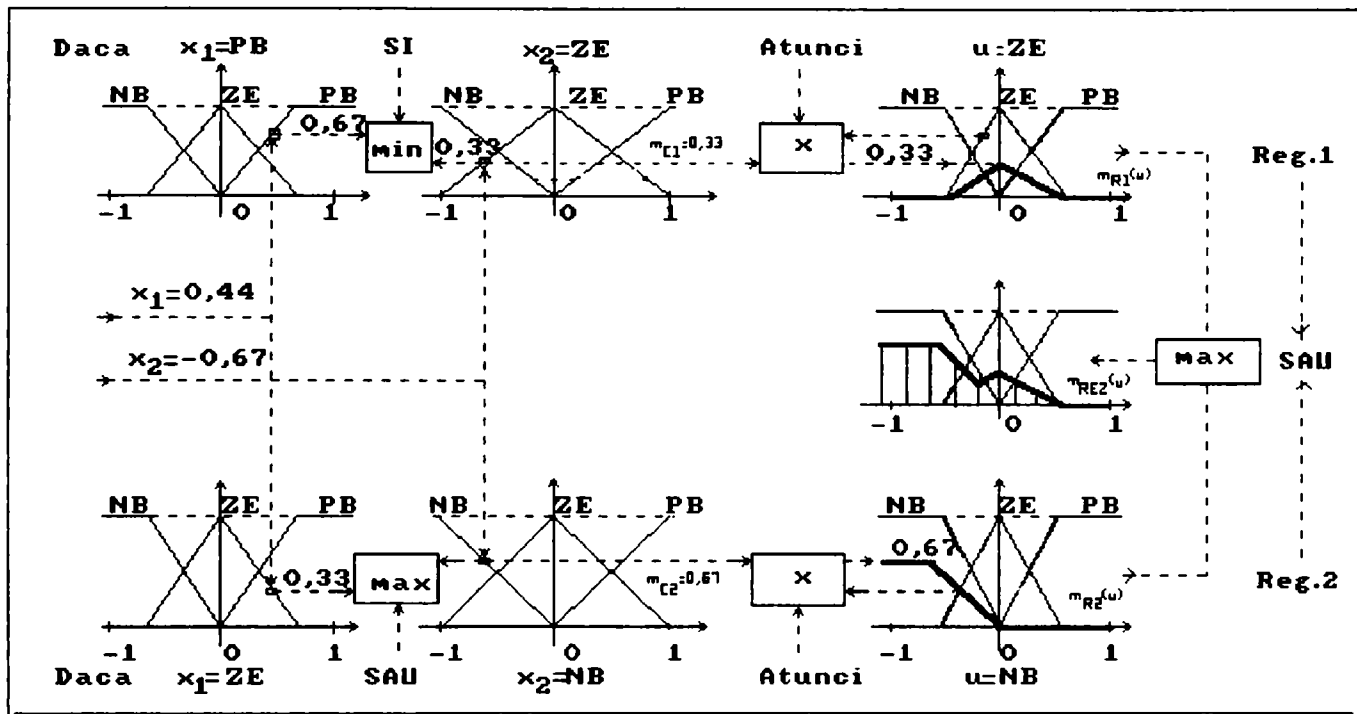
$$m_{Ri}(u) = \min[m_{Ci}, m_{Oi}(u)]; \quad i = 1, 2, \dots \quad (3.7)$$

unde  $m_{Oi}(u)$  este funcția de apartenență legată de operatorul impus prin regula  $R_i$ . Funcția de apartenență rezultantă este atunci dată de:

$$m_{REZ}(u) = \max[m_{R1}(u), m_{R2}(u), \dots, m_{Rm}(u)] \quad (3.8)$$

2° Metoda de inferență max-prod realizează de obicei, la nivelul condiției, operatorul SAU prin maxim și operatorul SI prin minim. Concluzia fiecărei reguli, introdusă

prin *atunci*, care leagă gradele de apartenență ale condiției cu funcția de apartenență a variabilei de ieșire prin operatorul  $\&I$ , este realizată de data aceasta prin produs. Operatorul  $\&AU$  care leagă diferitele reguli este realizat din nou prin maxim.



**Fig.3.7** Metoda de inferență max-prod pentru două variabile de intrare și două reguli

Reprezentarea grafică a principiului metodei de inferență max-prod se dă în fig.3.7.

Ca și în cazul anterior, prima condiție ia gradul de apartenență  $m_{C1}=0,33$ . Funcția de apartenență  $m_{ZE}(u)$  pentru variabila de ieșire este de data aceasta înmulțită cu gradul de apartenență (datorită utilizării produsului pentru *atunci*). Această funcție de apartenență parțială  $m_{R1}(u)$  este pusă în evidență printr-o linie îngroșată.

A doua condiție are gradul de apartenență  $m_{C2}=0,67$ , ca în cazul anterior. Funcția de apartenență  $m_{NB}(u)$  este înmulțită cu acest grad (formare cu produs) și se obține funcția de apartenență parțială  $m_{R2}(u)$ .

Funcția de apartenență rezultantă  $m_{REZ}(u)$  se obține prin maximumul dintre cele două funcții de apartenență parțiale, realizând operatorul  $\&AU$ .

Pentru fiecare regulă, funcția de apartenență parțială  $m_{Ri}(u)$  este dată de relația:

$$m_{Ri}(u) = m_{Ci} \cdot m_{Oi}(u); \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.9)$$

unde  $m_{Ci}$  este gradul de apartenență al premisei și  $m_{oi}(u)$  o funcție de apartenență a concluziei, amândouă legate prin regula  $R_i$ .

Pentru funcția de apartenență rezultantă, se obține:

$$m_{REZ}(u) = \max[m_{R1}(u), m_{R2}(u), \dots, m_{Rm}(u)] \quad (3.10)$$

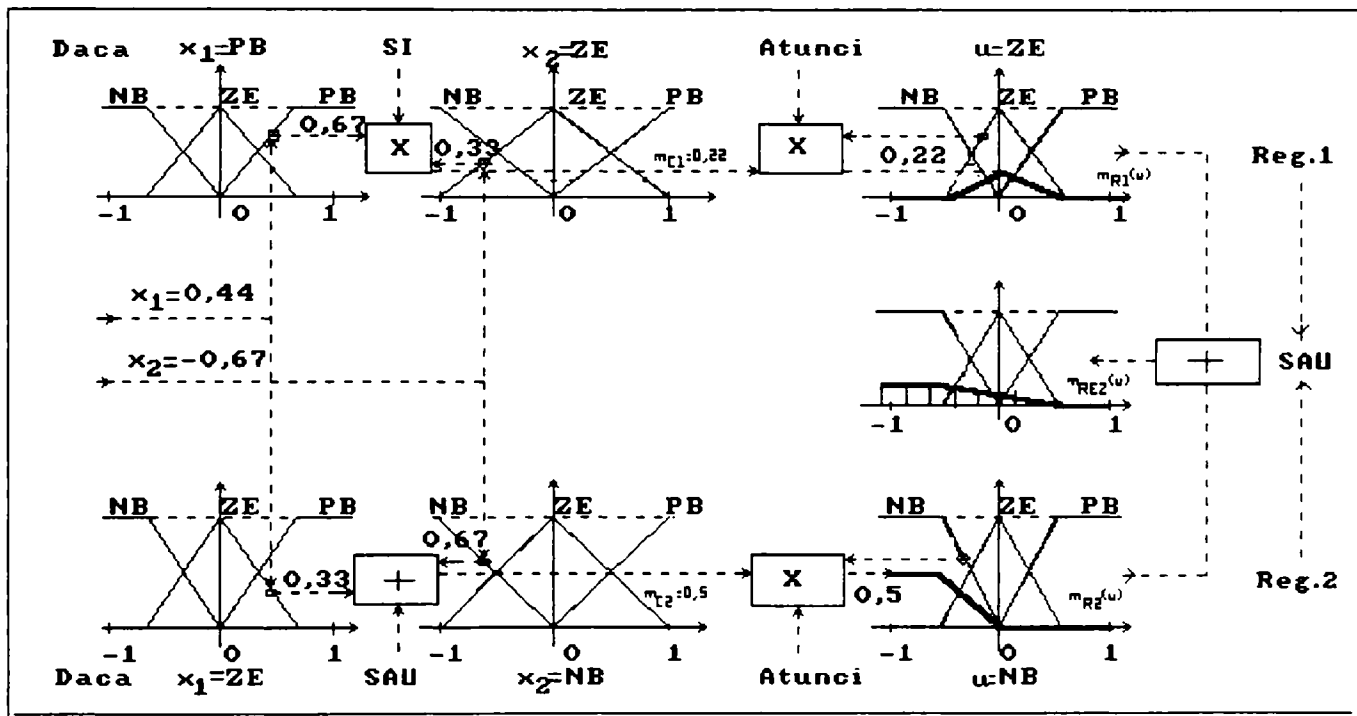
3° *Metoda de inferență sumă-produs*, spre deosebire de celelalte metode, realizează la nivelul condiției, operatorul  $\&AU$  prin formare cu sumă, mai precis prin valoare medie, iar operatorul  $\&I$  este realizat prin formare cu produs. Concluzia fiecărei reguli, precedată

de *atunci*, care leagă gradul de apartenență a condiției cu funcția de apartenență a variabilei de ieșire prin operatorul  $\text{ȘI}$ , este realizată prin formare cu produs.

Operatorul *SAU* care leagă diferitele reguli este realizat prin formare cu sumă, în practică de fapt se calculează valoarea medie.

În acest caz, *SAU* legând regulile este realizat prin formare cu sumă și *atunci* este realizat prin formare cu produs.

Metoda de inferență sumă-prod este reprezentată grafic în fig.3.8.



**Fig.3.8** Metoda de inferență sumă-prod pentru două variabile de intrare și două reguli

Cu gradele de apartenență  $m_{PB}(x_1=0,44)=0,67$  și  $m_{ZE}(x_2=-0,67)=0,33$ , prima condiție ia gradul de apartenență  $m_{C1}=0,22$  (produsul celor două valori). Funcția de apartenență  $m_{ZE}(u)$  pentru variabila de ieșire este înmulțită cu gradul de apartenență (deoarece *atunci* este realizat prin formare cu produs). Se obține funcția de apartenență parțială  $m_{R1}(u)$ . Condiția celei de a doua reguli are gradul de apartenență  $m_{C2}=0,5$ , datorită formării cu suma (valoare medie) celor două grade de apartenență  $m_{ZE}(x_1=0,44)=0,33$  și  $m_{NB}(x_2=-0,67)=0,67$  pentru operatorul *SAU*. Funcția de apartenență  $m_{NB}(u)$  este înmulțită cu gradul de apartenență  $m_{C2}=0,5$  (*atunci* este realizat prin formare cu produs). Rezultă astfel funcția de apartenență parțială  $m_{R2}(u)$ .

Funcția de apartenență rezultantă  $m_{REZ}(u)$ , hașurată în fig.3.8 se obține prin formarea sumei (valoare medie) a două grade de apartenență parțiale.

În general, se obține funcția de apartenență parțială  $m_{Ri}(u)$  pentru fiecare regulă cu relația:

$$m_{Ri}(u) = m_{Ci} \cdot m_{O_i}(u): \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.11)$$

cu  $m_{Ci}$  gradul de apartenență al condiției și  $m_{O_i}(u)$  funcția de apartenență a concluziei, amândouă relativ la regula  $R_i$ . În sfârșit, funcția de apartenență rezultantă este dată de:

$$m_{\text{REZ}}(u) = [m_{R1}(u) + m_{R2}(u) + \dots + m_{Rm}(u)]/m \quad (3.12)$$

unde  $m$  este numărul de reguli care apar în inferență.

### c) Defuzificare

Sarcina interfeței de defuzificare este de a găsi o singură valoare exactă, care să cuprindă mulțimea fuzzy rezultată la ieșire.

În practică s-au dezvoltat câteva metode de defuzificare, dintre care, în continuare se vor prezenta șapte din ele, punându-se în evidență și calitățile lor. Acestea sunt:

- metoda centrului de greutate (CG);
- metoda centrului sumelor (CS);
- metoda de defuzificare de înălțime (DI);
- metoda centrului suprafeței celei mai mari (CSCM);
- metoda primului din maxime (PM);
- metoda maximului din mijloc (MM);

Presupunând un set de  $m$  reguli: *dacă*  $x_1$  *este*  $l_{x1}^k$  *și* ... *și*  $x_n$  *este*  $l_{xn}^k$  *atunci*  $u$  *este*  $l_u^k$ , unde  $k = 1, \dots, m$ , activarea acestor reguli cu valori exacte la intrare  $x_1^*, \dots, x_n^*$  va avea ca rezultat  $m$  mulțimi fuzzy notate  $B_u^1, \dots, B_u^m$ .

Reuniunea acestor mulțimi fuzzy se va nota cu  $\underline{B}_u$  sau  $m_u$ :

$$\underline{B}_u = \bigcup_{k=1}^m B_u^k \quad (3.13)$$

și ea corespunde funcției de apartenență combinată.

Valoarea exactă defuzificată se va nota cu  $u^*$ . Suprafața mulțimii fuzzy  $\underline{B}_u$  se definește ca fiind:

$$\int_{U_u} m_{B_u}(u) du \quad (3.14)$$

unde în acest caz este vorba de operația de integrare din analiza matematică.

Înălțimea lui  $B_u^k$  este egală cu gradul de echivalență al antecedentului regulii  $k$ , și va fi notată cu  $f_k$ . Valoarea de vârf a lui  $B_u^k$  este egală cu valoarea de vârf a lui  $m_B^k$ . Dacă  $m_B^k$  este o funcție de apartenență triunghiulară, atunci valoarea sa de vârf este elementul din domeniul lui  $U_u$  a cărui grad de apartenență este 1. Dacă  $m_B^k$  este o funcție trapezoidală, atunci valoarea de vârf este punctul de mijloc al elementelor cu cel mai mare grad de apartenență al lui  $B_u^k$ .

### Metoda centrului de greutate

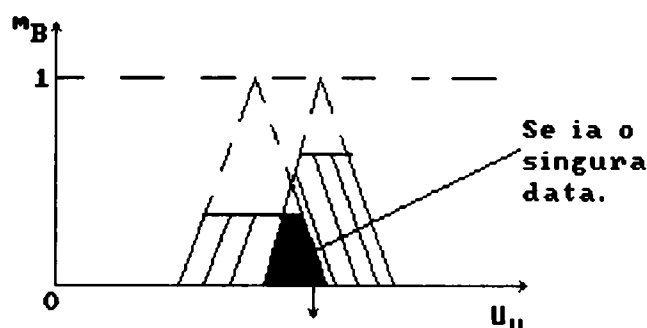
Metoda centrului de greutate este metoda de defuzificare cea mai utilizată în practică, cunoscând numeroase variante de aplicare.

Esența metodei constă în determinarea valorii exacte pentru mărimea de ieșire (comanda  $u^*$ ) cu luarea în considerare, într-o manieră ponderată, a tuturor influențelor obținute din regulile activate de starea particulară a intrărilor de la un moment dat.

În cazul continuu această metodă se exprimă prin relația (3.15) în care s-a utilizat simbolul corespunzător integrării din analiza matematică. Deci, această metodă determină centrul suprafeței aflată sub funcția de apartenență combinată. Fig. 3.9 prezintă această operație într-un mod grafic. Operația de defuzificare ia în considerare suprafața lui  $\underline{B}_u$  ca un

întreg.

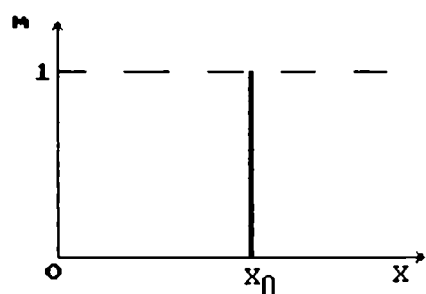
$$u^* = \frac{\int_{U_u} u \cdot m_{Bu}(u) du}{\int_{U_u} m_{Bu}(u) du} = \frac{\int_{U_u} u \cdot \max_k [m_{Bu}^k(u)] du}{\int_{U_u} \max_k [m_{Bu}^k(u)] du} \quad (3.15)$$



**Fig.3.9** O reprezentare grafică a metodei de defuzificare ‘centrul de greutate’

Dacă suprafețele celor două mulțimi fuzzy se suprapun, această suprapunere nu este pusă în evidență în formula (3.15) Această operație este din punct de vedere al calculului foarte complexă, ceea ce duce la cicluri de inferență foarte lungi și lente.

Aplicarea metodei centrului de greutate devine mult mai simplă la alegerea “foarte convenabilă” a formei funcției de apartenență aferente termenilor lingvistici ai ieșirii. Din acest motiv, pentru aplicațiile practice din domeniul conducerii automate se preferă termeni lingvistici cu funcția de apartenență de tip “singleton”. În fig.3.10 este prezentată o astfel de funcție de apartenență.



În acest caz mulțimea vagă se definește prin relația:

$$m: \{m(x)/x \mid x \in X\}, \quad (3.16)$$

în care notația  $m(x)/x$  reprezintă perechea de valori discrete “grad de apartenență / valoare exactă” din mulțimea de bază și are denumirea de *singleton*.

**Fig.3.10**

Metoda centrului de greutate singleton se exprimă prin relația de calcul a comenzii:

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^l u_i m_{Bu}(u_i)}{\sum_{i=1}^l m_{Bu}(u_i)} = \frac{\sum_{i=1}^l u_i \cdot \max_k m_{Bu}^k(u_i)}{\sum_{i=1}^l \max_k m_{Bu}^k(u_i)}, \quad (3.17)$$

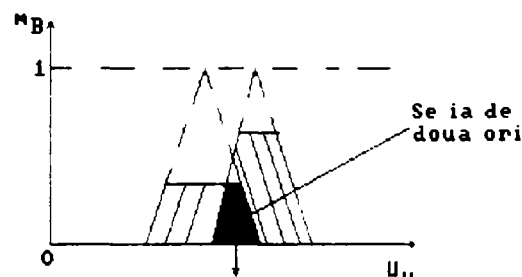
în care cu  $m_{Bu}^k(u_i)$  s-au notat gradele de realizare a concluziilor regulilor activate iar cu  $u_i$  abscisele singletonurilor utilizate la caracterizarea termenilor lingvistici ai variabilei lingvistice de ieșire.

Dacă această metodă se utilizează împreună cu metoda de inferență max-min respectiv max-prod, în cazul mai multor reguli active cu aceeași concluzie se ia în calcul numai regula cu cel mai ridicat grad de realizare.

### Metoda centrului sumelor

Este o metodă de defuzificare similară dar mai rapidă. Motivul utilizării acestei metode este de a se evita calculul lui  $\underline{B}_u$ . Ideea este de a considera contribuția suprafeței căutate a fiecărei mulțimi  $B_u^k$  individual. Matematic, în cazul metodei centrului de greutate se construiește  $\underline{B}_u$  luând reuniunea tuturor mulțimilor  $B_u^k$ .

În cadrul metodei centrului sumelor se ia suma mulțimilor  $B_u^k$ . Apar astfel suprafețe care se suprapun, dacă există, și care sunt reflectate mai mult decât o dată prin această metodă (fig.3.11). Viteza acestui algoritm este un motiv pentru care majoritatea sistemelor fuzzy utilizează această metodă. În cazul discret centrul sumelor este dat de relația (3.18), iar în cazul continuu de relația (3.19).



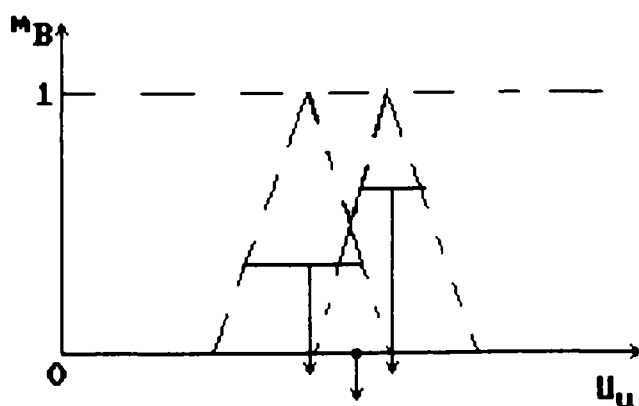
**Fig.3.11** O reprezentare grafică a metodei de defuzificare 'centrul sumelor'

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^l u_i \sum_{k=1}^n m_{B_u^k}^k(u_i)}{\sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^n m_{B_u^k}^k(u_i)} \quad (3.18)$$

$$u^* = \frac{\int_{U_u} u \cdot \sum_{k=1}^n m_{B_u^k}^k(u) du}{\int_{U_u} \sum_{k=1}^n m_{B_u^k}^k(u) du} \quad (3.19)$$

### Metoda de defuzificare de înălțime

Defuzificarea de înălțime este o metodă în care în loc de a utiliza  $\underline{B}_u$  se utilizează ieșirile de comandă individuale. Această metodă ia valoarea de vârf a fiecărei mulțimi  $B_u^k$  și construiește suma ponderată (raportat la înălțimea  $f_k$  a fiecărei mulțimi  $B_u^k$ ) a acestor valori de vârf.



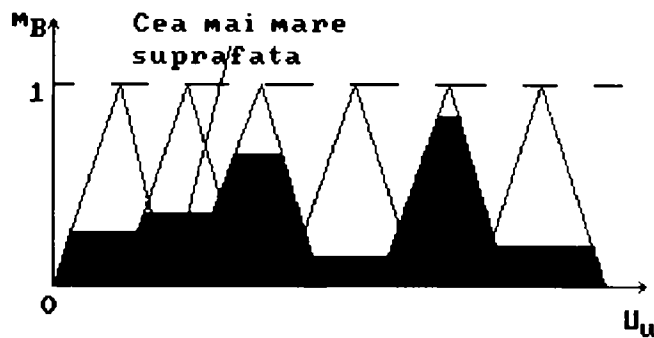
**Fig.3.12** O reprezentare grafică a metodei de defuzificare de înălțime

Astfel suporturile mulțimilor  $B_u^k$  nu intervin în calculul lui  $u^*$ . Metoda de înălțime este de asemenea simplă și foarte rapidă. Fie  $c^k$  valoarea de vârf a lui  $\underline{B}_u$  și  $f_k$  înălțimea lui  $B_u^k$ . Atunci metoda de defuzificare de înălțime într-un sistem cu  $m$  reguli dă:

$$u^* = \frac{\sum_{k=1}^m c^k \cdot f_k}{\sum_{k=1}^m f_k} \quad (3.20)$$

### Metoda centrului suprafeței celei mai mari

Când mulțimea fuzzy de ieșire totală  $\underline{B}_u$  nu este convexă, ea are cel puțin două submulțimi convexe. În acest caz prin metoda centrului suprafeței celei mai mari se determină submulțimea convexă cu cea mai mare suprafață. Se definește valoarea exactă de ieșire  $u^*$  ca fiind centrul suprafeței acestei submulțimi particulare (fig.3.13).



**Fig.3.13** O reprezentare grafică a metodei 'celeii mai mari suprafețe'

Această metodă este dificil de reprezentat formal deoarece implică găsirea mai întâi a submulțimii fuzzy convexe, apoi calculul ariei ei etc. Când  $\underline{B}_u$  este convexă, centrul suprafeței celei mai mari se reduce la metoda centrului suprafeței.

### Metoda primului din maxime

În cadrul metodei primului din maxime se utilizează  $\underline{B}_u$  și se ia cea mai mică valoare din domeniul  $U_u$  cu gradul de apartenență cel mai mare în  $\underline{B}_u$ . Aceasta se face formal în trei pași. Fie:

$$\text{hgt}(\underline{B}_u) = \max_{u \in U_u} \{m_{B_u}(u)\} \quad (3.21)$$

cel mai mare grad de apartenență al lui  $\underline{B}_u$  și fie:

$$\{u \in U_u | m_{B_u}(u) = \text{hgt}(\underline{B}_u)\} \quad (3.22)$$

mulțimea din domeniu a elementelor cu grad de apartenență egal cu  $\text{hgt}(\underline{B}_u)$ . Atunci  $u^*$  este dat de:

$$u^* = \min_{u \in U_u} \{u \in U_u | m_{B_u}(u) = \text{hgt}(\underline{B}_u)\} \quad (3.23)$$

O metodă alternativă acesteia este metoda numită "ultimul din maxime" în care  $u^*$  este dat de:

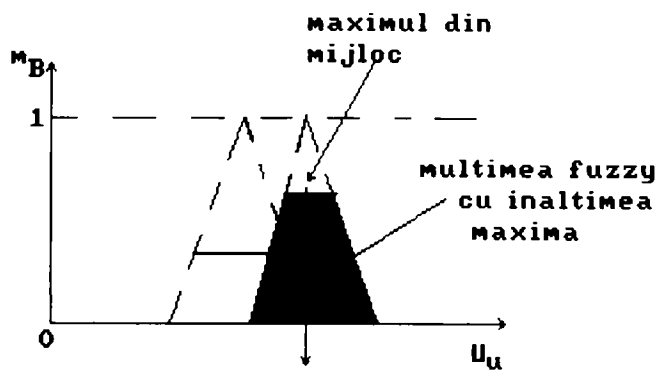
$$u^* = \max_{u \in U_u} \{u \in U_u | m_{B_u}(u) = \text{hgt}(\underline{B}_u)\} \quad (3.24)$$

### Metoda maximului din mijloc

Metoda maximului din mijloc este foarte asemănătoare cu metoda primului sau ultimului din maxime. În loc să se determine  $u^*$  ca fiind prima sau ultima din toate valorile unde  $U_u$  are grad de apartenență maxim, în această metodă se ia media acestor valori (fig.3.14). Formal:

$$u^* = \frac{\min_{u \in U_u} \{u \in U_u | m_{B_u}(u) = \text{hgt}(\underline{B}_u)\} + \max_{u \in U_u} \{u \in U_u | m_{B_u}(u) = \text{hgt}(\underline{B}_u)\}}{2} \quad (3.25)$$





**Fig.3.14** O reprezentare grafică a metodei de defuzificare 'a maximului din mijloc'

În unele sisteme metoda defuzificării cu maximul din mijloc este definită după cum urmează. Se găsește mai întâi maximul din mijloc cu procedura de mai sus și apoi se verifică dacă această valoare are gradul de apartenență cel mai mare. Dacă nu, atunci se caută elementul din domeniul cel mai apropiat cu gradul de apartenență maximă.

Criteriile pe care trebuie să le satisfacă o metodă de defuzificare ideală sunt:

1. *Continuitatea*: O mică variație a mărimilor de intrare ale regulatorului fuzzy nu trebuie să dea o variație mare a mărimii de ieșire. De exemplu, în cazul unui regulator fuzzy cu două intrări  $x_1$  și  $x_2$  și o ieșire  $u$ , când două valori ale intrărilor  $(x_{11}, x_{21})$  și  $(x_{12}, x_{22})$  diferă puțin, atunci valorile corespunzătoare de ieșire  $u_1$  și respectiv  $u_2$  nu trebuie să difere mult:

$$\forall \varepsilon > 0 \exists \delta > 0: |x_{11} - x_{12}| < \delta \text{ și } |x_{21} - x_{22}| < \delta \Rightarrow |u_1 - u_2| < \varepsilon \quad (3.26)$$

2. *Dizambiguitatea*: O metodă de defuzificare este dizambiguă dacă algoritmul de găsiere a lui  $u^*$  este bine definit. Acest criteriu nu este satisfăcut de metoda centrului suprafeței celei mai mari.

3. *Plauzibilitatea*: Fiecare ieșire defuzificată are o componentă orizontală  $u^* \in U_u$  și o componentă verticală  $m_{B_u}(u^*) \in [0, 1]$ . Se definește  $u^*$  ca fiind plauzibil dacă se află aproximativ în mijlocul mulțimii suport a lui  $B_u$  și are un grad de apartenență mare în  $B_u$ . Metoda centrului de suprafață nu satisface câteodată această proprietate, deși centrul suprafeței se află în mijlocul mulțimii suport, gradul de apartenență poate fi cel mai mic posibil.

4. *Complexitatea calculului*: Acest criteriu este important în aplicațiile practice ale reguletoarelor fuzzy. Metoda de înălțime, împreună cu metoda primului maxim sau maximul din mijloc sunt metode rapide, pe când metoda centrului de greutate este lentă. Complexitatea de calcul a centrului sumelor depinde de forma funcției de apartenență de ieșire.

5. *Ponderarea în calcule*: Un criteriu diferit este cel numit al ponderării mulțimilor fuzzy de ieșire. O metodă de defuzificare ponderează calculul dacă ea însumează părțile care se suprapun în mulțimea fuzzy de ieșire  $B_u$ . Metoda centrului sumelor și metoda de înălțime au această proprietate.

Metoda de înălțime ar fi una din cele mai avantajoase metode. Singurul dezavantaj este faptul că valoarea defuzificată nu are în mod necesar gradul de apartenență maxim.

## **3.3 Controlerul Fuzzy**

### **3.3.1 Generalități**

[3], [18], [19], [23], [33÷36], [41÷43], [52÷61], [63], [65], [67], [84], [104], [108], [112]

Pentru a putea aplica practic principiile reglării fuzzy, există două metode posibile:

- utilizarea unui PC prevăzut cu interfețe A/N la intrare și N/A la ieșire și întocmirea unui program (de obicei în limbaj C++) care să prelucreze în timp minim regulile de conducere. Metoda a fost aplicată la începuturile reglării fuzzy dar este neeconomică și nepractică (costul instalației prea mare, PC utilizat inefficient etc.). În prezent, această metodă se utilizează pentru studiu și simulare folosind, în special, mediul Matlab;

- construirea unui controler specializat care să funcționeze autonom sau interconectat cu un PC și care să poată fi montat în imediata vecinătate a instalației automatizate. În acest mod se pot obține performanțe ridicate la prețuri deosebit de mici. Acest controler (practic o placă de circuit imprimat de dimensiuni reduse) poate fi montat în automatul programabil care asigură conducerea întregului proces și comunicarea cu nivelul superior.

A doua metodă va fi folosită în lucrare.

Există firme de prestigiu producătoare de microcontrolere standardizate, care, prin dezvoltare cu restul circuitelor externe necesare, permit obținerea unui controler Fuzzy. Un asemenea circuit este PIC 16C74 produs de firma MICROCHIP. El va fi descris succint în cele ce urmează deoarece în jurul lui s-a dezvoltat controlerul Fuzzy propus în lucrare.

### **3.3.2 Microcontrolerul PIC 16C74**

Acesta face parte din familia CMOS pe 8 biți PIC 16CXX, caracterizată prin preț de cost redus și performanțe ridicate.

Principalele caracteristici sunt următoarele:

- arhitectură RISC avansată;
- 35 instrucțiuni principale;
- fiecare instrucțiune se execută într-un singur ciclu de 200 ns;
- clock intern 20 MHz;
- comunicația internă pe 14 biți, externă - 8 biți;
- memoria de program 4096x14 EPROM;
- 192x8 registre de uz general (SRAM);
- 45 registre speciale pentru funcții hardware;
- mod de adresare direct, indirect și relativ;
- 4 surse de întreruperi;
- 33 pini I/O cu control individual;
- 2 pini pot fi configurați pentru ieșire PWM;

- TMR1: timer/numărător pe 16 biți pentru bază de timp. poate fi incrementat de la un ceas extern;
- TMR2: timer/numărător pe 8 biți (bază de timp pentru PWM);
- TMR0: timer/numărător pe 8 biți programabil;
- modul converter A/N pe 8 biți (8 intrări analogice multiplexate);
- interfață serială de comunicație (SCI) duplex asincronă și Parallel Slave Port (PSP) cu control extern RD, WR și CS;
- watchdog timer (WDT);
- SLEEP mode;
- memoria internă de program programabilă folosind numai doi pini în tehnologie CMOS;
- tensiune de alimentare:  $3 \div 6$  Vcc, consum  $< 2$  mA la 5 V ( $< 1$   $\mu$ A în standby mode).

PIC 16CXX poate fi programat din fabrică, în scopul unor utilizări specifice. Astfel, este disponibil un compilator C și un suport pentru logică fuzzy, varianta PIC 16C74 conținând în memoria program instrucțiunile necesare pentru aplicații specifice fuzzy.

### 3.3.3 Controlerul propriu-zis

După cum s-a menționat, plecând de la microprocesorul PIC 16C74 s-a realizat practic, prin completare cu circuitele hardware necesare, un controler Fuzzy complet, care prezintă următoarele caracteristici tehnice:

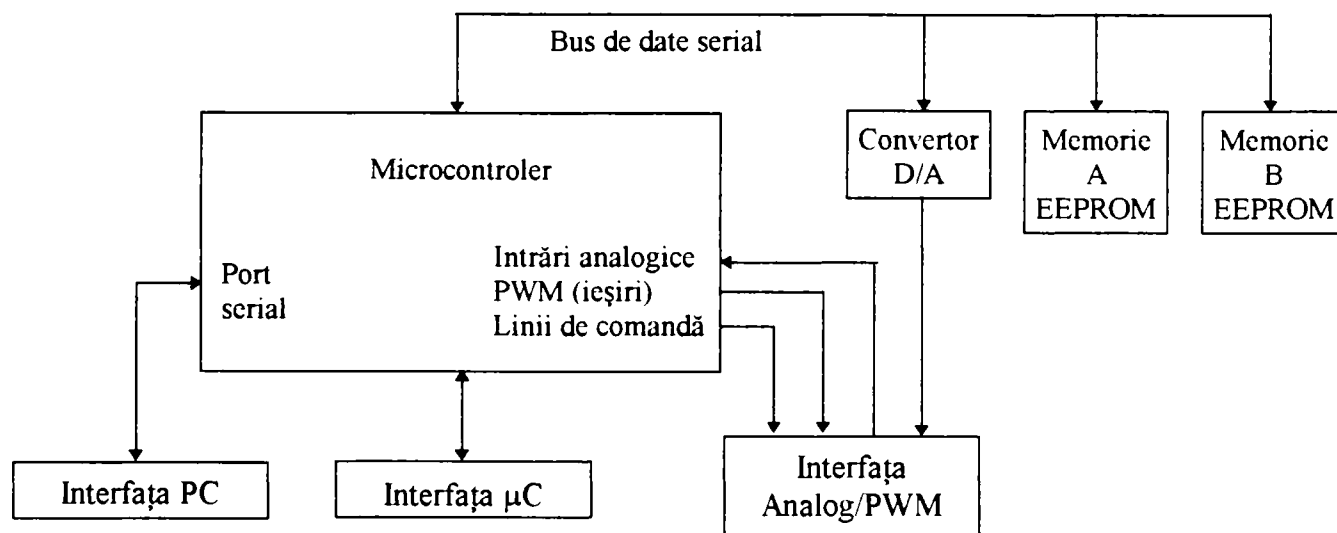
- tensiune de alimentare:  $9 \div 16$  [Vcc] la conectorul K4 sau 5 [Vcc] la conectoarele K1, K2;
- 8 intrări analogice, 2 ieșiri analogice: 0 - 5 [Vcc];
- curent maxim la ieșirile analogice: 5 [mA];
- intrări/ieșiri numerice directe 8 biți;
- ieșire PWM: 1,22; 4,88; 19,53 [kHz] la doi pini (un pin de semn). Impulsurile sunt modulate în durată (0÷100%);
- metoda de inferență: max - min;
- defuzificare prin metoda centrelor de greutate singleton;
- frecvența de tact: 20 [MHz];
- număr maxim de reguli: 60.
- consum maxim: 50 [mA];

Datele de intrare/ieșire pot fi atât analogice cât și numerice (8 biți), ultima variantă asigurând o viteză de transmisie mult mai mare.

Schema bloc a controlerului Fuzzy este prezentată în figura 3.15, iar schema electrică - în figura 3.16.

În concepția prezentată, PC este necesar numai pentru stabilirea regulilor, după care controlerul poate lucra independent, direct în instalație, deoarece toate datele sunt

memorate într-un EEPROM (protejate chiar și la deconectarea sursei de alimentare). Comunicarea cu PC se face prin interfața serială standard RS232.



**Fig. 3.15** Schema bloc a controlerului Fuzzy

Microcontrolerul PIC 16C74 a fost achiziționat preprogramat pentru aplicații fuzzy, instrucțiunile necesare fiind conținute în memoria internă de program.

Pentru alimentarea cu energie s-au prevăzut două variante:

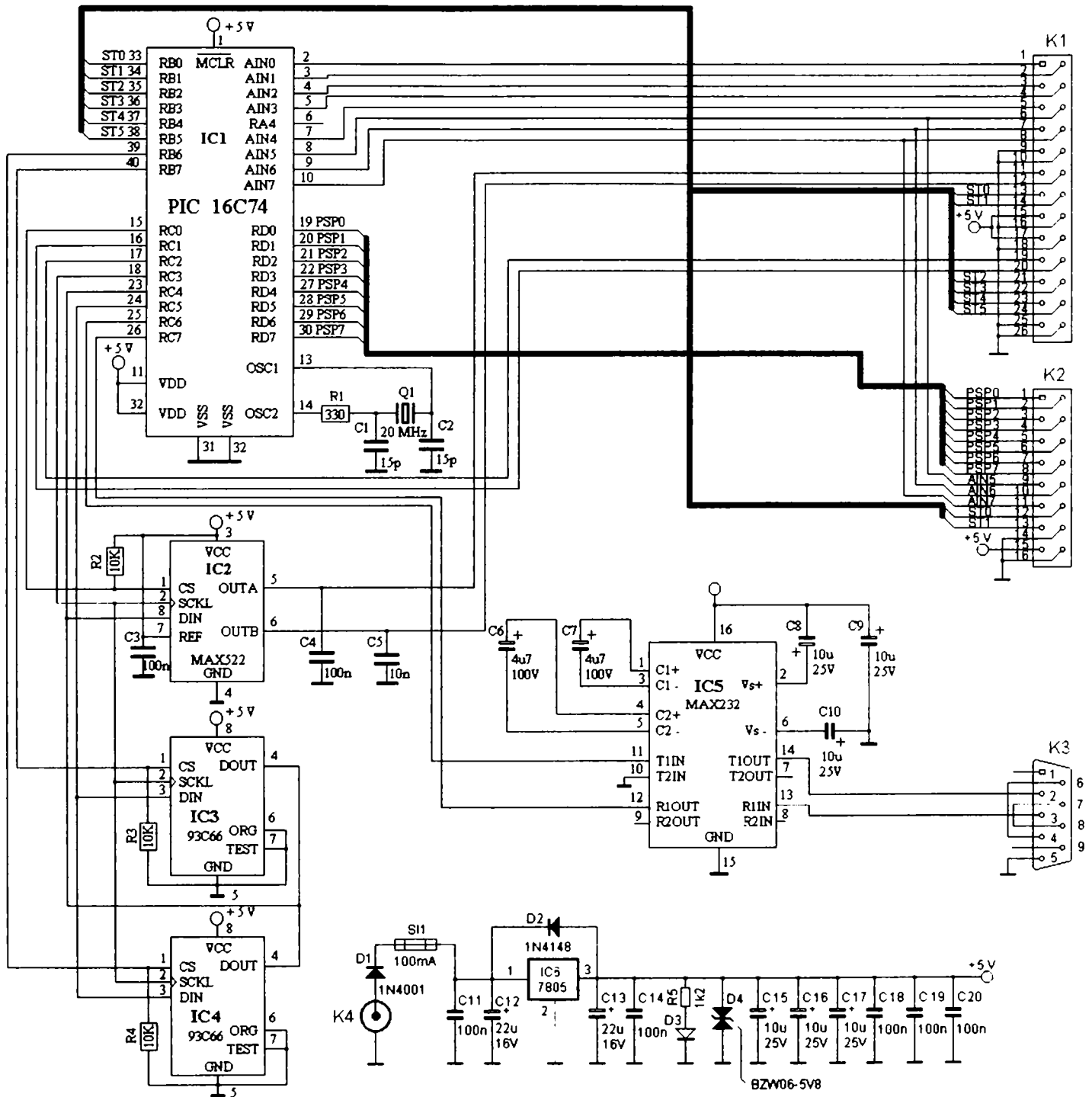
- direct de la sistemul în care controlerul se va intercala (5 [Vcc] ), prin conectoarele K1 sau K2;

- strict independent (prin conectorul K4), caz pentru care s-a prevăzut un circuit de stabilizare-protecție format din IC6 - tip 7805 (stabilizator de 5 Vcc), dioda D1 - tip 1N4001 (protecție la conectare inversă), dioda D4 - tip BZW-06-5V8 (protecția schemei la tensiuni mari) și condensatoarele C11-C20 (pentru reducerea oscilațiilor). (fig.3.16)

PIC 16C74 dispune de o interfață serială internă care se conectează extern la pinii 25, 26. Deoarece el lucrează cu 5V, este necesar un convertor de nivel realizat cu IC5 (tip MAX 232).

Pentru furnizarea semnalelor analogice de comandă s-a integrat convertorul N/A IC2 (tip MAX 522) care produce două tensiuni 0÷5 [V] la pinii 5 și 6. Comanda lui se face serial de la PIC 16C74 prin pinii 1, 2 și 8. Pentru aceasta, linia  $\overline{CS}$  trece la potențial LOW pentru a selecta convertorul N/A. Transmisia se face acum serial prin pinii 2 și 8, la care microcontrolerul depune datele (8), iar printr-un tact (2) generează un semnal de validare. Datele se introduc într-un registru de 16 biți ai convertorului N/A, care la schimbarea nivelului liniei  $\overline{CS}$  în HIGH, va furniza tensiunea analogică corespunzătoare.

Pentru memorarea parametrilor regulatorului servesc IC3 și IC4 (EEPROM tip 93C66) care sunt remanente. Comunicarea microcontroler-memorie se face tot serial la pinii 1 și 4 ai EEPROM. Pentru activare se folosește linia CS (pin 1), care va trece în HIGH, iar transferul de date se face la pinul 3 (DIN). Tactul este furnizat prin linia SCLK (pin 2). Citirea conținutului memoriei se face serial la pinul 4 (DOUT), sincronizat de SCLK.



**Fig. 3.16** Schema de conexiuni

Prin conectorul K1 se realizează legătura cu sistemul “țintă”, adică cu elementele hardware ale sistemului în care se introduce controlerul: cele 8 intrări analogice, cele două ieșiri analogice, două ieșiri PWM și șase semnale digitale.

Conectorul K2 este prevăzut pentru legătura directă cu alte controlere, ocolind convertoarele A/N și N/A. Comunicația este bidirecțională și se comandă prin  $\overline{RD}$ ,  $\overline{WR}$  și  $\overline{CS}$ .

Cu ajutorul software-ului, pentru fiecare intrare analogică poate fi aleasă o interpretare unipolară sau bipolară:

- monopolar:  $0 \div 5$  [V]  $\rightarrow$   $0 \div 100\%$ ;
  - bipolar:  $0$  [V]  $\rightarrow$   $-100\%$ ;  $2,5$  [V]  $\rightarrow$   $0\%$ ;  $5$  [V]  $\rightarrow$   $+100\%$ ;
- Același lucru este valabil și pentru ieșirile analogice.

Pentru ieşirile PWM este posibil, de asemenea, regimul mono sau bipolar, comandat prin semnalele ST2, ST3 la pinii 21, 22 ai conectorului K1. Semnificaţia pinilor la K1 este dată în tabelul 3.3.

**Tabelul 3.3**

Pin	Cod circuit	Semnificaţie
1÷8	AIN0÷AIN7	intrări analogice
9, 10	⊥	masa
11	OUT A	ieşire analogică - regulator A
12	OUT B	ieşire analogică - regulator B
13	ST0	LOW - când transferul de date PC - Fuzzy Controler este în curs; HIGH - în rest. (circuit de interogare a stării)
14	ST1	HIGH - în timpul cât controlerul este în faza de calcule; LOW - când a terminat calculele. (circuit de interogare a stării)
15, 17	+	+ 5 [Vcc]
16,18	⊥	masa
19	PWM1	ieşire PWM regulator A
20	PWM2	ieşire PWM regulator B
21	ST2	modificarea regimului ieşirii PWM regulator A
22	ST3	modificarea regimului ieşirii PWM regulator B
23, 24	ST4, ST5	fără funcţie
25, 26	⊥	masa

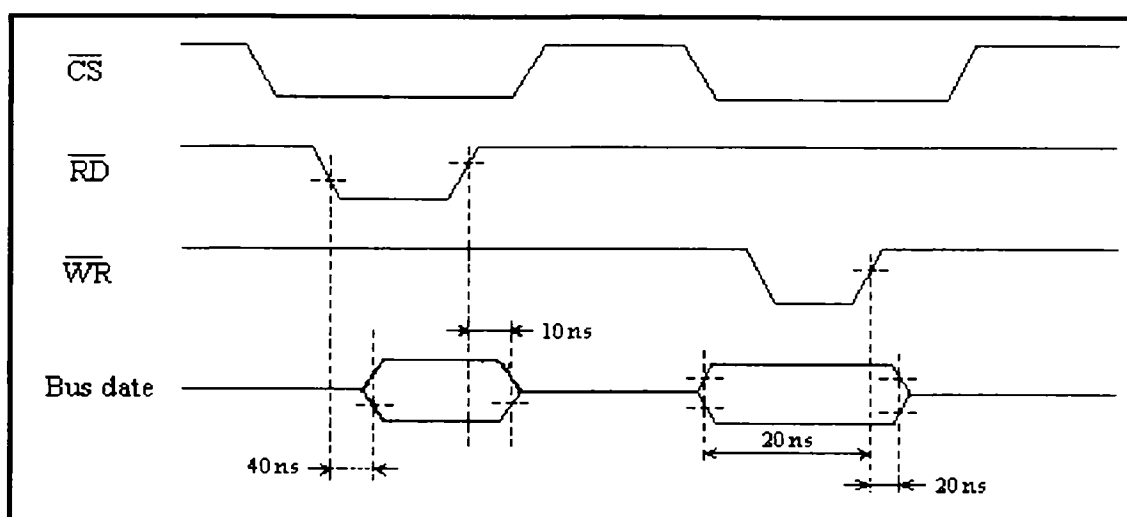
În tabelul 3.4 este dată configuraţia pinilor pentru interfaţa de comunicare directă cu alt controler (conectorul K2).

**Tabelul 3.4**

Pin	Cod circuit comandă	Semnificaţie
1÷8	PSP0÷PSP7	Bus bidirecţional 8 biţi pentru date
9	$\overline{RD}$	LOW - când un bit este citit de la interfaţa Fuzzy - Controler
10	$\overline{WR}$	LOW - când se scrie un bit în Fuzzy - Controler
11	$\overline{CS}$	HIGH - când interfaţa Fuzzy - Controler este activată; LOW - în rest.
12	ST0	LOW - când transferul de date este în curs; HIGH - în rest.
13	ST1	HIGH - în timpul calculului; LOW - când rezultatul este disponibil.
14, 16	⊥	masa
15	+	+ 5 [Vcc]

Utilizatorul trebuie să stabilească prin software dacă va fi activată interfaţa analogică sau cea numerică, ne fiind posibilă funcţionarea lor simultană.

Controlul comunicării între controlere se face prin liniile de control aferente, conform tabelului 3.4. Pentru evitarea greşelilor de transmisie, timpii din diagrama prezentată în figura 3.17 nu trebuie să depăşească.



**Fig.3.17**

Modalitatea în care controlerul va primi datele și va furniza rezultatele este stabilită în protocolul interfeței. Pentru a realiza o comunicare, controlerul extern citește un byte “de comunicare” (tabelul 3.5) de la controlerul Fuzzy. Biții 6 și 7 semnifică faptul că transferul momentan nu este posibil (de exemplu deoarece are loc un transfer de date de la PC). Când bitul 6 trece în LOW, iar 7 în HIGH, înseamnă că Fuzzy controlerul este pregătit pentru preluare de date. Biții 0 și 2 ai aceluiași byte dau în formă binară numărul intrărilor de la regulatorul A, iar biții 3 și 5 numărul intrărilor de la regulatorul B.

**Tabelul 3.5**

Configurarea biților în byte-ul de comunicație al interfeței directe a controlerului

Bit 7	Biții 0÷6	Configurație
HIGH	bit 0÷2	numărul intrărilor regulatorului A, în binar
HIGH	bit 3÷5	numărul intrărilor regulatorului B, în binar
HIGH	bit 6	LOW - când comunicația este disponibilă, HIGH - în rest.
LOW	bit 0÷2	numărul de valori pentru intrările A sau B, în binar
LOW	bit 3	fără semnificație, LOW
LOW	bit 4	fără semnificație, LOW
LOW	bit 5	HIGH - când controlerul calculează, LOW - când ieșirea este disponibilă.
LOW	bit 6	HIGH - când controlerul calculează, LOW - când ieșirea este disponibilă.

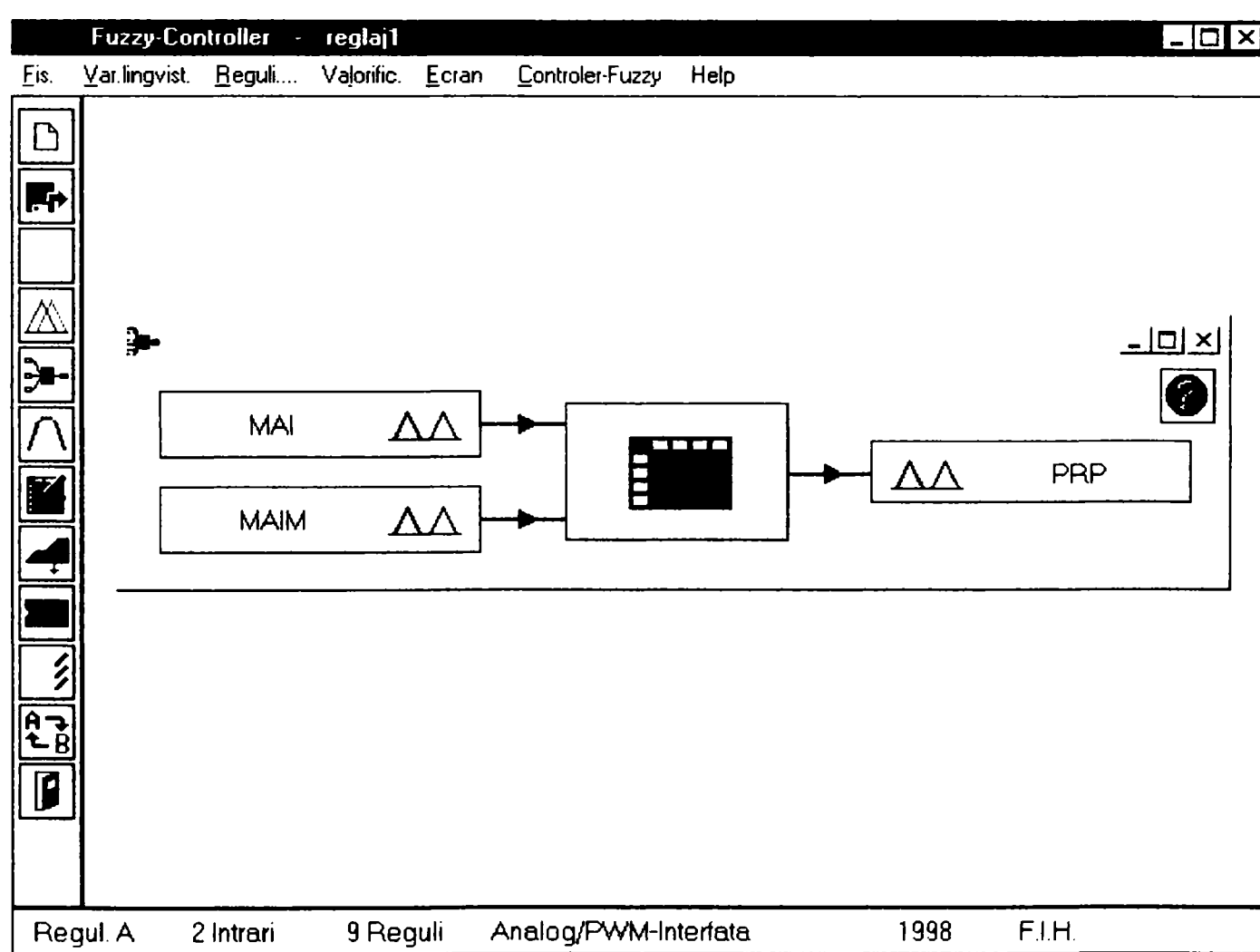
Controlerul extern citește de la interfață până când va întâlni un byte cu toți biții 0, situație prin care Fuzzy controlerul indică faptul că byte-ul transmis a fost prelucrat și solicită controlerului extern să transmită prima valoare de intrare. Ciclul se repetă până s-au transmis toate valorile de intrare a regulatorului ales. Ciclul de citire durează  $\approx 2,6 \mu s$ .

După finalizarea introducerii datelor în controlerul Fuzzy, urmează calculul valorilor de ieșire care sunt transmise controlerului extern, prin același protocol.

După cum s-a menționat, PIC 16C74 conține în memoria program instrucțiunile necesare pentru funcționare ca și controler Fuzzy. Pentru introducerea regulilor, configurarea reglajelor, a formei funcțiilor de apartenență, simulare etc., s-a întocmit un program care rulează sub Windows 95. Din motive de volum, programul este prezentat pe discheta anexată.

Programul este funcțional numai dacă controlerul Fuzzy este conectat prin interfața serială la PC (minim: 486 cu 8M RAM, monitor VGA și WINDOWS 95 instalat, 2M memorie liberă).

În figura 3.18 este prezentat meniul principal cu imaginea activată. În bara de sus este înscris numele programului și denumirea sistemului încărcat. Următoarea bară conține punctele din meniul principal. Cu ajutorul mouse-ului sau prin acționarea tastei ALT în combinație cu literele subliniate, pot fi apelate diferite submeniuri.



**Fig.3.18**

Suplimentar, în partea stângă a ferestrei se găsește o bară vizuală de funcții, cu ajutorul căreia pot fi apelate punctele principale ale programului. Această posibilitate reprezintă un avantaj pentru funcțiile importante ale programului, care sunt frecvent apelate. Pictograma aflată pe fiecare dreptunghi explică funcția respectivă. Prin clic pe simboluri, de exemplu "Editor baza de reguli", acestea pot fi editate. Prin activarea indicativelor pentru variabilele de intrare și ieșire, există posibilitatea de a apela meniurile de configurare în care se pot modifica nume sau parametri.



În bara status a reglajului ales (A sau B), aflată în partea de jos a suprafeței ecranului, sunt indicate: numărul intrărilor, numărul regulilor și interfața utilizată.

În continuare se prezintă caracteristicile software-ului.

a) *Intrări și ieșiri*

Trebuie stabilit numărul de intrări, ieșiri și interfața utilizată (analogică sau digitală). Dacă se alege interfața analogică, stau la dispoziție două regulatoare cu maxim 8 intrări/regulator. Prin software, aceste intrări pot fi legate cu oricare din pinii AIN0÷AIN7 (tab.3.3). Valorile mărimilor de ieșire se pot obține la OUT A/B (analogic) sau la interfața PWM (PWM 1/2). Aceasta dă suplimentar un bit (ST 2/3) dacă variabila de ieșire este bipolară.

Dacă se alege interfața numerică, stau la dispoziție două regulatoare cu maxim 8 intrări și o ieșire. Transmisia de date are loc serial, pe 8 biți. Cu ajutorul protocolului de comunicație se va stabili în ce modalitate va avea loc schimbul de date.

b) *Funcții de apartenență*

După stabilirea intrărilor, ieșirilor și a tipului interfeței, se aleg funcțiile de apartenență. În acest scop, programul pune la dispoziție un editor (fig.3.19) cu ajutorul căruia se selectează domeniul (unipolar sau bipolar), numărul și numele funcțiilor de apartenență și forma acestora. Este posibilă generarea automată a formei (triunghi, trapez etc.) și a gradului de acoperire a funcțiilor.

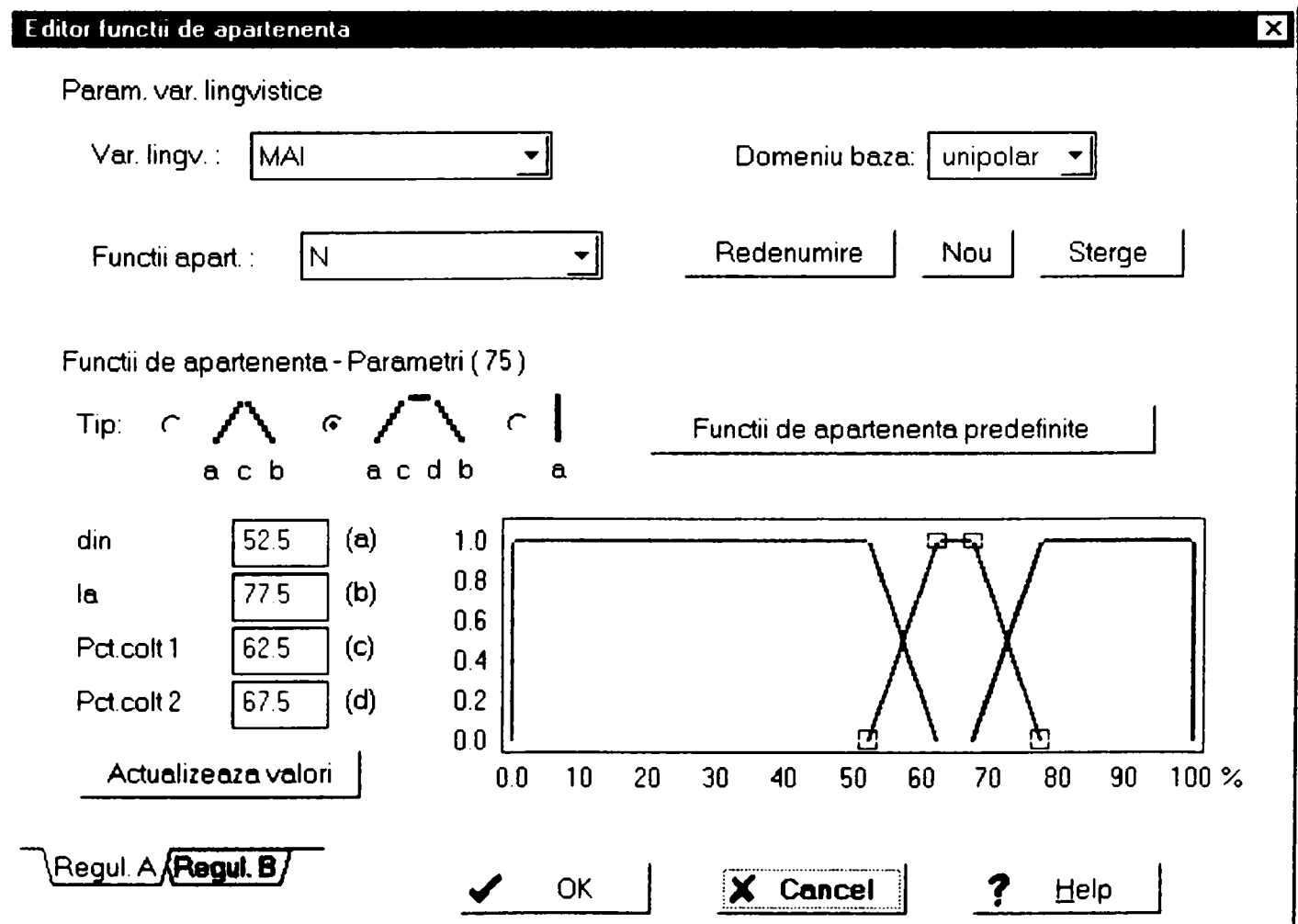


Fig.3.19

Din motive de flexibilitate, fiecare valoare lingvistică poate avea până la 11 funcții de apartenență, în total fiind disponibile 86 de funcții. Fiecare dintre ele se definește ca trapez, triunghi sau singleton.

Modificarea unei funcții de apartenență se face fie prin introducerea directă a altor valori, fie prin editare grafică cu ajutorul mouse-ului.

### c) Reguli

După parcurgerea etapelor anterioare, se apelează editorul de reguli (fig.3.20), de formă tabelară. Primul rând conține implicația “dacă” - “atunci”, iar al doilea rând - numele variabilelor. În rândurile următoare se introduc regulile propriu-zise. Fiecare se compune dintr-un număr curent, operatorul (și/sau), variabilele lingvistice ale intrărilor și ieșirilor și un factor de ponderare. La valoarea 1 a acestuia, regula respectivă va fi luată în considerare 100%, la 0,5 - 50% etc. S-a introdus această facilitate în vederea unei optimizări ulterioare a influenței fiecărei reguli în decizia sistemului, pe baza observațiilor din practică.

Editor baza reg.				
Tabela	if	then		
	MAI	MAIM	PRP	Pondere
1.Regula	u. S	u. S	SM	1.0
2.Regula	u. S	u. N	SP	1.0
3.Regula	u. S	u. R	M	1.0
4.Regula	u. N	u. S	SP	1.0
5.Regula	u. N	u. N	M	1.0
6.Regula	u. N	u. R	CP	1.0
7.Regula	u. R	u. S	M	1.0
8.Regula	u. R	u. N	CP	1.0
9.Regula	u. F	u. R	CM	1.0
Regul. A    2 Intrari    9 Reguli    SI / SAU => Conexiune Si / Sau				

Fig.3.20

Baza de reguli poate fi modificată oricând de utilizator. Astfel, se pot adăuga sau șterge reguli, se poate schimba operatorul logic, regulatorul A sau B etc.

În bara status de sub tabel sunt indicate regulatorul activ, numărul variabilelor lingvistice, numărul momentan de reguli.

### d) Defuzificarea

Se poate realiza prin două metode. Prima este cea a centrelor de greutate, care reprezintă foarte bine mulțimea, dar conduce la multe calcule matematice.

A doua metodă - a centrelor de greutate singleton - are rezultate asemănătoare, dar folosește mai puține calcule matematice. Se recomandă la sistemele rapide, când timpul de calcul este important.

#### e) *Controlul reglajului*

Se utilizează la optimizarea regulatorului, dând diferite valori pentru fiecare variabilă lingvistică de intrare și analizând comportamentul reglajului fuzzy în diferite situații. Valorile calculate vor fi redate grafic, pentru o mai ușoară analiză.

#### f) *Redarea datelor*

Schimbarea valorilor relevante ale sistemului se produce rapid, încât ea nu poate fi observată cu ochiul liber. Din acest motiv, programul dispune de un meniu de redare grafică, în timpul sau după preluarea semnalelor.

Având în vedere cele expuse, proprietățile software ale controlerului realizat sunt:

- controlul reglării prin modificarea valorilor de intrare și observarea valorilor de ieșire;
- redare grafică a simulării;
- introducerea, schimbarea sau ștergere regulilor este oricând posibilă;
- până la 122 reguli și până la 11 funcții de apartenență pentru o variabilă lingvistică;
- implicații logice ȘI/SAU;
- alegere liberă a numărului funcțiilor de apartenență pentru fiecare variabilă lingvistică;
- posibilități de optimizare prin introducerea unui factor de ponderare pentru fiecare regulă;
- memorarea regulilor dezvoltate, respectiv modificate sub același nume sau sub un nume diferit;
- sistem de lucru cu ferestre și pictograme, ușor de utilizat;
- comunicare în timp real cu controlerul (hardware).

### **3.4 Concluzii**

Sistemele expert reprezintă, prin capacitatea lor de a reproduce raționamentul uman, un pas nou în conducerea proceselor industriale, în special a celor complexe și dificil de modelat matematic. Este, deci, evidentă tendința actuală de implicare a lor în automatizarea fabricilor de ciment.

În capitolul de față au fost evidențiate structura acestor sisteme, problematica lor generală și etapele necesare a fi parcurse pentru realizarea practică a unui sistem expert.

Deoarece în continuare se va propune utilizarea unor algoritmi vagi în conducerea proceselor din fabrica de ciment, un paragraf a fost rezervat noțiunilor teoretice generale privitoare la reglarea fuzzy.

Pentru a efectua proiectarea și testarea algoritmilor fuzzy de conducere, a fost necesară proiectarea și realizarea practică a unui controler și a software-ului adecvat. În ultima parte a capitolului se expune schema concepută a unui astfel de controler elementar, utilizând un microprocesor specializat și realizat practic sub forma unei plăci de mici dimensiuni (6x12 cm). El poate lucra independent, conectarea cu PC-ul (prin interfața serială) fiind necesară numai în faza de introducere sau modificare a regulilor. Fiind prevăzut cu memorie proprie, convertoare A/N și N/A, intrări/ieșiri analogice și numerice și linie de comunicație cu alte controlere, dispozitivul, realizat practic, are o mare arie de aplicabilitate. Prețul său de cost (cca. 80 USD) este foarte mic, iar performanțele avute în vedere au fost confirmate practic.

S-a conceput, de asemenea, un software adaptabil pe orice PC obișnuit, permițând instalarea reglajelor fuzzy și a graficelor pentru mărimile de intrare-ieșire, testarea regulilor etc.

În ansamblu, hardware-ul și software-ul concepute și realizate practic au permis implementarea directă și eficientă a regulilor de conducere fuzzy în automatizarea proceselor din fabrica de ciment, după cum se va vedea în Capitolul 5.

Aceste realizări au caracter de originalitate.

Contribuțiile autorului în acest capitol constau în:

a) sinteza informațiilor existente referitoare la sistemele expert și problematica fuzzy;

b) conceperea și realizarea hard a unui controler Fuzzy pornind de la un microcircuit specializat PIC 16C74;

c) conceperea unui software de utilizare a controlerului realizat, cu toate facilitățile menționate. Programul este prezentat pe discheta anexată lucrării și este operațional pe un PC obișnuit, având stabilită legătura cu controlerul prin interfața serială.

## CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND IDENTIFICAREA UNOR PROCESE DIN FABRICILE DE CIMENT

### 4.1 Generalități

Identificarea analitică a proceselor din fluxul de fabricație a cimentului este dificilă datorită complexității acestora și nu a condus la obținerea unor modele matematice suficient de precise, care să permită o conducere convențională eficientă.

Conform celor expuse în capitolul anterior, utilizarea sistemelor expert bazate pe algoritmi fuzzy nu necesită un model matematic foarte evoluat. Este însă recomandat ca acest model să fie cât mai apropiat de situația reală a instalației.

Având în vedere evoluția actuală a tehnicii de calcul și a principiilor de conducere a proceselor, identificarea experimentală pe baze statistice constituie o alternativă ce trebuie luată în considerație.

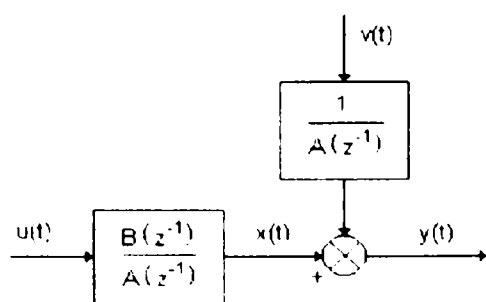
Scopul acestui capitol îl reprezintă obținerea unor corelații (statistice, experimentale) între mărimile caracteristice ale unor procese din fabrica de ciment. Ele nu vor fi folosite direct în conducerea proceselor, ci, împreună cu considerațiile tehnologice de expert, vor permite întocmirea algoritmilor fuzzy de conducere, care fac obiectul capitolului următor.

### 4.2 Modelarea matematică prin metode statistice a procesului din cuptorul de clincher

#### 4.2.1 Ipoteze statistice fundamentale

Cele mai utilizate modele sistemice, liniare, discrete, care înglobează efectul perturbațiilor aleatoare sunt reprezentate în fig. 4.1. [35], [36], [81], [103].

Prin PFD s-a notat partea fixată discretă, adică modelul discret cu extrapolator de ordinul zero, înglobat, al părții fixate continue (PFC). Acest model intrare-ieșire este descris printr-o funcție de transfer, rațională, proprie, în variabila  $z^{-1}$ , a transformării Z.



**Fig. 4.1.**

Mărimile notate:  $u(t)$ ,  $x(t)$ ,  $z(t)$ ,  $v(t)$ ,  $y(t)$  sunt discrete,  $t \in \mathbb{N}^*$ .

Exceptând metodele active de identificare ce utilizează ca intrări în proces combinații bine definite de semnale deterministe și/sau stohastice (de exemplu semnale pseudoaleatoare binare - SPAB), mărimea de intrare în PFD este determinată, în funcționarea reală a procesului, în buclă închisă sau deschisă. Mărimea  $x$

reprezintă ieșirea neperturbată a PFD, inaccesibilă măsurării, deci necunoscută exact, ci doar prin aproximări de calcul. Mărimea  $z$  cumulează efectul tuturor perturbațiilor interne sau externe procesului tehnologic, de tip neparametric, incluzând aici efectul intrărilor parazite, zgomotul tehnologic, de măsură, de calcul ș.a. Datorită ipotezei de liniaritate impusă modelului PFD, acțiunea acestui cumul de perturbații neparametrice este considerată aditiv doar la ieșire. În caz general, perturbațiile neparametrice  $z$  pot conține și mărimi deterministe măsurabile. Mărimea  $y$ , de ieșire, este cea măsurată (de multe ori și cea reglată) fiind cunoscută exact doar ca sumă a celor două componente,  $y(t) = x(t) + z(t)$ , componente inseparabile exact. Admițând că semnalele deterministe și măsurabile, din  $z$ , sunt luate în considerare în proiectarea schemelor de compensare de tip FEEDFORWARD, se presupune (în această lucrare), că  $z$  conține doar perturbații cu caracter aleator (zgomot). Caracterul lor aleator impune tratarea în context statistic.

Sintetic,  $z(t)$  este asimilat ca un proces stohastic (parametrizat cu timpul discret  $t$ ). Deoarece  $y(t)$  conține, aditiv, acest zgomot, va fi și el considerat ca un proces stohastic (cu componenta deterministă  $x(t)$ ). Caracteristicile statistice ale ieșirii măsurate,  $y(t)$ , sunt determinate pe baza caracteristicilor statistice ale zgomotului  $z(t)$ , sau  $v(t)$ , conform fig.4.1. Deoarece experimentul de identificare nu utilizează, din motive economice și inginerești, toate realizările zgomotului, deci nici ale ieșirii  $y(t)$ , metodele de identificare presupun satisfăcute anumite proprietăți statistice (ipoteze) grație cărora identificarea modelului PFD se face în cursul unei singure experiențe semnificative (la metodele de identificare off-line) sau recursiv, dar păstrând aceleași proprietăți (la metodele de identificare on-line, în buclă închisă).

#### *Procese stohastice staționare*

Prelucrarea datelor I/E, ale procesului condus, este facilă dacă zgomotul este un proces stohastic staționar. Un proces stohastic este staționar dacă densitățile sale de probabilitate nu se modifică la translații temporale ale argumentului  $t$ . În practică se utilizează prima și a doua densitate de probabilitate, care au utilizări directe în calculul mediilor statistice și a funcțiilor de corelație statistică. Consecințe directe, importante ale acestei proprietăți, sunt:

- media teoretică, dispersia și covarianța unui proces stohastic staționar sunt invariante în timp;
- funcțiile de corelație depind doar de intervalul de timp (discret) nu și de originea și sfârșitul acestui interval - proprietatea decurgând din invarianța la translații temporale a celei de-a doua densități de probabilitate;
- funcțiile de autocorelație și autocovarianță sunt pare în raport cu timpul  $t$ , având maximul la  $t = 0$ .

#### *Procese stohastice staționare ergodice*

Estimarea modelului cu ajutorul unui singur experiment (semnificativ) se bazează pe ipoteza de ergodicitate impusă eșantioanelor procesului stohastic, obținute în acest experiment.

Din punct de vedere tehnic este mai convenabil să se utilizeze o singură realizare, din întreg ansamblul statistic al eşantioanelor procesului stohastic, care apoi să fie prelucrată "în numele" tuturor eşantioanelor posibile. Prelucrarea întregului ansamblu statistic al eşantioanelor necesită cunoaşterea funcţiilor statistice de probabilitate, de regulă necunoscute analitic.

Un proces stohastic staţionar va avea un caracter ergodic dacă, lăsat liber (fără constrângeri generate de condiţionarea statistică cu alte procese stohastice) să evolueze în timp, va trece mai devreme sau mai târziu prin toate punctele din spaţiul eşantioanelor sale, într-o singură realizare a sa. Nu toate procesele stohastice staţionare sunt ergodice. O condiţie suficientă de ergodicitate este ca la translaţii temporale infinite, ale argumentului funcţiilor de autocorelaţie, acestea să se anuleze asimptotic. O consecinţă a ergodicităţii este egalitatea mediilor statistice - pe ansamblul eşantioanelor - cu mediile temporale ale unei singure reprezentări semnificative. Dar, pentru a fi utilizată o singură reprezentare (un singur experiment), aceasta trebuie considerată pe un interval de timp suficient de mare, astfel încât în evoluţie liberă realizarea să ia toate valorile pe care le-ar putea lua procesul stohastic (variabilă aleatoare parametrizată cu  $t$ ), la un moment de timp (fixat arbitrar). Schematic, toate realizările unui proces stohastic staţionar şi ergodic au acelaşi traseu echivalent de evoluţie.

De remarcat că ergodicitatea a presupus evoluţia liberă a procesului stohastic în cursul experimentului semnificativ. Deci, dacă ergodicitatea este o proprietate a zgomotului  $z(t)$ , valabilă în buclă deschisă (când  $z(t)$  şi  $u(t-i)$ ,  $i \geq 1$  sunt independent statistic), ea poate să nu mai fie valabilă în buclă închisă, când  $z(t)$  şi  $u(t-i)$ ,  $i \geq 1$ , sunt corelate statistic.

Un singur tip statistic de zgomot (idealizat) îşi menţine necondiţionat, în buclă închisă, proprietatea de ergodicitate - şi anume zgomotul alb (ZA).

#### *Procese stohastice corelate*

În terminologia statistică, conceptul de corelaţie statistică are un înţeles foarte larg, acoperind toate legăturile statistice dintre variabile calitative sau cantitative, aleatoare. Metodele corelaţiei întrunesc întregul complex de investigaţie a conexiunilor statistice, conducând la expresii numerice sintetice dintre care interesează: coeficienţii de auto şi intercorelaţie, funcţiile de auto şi intercorelaţie ş.a.. Valorile sau expresiile lor sunt considerate ipoteze de lucru sau indicatori statistici de calitate ai modelului estimat.

Dacă se presupun procesele stohastice care interesează ca fiind staţionare şi ergodice, funcţiile de corelaţie (sau covarianţă) sunt calculate pe baza unei singure realizări semnificative, fiind ele însele nişte estimate ale valorilor exacte care s-ar putea deduce prin procedee statistice şi nu prin medieri temporale. Cu aceste aserţiuni preliminare se vor considera în continuare toate mărimile aleatoare care intervin direct sau indirect în modelul PFD din fig.4.1, ca fiind reprezentate prin procese stohastice staţionare şi ergodice (acestea fiind ipotezele fundamentale).

## 4.2.2 Estimatori

Dacă se admit ipotezele fundamentale, anterior enunțate, pe baza unui singur experiment de identificare off-line, deci pe baza unui singur set de date I/E colectate pe un interval  $t \in [T, NT]$  suficient de mare ( $T$  - perioada de eșantionare a SA), sau pe un interval infinit ( $N \rightarrow \infty$ ), în cazul experimentului on-line (recursiv), se pot defini estimatorii modelului PFD [35], [36], [81], [103].

Se consideră eșantioanele vectoriale de date I/E, colectate off-line, în buclă deschisă:  $U \stackrel{\Delta}{=} [u(1) \ u(2) \ \dots \ u(N)]^t$ ,  $Y \stackrel{\Delta}{=} [y(1) \ y(2) \ \dots \ y(N)]^T$ , unde  $y(t)$  este caracterizat prin densitatea de distribuție al lui  $z(t)$  și dependent de  $\theta$  - vectorul parametrilor necunoscuți ai modelului PFD.

Densitatea de distribuție a lui  $Y$  este notată cu  $p(Y/\theta, U)$ . Parametrul vectorial  $\theta$ , conținând valorile exacte ale coeficienților modelului PFD, este cunoscut apriori și considerat o variabilă aleatoare și nu un proces stohastic.

Un estimator  $\hat{\theta}$  al lui  $\theta$  este o funcție de variabile  $Y$  și  $U$  având forma:

$$\hat{\theta} = g(Y, U). \quad (4.1)$$

Densitatea de probabilitate a variabilei estimate,  $\hat{\theta}$ , este notată cu  $p_0(Y, U)$  și depinde atât de aspectul funcției  $g(\cdot)$  cât și de densitățile de probabilitate ale proceselor stohastice  $Y$  și  $U$  (în caz general, în buclă închisă, datorită reacției de la  $y(t)$ ,  $u(t)$  este și el un proces stohastic). Deoarece  $g(\cdot)$  nu este unică, se utilizează diverși indici statistici de calitate ai estimatorilor (asociați diverselor aspecte pentru  $g(\cdot)$ ), pe baza cărora se determină estimatorul optim în contextul unei aplicații date.

Determinarea estimatorului optim  $\hat{\theta}$ , dintr-o clasă dată de estimatori, necesită cunoașterea densității de probabilitate  $p(Y/\theta, U)$  a zgomotului  $z$ . Deoarece  $z$  reprezintă un cumul de efecte întâmplătoare asociate sistemic ieșirii  $y(t)$ , ipoteza de normalizare este cea mai frecvent admisă pentru densitatea de probabilitate a lui  $z(t)$ .

Repartiția normală reprezintă repartiția limită a unui mare număr de termeni neglijabili individual, independenți statistic. În cazul de față, zgomotul  $z(t)$  cumulează un mare număr de acțiuni perturbatoare, neglijabile individual, aleatoare, existente în procesul tehnologic condus și în fluxul de prelucrare pe calculator a datelor experimentale, care cumulat se resimte în proces deci trebuie luat în considerare la proiectarea sistemică.

Se consideră că  $z$  cumulează efectul a  $n \rightarrow \infty$  acțiuni perturbatoare întâmplătoare, independente statistic între ele, asimilate ca variabile aleatoare. Se notează aceste perturbații elementare cu  $p_i$ , astfel încât  $E p_i \stackrel{\Delta}{=} m_i$ ,  $D p_i \stackrel{\Delta}{=} \sigma_i^2 > 0$ , unde  $E$  și  $D$  sunt respectiv media și dispersia.

Se consideră că:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n m_i = 0 \quad \text{și} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 = \sigma^2 < \infty, \quad \sigma^2 > 0. \quad (4.2)$$



Se introduc variabilele aleatoare  $z_n$  și  $\tilde{z}_n$  definite prin:

$$z_n = \frac{\Delta}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n p_i, \quad \tilde{z}_n = \frac{\Delta}{\sigma} z_n. \quad (4.3)$$

La limită  $n \rightarrow \infty$ , cu ipotezele și notațiile anterioare, rezultă:

$$E \lim_{n \rightarrow \infty} z_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n m_i = 0 \quad (4.4)$$

și:

$$E \lim_{n \rightarrow \infty} z_n^2 = D \lim_{n \rightarrow \infty} z_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D p_i = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 = \sigma^2. \quad (4.5)$$

Deci, variabila aleatoare " $\lim_{n \rightarrow \infty} z_n$ " are media nulă și dispersia  $\sigma^2$  nenulă. Se

notează  $z(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} z_n$ . În acest caz, variabila aleatoare  $\tilde{z}(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{z}_n$  este normal

distribuită, conform teoremei limită centrală după legea  $N(0, 1)$  adică  $\tilde{z}(t) \approx N(0, 1)$ . Legea  $N(0, 1)$  se descrie prin funcția lui Laplace:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx. \quad (4.6)$$

Independența statistică a eșantioanelor unei realizări a procesului stohastic staționar și ergodic  $\omega(t)$  (notație arbitrară aici) este confirmată de următoarea condiție: dacă  $E\omega(t) = 0$  și  $D\omega(t) = \sigma^2 > 0$ , funcția sa de autocorelație,  $r_\omega(i, j)$ , are aspectul:

$$r_\omega(i, j) = E\omega(i)\omega(j) = \sigma^2 \delta_i^j, \quad (4.7)$$

unde  $\delta_i^j$  este simbolul Kronecker,  $\delta_i^j = \begin{cases} 1 & \text{la } i = j \\ 0 & \text{la } i \neq j \end{cases}$

Eșantioanele unui proces stohastic, care satisfac pentru funcția sa de autocorelație condiția (4.7), definesc suficient zgomotul alb - ZA.

Orice șir de eșantioane proprii unei realizări ale unui proces stohastic, care sunt echiprobabile, satisfac condiția de ZA, dar invers nu este în general adevărat. Dacă condiția (4.7) este satisfăcută de un proces stohastic  $\omega(t)$ , densitatea de distribuție a fiecărei variabile aleatoare  $\omega(t_i)$ ,  $t_i$  fixat arbitrar ( $t_i \in \mathbb{N}$ ), poate să fie normală, binomială, polinomială etc. (dar aceeași pentru toate  $\omega(t_i)$ ,  $\forall i$ , dacă  $\omega(t)$  - staționar și ergodic).

Deoarece zgomotul alb simulat este un șir de numere aleatoare echiprobabile, în simulări, generatorul de zgomot alb (z sau v) oferă numere aleatoare echiprobabile și nu după o distribuție normală.

*Proprietăți ale estimatorilor:*

- Un estimator  $\hat{\theta}$  este nedeviat dacă:

$$E\hat{\theta} = \theta. \quad (4.8)$$

- Dacă  $\hat{\theta}$  converge în probabilitate - c.p. spre  $\theta$  când  $N \rightarrow \infty$ , el este consistent adică:

$$\forall \varepsilon > 0, \quad \lim_{N \rightarrow \infty} \text{Prob}(\|\hat{\theta} - \theta\| > \varepsilon) = 0 \text{ c.p.} \quad (4.9)$$

unde  $\|\cdot\|$  este o normă vectorială - uzual cea euclidiană.

-  $\hat{\theta}$  este un estimator corect dacă:

$$\hat{\theta} = g(Y, U) + f(g(\cdot), N) \quad \text{și} \quad \lim_{N \rightarrow \infty} f(g(\cdot), N) = 0. \quad (4.10)$$

Deoarece orice estimator corect este consistent, vor exista estimatori corecți, dar deviați când  $N$  este finit, oricât de mare.

-  $\hat{\theta}$  este eficient dacă este nedeviat și are cea mai mică dispersie în clasa tuturor estimatorilor nedeviați a lui  $\theta$ .

Dacă  $p(Y/\theta, U)$  este densitatea de probabilitate a ieșirii  $Y$  (vector  $N$  - dimensional definit anterior), se definește funcția de verosimilitate logaritmică:

$$L(\theta) = \ln p(Y/\theta, U) . \quad (4.11)$$

Hessianul acestei funcții reale, de argument vectorial  $\theta \in R^q$ , este notat cu  $L_{\theta\theta}$ . Se definește matricea de informație:

$$J \stackrel{\Delta}{=} -EL_{\theta\theta} , \quad (4.12)$$

care are proprietățile:

$$EL_{00} = -EL_0 L_0^t \quad (4.13)$$

și

$$EL_{\theta} = \int_{R^{N-\dim Y}} \frac{dL}{d\theta} p dY = \int_{R^N} \frac{1}{p} p_{\theta} p dY = \int_{R^N} p_{\theta} dY = 0. \quad (4.14)$$

Deoarece prin definiție  $\int_{R^N} p dY = 1$  și derivat după  $\theta$  sub integrală, rezultă:

$$EL_{\theta} = 0 . \quad (4.15)$$

Estimatorul este eficient dacă covarianța lui  $\hat{\theta}$ , notată  $R_{\hat{\theta}}$ , satisface relația:

$$\text{cov} \hat{\theta} = R_{\hat{\theta}} \stackrel{\Delta}{=} E(\hat{\theta} - \theta)(\hat{\theta} - \theta)^T = J^{-1} , \quad (4.16)$$

unde  $J$  reprezintă matricea de informație din expresia (4.12).

Din condiția (4.16) rezultă că  $J^{-1}$  este "marginea inferioară" a dispersiei lui  $\hat{\theta}$ , ceea ce-i conferă caracterul eficient.

În caz general, pentru orice estimator  $\hat{\theta}$  nedeviat este valabilă inegalitatea Rao-Cramer-Frechet,

$$R_{\hat{\theta}} \geq J^{-1}. \quad (4.17)$$

Aceasta trebuie "înțeleasă" în sensul formelor pătratice ( $R_{\hat{\theta}}$  și  $J^{-1}$  sunt matrici), adică:

$$X^t R_{\hat{\theta}} X \geq X^t J^{-1} X, \quad \forall X \neq 0, \quad X \in R^{\dim \theta}. \quad (4.18)$$

- Estimatorul  $\hat{\theta}$  este de dispersie minimă (fără a fi eficient) dacă

$$R_{\hat{\theta}} \leq R_{\bar{\theta}} \quad (4.19)$$

pentru orice alt estimator  $\bar{\theta}$  din clasa estimatorilor nedeviați ai lui  $\theta$ .

### Estimatori CMP off-line

Aceștia sunt folosiți, implicit sau explicit, în procedurile de construire a celor mai utilizați estimatori: CMP (cele mai mici pătrate), EPM (eroare de predicție minimă), VM (verosimilitatea maximă), VI (variabile instrumentale), AS (aproximare stohastică) și proiecție.

#### *Ipoteze preliminare:*

Se consideră ales adecvat într-o vecinătate a punctului nominal de funcționare a procesului, modelul liniar, discret al PFD, descris prin ecuația:

$$A(z^{-1})y(t) = B(z^{-1})u(t) + v(t). \quad (4.20)$$

În cazul estimatorului CMP off-line se va considera timpul mort al PFC ca fiind zero,  $\tau = 0$ , deci  $d' = \left\lceil \frac{\tau}{T} \right\rceil = 0$ , unde  $T$  este perioada de eșantionare a datelor de I/E ale procesului. S-a considerat  $d' = 0$  deoarece cazul off-line este pur ilustrativ.

În cazul estimatorilor CMP recursivi se consideră cazul general, real, când modelul PFD are timpul mort discret, global,

$$d = d' + 1 \geq 1. \quad (4.21)$$

Deoarece RD utilizează, de regulă, extrapolatorul de ordin zero în ieșire, timpul mort de o perioadă  $T$ , introdus de acesta, este evidențiat explicit în relația (4.21). Polinoamele  $B(z^{-1})$  și  $A(z^{-1})$ , din expresia (4.20) au aspectul:

$$\begin{aligned} B(z^{-1}) &= b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}, \\ A(z^{-1}) &= 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}, \quad m \leq n, \end{aligned} \quad (4.22)$$

și se consideră prime și asimptotic stabile.

Zgomotul  $v(t)$  din formula (4.20) poate fi reprezentat, conform teoremei de reprezentare a proceselor cu densitate spectrală rațională, prin modelul:

$$v(t) = H(z^{-1})e(t), \quad (4.23)$$

unde  $e(t)$  este un proces stohastic, staționar și ergodic, de tip ZA, cu proprietățile:

$$Ee(t) = 0, \quad Ee^2(t) = \lambda^2 > 0. \quad (4.24)$$

În cadrul estimatorilor CMP se consideră

$$H(z^{-1}) = 1. \quad (4.25)$$

În cazul  $H(z^{-1}) \neq 1$  se poate arăta devierea asimptotică a acestui estimator.

Ipotezele de staționaritate și ergodicitate admise pentru zgomotul  $v(t)$  permit construirea estimatorului CMP off-line, pe baza unui singur eșantion de volum semnificativ. Proprietățile statistice ale lui  $v(t)$  se răsfrâng și asupra ieșirii măsurate  $y(t)$ , care-l conține implicit. Deoarece experimentul se face cu procesul în buclă deschisă, zgomotul  $v(t)$  este necorelat cu secvențele regresive ale comenzii. Volumul datelor experimentale trebuie să fie suficient de mare pentru a reflecta proprietatea de ergodicitate presupusă a priori, adică a realizării unui număr maximal de grade de libertate asociate volumului de date (numărul gradelor de libertate este mai mic decât cel al datelor). Se va nota numărul de date eșantionate cu  $N$ .

### Construirea estimatorului CMP off-line

Modelul (4.20), cu aspectul din relația (4.22) pentru  $B(z^{-1})$  și  $A(z^{-1})$ , poate fi scris sub forma liniară astfel:

$$y(t) = \theta^T \varphi(t) + v(t), v(t) \equiv e(t), \quad (4.26)$$

unde vectorii  $\theta$  și  $\varphi(t)$  sunt definiți prin:

$$\theta = [a_1 a_2 \dots a_n b_1 b_2 \dots b_m]^T \quad (4.27)$$

și

$$\varphi(t) = [-y(t-1) - y(t-2) \dots - y(t-n) u(t-1) \dots u(t-m)]^T. \quad (4.28)$$

Când  $\theta$  este cunoscut exact (pur teoretic) și  $v(t) = e(t)$ , atunci ieșirea modelului (4.26) coincide cu ieșirea măsurată. la momentul de timp discret, curent,  $t$ .

Se consideră în continuare un vector parametric  $\bar{\theta}$  de aceeași dimensiune cu  $\theta$  (sau cel puțin  $\dim \bar{\theta} \geq \dim \theta$ , estimarea ordinelor  $n$  și  $m$  fiind totuși incertă și validată prin teste statistice de structură). Pentru simplitate, componentele lui  $\bar{\theta}$  se notează tot cu  $a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_m$ , dar ele sunt necunoscute. Ipotezele asupra ordinelor  $n$  și  $m$  sunt importante în determinarea unui estimator asimptotic nedeviat, proprietate de bază a oricărui estimator de proces.

Deoarece  $\bar{\theta} \neq \theta$ , modelul (4.26) are ieșirea  $\bar{y}(t) = \bar{\theta}^T \varphi(t) \neq y(t)$ , dar există  $\bar{v}(t) \neq v(t)$  astfel încât  $y(t) = \bar{\theta}^T \varphi(t) + \bar{v}(t)$ .

Criteriul CMP este definit prin:

$$J(\bar{\theta}) = \sum_{t=1}^N [y(t) - \bar{\theta}^T \varphi(t)]^2 = \sum_{t=1}^N \bar{v}^2(t). \quad (4.29)$$

Se caută minimul absolut, după  $\bar{\theta}$ , al criteriului  $J(\bar{\theta})$ .

În acel minim, notat cu  $\hat{\theta}$ ,  $J(\hat{\theta})$  va avea valoarea  $J(\hat{\theta}) = \sum_{t=1}^N \hat{v}^2(t) \leq \sum_{t=1}^N \bar{v}^2(t)$ . Adică,

în  $\hat{\theta}$  suma pătratelor reziduurilor este minimă, iar reziduurile "optime" aproximează acceptabil zgomotul alb  $e(t)$  ( $v(t)$  din (4.24)). Covarianța estimatorului  $\hat{\theta}$  va fi minimă, în clasa tuturor estimatorilor liniari, nedeviați  $\bar{\theta}$ . Analiza covarianței estimatorului CMP,  $\hat{\theta}$  va fi analizată ulterior. Cazul ideal este când  $\hat{v}(t) = e(t)$ .

Minimul criteriului  $J(\bar{\theta})$  se determină din condiția de anulare a gradientului:

$$\left. \frac{dJ(\bar{\theta})}{d\bar{\theta}} \right|_{\bar{\theta}=\hat{\theta}} = 0 \quad (4.30)$$

și condiția de strictă pozitivitate a hessianului:

$$J_{\bar{\theta}\bar{\theta}}(\hat{\theta}) > 0. \quad (4.31)$$

Din ecuația (4.30), rezultă:

$$J_{\bar{\theta}}(\hat{\theta}) = 2 \sum_{t=1}^N [\varphi(t) \varphi^T(t) \hat{\theta} - \varphi(t) y(t)] = 0. \quad (4.32)$$

iar din inegalitatea (4.31), se obține:

$$J_{\bar{\theta}\bar{\theta}}(\hat{\theta}) = 2 \sum_{t=1}^N \varphi(t)\varphi^T(t) > 0. \quad (4.33)$$

Dacă se admite că suma produselor diadice, din relația (4.33), este strict pozitivă, definită, atunci hessianul este inversabil și ecuația (4.32) are o soluție unică și determină minimumul lui  $J(\bar{\theta})$ . Tot de aici rezultă estimatorul CMP:

$$\hat{\theta} = \left[ \sum_{t=1}^N \varphi(t)\varphi^T(t) \right]^{-1} \sum_{t=1}^N \varphi(t)y(t). \quad (4.34)$$

Pentru acest  $\hat{\theta}$  se admite că:

$$y(t) = \hat{\theta}^T \varphi(t) + \hat{v}(t), \hat{v}(t) \cong v(t) \equiv e(t). \quad (4.35)$$

Înlocuind pe  $y(t)$  din modelul exact (4.26), în expresia lui  $\hat{\theta}$ , din (4.34) se obține:

$$\hat{\theta} = \theta + \left[ \sum_{t=1}^N \varphi(t)\varphi^T(t) \right]^{-1} \sum_{t=1}^N \varphi(t)v(t). \quad (4.36)$$

Se multiplică cu  $1/N$  ambele sume din (4.36) și se trece la limită,  $N \rightarrow \infty$ :

$$\lim_{N \rightarrow \infty} (\hat{\theta} - \theta) = \lim_{N \rightarrow \infty} \left[ \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \varphi(t)\varphi^T(t) \right]^{-1} \left[ \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \varphi(t)v(t) \right]. \quad (4.37)$$

Estimatorul  $\hat{\theta}$  este asimptotic nedeviat dacă:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \hat{\theta} = \theta \quad \text{c.p.} \quad (4.38)$$

Condiția (4.38) este adevărată dacă:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \varphi(t)\varphi^T(t) \stackrel{\Delta}{=} R \stackrel{\Delta}{=} E\varphi(t)\varphi^T(t) > 0 \quad (4.39)$$

și

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \varphi(t)v(t) = E\varphi(t)v(t) = 0 \quad (4.40)$$

Egalitatea mediilor temporale cu cele statistice a fost posibilă datorită ipotezelor fundamentale, admise pentru reziduuri. Acest lucru a permis și exprimarea prin limită a condiției de nedeviere asimptotică, din relația (4.38). Condiția (4.39) este una necesară, de existență și unicitate a lui  $\hat{\theta}$ , iar (4.40) - de necorelare statistică a vectorului observațiilor regresive  $I/E$ ,  $\varphi(t)$  cu zgomotul  $v(t)$ .

### 4.2.3 Regresia multidimensională

Cazul cel mai general al modelării proceselor statice este cazul proceselor cu mai multe intrări  $X_1, \dots, X_n$  și o singură ieșire  $Y$ . Problema determinării modelului de regresie pentru procesele cu mai multe intrări și mai multe ieșiri se reduce la acest caz [103].

Dacă asupra celor  $n$  intrări și asupra ieșirii  $Y$  se fac sincron  $M$  măsurări distincte, se obțin următoarele matrici de date:

$$\begin{array}{cc}
 \text{date de intrare} & \text{date de ieșire} \\
 X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ X_{M1} & X_{M2} & \dots & X_{Mn} \end{bmatrix}; & Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_M \end{bmatrix}
 \end{array} \quad (4.41)$$

Pe baza acestor date se pot calcula  $n$  valori medii pentru cele  $n$  mărimi de intrare și valoarea medie a ieșirii:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M X_{ki}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4.42)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M Y_k, \quad (k = 1, 2, \dots, M)$$

Utilizând aceste valori, se pot construi matricele datelor centrate:

$$\begin{array}{l}
 x_{ik} = X_{ik} - \bar{X}_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \\
 y_k = Y_k - \bar{Y}, \quad (k = 1, 2, \dots, M)
 \end{array} \quad (4.43)$$

Vectorul intrărilor centrate fiind  $x^T = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , iar vectorul coeficienților regresiei  $A^T = (A_1, A_2, \dots, A_n)$ , se poate scrie modelul, în cazul dependenței liniare a mărimii de ieșire funcție de mărimile de intrare, de forma:

$$y = A^T x = A_1 x_1 + A_2 x_2 + \dots + A_n x_n, \quad (4.44)$$

adică: 
$$\hat{y}_k = \sum_{i=1}^n A_i x_{ik} \quad (4.45)$$

și 
$$y_k - \hat{y}_k = y_k - \sum_{i=1}^n A_i x_{ik}. \quad (4.46)$$

Organizând datele centrate sub formă matricială:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{M1} & x_{M2} & \dots & x_{Mn} \end{bmatrix}; \quad y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix}, \quad (4.47)$$

criteriul celor mai mici pătrate se poate scrie în forma:

$$\min \sum_{k=1}^M (y_k - \hat{y}_k)^2 = \min \sum_{k=1}^M \left( y_k - \sum_{i=1}^n A_i x_{ik} \right)^2 = \min_A \left[ (y - \dot{x}A)^T (y - \dot{x}A) \right] = \min_A S \quad (4.48)$$

Această condiție conduce la sistemul de  $n$  ecuații:

$$\frac{dS}{dA} = -\dot{x}^T (y - \dot{x}A) + (y - \dot{x}A)^T (-\dot{x}) = -2\dot{x}^T (y - \dot{x}A) = 0 \quad (4.49)$$

Estimațiile coeficienților modelului reprezintă soluții ale acestui sistem:

$$\hat{A} = \left( \dot{x}^T \dot{x} \right)^{-1} \dot{x}^T y. \quad (4.50)$$

Termenul liber al regresiei se calculează cu relația:

$$A_0 = \bar{Y} - \sum_{i=1}^n A_i \bar{X}_i, \quad (4.51)$$

iar indicatorul preciziei modelului de regresie se calculează cu:

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^M (\hat{y}_k - \bar{y})^2}{\sum_{k=1}^M (y_k - \bar{y})^2} \quad (4.52)$$

În mod similar se rezolvă problema obținerii modelului regresiei neliniare în variabilele  $X$ , dar liniare în parametri  $A$  ai modelului, când modelul este de forma:

$$\hat{Y} = A_0 + A_1 F_1(x) + A_2 F_2(x) + \dots + A_n F_n(x), \quad (4.53)$$

în care  $X^T = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  este vectorul mărimilor de intrare.

În acest caz, pe baza matricelor date se calculează valorile medii  $\bar{Y}$  și  $\bar{F}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) și se formează matricile cu date centrate:

$$F = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & \dots & F_{1n} \\ F_{21} & F_{22} & \dots & F_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ F_{M1} & F_{M2} & \dots & F_{Mn} \end{bmatrix}; \quad y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix} \quad (4.54)$$

în care:

$$F_{ik} = F_i(X_{k1}, X_{k2}, \dots, X_{kn}) - \bar{F}_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (k = 1, 2, \dots, M) \quad (4.55)$$

$$y_k = Y_k - \bar{Y} \quad (4.56)$$

În aceste condiții, coeficienții se calculează cu relațiile:

$$A = (F^T F)^{-1} F^T y; \quad A_0 = \bar{Y} - \sum_{i=1}^n A_i \bar{F}_i, \quad (4.57)$$

iar indicatorul de precizie a modelului cu relația:

$$R^2 = A^T (F^T y) / y^T y. \quad (4.58)$$

## 4.2.4 Metode de prelucrare a datelor

### 4.2.4.1 Interpolarea Lagrange

Fie  $I \subset \mathbf{R}$  un interval fixat și  $x_0 < x_1 < \dots < x_p$  puncte din  $I$  numite *noduri de interpolare*. Fie  $f: I \rightarrow \mathbf{R}$  o funcție definită pe  $I$  ale cărei valori  $y_i$  sunt cunoscute numai în nodurile  $x_i$ ,  $y_i = f(x_i)$ ,  $0 \leq i \leq p$ .  $I$  poate fi un interval de timp,  $x_i$  momente fixate din  $I$ , iar  $f$  - o mărime fizică luând valorile  $y_i$  la momentele  $x_i$  [105].

Orice funcție  $F: I \rightarrow \mathbf{R}$ ,  $F(x_i) = y_i$ ,  $0 \leq i \leq p$  se numește funcție de interpolare a lui  $f$  sau echivalent, funcție de interpolare asociată tabelii de  $p+1$  valori:

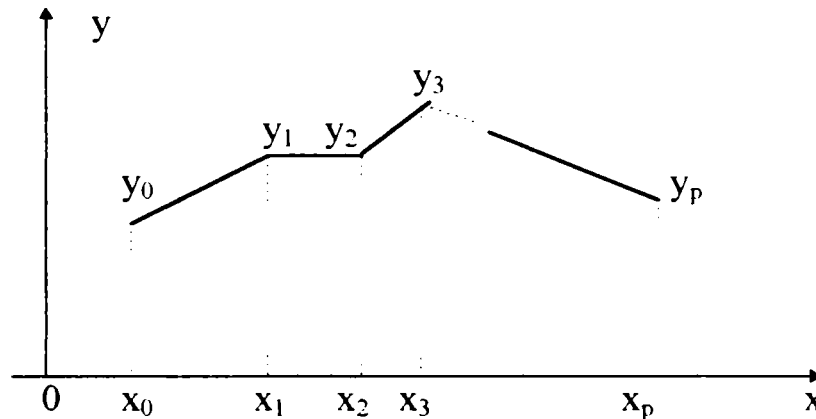
$x$	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$\dots$	$x_p$	(4.59)
$f(x)$	$y_0$	$y_1$	$y_2$	$\dots$	$y_p$	

Evident, o astfel de funcție nu este unică, iar graficul ei,  $G_F$ , trece prin punctele  $(x_i, y_i)$ ,  $0 \leq i \leq p$ . De exemplu, în cazul interpolării liniare, graficul lui  $F$  este linia poligonală cu vârfurile  $(x_i, y_i)$ ,  $0 \leq i \leq p$  (fig.4.2).

În cele ce urmează se va construi o altă funcție de interpolare asociată tabelii de valori (4.59).

Se numește polinom de interpolare, asociat tabelii (4.59), un polinom  $P$  de grad  $\leq p$ , cu coeficienți reali, astfel încât  $P(x_i) = y_i$ ,  $0 \leq i \leq p$ . În plus, are loc formula aproximativă:

$$f(x) \cong P(x), (\forall) x \in I.$$



**Fig.4.2** Interpolare liniară

Fie  $f$  o funcție de  $(p+1)$  ori derivabilă. Dacă se notează cu:

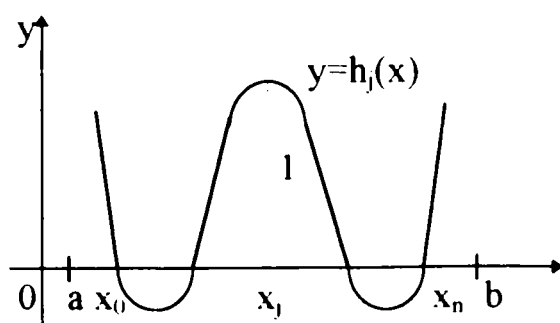
$$M = \sup_{x \in I} |f^{(p+1)}(x)|, \tag{4.60}$$

are loc inegalitatea:

$$\|f - P\| \leq \frac{M \cdot \sup |(x - x_0) \dots (x - x_p)|}{(p+1)!} \tag{4.61}$$

În cele ce urmează, pentru orice  $j$ ,  $0 \leq j \leq p$  se notează cu  $h_j$  polinomul ce verifică condițiile  $h_j(x_i) = 0$  pentru  $i \neq j$  și  $h_j(x_j) = 1$ . Aceste condiții pot fi scrise cu ajutorul simbolului lui Kronecker (fig.4.3) astfel:

$$h_j(x_i) = \delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{pentru } i = j \\ 0 & \text{pentru } i \neq j \end{cases} \tag{4.62}$$



**Fig. 4.3**

Deoarece se cere ca polinomul  $h_j$  să se anuleze în  $p$  puncte,  $x_0, x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_p$ , rezultă că acesta are forma:

$$h_j(x) = c_j (x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{j-1})(x - x_{j+1}) \dots (x - x_p) \tag{4.63}$$



în care  $c_j$  este o constantă. Punând în această relație  $x = x_j$  și ținând cont că  $h_j(x_j) = 1$ , se obține:

$$c_j = \frac{1}{(x_j - x_0)(x_j - x_1)\dots(x_j - x_{j-1})(x_j - x_{j+1})\dots(x_j - x_p)} \quad (4.64)$$

Înlocuind valoarea  $c_j$  în (4.63) rezultă:

$$h_j = \frac{(x - x_0)\dots(x - x_{j-1})(x - x_{j+1})\dots(x - x_p)}{(x_j - x_0)(x_j - x_1)\dots(x_j - x_{j-1})(x_j - x_{j+1})\dots(x_j - x_p)} = \prod_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^p \frac{x - x_i}{x_j - x_i} \quad (4.65)$$

și se observă că  $h_j(x_i) = \delta_{ij}$  pentru orice  $0 \leq i, j \leq p$ .

Deci, pentru polinomul:

$$P(x) = \sum_{j=0}^p y_j \cdot h_j(x) = L_p(x), \quad (4.66)$$

este adevărată relația:

$$P(x) = \sum_{j=0}^p y_j \cdot h_j(x) = \sum_{j=0}^p y_j \cdot \delta_{ij} = y_i, \quad 0 \leq i \leq p, \quad (4.67)$$

adică  $P$  este polinomul de interpolare asociat tabelii (4.59).

Polinomul  $L_p(x)$  dat de formula (4.66) se numește polinomul Lagrange de interpolare.

Dacă nodurile de interpolare  $x_i$  sunt echidistante, adică  $x_{i+1} = x_i + h$ ,  $i = 0, 1, \dots, p-1$ , unde  $h$  este o constantă strict pozitivă denumită pas, atunci expresia polinomului de interpolare Lagrange se poate simplifica.

Nodurile de interpolare fiind echidistante,  $x_k = x_0 + kh$ ,  $x_i - x_j = (i-j)h$ , iar dacă se face schimbarea de variabilă  $x = x_0 + th$ , se obține:  $x - x_k = x - (x_0 + kh) = th - kh = (t - k)h$ . Ținând seama de aceasta, după simplificări, rezultă:

$$h_j(x_0 + th) = (-1)^{p-j} \cdot \frac{t(t-1)\dots(t-p)}{j!(p-j)!(t-j)} = (-1)^{p-j} C_p^j \frac{t(t-1)\dots(t-p)}{p!(t-j)}, \quad (4.68)$$

$$L_p(x) = L_p(x_0 + th) = (-1)^p \frac{t(t-1)\dots(t-p)}{p!} \sum_{j=0}^p (-1)^j y_j \frac{C_p^j}{t-j}, \quad (4.69)$$

care este expresia polinomului Lagrange pentru noduri de interpolare echidistante.

Superioritatea acestei formule constă în faptul că factorii  $C_p^j/(t-j)$  nu depind nici de funcția  $f$ , nici de pasul  $h$ , deci pot fi calculați, oricare ar fi funcția  $f$  și pasul  $h$ .

*Observații:*

- Estimarea (4.61) este valabilă pentru interpolarea polinomială, reprezentând eroarea de trunchiere (erorile de calcul nu sunt luate în considerare):

- Polinomul  $P$  permite calculul valorilor sale și în punctele  $x$ , diferite de  $x_i$ , deci între noduri, ceea ce justifică denumirea de "interpolare":

- Evaluarea (4.61) este îngreunată de dificultatea cunoașterii lui  $M$ ; de altfel, interpolarea polinomială reflectă defectuos proprietățile diferențiale ale funcției  $f$ . Înlăturarea acestui neajuns se face cu ajutorul funcțiilor "spline".

#### 4.2.4.2 Interpolarea folosind funcții “spline”

Fie funcția  $f$  dată prin punctele  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $y_i = f(x_i)$ ,  $a = x_1$ ,  $b = x_n$ . Se caută o funcție continuă  $s(x)$  definită pe  $[a, b]$  care să interpoleze datele [105], adică

$$s(x_i) = y_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.70)$$

Pentru a obține un grafic neted trebuie ca  $s'(x)$  și  $s''(x)$  să fie continue.

Există o unică funcție  $s: [a, b] \rightarrow \mathbf{R}$  de clasă  $C^2[a, b]$  ce rezolvă problema de interpolare (4.70) și care satisface condițiile:

s1)  $s(x)$  este un polinom de gradul trei pe intervalul  $[x_{j-1}, x_j]$  pentru  $j = 2, 3, \dots, n$ ;

s2)  $s''(x_1) = s''(x_n) = 0$ .

Pentru a calcula această funcție se notează:  $M_i = s''(x_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Exprimând  $s(x)$  în funcție de necunoscutele  $M_i$ , rezultă un sistem de ecuații liniare din care se pot determina valorile  $M_i$ .

Deoarece  $s(x)$  este de gradul trei, pe fiecare interval  $[x_{j-1}, x_j]$  funcția  $s''(x)$  este liniară pe interval. O funcție liniară este determinată de două puncte, deci:

$$\begin{aligned} s''(x_{j-1}) &= M_{j-1}; \quad s''(x_j) = M_j; \\ s'' &= \frac{(x_j - x)M_{j-1} + (x - x_{j-1})M_j}{x_j - x_{j-1}}, \quad x \in [x_{j-1}, x_j]. \end{aligned} \quad (4.71)$$

Integrând de două ori și ținând cont de condițiile de interpolare:

$$s(x_{j-1}) = y_{j-1} \quad \text{și} \quad s(x_j) = y_j, \quad (4.72)$$

se obține:

$$\begin{aligned} s(x) &= \frac{(x_j - x)^3 M_{j-1} + (x - x_{j-1})^3 M_j}{6(x_j - x_{j-1})} + \frac{(x_j - x)y_{j-1} + (x - x_{j-1})y_j}{x_j - x_{j-1}} - \\ &- \frac{1}{6}(x_j - x_{j-1}) \left[ (x_j - x)M_{j-1} + (x - x_{j-1})M_j \right] \quad \text{pentru } x_{j-1} \leq x \leq x_j \end{aligned} \quad (4.73)$$

Formula (4.71) se aplică pentru fiecare interval  $[x_1, x_2], \dots, [x_{n-1}, x_n]$ . Formulele (4.71) și (4.73) asigură continuitatea lui  $s'(x)$  și  $s''(x)$  pe  $[a, b]$ .

Pentru a asigura continuitatea lui  $s'(x)$  pe  $[a, b]$ , formulilor pentru  $s'(x)$  pe  $[x_{j-1}, x_j]$  și pe  $[x_j, x_{j+1}]$  li se impune de a lua aceleași valori în  $x = x_j$ , pentru  $j = 2, 3, \dots, n-1$ . Se ajunge în final la sistemul:

$$\frac{x_j - x_{j-1}}{6} M_{j-1} + \frac{x_{j+1} - x_{j-1}}{3} M_j + \frac{x_{j+1} - x_j}{6} M_{j+1} = \frac{y_{j+1} - y_j}{x_{j+1} - x_j} - \frac{y_j - y_{j-1}}{x_j - x_{j-1}}, \quad j = 2, 3, \dots, n-1 \quad (4.74)$$

Aceste  $(n-2)$  ecuații plus faptul că  $M_1 = M_n = 0$  conduc la valorile  $M_1, \dots, M_n$  adică la  $s(x)$  - funcția de interpolare căutată.

Funcția  $s(x)$  ce satisface s1) și s2) și interpolează setul de date  $\{(x_i, y_i) / i=1, 2, \dots, n\}$  se numește funcție spline cubică (naturală).

#### 4.2.5 Modelul procesului

Procesul este prezentat în figura 4.4:

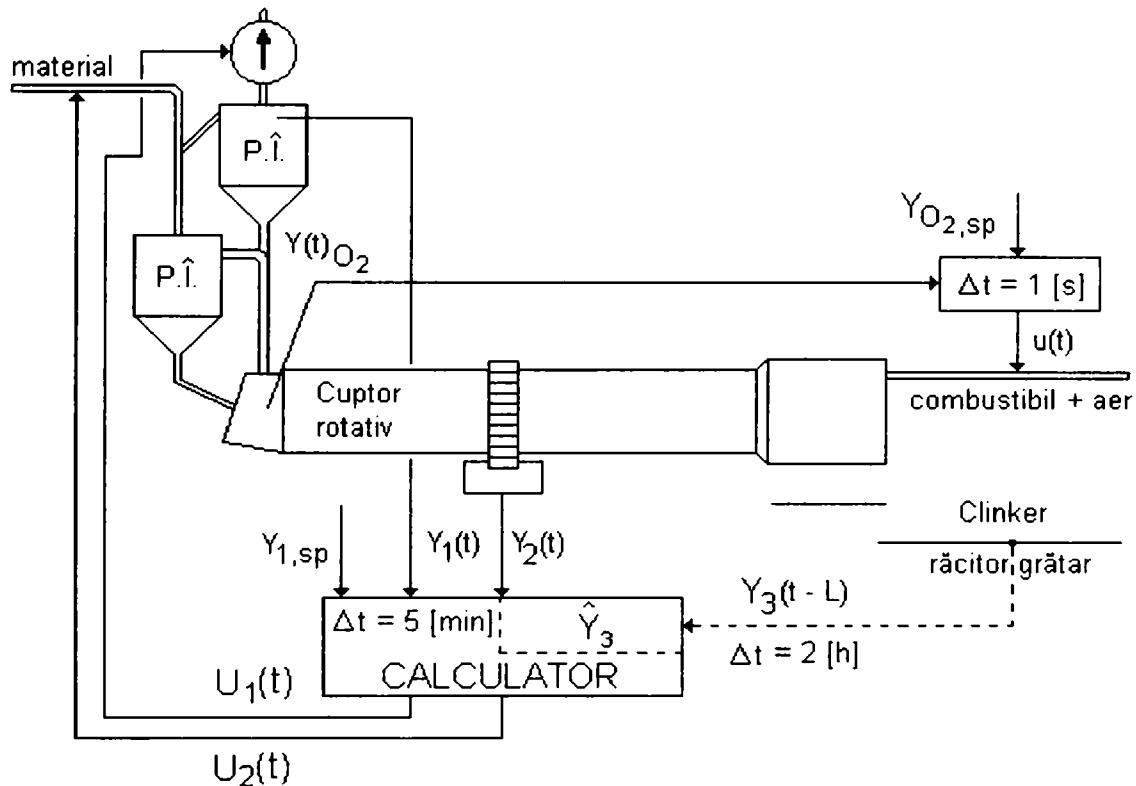


Fig.4.4

Scopul identificării experimentale îl reprezintă obținerea modelului părții total controlate de operator [20], [38], [44], [74÷81], [103], [105].

Procesul din cuptor este stabil dar interacțiunea dintre răcitorul grătar și cuptor cauzează comportări oscilatorii ale cantității de căldură care intră în cuptor. O cale de eliminare a acestei probleme este de a menține temperatura gazului de combustie la o valoare constantă, prin ajustarea corespunzătoare a fluxului de energie. Astfel, temperatura gazului de combustie în primul încălzitor poate fi considerată ca variabilă de ieșire a procesului.

În plus, pentru identificarea procesului, una dintre ieșiri trebuie să includă informații despre calitatea clincherului. Deoarece calitatea acestuia poate fi măsurată (off-line) abia la ieșirea materialului din cuptor, fiind analizată (din considerente practice) doar la interval de 2h, este dificilă utilizarea acestei măsuri de calitate pentru control. Din experiență, s-a constatat că puterea motorului de acționare a cuptorului este corelată cu temperatura zonei de ardere și calitatea clincherului, deci, ea poate fi considerată ca a doua ieșire a modelului procesului ce urmează a fi identificat.

Un efect important în transferul de căldură și, indirect, în caracteristicile reacțiilor chimice din cuptor îl are debitul de combustibil. Acesta va fi considerat ca o primă variabilă de control. De asemenea, debitul de material va constitui a doua variabilă de control.

Deși există și alte variabile posibile, variabilele menționate sunt cele mai importante și identificarea procesului se va reduce la acestea.

Măsurătorile s-au făcut din 5 în 5 minute și s-au înregistrat 24 de valori ale următoarelor mărimi (tab.4.1):

- temperatura gaz combustie, notată cu  $Y_1(t)$ , în  $^{\circ}\text{C}$ ;

- cuplul la arborele motorului, notat cu  $m$  [%] - utilizat la calculul puterii de antrenare, notată cu  $Y_2(t)$ . Valorile înregistrate sunt date în procente din cuplul nominal;  
 - turația cuptorului, notată cu  $n_c$ , în [rot/min] - utilizată la calculul puterii de antrenare;

- debitul de combustibil, notat cu  $X_1(t)$ , în [ $m^3/h$ ];  
 - debitul de material, notat cu  $X_2(t)$ , în [t/h].

Pentru calculul puterii de antrenare s-a ținut cont de următoarele:

- puterea nominală a motorului de antrenare:  $P_n = 500$  [kW];  
 - turația nominală a motorului de antrenare:  $n_n = 750$  [rot/min];  
 - raportul de transmisie al reductorului  $i = 750/27$ ;  
 - numărul de dinți ai pinionului:  $Z_p = 19$  [dinți];  
 - numărul de dinți ai coroanei dințate:  $Z_c = 252$  [dinți].

Expresia puterii de antrenare funcție de cuplu este dată de relația:

$$P = \frac{M}{\frac{\pi \cdot n_m}{30}} = \frac{30 \cdot M}{\pi \cdot n_m} \quad (4.75)$$

unde: -  $n_m$  este turația motorului:

$$n_m = i \cdot \frac{Z_c}{Z_p} \cdot n_c = \frac{750}{27} \cdot \frac{252}{19} \cdot n_c; \quad (4.76)$$

-  $M$  este cuplul la arborele motorului:

$$M = m[\%] \cdot M_n, \quad (4.77)$$

cuplul nominal fiind:

$$M_n = \frac{P_n \cdot \pi \cdot n_n}{30}. \quad (4.78)$$

Deci, în final rezultă:

$$P = \frac{P_n \cdot \pi \cdot n_n \cdot 30}{\pi \cdot \frac{750}{27} \cdot \frac{252}{19} \cdot n_c} = \frac{27}{750} \cdot \frac{19}{252} \cdot \frac{n_n}{n_c} \cdot P_n. \quad (4.79)$$

Rezultatele calculelor sunt prezentate în tabelul 4.1.

Modelarea efectivă a procesului s-a făcut cu criteriul CMP utilizând două metode de regresie: liniară, respectiv neliniară de ordinul doi.

#### a) Regresia liniară

În cazul în care se folosește o dependență liniară a mărimii de ieșire funcție de mărimile de intrare, avem:

$$Y_1 = A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + B_1, \quad (4.80)$$

$$Y_2 = A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + B_2. \quad (4.81)$$

unde:

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & X_{1,24} \\ X_{2,1} & X_{2,2} & X_{2,24} \end{bmatrix}; \quad Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{1,1} & Y_{1,2} & Y_{1,24} \\ Y_{2,1} & Y_{2,2} & Y_{2,24} \end{bmatrix} \quad (4.82)$$

date de intrare date de ieșire

Rezultă următorul model matematic:

## DATE MASURATE SI CALCULATE

Tabelul 4.1

Turatie cuptor nc [rot/min]	Turatie motor nm [rot/min]	Cuplul		motor		Temp. masurata Y1	Putere calculata Y2	Debit combustibil X1	Debit material X2	Y1 centrat yc1	Y2 centrat yc2	X1 centrat xc1	X2 centrat xc2
		calculat M [kNm]	masurat m [%]	masurat m [%]	masurat m [%]								
1.7	626.316	17671.5	45	269.432773	14	210	7.458	31.78077	0.4625	-18.333			
1.8	663.158	16493.4	42	237.5	13.75	225	2.458	-0.152	0.2125	-3.333			
1.8	663.158	17278.8	44	248.809524	13.5	225	-0.542	11.15752	-0.0375	-3.333			
1.8	663.158	17278.8	44	248.809524	13.5	225	-0.542	11.15752	-0.0375	-3.333			
1.8	663.158	17278.8	44	248.809524	13.5	225	-0.542	11.15752	-0.0375	-3.333			
1.8	663.158	16100.7	41	231.845238	13.5	230	-0.542	-5.80676	-0.0375	1.667			
1.8	663.158	14529.9	37	209.22619	13.75	230	2.458	-28.4258	0.2125	1.667			
1.8	663.158	15708	40	226.190476	13.5	230	-0.542	-11.4615	-0.0375	1.667			
1.8	663.158	16100.7	41	231.845238	13.5	230	-0.542	-5.80676	-0.0375	1.667			
1.8	663.158	15708	40	226.190476	13.5	230	-0.542	-11.4615	-0.0375	1.667			
1.8	663.158	15708	40	226.190476	13.5	230	-0.542	-11.4615	-0.0375	1.667			
1.8	663.158	15708	40	226.190476	13.5	230	-0.542	-11.4615	-0.0375	1.667			
1.8	663.158	15708	40	226.190476	13.6	230	0.458	-11.4615	0.0625	1.667			
1.8	663.158	15708	40	226.190476	13.6	230	0.458	-11.4615	0.0625	1.667			
1.8	663.158	16100.7	41	231.845238	13.6	230	0.458	-5.80676	0.0625	1.667			
1.8	663.158	15315.3	39	220.535714	13.7	230	1.458	-17.1163	0.1625	1.667			
1.8	663.158	16100.7	41	231.845238	13.5	230	-0.542	-5.80676	-0.0375	1.667			
1.8	663.158	16493.4	42	237.5	13.5	230	-0.542	-0.152	-0.0375	1.667			
1.8	663.158	17671.5	45	254.464286	13.4	230	-1.542	16.81229	-0.1375	1.667			
1.8	663.158	17671.5	45	254.464286	13.3	230	-2.542	16.81229	-0.2375	1.667			
1.8	663.158	18064.2	46	260.119048	13.3	230	-2.542	22.46705	-0.2375	1.667			
1.8	663.158	17671.5	45	254.464286	13.3	230	-2.542	16.81229	-0.2375	1.667			
1.8	663.158	16493.4	42	237.5	13.6	230	0.458	-0.152	0.0625	1.667			
1.8	663.158	16493.4	42	237.5	13.5	230	-0.542	-0.152	-0.0375	1.667			

347.5417	237.6525	13.5375	228.3333
----------	----------	---------	----------

Media  
aritmetica

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} \quad (4.83)$$

Mersul de calcul este prezentat în paragraful 4.2.3.

Valorile centrate sunt prezentate în tabelele 4.1 și 4.2.

Prin aplicarea metodei celor mai mici pătrate rezultă valorile constantelor din modelul de mai sus:

- pentru mărimea de ieșire  $Y_1(t)$ :

$$A_{11} = 11,04 \quad A_{12} = -0,1055 \quad B_1 = 222,2$$

Indicatorul preciziei modelului de regresie este:  $R^2 = 0,9866$

- pentru mărimea de ieșire  $Y_2(t)$ :

$$A_{21} = -85,92 \quad A_{22} = -3,784 \quad B_2 = 2265$$

Indicatorul preciziei modelului de regresie este:  $R^2 = 0,8266$

Deci modelul este:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 11.04 & -0.1055 \\ -85.92 & -3.784 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 222.2 \\ 2265 \end{bmatrix} \quad (4.84)$$

#### b) Regresia polinomială de gradul 2

În cazul în care se folosește o dependență neliniară de ordinul 2 a mărimii de ieșire funcție de mărimile de intrare, avem:

$$Y_1 = C_{11}X_1 + C_{12}X_2 + C_{13}X_1^2 + C_{14}X_2^2 + C_{15}X_1X_2 + C_{10} \quad (4.85)$$

$$Y_2 = C_{21}X_1 + C_{22}X_2 + C_{23}X_1^2 + C_{24}X_2^2 + C_{25}X_1X_2 + C_{20} \quad (4.86)$$

Rezultă următorul model matematic:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_1^2 \\ X_2^2 \\ X_1X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{10} \\ C_{20} \end{bmatrix} \quad (4.87)$$

Mersul de calcul este prezentat în paragraful 4.2.3.

Valorile centrate sunt prezentate în tabelul 4.2.

Prin aplicarea metodei celor mai mici pătrate rezultă valorile constantelor din modelul de mai sus:

- pentru mărimea de ieșire  $Y_1(t)$ :

$$C_{11} = -27,36 ; C_{12} = 1,628 ; C_{13} = 2,8 ; C_{14} = 0,001288 ; C_{15} = -0,1642 ; C_{10} = 273,6$$

Indicatorul preciziei modelului de regresie este:  $R^2 = 0,9988$

- pentru mărimea de ieșire  $Y_2(t)$ :

$$C_{21} = -298 ; C_{22} = 170,9 ; C_{23} = 62,97 ; C_{24} = -0,1891 ; C_{25} = -6,506 ; C_{20} = -16317$$

Indicatorul preciziei modelului de regresie este:  $R^2 = 0,8576$

Deci modelul este:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -27.36 & 1.628 & 2.78 & 0.001288 & -0.1642 \\ -298 & 170.9 & 62.97 & -0.1891 & -6.506 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_1^2 \\ X_2^2 \\ X_1X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 273.6 \\ -16317 \end{bmatrix} \quad (4.88)$$

# DATE PRELUCRATE

Tabelul 4.2

	VALORI NECENTRATE										VALORI CENTRATE									
	Y1	Y2	X1	X2	X1*X1	X2*X2	X1*X2	yc1	yc2	xc1	xc2	xc1p	xc2p	xc12	xc22					
1	355	269.433	14	210	196	44100	2940	7.46	31.78	0.46	-18.33	12.71	-8054.17	-150.66						
2	350	237.5	13.75	225	189.0625	50625	3093.75	2.46	-0.15	0.21	-3.33	5.78	-1529.17	3.09						
3	347	248.81	13.5	225	182.25	50625	3037.5	-0.54	11.16	-0.04	-3.33	-1.04	-1529.17	-53.16						
4	347	248.81	13.5	225	182.25	50625	3037.5	-0.54	11.16	-0.04	-3.33	-1.04	-1529.17	-53.16						
5	347	248.81	13.5	225	182.25	50625	3037.5	-0.54	11.16	-0.04	-3.33	-1.04	-1529.17	-53.16						
6	347	231.845	13.5	230	182.25	52900	3105	-0.54	-5.81	-0.04	1.67	-1.04	745.83	14.34						
7	350	209.226	13.75	230	189.0625	52900	3162.5	2.46	-28.43	0.21	1.67	5.78	745.83	71.84						
8	347	226.19	13.5	230	182.25	52900	3105	-0.54	-11.46	-0.04	1.67	-1.04	745.83	14.34						
9	347	231.845	13.5	230	182.25	52900	3105	-0.54	-5.81	-0.04	1.67	-1.04	745.83	14.34						
10	347	226.19	13.5	230	182.25	52900	3105	-0.54	-11.46	-0.04	1.67	-1.04	745.83	14.34						
11	347	226.19	13.5	230	182.25	52900	3105	-0.54	-11.46	-0.04	1.67	-1.04	745.83	14.34						
12	347	226.19	13.5	230	182.25	52900	3105	-0.54	-11.46	-0.04	1.67	-1.04	745.83	14.34						
13	348	226.19	13.6	230	184.96	52900	3128	0.46	-11.46	0.06	1.67	1.67	745.83	37.34						
14	348	226.19	13.6	230	184.96	52900	3128	0.46	-11.46	0.06	1.67	1.67	745.83	37.34						
15	348	231.845	13.6	230	184.96	52900	3128	0.46	-5.81	0.06	1.67	1.67	745.83	37.34						
16	349	220.536	13.7	230	187.69	52900	3151	1.46	-17.12	0.16	1.67	4.40	745.83	60.34						
17	347	231.845	13.5	230	182.25	52900	3105	-0.54	-5.81	-0.04	1.67	-1.04	745.83	14.34						
18	347	237.5	13.5	230	182.25	52900	3105	-0.54	-0.15	-0.04	1.67	-1.04	745.83	14.34						
19	346	254.464	13.4	230	179.56	52900	3082	-1.54	16.81	-0.14	1.67	-3.73	745.83	-8.66						
20	345	254.464	13.3	230	176.89	52900	3059	-2.54	16.81	-0.24	1.67	-6.40	745.83	-31.66						
21	345	260.119	13.3	230	176.89	52900	3059	-2.54	22.47	-0.24	1.67	-6.40	745.83	-31.66						
22	345	254.464	13.3	230	176.89	52900	3059	-2.54	16.81	-0.24	1.67	-6.40	745.83	-31.66						
23	348	237.5	13.6	230	184.96	52900	3128	0.46	-0.15	0.06	1.67	1.67	745.83	37.34						
24	347	237.5	13.5	230	182.25	52900	3105	-0.54	-0.15	-0.04	1.67	-1.04	745.83	14.34						

347.542	237.652	13.538	228.333	183.287	52154.167	3090.656
---------	---------	--------	---------	---------	-----------	----------

 Media aritmetica

Pentru realizarea calculelor s-a utilizat mediul Matlab pentru Windows, în care s-a întocmit un program ce permite:

- vizualizarea graficelor mărimilor măsurate în proces, în două forme de reprezentare: PLOT și BAR;

- estimarea procesului cu metoda celor mai mici pătrate utilizând două modele de regresie: modelul de regresie liniar și modelul de regresie neliniar de ordinul doi;

- prelucrarea datelor măsurate prin două modalități: interpolare spline cubică, cu pașii de interpolare: 1, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1 și 0.05, respectiv interpolare prin metoda transformatei Fourier rapidă, pentru 30, 60, 90, 120, 150, 180 și 200 puncte de interpolare. Curbele de interpolare pot fi vizualizate pe monitor.

Programul principal are numele ie.m și realizează o interfață grafică cu butoane care, prin selectare opțională, apelează procedurile de calcul a funcțiilor menționate mai sus.

În continuare se prezintă structura programului, reprezentarea grafică a mărimilor de intrare și ieșire, precum și curbele de interpolare.

Fișierul ie1.m (programul principal) cuprinde următoarele instrucțiuni:

```
function ie1(action);
if nargin<1,
action='start';
end;
clc
clf reset;
s=brighten([[zeros(8,2) (3:10)/10]; prism(56)],1/3);
ep=set(gcf,'units','normalized','backingstore','off','color','blue','numbertitle','off',...
'colormap',s,'position',[.01 .05 .99 .99],'name','Program identificare');
b1=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized','position',[.01 .94 .3 .05],'string',...
'Graficele marimilor masurate','callback','i1');
b2=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized','position',[.01 .88 .3 .05],'string',...
'Metoda celor mai mici patrate','callback','i2');
b3=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized','position',[.01 .82 .3 .05],'string',...
'Prelucrare date masurate','callback','i3');
b4=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized','position',[.01 .76 .3 .05],'string',...
'Iesire program','callback','close');
tp=['Program pentru identificarea experimentală ',...
'a procesului tehnologic de la cuptorul de clincher ',...
'din cadrul fabricii de ciment Chiscadaga'];
t1=uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.5 .88 .45 .1],...
'string',tp);
end.
```

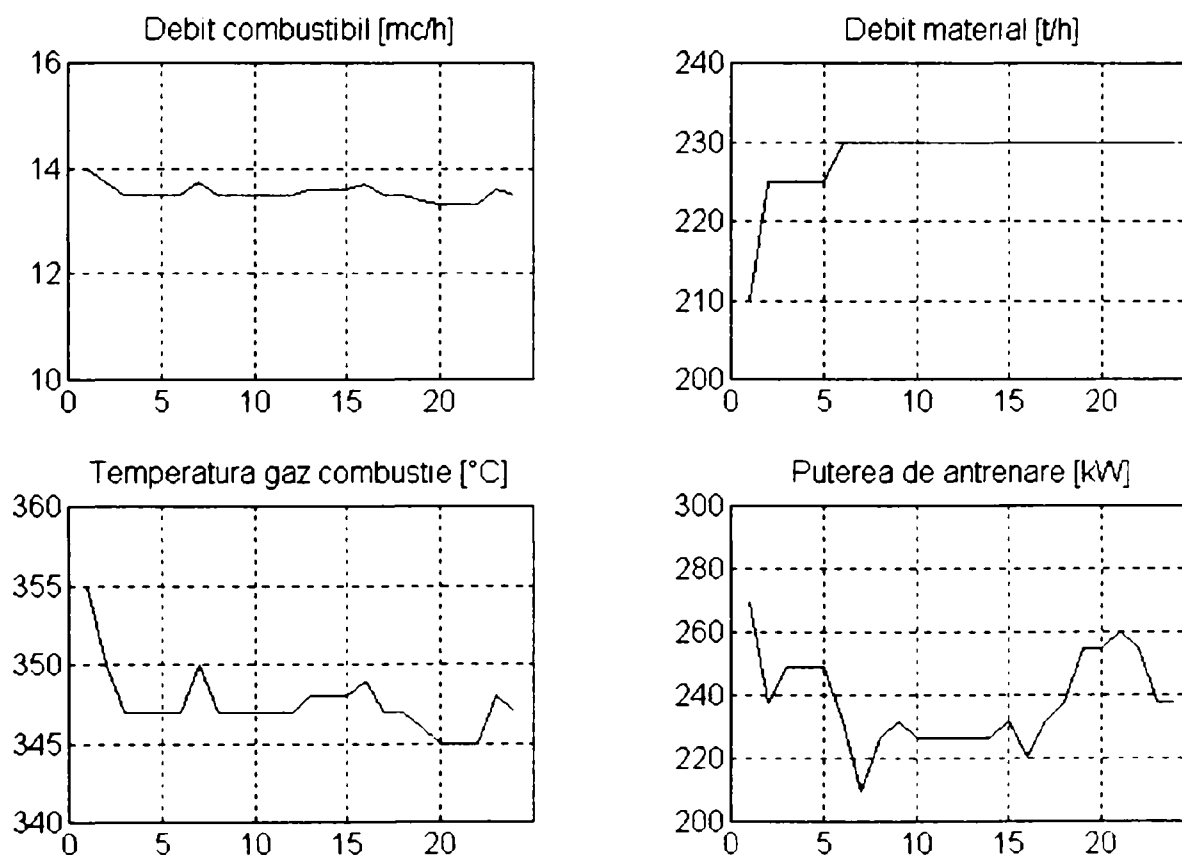
Fișierul il.m (pentru reprezentarea grafică a mărimilor măsurate) cuprinde următoarele instrucțiuni:

```
function il(tip);
f1=figure('units','normalized','position',[.02 .2 .3 .3],'name','Graficele marimilor masurate',...
'numbertitle','off','color',[.5 .5 .5],'menubar','none','resize','off');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.01 .88 .98 .1],'string','TIPUL DE REPREZENTARE');
b11=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized','position',[.25 .74 .5 .12],'string','PLOT','callback','i11');
b12=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized','position',[.25 .6 .5 .12],'string','BAR','callback','i12');
b13=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized','position',[.25 .1 .5 .12],'string','IESIRE','callback','close');
```



Fișierul i11.m (apelat de i1.m) cuprinde următoarele instrucțiuni:

```
f11=figure('units','normalized','position',[.01 .06 .98 .84],'name',...
'Reprezentare PLOT','numbertitle','off','color',[.5 .5 .5],'resize','off');
b11s=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized',...
'position',[.01 .01 .1 .05],'string','Iesire','callback','close');
load d:\matlab\cuptor\x1.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\x2.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\y1.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\y2.m -ascii;
subplot(2,2,1); plot(x1); grid; axis([0 25 10 16]);
title('Debit combustibil [mc/h]');
subplot(2,2,2); plot(x2); grid; axis([0 25 200 240]);
title('Debit material [t/h]');
subplot(2,2,3); plot(y1); grid; axis([0 25 340 360]);
title('Temperatura gaz combustie [°C]');
subplot(2,2,4); plot(y2); grid; axis([0 25 200 300]);
title('Puterea de antrenare [kW]');
```



**Fig.4.5** Reprezentarea PLOT a intrărilor și ieșirilor procesului

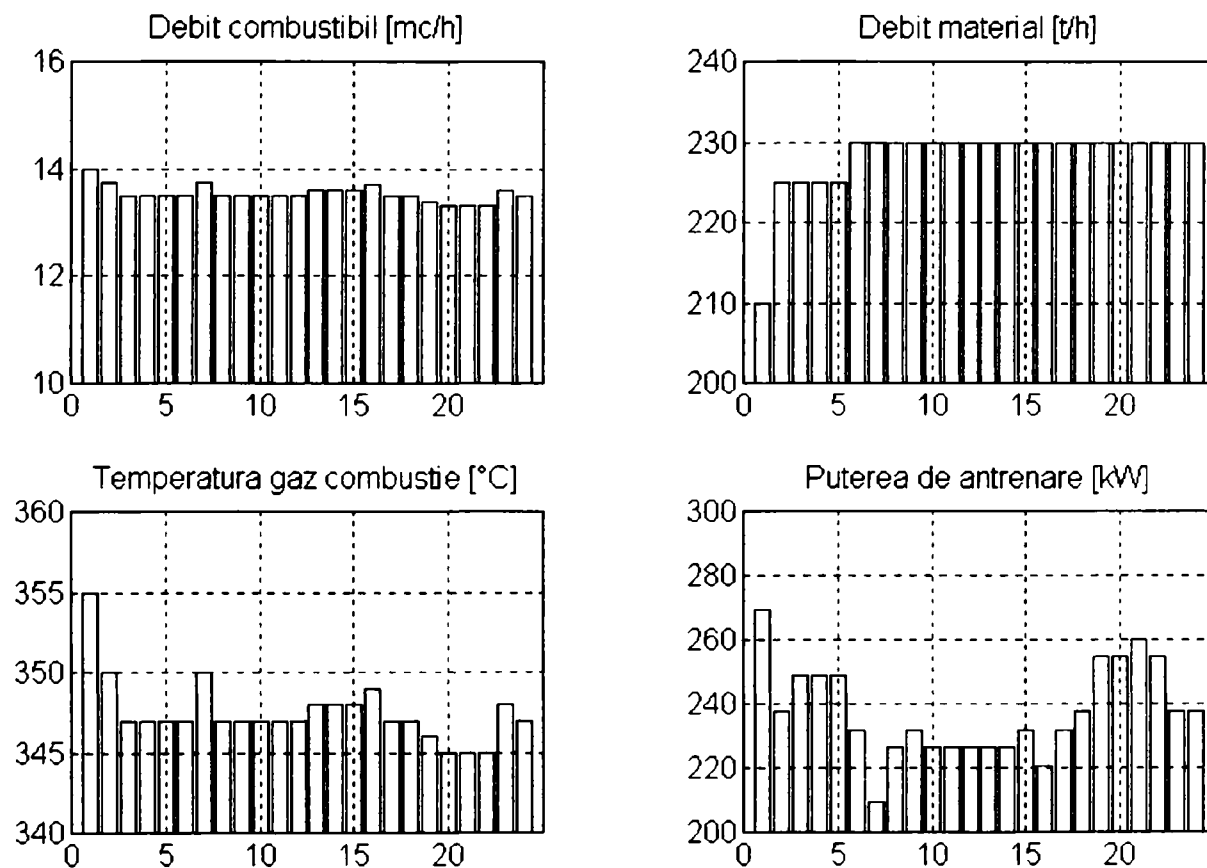
Fișierul i12.m (apelat de i1.m) cuprinde următoarele instrucțiuni:

```
f12=figure('units','normalized','position',[.01 .06 .98 .84],'name',...
'Reprezentare BAR','numbertitle','off','color',[.5 .5 .5],'resize','off');
b11s=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized',...
'position',[.01 .01 .1 .05],'string','Iesire','callback','close');
load d:\matlab\cuptor\x1.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\x2.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\y1.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\y2.m -ascii;
subplot(2,2,1); bar(x1); grid; axis([0 25 10 16]);
title('Debit combustibil [mc/h]');
```

```

subplot(2,2,2); bar(x2); grid; axis([0 25 200 240]);
title('Debit material [t/h]');
subplot(2,2,3); bar(y1); grid; axis([0 25 340 360]);
title('Temperatura gaz combustie [°C]');
subplot(2,2,4); bar(y2); grid; axis([0 25 200 300]);
title('Puterea de antrenare [kW]');

```



**Fig.4.6** Reprezentarea BAR a intrărilor și ieșirilor procesului

Fișierul i2.m cuprinde următoarele instrucțiuni:

```

function i2(optiune);
f2=figure('units','normalized','position',[.02 .2 .32 .15],'name','Identificare proces','numbertitle','off','color',...
[.5 .5 .5],'menubar','none','resize','off');
b21=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized',...
'position',[.05 .68 .9 .3],'string','Dependenta liniara (ordinul 1)','callback','i21n');
b22=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized',...
'position',[.05 .37 .9 .3],'string','Dependenta neliniara (ordinul 2)','callback','i2ln');
b23=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized',...
'position',[.05 .04 .9 .3],'string','Iesire','callback','close');

```

Fișierul i21.m (efectuarea calculului de modelare a procesului) cuprinde următoarele instrucțiuni:

```

clc
load d:\matlab\cuptor\x1.m -ascii; load d:\matlab\cuptor\x2.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\xc1.m -ascii; load d:\matlab\cuptor\xc2.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\xp1.m -ascii; load d:\matlab\cuptor\xp2.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\xcp1.m -ascii; load d:\matlab\cuptor\xcp2.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\xl2.m -ascii; load d:\matlab\cuptor\xl2.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\y1.m -ascii; load d:\matlab\cuptor\y2.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\yk1.m -ascii; load d:\matlab\cuptor\yk2.m -ascii;

```

```

%calculul mediilor aritmetice pentru x1, x2, y1 si y2
l=length(y1);
max1=mean(x1); max2=mean(x2);
may1=mean(y1); may2=mean(y2);
max12=mean(x12);
maxp1=mean(xp1); maxp2=mean(xp2);

%CALCUL CU VARIABILE CENTRATE PE BAZA RELATIEI LINIARE
% Yk1=a11*Xk1+a12*Xk2+b1 pentru Y1
% Yk2=a21*Xk1+a22*Xk2+b2 pentru Y2

xc=[xc1,xc2];
%calculul coeficientilor pentru y1
a1=(inv(xc'*xc))*xc'*yk1; b1=may1-a1(1)*max1-a1(2)*max2;
%calculul coeficientilor pentru y2
a2=(inv(xc'*xc))*xc'*yk2; b2=may2-a2(1)*max1-a2(2)*max2;
%calculul indicatorului preciziei pentru y1
ylest=a1(1)*x1+a1(2)*x2+b1;
r11=0; r12=0;
for i=1:l
r11=r11+(ylest(i)-may1)^2;
r12=r12+(y1(i)-may1)^2;
end
r1=r11/r12;
%calculul indicatorului preciziei pentru y2
y2est=a2(1)*x1+a2(2)*x2+b2;
r21=0; r22=0;
for i=1:l
r21=r21+(y2est(i)-may2)^2;
r22=r22+(y2(i)-may2)^2;
end
r2=r21/r22;

%CALCUL CU VARIABILE CENTRATE PE BAZA RELATIEI NELINIARE
% Yk1=c1(1)*Xk1+c1(2)*Xk2+c1(3)*Xk1*Xk2+c01 pentru Y1
% Yk2=c2(1)*Xk1+c2(2)*Xk2+c2(3)*Xk1*Xk2+c02 pentru Y2

xcn=[xc1,xc2,xcp1,xcp2,xc12];
%calculul coeficientilor pentru y1
c1=inv(xcn'*xcn)*xcn'*yk1; c01=may1-c1(1)*max1-c1(2)*max2-c1(3)*maxp1-c1(4)*maxp2-c1(5)*max12;
%calculul coeficientilor pentru y2
c2=inv(xcn'*xcn)*xcn'*yk2; c02=may2-c2(1)*max1-c2(2)*max2-c2(3)*maxp1-c2(4)*maxp2-c2(5)*max12;
%calculul indicatorului preciziei pentru y1
ylestn=c01+c1(1)*x1+c1(2)*x2+c1(3)*xp1+c1(4)*xp2+c1(5)*x12;
r11n=0; r12n=0;
for i=1:l
r11n=r11n+(ylestn(i)-may1)^2;
r12n=r12n+(y1(i)-may1)^2;
end
r1n=r11n/r12n;
%calculul indicatorului preciziei pentru y2
y2estn=c02+c2(1)*x1+c2(2)*x2+c2(3)*xp1+c2(4)*xp2+c2(5)*x12;
r21n=0; r22n=0;
for i=1:l
r21n=r21n+(y2estn(i)-may2)^2;
r22n=r22n+(y2(i)-may2)^2;
end

```

```

r2n=r21n/r22n;
%conversia in siruri de caractere
na11=num2str(a1(1)); na12=num2str(a1(2)); nb1=num2str(b1); na21=num2str(a2(1)); na22=num2str(a2(2));
nb2=num2str(b2);
nr1=num2str(r1); nr2=num2str(r2);
nc11=num2str(c1(1)); nc21=num2str(c2(1));
nc12=num2str(c1(2)); nc22=num2str(c2(2));
nc13=num2str(c1(3)); nc23=num2str(c2(3));
nc14=num2str(c1(4)); nc24=num2str(c2(4));
nc15=num2str(c1(5)); nc25=num2str(c2(5));
nc01=num2str(c01); nc02=num2str(c02);
nr1n=num2str(r1n); nr2n=num2str(r2n);

```

Fișierul i211.m cuprinde următoarele instrucțiuni:

```

%afisare pentru metoda celor mai mici patrate - cazul dependentei liniare
i21;
f21=figure('units','normalized','position',[.35 .15 .6 .6],'name','Dependentia liniara',...
'numbertitle','off','color',[.5 .5 .5],'menubar','none','resize','off');
bs1=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized',...
'position',[.02 .02 .3 .06],'string','!esire','callback','close');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.1 .9 .6 .05],...
'foregroundcolor','white','string','Pentru dependenta liniara  $Y_k=f(X_1,X_2)$ ');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .85 .6 .05],'string',' $Y_{k1}=a_{11}*X_{k1}+a_{12}*X_{k2}+b_1$ ');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .8 .6 .05],'string',' $Y_{k2}=a_{21}*X_{k1}+a_{22}*X_{k2}+b_2$ ');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .7 .6 .05],...
'horizontal','left','string','Coeficientii pentru  $Y_1$  sunt:');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .65 .6 .05],...
'horizontal','left','string','a11            a12            b1');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .6 .2 .05],'horizontal','left','string',na11);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.25 .6 .2 .05],'horizontal','left','string',na12);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.45 .6 .2 .05],'horizontal','left','string',nb1);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .55 .5 .05],...
'horizontal','left','foregroundcolor','white','string','Indicatorul de precizie are valoarea: ');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.55 .55 .2 .05],'horizontal','left','string',nr1);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .45 .6 .05],...
'horizontal','left','string','Coeficientii pentru  $Y_2$  sunt:');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .35 .6 .05],...
'horizontal','left','string','a21            a22            b2');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .3 .2 .05],'horizontal','left','string',na21);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.25 .3 .2 .05],'horizontal','left','string',na22);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.45 .3 .2 .05],'horizontal','left','string',nb2);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .25 .5 .05],...
'horizontal','left','foregroundcolor','white','string','Indicatorul de precizie are valoarea: ');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.55 .25 .2 .05],'horizontal','left','string',nr2);

```

Fișierul i21n.m cuprinde următoarele instrucțiuni:

```

%afisare pentru metoda celor mai mici patrate - cazul dependentei neliniare
i21;
f22=figure('units','normalized','position',[.35 .1 .6 .6],'name','Dependentia neliniara',...
'numbertitle','off','color',[.5 .5 .5],'menubar','none','resize','off');
bs1=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized','position',[.02 .02 .3 .06],'string','!esire','callback','close');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.1 .9 .7 .05],...
'foregroundcolor','white','string','Pentru dependenta neliniara  $Y_k=f(X_1,X_2,X_1^2,X_2^2,X_1*X_2)$ ');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .85 .9 .05],...
'string',' $Y_{k1}=c_{10}+c_{11}*X_{k1}+c_{12}*X_{k2}+c_{13}*X_{k1}^2+c_{14}*X_{k2}^2+c_{15}*X_{k1}*X_{k2}$ ');

```

```

uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .8 .9 .05],...
'string','Yk2=c20+c21*Xk1+c22*Xk2+c23*Xk1^2+c24*Xk2^2+c25*Xk1*Xk2');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .7 .6 .05],...
'horizontal','left','string','Coeficientii pentru Y1 sunt:');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .65 .9 .05],...
'horizontal','left','string','c10      c11      c12      c13      c14      c15');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .6 .15 .05],'horizontal','left','string',nc01);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.2 .6 .15 .05],'horizontal','left','string',nc11);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.35 .6 .15 .05],'horizontal','left','string',nc12);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.5 .6 .15 .05],'horizontal','left','string',nc13);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.65 .6 .15 .05],'horizontal','left','string',nc14);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.8 .6 .15 .05],'horizontal','left','string',nc15);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .55 .5 .05],...
'horizontal','left','foregroundcolor','white','string','Indicatorul de precizie are valoarea: ');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.55 .55 .2 .05],'horizontal','left','string',nr1n);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .4 .6 .05],...
'horizontal','left','string','Coeficientii pentru Y2 sunt:');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .35 .9 .05],...
'horizontal','left','string','c20      c21      c22      c23      c24      c25');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .3 .15 .05],'horizontal','left','string',nc02);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.2 .3 .15 .05],'horizontal','left','string',nc21);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.35 .3 .15 .05],'horizontal','left','string',nc22);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.5 .3 .15 .05],'horizontal','left','string',nc23);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.65 .3 .15 .05],'horizontal','left','string',nc24);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.8 .3 .15 .05],'horizontal','left','string',nc25);
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.05 .25 .5 .05],...
'horizontal','left','foregroundcolor','white','string','Indicatorul de precizie are valoarea: ');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.55 .25 .2 .05],'horizontal','left','string',nr2n);

```

**Fișierul i3.m cuprinde următoarele instrucțiuni:**

```

function i3(tip);
f3=figure('units','normalized','position',[.45 .2 .4 .3],'name','Interpolare',...
'numbertitle','off','color',[.5 .5 .5],'menubar','none','resize','off');
uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.01 .88 .98 .1],...
'string','METODE DE INTERPOLARE');
b31=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized',...
'position',[.15 .74 .7 .12],'string','Interpolarea spline cubica','callback','i31');
b32=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized',...
'position',[.15 .58 .7 .12],'string','Interpolarea prin metoda FFT','callback','i32');
b33=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized',...
'position',[.3 .1 .4 .12],'string','IESIRE','callback','close');

```

**Fișierul i31.m (interpolare spline cubică) cuprinde următoarele instrucțiuni:**

```

f31=figure('units','normalized','position',[.01 .06 .98 .84],'name','Interpolare spline cubica',...
'numbertitle','off','color',[.5 .5 .5],'resize','off');
b31s=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized',...
'position',[.01 .01 .1 .05],'string','Iesire','callback','close');
tpas=uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.15 .01 .35 .04],...
'string','Alegeti pasul de interpolare:');
b31p=uicontrol('style','popup','units','normalized',...
'position',[.455 .01 .085 .05],'string','1|0.5|0.4|0.3|0.2|0.1|0.05',...
'callback','i311');
load d:\matlab\cuptor\x1.m -ascii; load d:\matlab\cuptor\x2.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\y1.m -ascii; load d:\matlab\cuptor\y2.m -ascii;
subplot(2,2,1); plot(x1); grid; axis([0 25 10 16]);

```

```

title('Debit combustibil [mc/h]');
subplot(2,2,2); plot(x2); grid; axis([0 25 200 240]);
title('Debit material [t/h]');
subplot(2,2,3); plot(y1); grid; axis([0 25 340 360]);
title('Temperatura gaz combustie [°C]');
subplot(2,2,4); plot(y2); grid; axis([0 25 200 300]);
title('Puterea de antrenare [kW]');

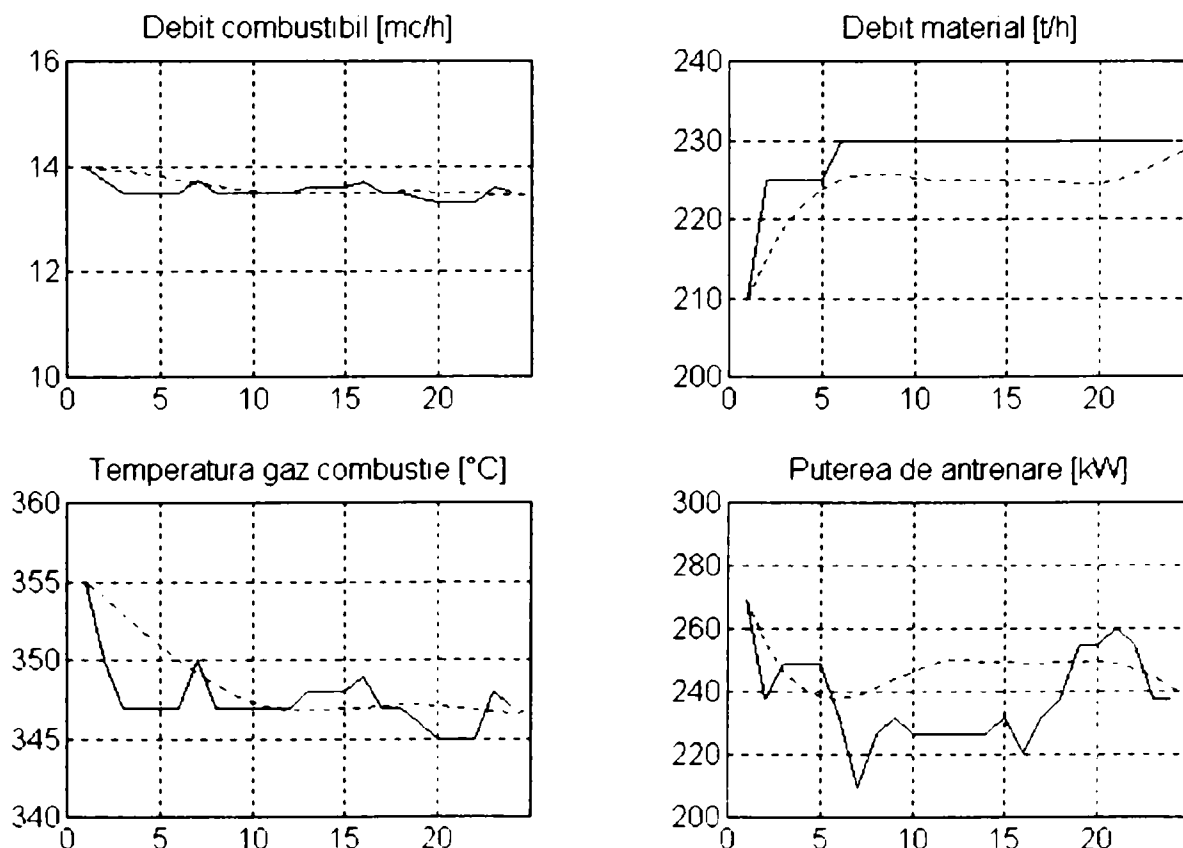
```

Fișierul i311.m cuprinde următoarele instrucțiuni:

```

load d:\matlab\cuptor\x1.m -ascii; load d:\matlab\cuptor\x2.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\y1.m -ascii; load d:\matlab\cuptor\y2.m -ascii;
valpas=get(b311p,'value');
if valpas==1, pas=1;
elseif valpas==2, pas=0.5;
elseif valpas==3, pas=0.4;
elseif valpas==4, pas=0.3;
elseif valpas==5, pas=0.2;
elseif valpas==6, pas=0.1;
elseif valpas==7, pas=0.05;
end;
xi=1:pas:24;
t=1:1:24;
x1s=spline(t,x1,xi); x2s=spline(t,x2,xi);
y1s=spline(t,y1,xi); y2s=spline(t,y2,xi);
subplot(2,2,1); plot(x1); hold; plot(x1s,'r'); hold; grid; axis([0 25 10 16]); title('Debit combustibil [mc/h]');
subplot(2,2,2); plot(x2); hold; plot(x2s,'r'); hold; grid; axis([0 25 200 240]); title('Debit material [t/h]');
subplot(2,2,3); plot(y1); hold; plot(y1s,'r'); hold; grid; axis([0 25 340 360]);
title('Temperatura gaz combustie [°C]');
subplot(2,2,4); plot(y2); hold; plot(y2s,'r'); hold; grid; axis([0 25 200 300]);
title('Puterea de antrenare [kW]');

```



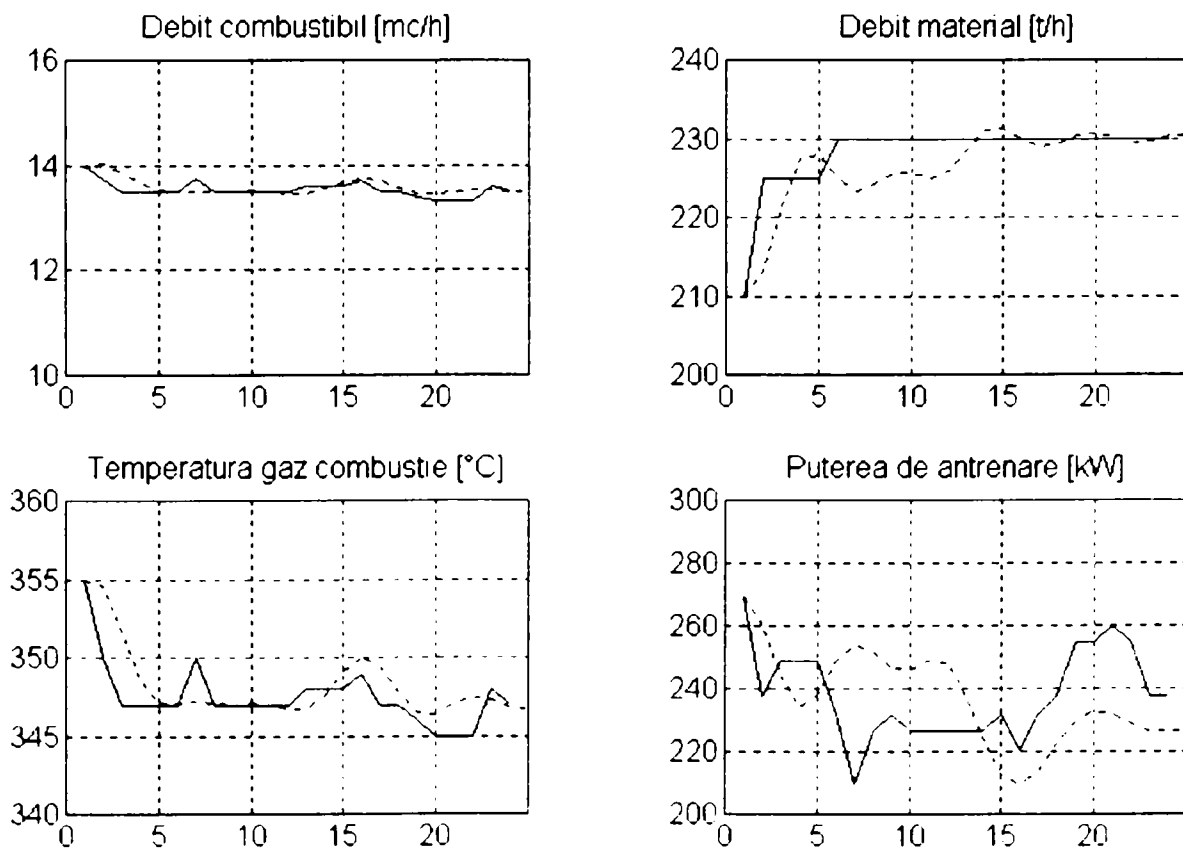
**Fig.4.7** Interpolare spline cubică cu pasul de 0.2

Fișierul i32.m cuprinde următoarele instrucțiuni:

```
f32=figure('units','normalized','position',[.01 .06 .98 .84],'name',...
'Interpolare FFT','numbertitle','off','color',[.5 .5 .5],'resize','off');
b32s=uicontrol('style','pushbutton','units','normalized',...2
'position',[.01 .01 .1 .05],'string','Iesire','callback','close');
tpas=uicontrol(gcf,'style','text','units','normal','position',[.15 .01 .35 .04],'string','Alegeti numarul de puncte:');
b32p=uicontrol('style','popup','units','normalized',...
'position',[.455 .01 .085 .05],'string','30|60|90|120|150|180|210','callback','i321');
load d:\matlab\cuptor\x1.m -ascii; load d:\matlab\cuptor\x2.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\y1.m -ascii; load d:\matlab\cuptor\y2.m -ascii;
subplot(2,2,1); plot(x1); grid; axis([0 25 10 16]); title('Debit combustibil [mc/h]');
subplot(2,2,2); plot(x2); grid; axis([0 25 200 240]); title('Debit material [t/h]');
subplot(2,2,3); plot(y1); grid; axis([0 25 340 360]); title('Temperatura gaz combustie [°C]');
subplot(2,2,4); plot(y2); grid; axis([0 25 200 300]); title('Puterea de antrenare [kW]');
```

Fișierul i321.m cuprinde următoarele instrucțiuni:

```
load d:\matlab\cuptor\x1.m -ascii; load d:\matlab\cuptor\x2.m -ascii;
load d:\matlab\cuptor\y1.m -ascii; load d:\matlab\cuptor\y2.m -ascii;
valn=get(b312p,'value');
if valn==1, n=30;
elseif valn==2, n=60; elseif valn==3, n=90;
elseif valn==4, n=120; elseif valn==5, n=150;
elseif valn==6, n=180; elseif valn==7, n=210;
end;
x1f=interpft(x1,n); x2f=interpft(x2,n); y1f=interpft(y1,n); y2f=interpft(y2,n);
subplot(2,2,1); plot(x1); hold; plot(x1f,'r'); hold; grid; axis([0 25 10 16]); title('Debit combustibil [mc/h]');
subplot(2,2,2); plot(x2); hold; plot(x2f,'r'); hold; grid; axis([0 25 200 240]); title('Debit material [t/h]');
subplot(2,2,3); plot(y1); hold; plot(y1f,'r'); hold; grid; axis([0 25 340 360]);
title('Temperatura gaz combustie [°C]');
subplot(2,2,4); plot(y2); hold; plot(y2f,'r'); hold; grid; axis([0 25 200 300]); title('Puterea de antrenare [kW]');
```



**Fig.4.8** Interpolare prin metoda FFT în 60 de puncte

## **4.3 Determinarea încărcării morilor de ciment și făină**

### **4.3.1 Generalități**

[17], [21], [22], [38], [39], [44], [70÷72], [104]

Gradul de încărcare a morii are o importanță deosebită, el influențând în mod direct eficiența măcinării (suprafața specifică a produsului finit), productivitatea și consumul de energie a procesului, precum și durata de viață a echipamentului.

În prezent, pe plan mondial, pentru determinarea cantității de material existent la un moment dat în moară, se folosesc trei metode:

- măsurarea zgomotului produs în timpul funcționării, cu ajutorul folafoanelor. Metoda este imprecisă și are numai caracter orientativ;

- măsurarea debitelor tuturor materialelor care intră în moară (materie primă, griș) și care ies (produsul măcinat). Datorită timpului necesar pentru parcurgerea morii de către material, informația rezultată din corelarea celor două debite totale (intrare-ieșire) nu dă întotdeauna informații exacte privind cantitatea momentană de material rămasă în moară;

- aprecierea încărcării morii, urmărind curentul absorbit de motoarele de acționare. Nici această metodă nu este precisă, deoarece orice variație a cuplului rezistent (alta decât cea produsă de variația încărcării), conduce la modificarea curentului absorbit de mașină, deci denaturează rezultatul măsurătorii.

În general, pentru cunoașterea mai exactă a gradului de încărcare a morii, se folosesc simultan toate metodele amintite, calculatorul corelând cele trei categorii de informații și, pe baza unui software adecvat, reglează procesul de măcinare.

La SC Casial SA, la morile de ciment au fost montate folafoane produse în România, care însă nu au dat rezultate corespunzătoare în exploatare. În prezent, nici unul din cele cinci folafoane nu mai există.

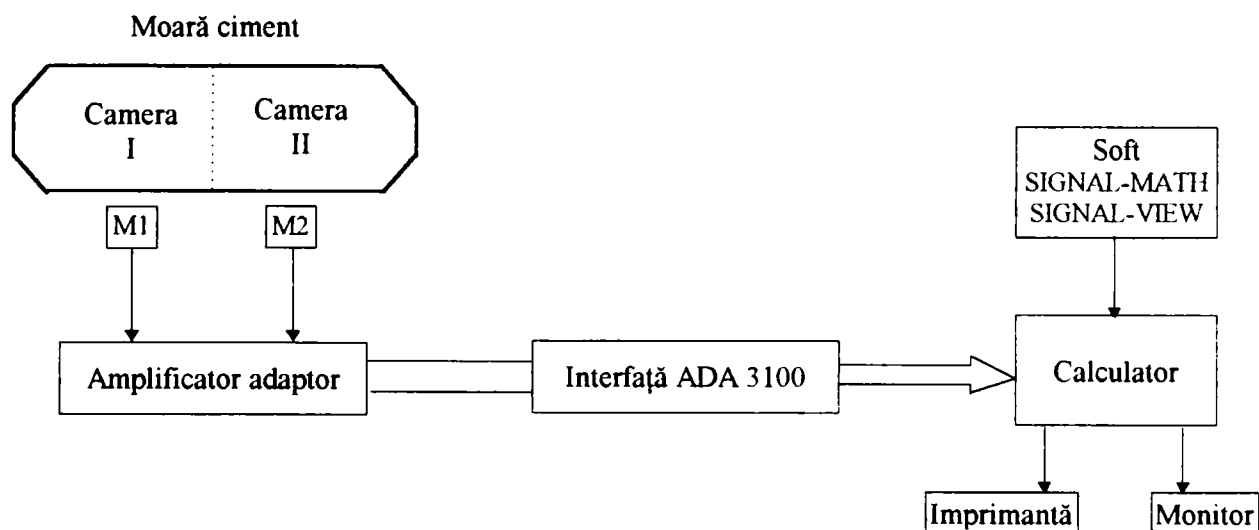
### **4.3.2 Metoda propusă**

Este cunoscut faptul că zgomotul produs de moară în timpul funcționării depinde de încărcarea sa. Există însă o serie de alte zgomote de mare intensitate adiacente (motoare, lagăre, morile vecine, elevator, etc.) care sunt parazite și pot estompa informația utilă. Eliminarea acestor influențe se face la folafoanele actuale prin filtrare analogică, fiecare firmă ținând secretă caracteristica de răspuns exactă a filtrului utilizat. Cu toate acestea, precizia obținută în determinarea gradului de încărcare a morii, prin măsurarea nivelului mediu al intensității semnalului sonor, chiar filtrat, nu este satisfăcătoare.

În urma cercetărilor proprii efectuate asupra zgomotului produs de moara de ciment, similară morii de făină, s-a reușit punerea la punct a unei metode mult mai precise, utilizând un calculator PC, o placă de achiziție și un software corespunzător.

Structura instalației de măsură este dată în figura 4.9.





**Fig.4.9**

Zgomotul a fost măsurat pentru ambele camere ale morii cu ajutorul unor microfoane electrodinamice obișnuite, plasate în imediata vecinătate a mantalei, în zona de cădere a bilelor. După o amplificare corespunzătoare nivelului cerut de placa de achiziție date, semnalul a fost transmis prin cablu ecranat de joasă frecvență (fără caracteristici deosebite), până în camera unde s-a montat calculatorul (cca. 100 m).

Interfața de cuplare la calculator este de tip ADA 3100, fabricată de Real Time Devices, Inc-USA (preț 1000\$) și este foarte performantă, având următoarele caracteristici tehnice:

- 8 intrări analogice;
- 12 biți, 5 microsecunde conversie analog-digitală (200 kHz);
- intrări la  $\pm 5$ ,  $\pm 10$  sau  $0 \div + 10$  V;
- amplificare programabilă;
- patru moduri de conversie;
- interfață FIFO + DMA transfer;
- trigger intern sau extern;
- 8 intrări digitale;
- 8 ieșiri digitale;
- sistem de întreruperi;
- două convertoare numeric-analogice pe 12 biți;
- $\pm 5$ ,  $\pm 10$ ,  $0 \div + 15$  V,  $0 \div + 10$  V ieșiri analogice;
- programare în BASIC, TURBO PASCAL, C.

Schema bloc a plăcii de interfață este dată în figura 4.10.

Pentru analiza matematică a semnalelor de zgomot de la cele două microfoane s-a utilizat un pachet de programe elaborat de State College, Pennsylvania, USA, înregistrat sub numele "Signal MATH" și "Signal VIEW" (1400\$). Facilitățile oferite de aceste programe sunt multiple: transformata Fourier și Fourier rapidă, filtre digitale, analiză spectrală, statistică, interpolări, procesare de imagini, procesarea vorbirii, robotică etc. De asemenea, prin "Signal VIEW" se poate urmări orice proces în timp real, cu facilitățile de mai sus.

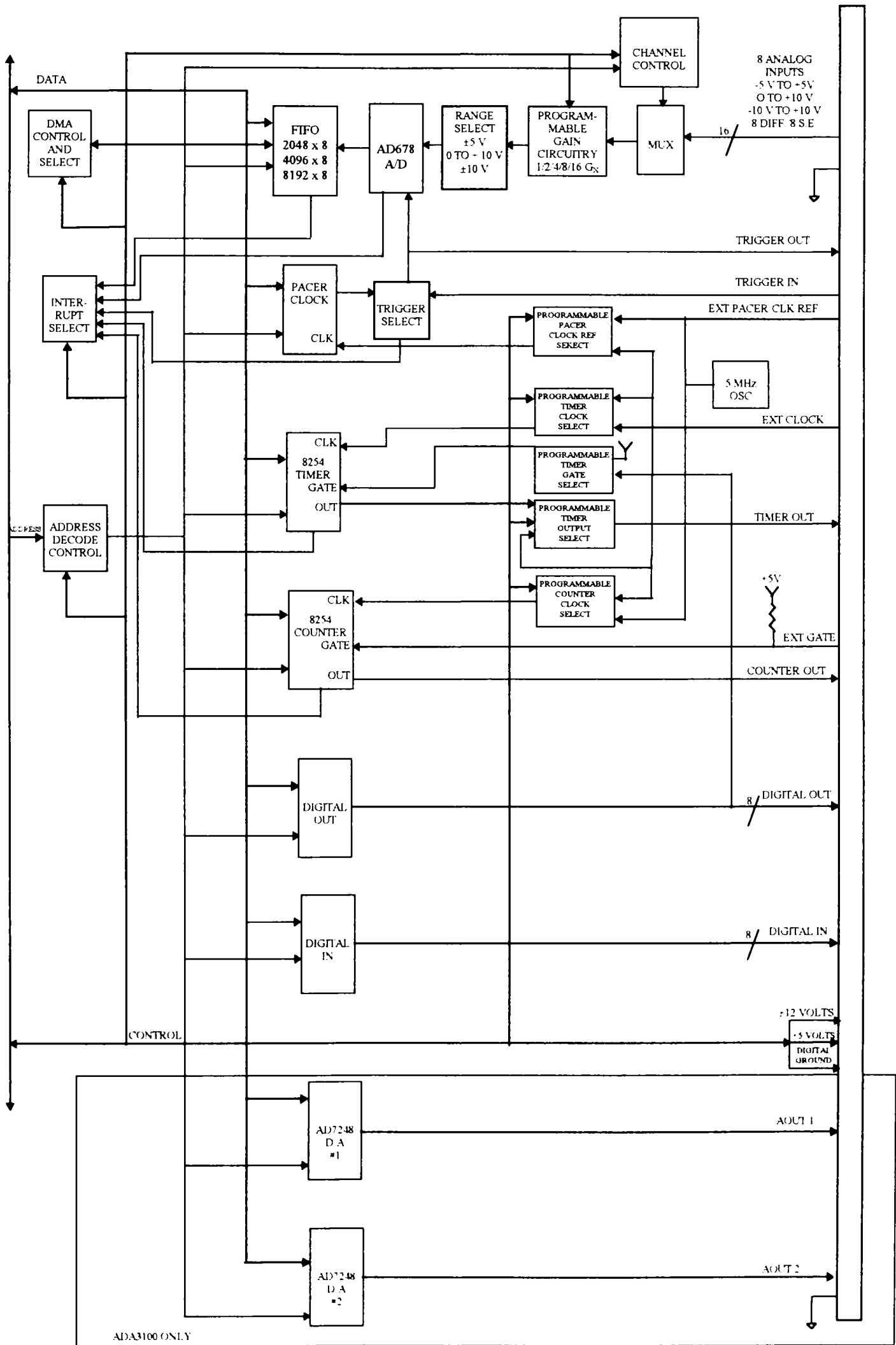


Fig.4.10

În prima fază, s-a analizat zgomotul morii în diverse faze de încărcare, rezultând un spectru cuprins între 0 ÷ 2000 Hz, cu o foarte mare dispersie a amplitudinii diverselor armonici și din acest motiv imposibil de găsit o corelație evidentă între încărcare și spectrul amintit.

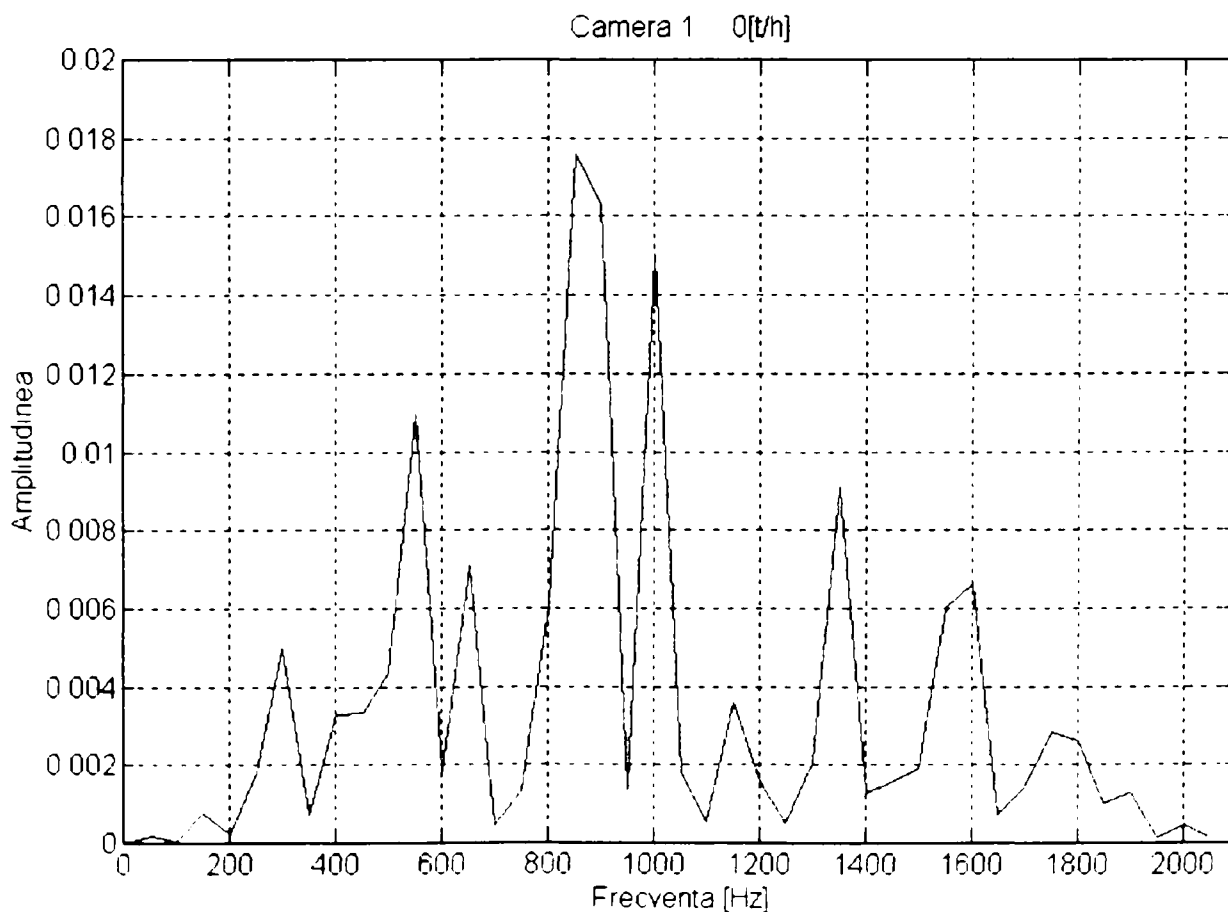
În tabelul 4.3 este prezentată informația primară, neprelucrată. Utilizând mediul Matlab, aceasta a fost reprezentată grafic (figurile 4.11 ÷ 4.23) cu ajutorul programului următor:

```

clc
clg
load h:\matlab\dateasci\c11.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\c12.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\c13.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\c14.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\c15.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\c16.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\c17.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\c21.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\c22.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\c23.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\c24.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\c25.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\c26.m -ascii;
frecv=0:50:2050;
plot(frecv,c*);grid,axis([0 2100 0 0.025]);
title('Camera * * [t/h]')
xlabel('Frecventa [Hz]')
ylabel('Amplitudinea')

```

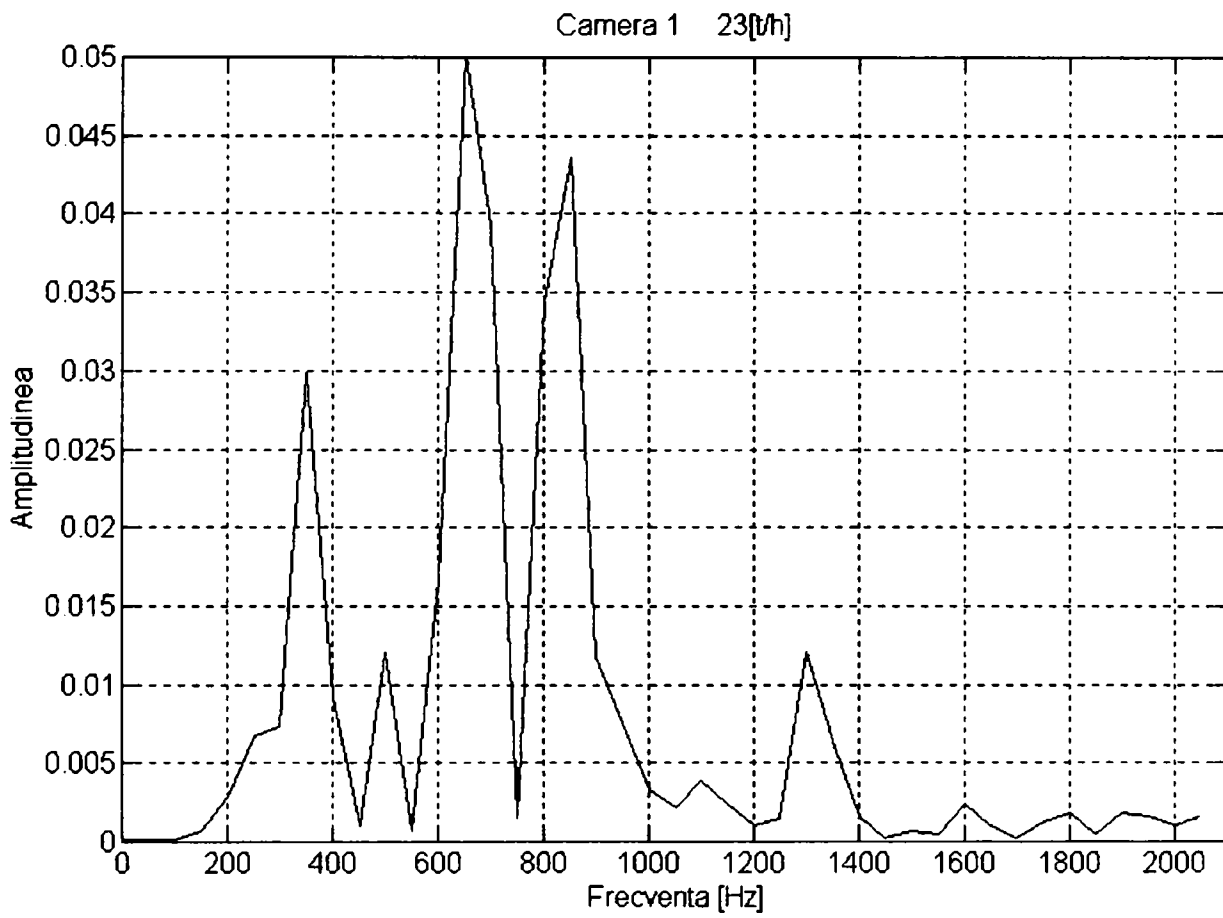
Fișierele c1\*.m conțin valorile amplitudinii semnalelor de zgomot corespunzătoare camerei 1 a morii iar fișierele c2\*, corespunzătoare camerei 2.



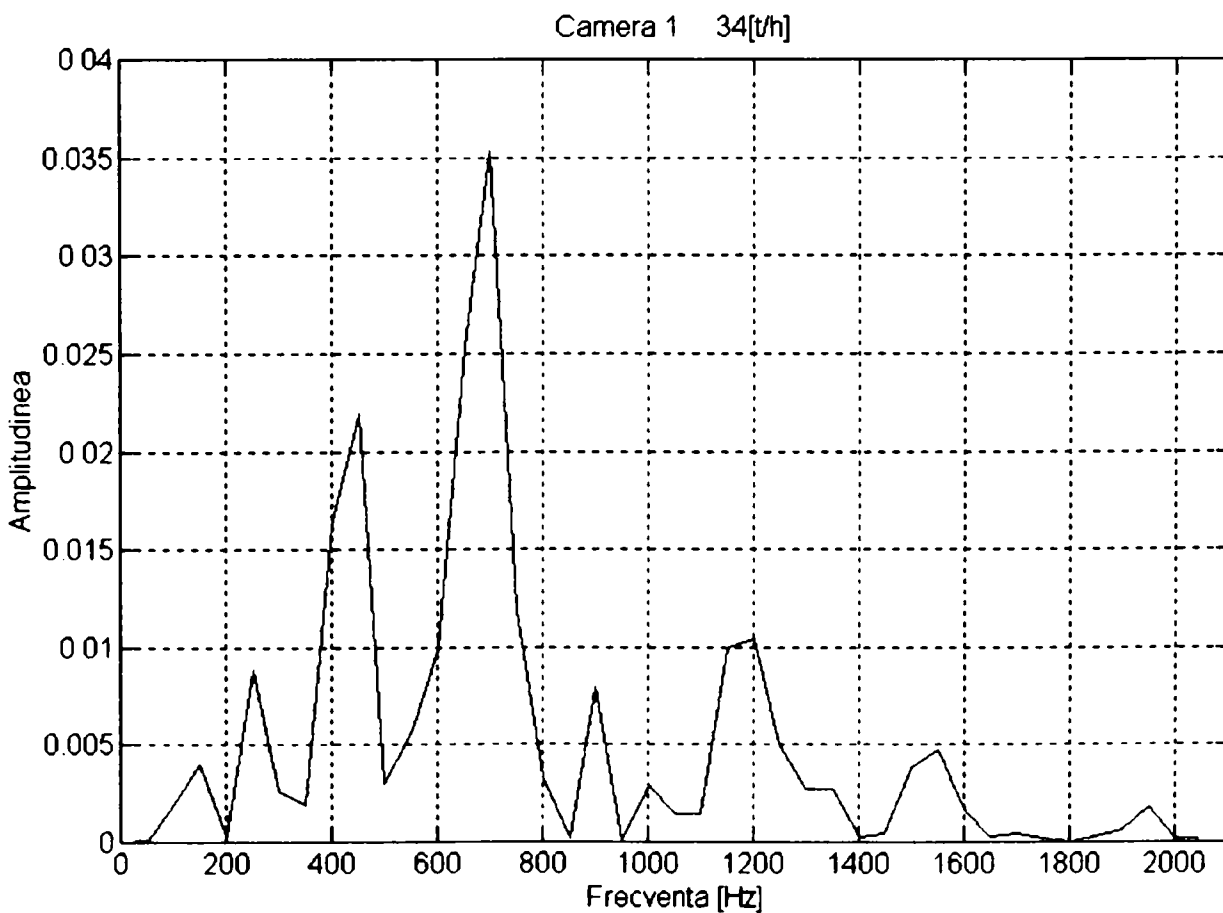
**Fig.4.11**

Tabelul 4.3

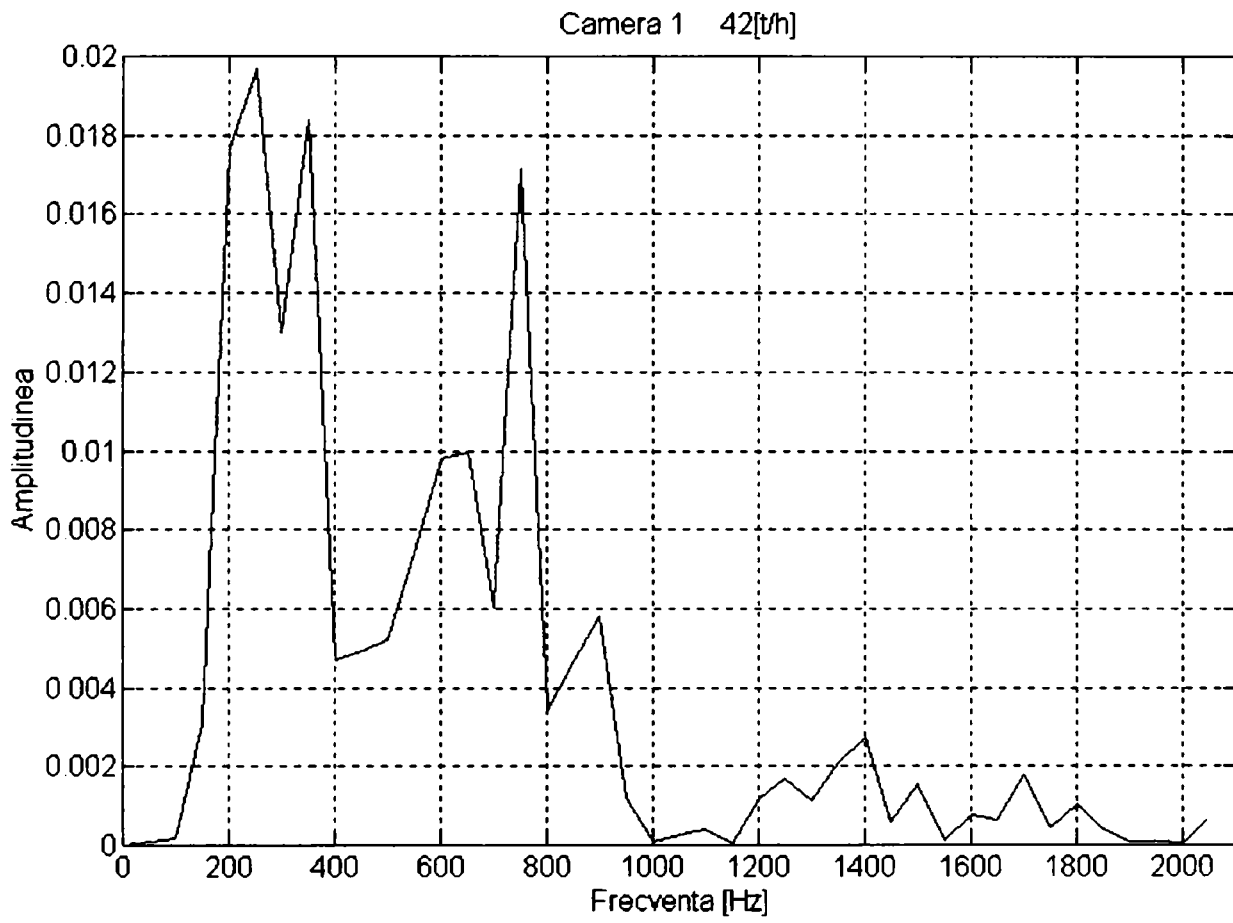
Nr. crt.		Amplitudinea semnalelor de zgomot pentru diverse încărcări ale morii													
		Camera 1							Camera 2						
		0 [v/h]	23 [v/h]	34 [v/h]	42 [v/h]	55 [v/h]	69 [v/h]	80 [v/h]	23 [v/h]	34 [v/h]	42 [v/h]	55 [v/h]	69 [v/h]	80 [v/h]	
1	2.38E-06	9.00E-05	1.00E-05	1.31E-06	1.31E-06	1.55E-04	2.70E-05	9.50E-05	8.20E-05	3.23E-06	4.23E-06	4.70E-05	7.50E-08		
2	1.87E-04	1.59E-04	9.50E-05	6.90E-05	6.90E-05	2.73E-04	7.11E-06	1.62E-04	1.19E-04	2.90E-05	4.35E-06	3.00E-05	6.03E-06		
3	6.20E-05	6.90E-05	1.95E-03	1.70E-04	1.70E-04	1.04E-04	7.30E-05	2.39E-04	6.00E-05	2.30E-05	9.84E-06	3.27E-04	2.60E-05		
4	7.62E-04	6.36E-04	4.05E-03	3.10E-03	3.10E-03	3.90E-05	5.97E-04	1.30E-04	4.08E-04	8.68E-04	1.08E-04	3.26E-03	1.22E-03		
5	2.06E-04	2.86E-03	2.39E-04	0.017658	0.017658	2.10E-03	2.01E-03	3.32E-04	6.74E-04	3.33E-03	1.46E-03	3.90E-03	7.88E-03		
6	1.84E-03	6.80E-03	8.84E-03	0.01968	0.01968	0.022457	6.90E-03	6.05E-03	2.75E-03	1.08E-03	2.87E-03	0.010066	4.24E-03		
7	5.01E-03	7.35E-03	2.66E-03	0.012995	0.012995	0.05538	0.013969	0.012238	3.84E-04	8.34E-03	3.53E-04	4.21E-03	8.44E-03		
8	7.43E-04	0.029818	1.96E-03	0.018414	0.018414	0.073408	0.012113	6.56E-03	6.80E-03	0.017192	2.66E-03	3.57E-03	6.20E-03		
9	3.28E-03	9.14E-03	0.016424	4.71E-03	4.71E-03	0.019798	0.019547	3.13E-03	0.012484	4.51E-03	0.017462	0.022429	0.015363		
10	3.33E-03	1.06E-03	0.021986	4.95E-03	4.95E-03	4.84E-03	4.34E-03	3.90E-03	4.28E-03	3.46E-03	0.016235	8.84E-03	8.77E-03		
11	4.33E-03	0.011992	2.98E-03	5.23E-03	5.23E-03	0.013509	1.11E-03	1.10E-03	0.012392	3.84E-03	0.012084	1.07E-03	6.76E-03		
12	0.010997	6.97E-04	5.61E-03	7.40E-03	7.40E-03	0.015355	2.36E-04	3.21E-03	6.22E-04	6.17E-06	7.71E-03	1.15E-04	0.018905		
13	1.84E-03	0.016704	9.86E-03	9.81E-03	9.81E-03	0.018884	5.65E-03	0.017095	3.05E-03	2.88E-03	1.17E-03	8.60E-04	5.09E-03		
14	7.10E-03	0.050199	0.025354	1.00E-02	1.00E-02	8.28E-03	7.13E-03	0.027998	4.54E-03	6.16E-04	2.43E-03	4.46E-03	0.013817		
15	4.66E-04	0.039249	0.035375	6.03E-03	6.03E-03	2.28E-03	9.08E-03	0.011968	1.64E-04	4.83E-03	9.23E-04	3.71E-03	0.021495		
16	1.32E-03	1.47E-03	0.011897	0.017146	0.017146	2.47E-03	7.80E-03	2.78E-03	1.83E-03	7.37E-03	9.22E-04	7.37E-03	0.010237		
17	6.08E-03	0.034487	3.27E-03	3.43E-03	3.43E-03	3.89E-04	4.45E-03	3.15E-04	7.60E-03	3.97E-03	9.82E-04	4.43E-03	7.84E-03		
18	0.017633	0.043585	1.94E-04	4.70E-03	4.70E-03	1.92E-03	2.22E-03	8.64E-03	5.09E-03	3.09E-03	2.59E-03	6.85E-03	5.22E-03		
19	0.016325	0.011818	0.008	5.80E-03	5.80E-03	2.06E-03	1.80E-03	1.39E-03	1.76E-03	2.02E-04	0.014936	8.57E-03	3.38E-03		
20	1.39E-03	7.56E-03	1.05E-04	1.19E-03	1.19E-03	8.37E-03	1.23E-03	1.34E-03	4.40E-03	4.70E-03	4.45E-03	2.92E-03	4.21E-06		
21	0.015077	3.36E-03	2.97E-03	1.07E-04	1.07E-04	2.49E-03	2.16E-04	8.98E-03	0.01509	1.59E-03	6.19E-04	7.37E-03	1.31E-03		
22	1.77E-03	2.20E-03	1.51E-03	2.72E-04	2.72E-04	7.04E-06	2.32E-04	0.014747	0.022394	6.90E-05	8.51E-06	8.66E-03	8.27E-04		
23	5.28E-04	3.93E-03	1.50E-03	4.12E-04	4.12E-04	3.00E-05	3.20E-04	5.16E-03	0.01592	5.38E-03	1.04E-03	2.49E-03	5.82E-04		
24	3.62E-03	2.41E-03	9.99E-03	2.70E-05	2.70E-05	3.54E-04	1.09E-04	1.07E-03	4.27E-03	9.69E-04	1.83E-03	1.70E-03	8.66E-04		
25	1.57E-03	1.06E-03	0.010453	1.19E-03	1.19E-03	9.30E-04	1.06E-03	2.93E-04	1.89E-03	1.72E-04	1.25E-03	1.16E-03	4.35E-04		
26	4.86E-04	1.48E-03	5.02E-03	1.70E-03	1.70E-03	3.97E-03	4.97E-04	2.22E-03	5.75E-04	9.04E-04	2.65E-03	7.74E-04	1.45E-03		
27	2.06E-03	0.01209	2.73E-03	1.14E-03	1.14E-03	2.29E-03	2.14E-04	2.77E-03	2.05E-03	1.98E-03	6.00E-05	6.25E-04	9.19E-04		
28	9.13E-03	6.46E-03	2.78E-03	2.10E-03	2.10E-03	1.60E-03	8.70E-04	2.76E-04	1.03E-03	3.50E-04	1.09E-03	6.20E-04	1.99E-04		
29	1.30E-03	1.56E-03	2.75E-04	2.74E-03	2.74E-03	1.42E-03	1.96E-03	9.40E-04	1.63E-03	2.80E-04	7.02E-04	3.88E-04	1.60E-04		
30	1.57E-03	2.08E-04	4.40E-04	5.78E-04	5.78E-04	2.60E-05	1.41E-03	6.56E-04	2.08E-03	9.21E-04	5.02E-04	1.85E-04	4.34E-04		
31	1.92E-03	6.70E-04	3.85E-03	1.54E-03	1.54E-03	1.47E-04	9.07E-04	9.36E-04	1.12E-03	1.90E-05	6.37E-04	1.35E-04	5.12E-04		
32	6.05E-03	4.55E-04	4.77E-03	1.39E-04	1.39E-04	1.52E-04	3.53E-04	2.08E-03	7.69E-04	5.44E-04	1.34E-04	1.62E-04	8.90E-05		
33	6.63E-03	2.41E-03	1.61E-03	7.75E-04	7.75E-04	6.20E-05	6.36E-04	2.25E-03	8.66E-04	6.17E-04	2.65E-04	1.87E-04	2.40E-05		
34	7.45E-04	1.01E-03	2.36E-04	6.22E-04	6.22E-04	1.80E-05	3.28E-04	4.88E-04	1.20E-04	1.45E-03	2.95E-04	2.20E-05	3.44E-04		
35	1.43E-03	1.88E-04	4.97E-04	1.78E-03	1.78E-03	1.72E-06	3.90E-05	3.30E-04	8.77E-04	9.57E-04	1.28E-04	2.20E-05	1.46E-03		
36	2.84E-03	1.26E-03	2.03E-04	4.48E-04	4.48E-04	1.25E-04	1.10E-05	1.01E-03	6.55E-04	6.52E-04	3.17E-06	4.13E-04	1.25E-03		
37	2.62E-03	1.86E-03	3.80E-05	1.05E-03	1.05E-03	4.06E-04	6.30E-05	8.41E-04	1.67E-04	1.38E-03	3.40E-04	1.00E-04	2.82E-04		
38	1.02E-03	5.10E-04	2.93E-04	4.00E-04	4.00E-04	8.00E-05	8.50E-05	1.63E-04	4.22E-04	7.80E-05	1.00E-03	1.26E-04	2.03E-04		
39	1.26E-03	1.86E-03	6.19E-04	1.00E-04	1.00E-04	2.43E-04	5.30E-05	6.28E-04	2.04E-03	2.60E-05	3.57E-04	6.93E-04	7.60E-05		
40	1.33E-04	1.56E-03	1.80E-03	8.20E-05	8.20E-05	3.90E-05	4.42E-06	2.62E-04	1.48E-03	2.59E-04	1.60E-04	2.69E-04	2.24E-04		
41	4.45E-04	1.02E-03	1.80E-04	5.40E-05	5.40E-05	2.94E-04	1.80E-04	3.20E-05	1.90E-05	5.93E-04	1.33E-04	1.25E-04	2.96E-04		
42	1.59E-04	1.58E-03	2.28E-04	6.98E-04	6.98E-04	3.38E-06	5.30E-04	6.38E-04	3.69E-04	2.34E-04	5.00E-06	1.19E-04	5.30E-05		



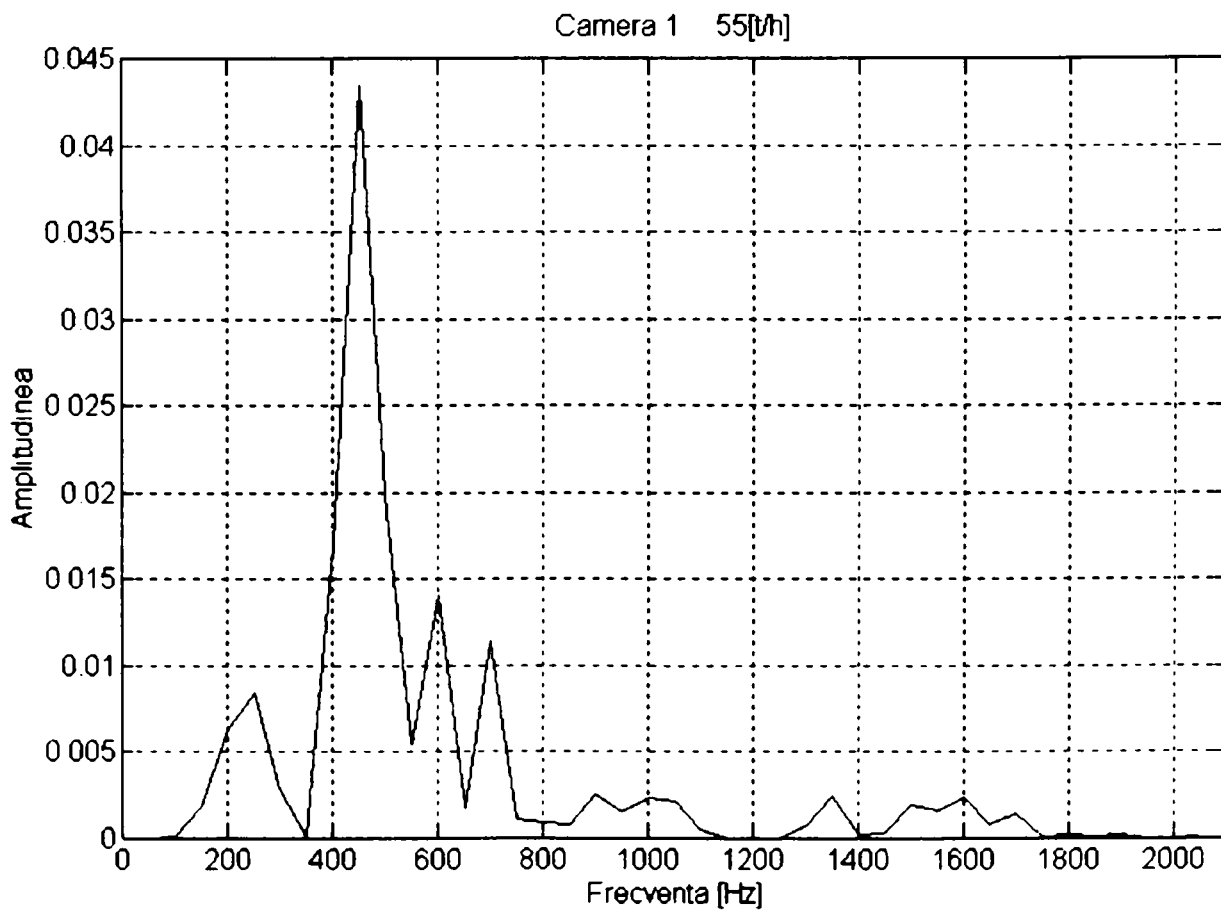
**Fig.4.12**



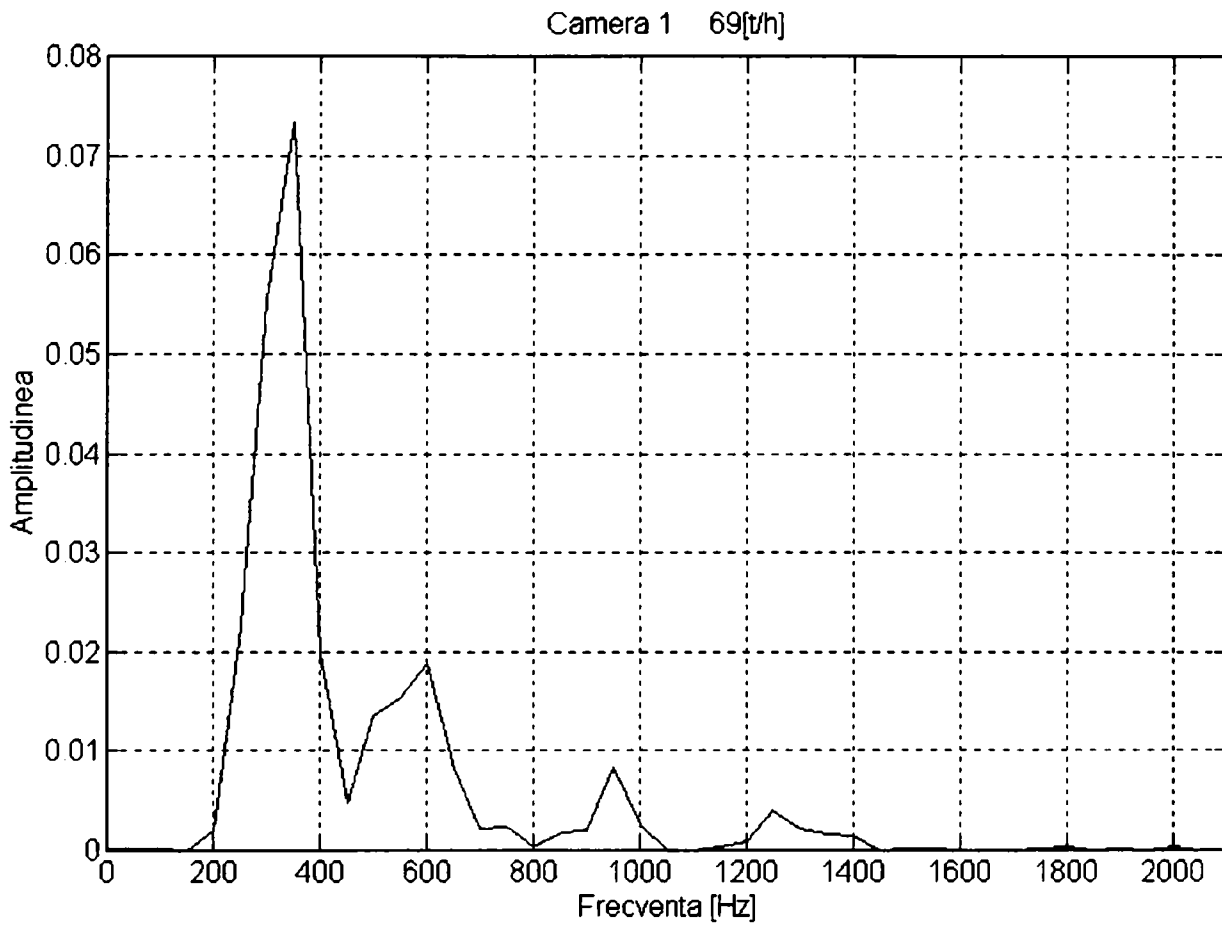
**Fig.4.13**



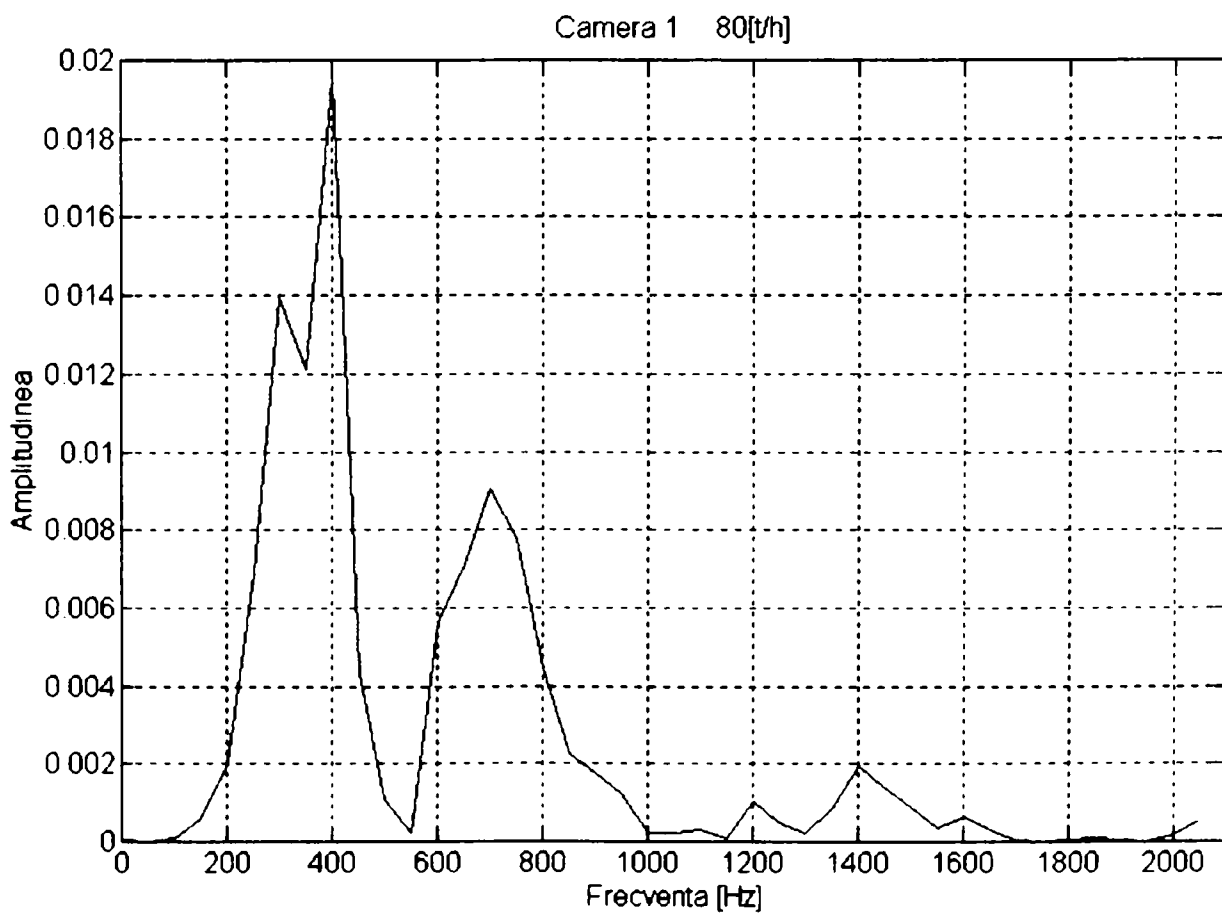
**Fig.4.14**



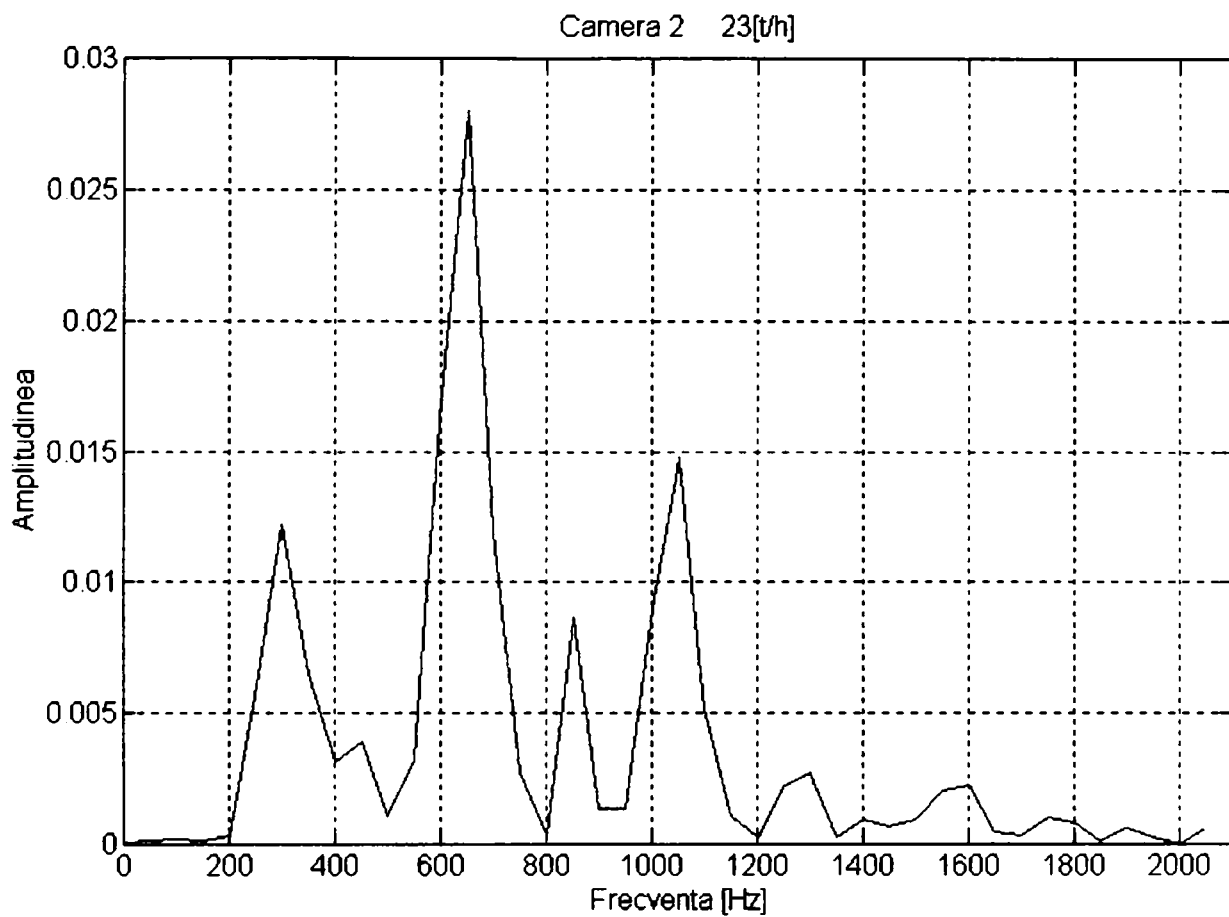
**Fig.4.15**



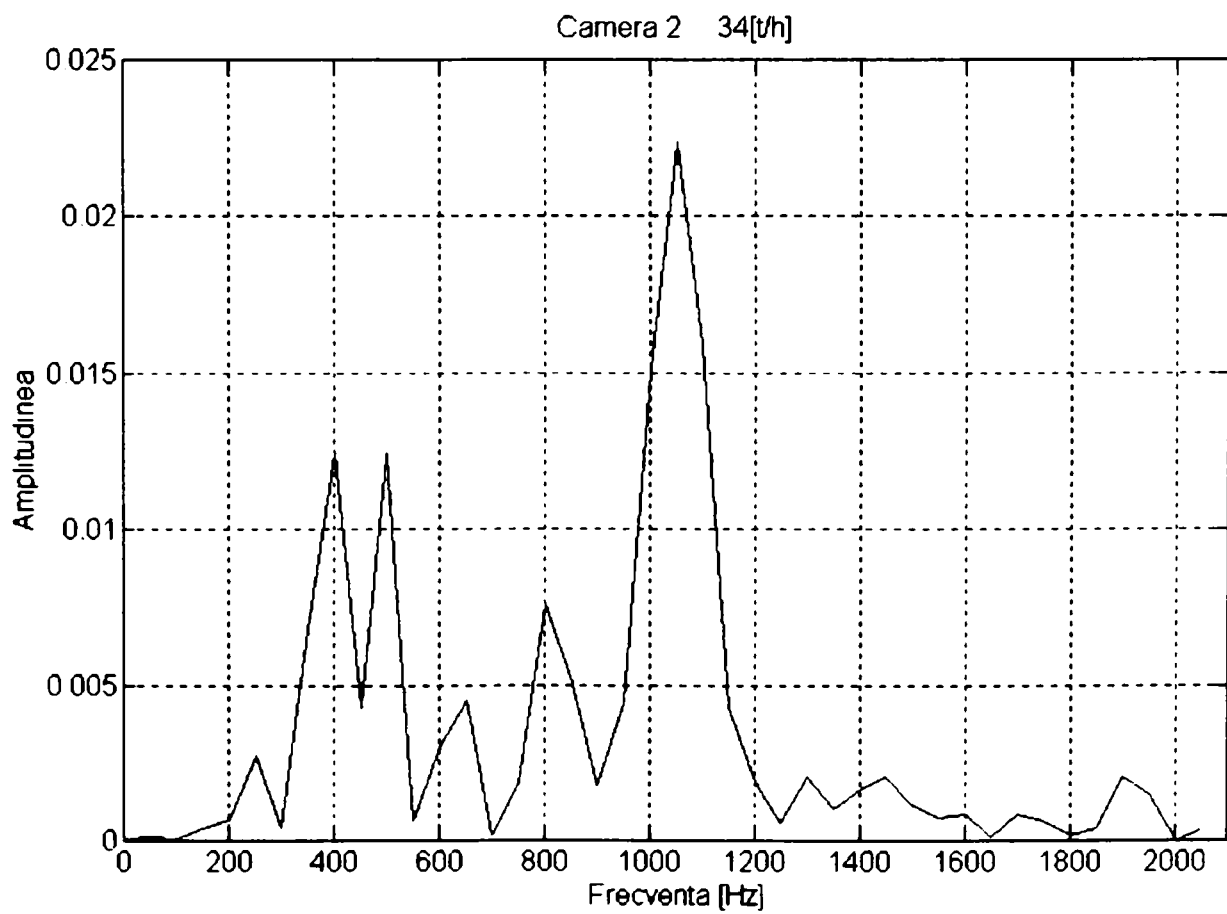
**Fig.4.16**



**Fig.4.17**

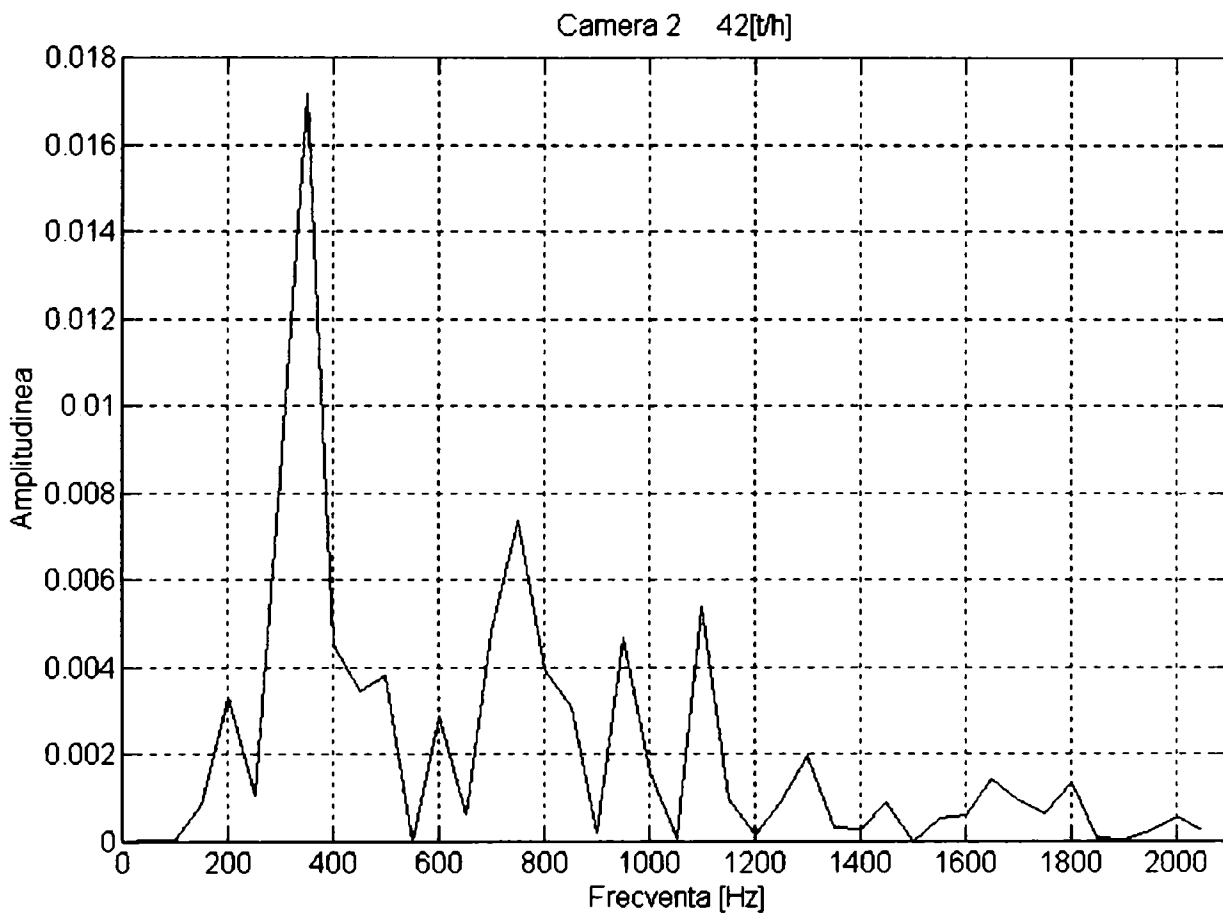


**Fig.4.18**

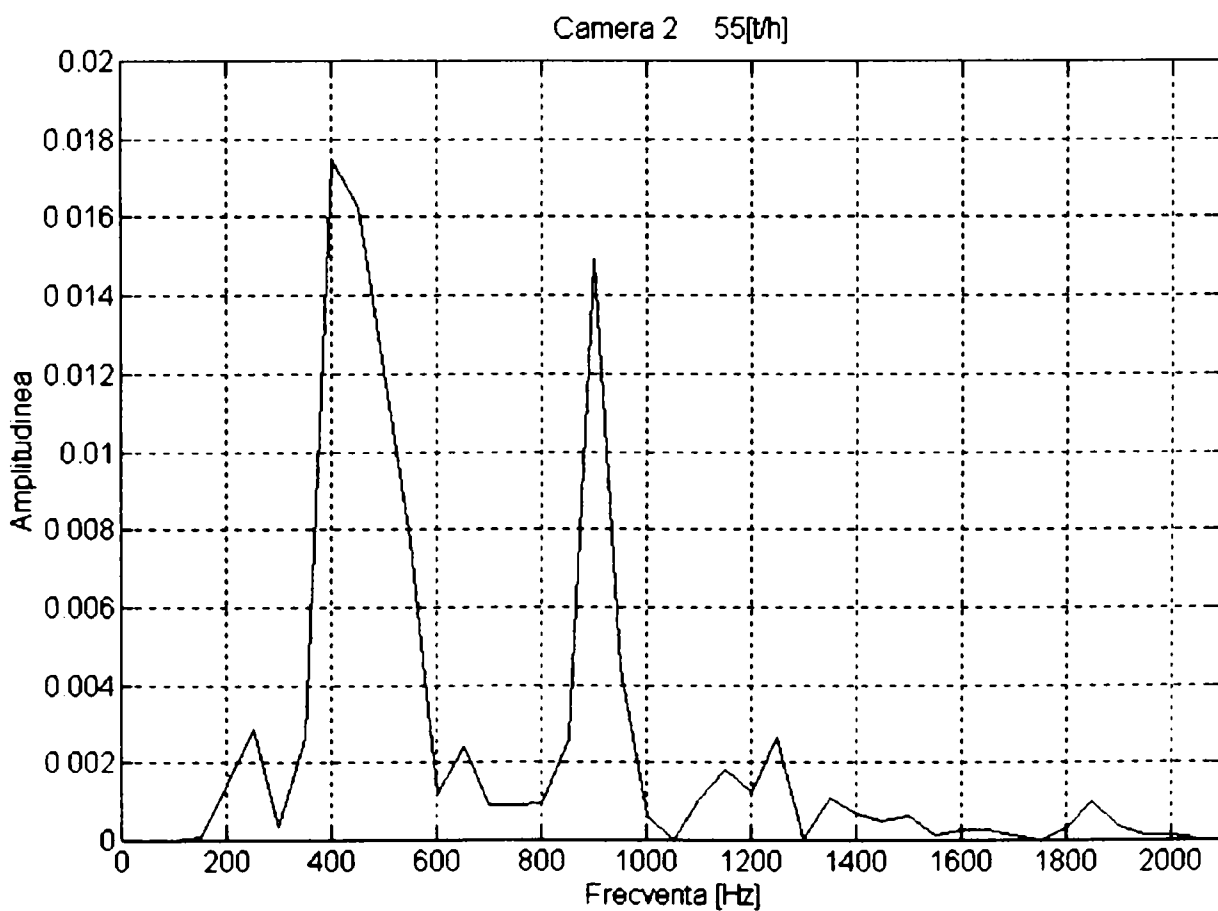


**Fig.4.19**

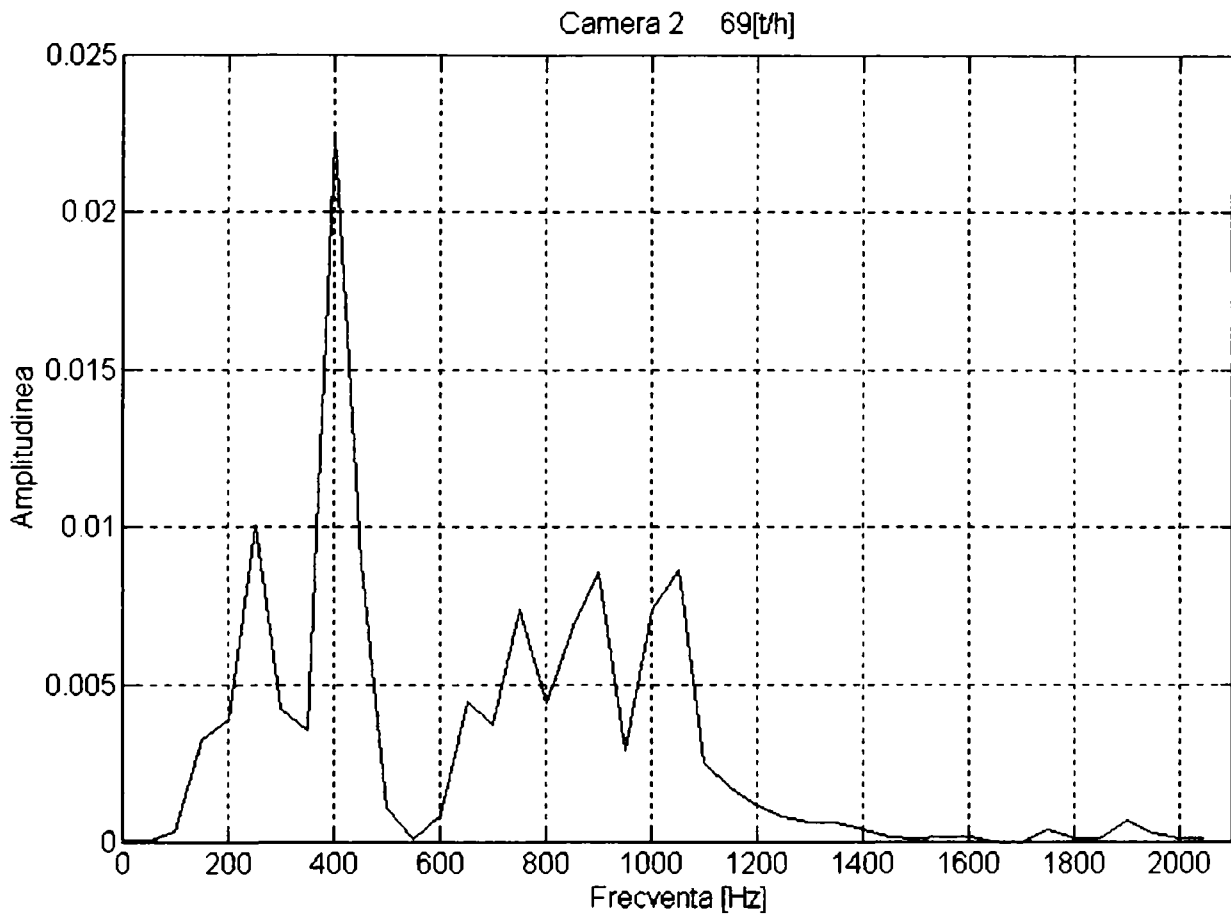




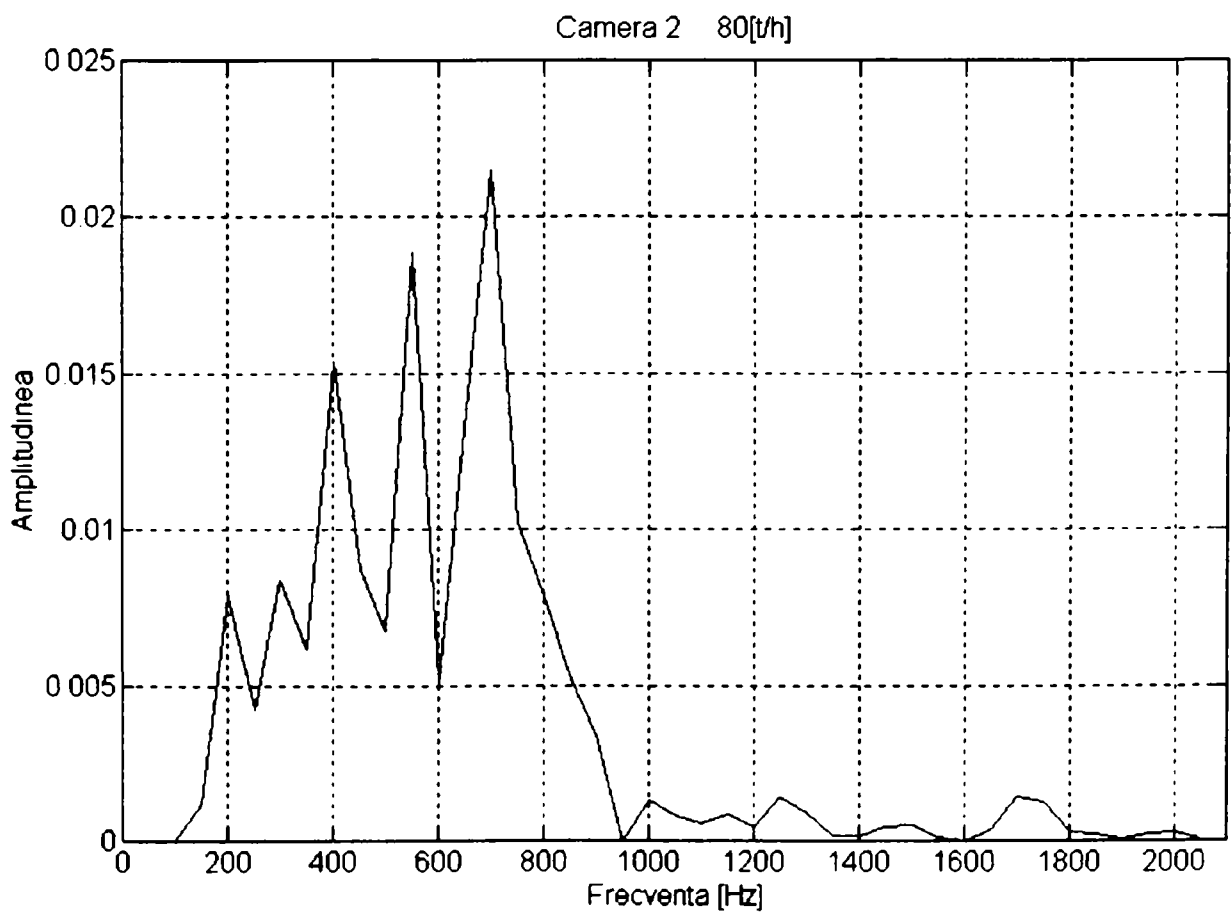
**Fig.4.20**



**Fig.4.21**



**Fig.4.22**



**Fig.4.23**

Printr-un program de scanare s-a reușit identificarea unor frecvențe care conțin o informație precisă despre gradul de încărcare a morii, și anume:

### Camera 1

La 390 [Hz] amplitudinea crește cu încărcarea morii după ecuația:

$$y_1 = -2,1707 \cdot 10^{-6} x^2 + 3,7467 \cdot 10^{-4} x + 3,0825 \cdot 10^{-3} . \quad (4.89)$$

La 878 [Hz] amplitudinea scade cu încărcarea după ecuația

$$y_2 = 1,9641 \cdot 10^{-6} x^2 - 3,5498 \cdot 10^{-4} x + 1,7053 \cdot 10^{-2} . \quad (4.90)$$

S-a conceput o nouă funcție:

$$y = \frac{y_1 + \frac{51 \cdot 10^{-6}}{y_2}}{2} , \quad (4.91)$$

$$y = 3,2354 \cdot 10^{-6} x^2 + 4,7154 \cdot 10^{-5} x + 4,3369 \cdot 10^{-3} . \quad (4.92)$$

Această funcție stabilește legătura între amplitudine și încărcarea morii (în [t/h]), dar s-a considerat mai utilă în practică funcția încărcare = f(amplitudine), pentru aceasta rezultând:

$$\text{la } 390 \text{ [Hz]} \quad y_{p1} = 9,2752 \cdot 10^4 x^2 + 2,1123 \cdot 10^3 x - 6,4423 , \quad (4.93)$$

$$\text{la } 878 \text{ [Hz]} \quad y_{p2} = 1,2746 \cdot 10^5 x^2 - 6,8032 \cdot 10^3 x + 79,35 , \quad (4.94)$$

care, combinate după algoritmul:

$$y_p = \frac{61,6 - y_{p2} + y_{p1}}{2} \quad (4.95)$$

dau ecuația:

$$y_p = -1,7355 \cdot 10^4 x^2 + 4,4578 \cdot 10^3 x - 12,099 . \quad (4.96)$$

### Camera 2

Ca și la camera 1, au fost identificate două frecvențe care nu sunt influențate decât de gradul de umplere a morii și nu sunt sensibile la alte perturbații. Acestea sunt 195 [Hz] și 927 [Hz]. Prin interpolare s-au găsit dependențele amplitudine - încărcare:

$$\text{la } 195 \text{ [Hz]: } \quad y_1 = 2,27 \cdot 10^{-6} x^2 - 1,228 \cdot 10^{-4} x + 2,457 \cdot 10^{-6} , \quad (4.97)$$

$$\text{la } 927 \text{ [Hz]: } \quad y_2 = -1,6 \cdot 10^{-6} x^2 + 8,096 \cdot 10^{-5} x + 4,2887 \cdot 10^{-3} . \quad (4.98)$$

Acestea au fost corelate, pentru a crește precizia analizei după relația:

$$y = \frac{y_1 + \frac{4,16 \cdot 10^{-6}}{y_2}}{2} , \quad (4.99)$$

$$y = 2,5643 \cdot 10^{-6} x^2 - 1,8026 \cdot 10^{-4} x + 3,9268 \cdot 10^{-3} \quad (4.100)$$

S-a considerat mai utilă dependența încărcarea funcție de amplitudine, rezultând:

$$\text{la } 195 \text{ [Hz]: } \quad y_{p1} = -5,6222 \cdot 10^5 x^2 + 1,1203 \cdot 10^4 x + 2,6231 \cdot 10^1 , \quad (4.101)$$

$$\text{la } 927 \text{ [Hz]: } y_{p2} = -1,5952 \cdot 10^6 x^2 - 8,9818 \cdot 10^2 x + 80,74 . \quad (4.102)$$

Corelarea s-a făcut după relația:

$$y_p = \frac{y_{p1} + 107 - y_{p2}}{2} . \quad (4.103)$$

Deci:

$$y_p = 5,165 \cdot 10^5 x^2 + 6,0508 \cdot 10^3 x + 26,246 . \quad (4.104)$$

Relațiile (4.96) și (4.104) reprezintă o legătură foarte exactă între încărcarea morii și amplitudinea celor două frecvențe permițând cunoașterea exactă, în orice moment, a acestui parametru.

Prelucrarea datelor măsurate, în vederea obținerii funcțiilor prezentate anterior, a fost efectuată în mediul Matlab cu ajutorul următoarelor programe:

*Program pentru determinarea funcțiilor polinomiale  $y_1$ ,  $y_2$  și  $y$   
camera 1, 390 și 878 Hz*

```

clc
clg
load h:\matlab\dateasci\d1.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\d2.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\d3.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\d4.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\d5.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\d6.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\d7.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\e1.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\e2.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\e3.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\e4.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\e5.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\e6.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\e7.m -ascii;
d=[d1,d2,d3,d4,d5,d6,d7];
e=[e1,e2,e3,e4,e5,e6,e7];
v=[0,23,34,42,55,69,80];
xn=0:1:80;
bar(v,e(4,:));grid,axis([0 90 0 0.025]); title('390 [Hz]');
xlabel('Incarcarea [t/h]'); ylabel('Amplitudinea');
pause

clg
stem(v,e(4,:)); grid; axis([0 90 0 0.025]); hold; title('390 [Hz]');
xlabel('Incarcarea [t/h]'); ylabel('Amplitudinea');
x=v;
y=e(4,:);
disp('=====')
disp('Funcția pt. frecv. 390 [Hz]')
c1=polyfit(x,y,2)
y1=polyval(c1,xn);
plot(xn,y1);hold;
pause

bar(v,d(7,:));grid,axis([0 90 0 0.02]);
title('878 [Hz]');
xlabel('Incarcarea [t/h]'); ylabel('Amplitudinea');
pause;

```

```

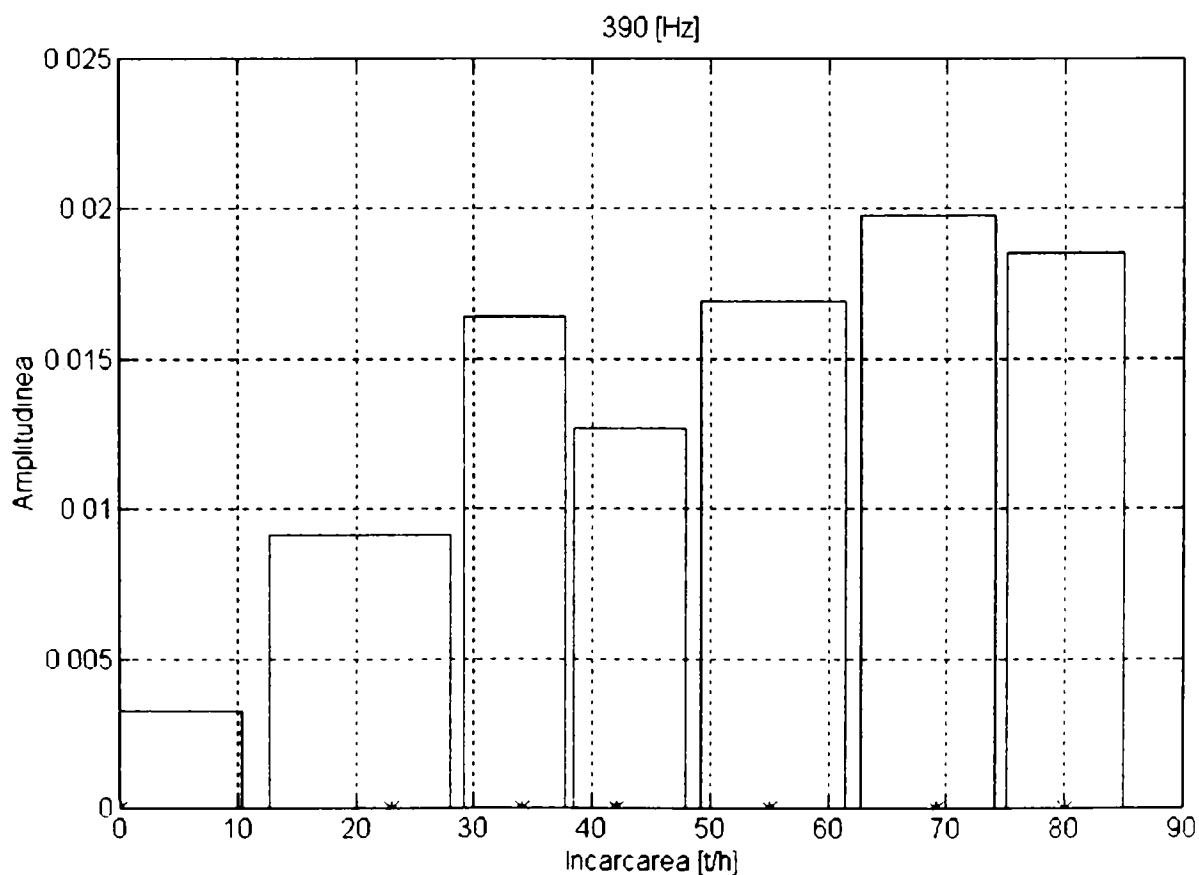
clg
stem(v,d(7,:)); grid; axis([0 90 0 0.02]);
hold; title('878 [Hz]');
xlabel('Incarcarea [t/h]'); ylabel('Amplitudinea');
x=v; y=d(7,:);
disp('=====')
disp('Functia pt. frecv. 878 [Hz]')
c2=polyfit(x,y,2)
y2=polyval(c2,xn);
plot(xn,y2);hold;
pause

y3=0.000051./y2;
y=abs((y1+y3)./2);
plot(xn,y1,xn,y2); grid; axis([0 90 0 0.025]); title('390 [Hz] + 878 [Hz]');
xlabel('Incarcarea [t/h]'); ylabel('Amplitudinea');
pause

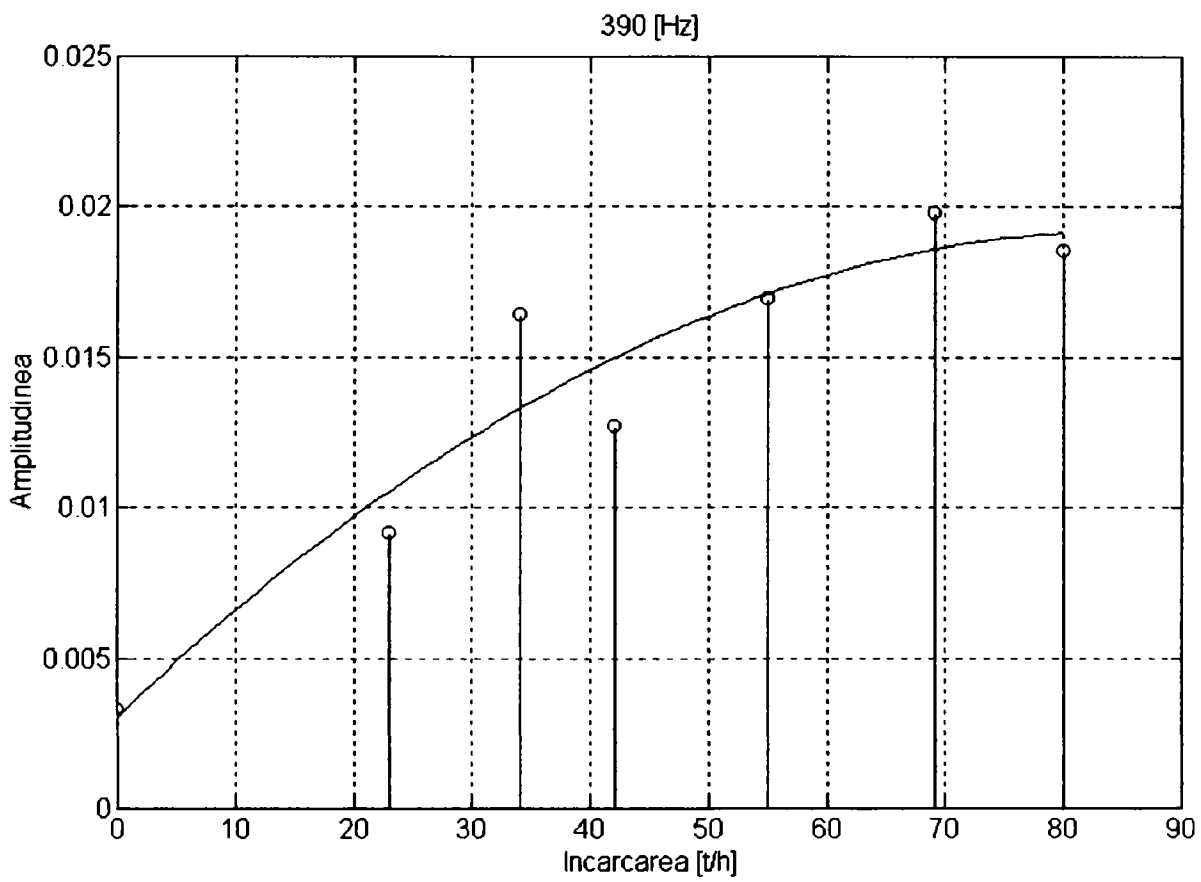
plot(xn,y1,xn,y3,xn,y); grid; axis([0 80 0 0.045]); title('390 [Hz] + 878 [Hz]');
xlabel('Incarcarea [t/h]'); ylabel('Amplitudinea');
disp('=====')
disp('Functia finala pt. frecv. 390 [Hz] + 878 [Hz]')
c=polyfit(xn,y,2)

```

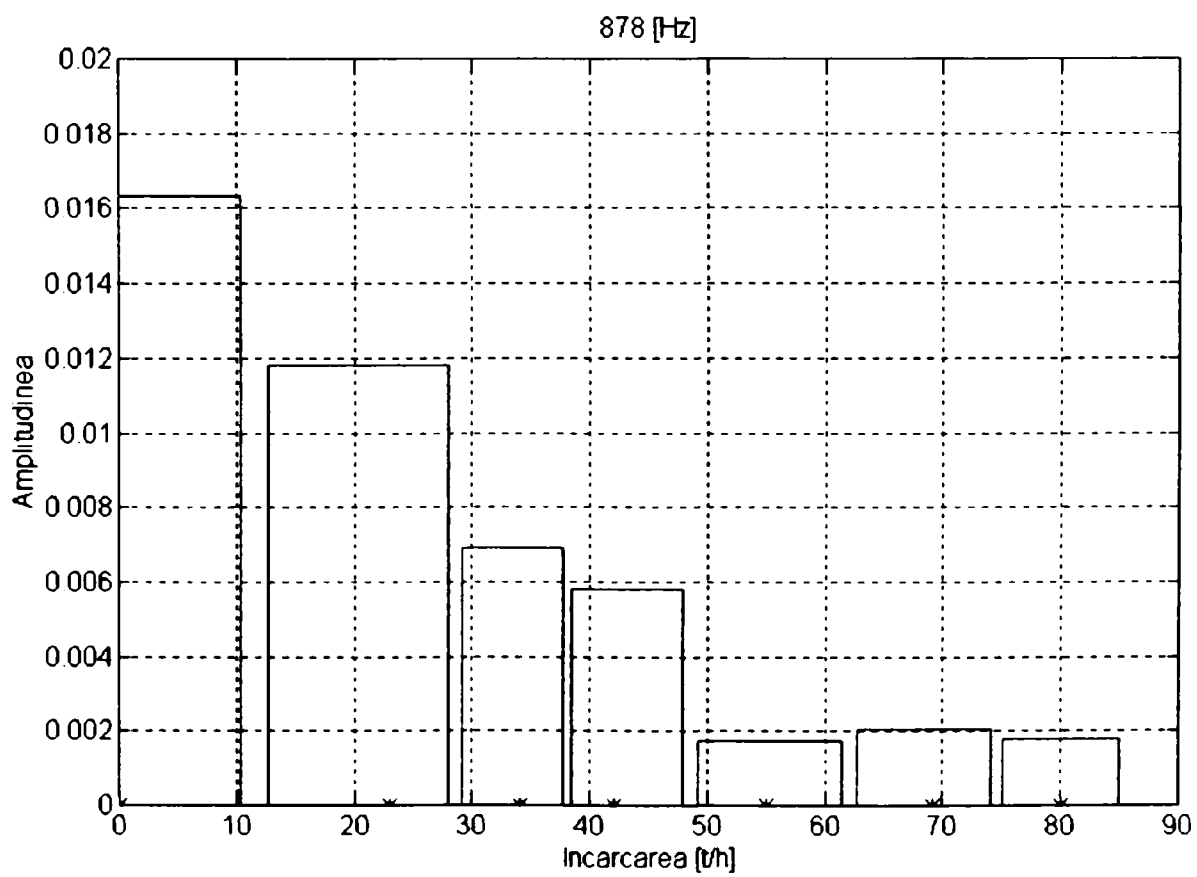
Reprezentarea grafică a curbelor și funcțiilor obținute cu acest program este dată în figurile 4.24 ÷ 4.30.



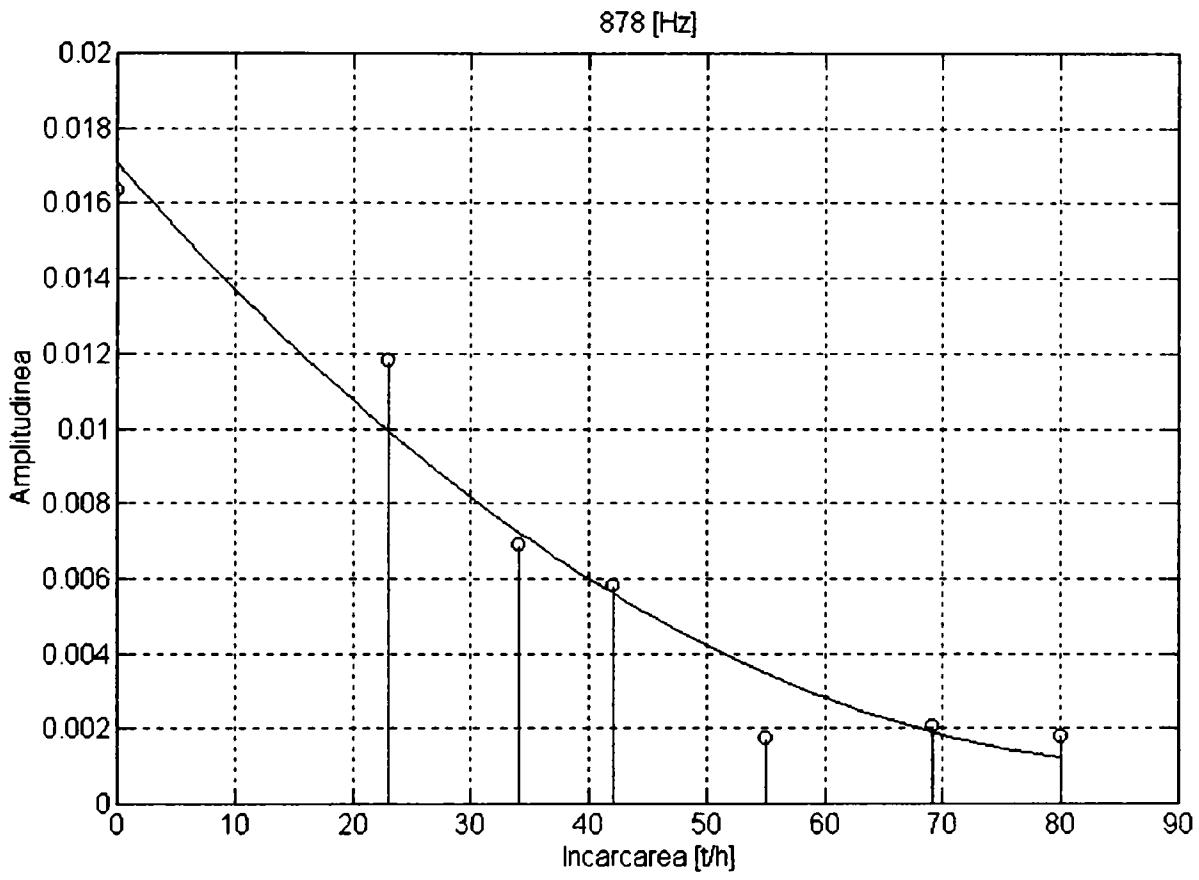
**Fig.4.24**



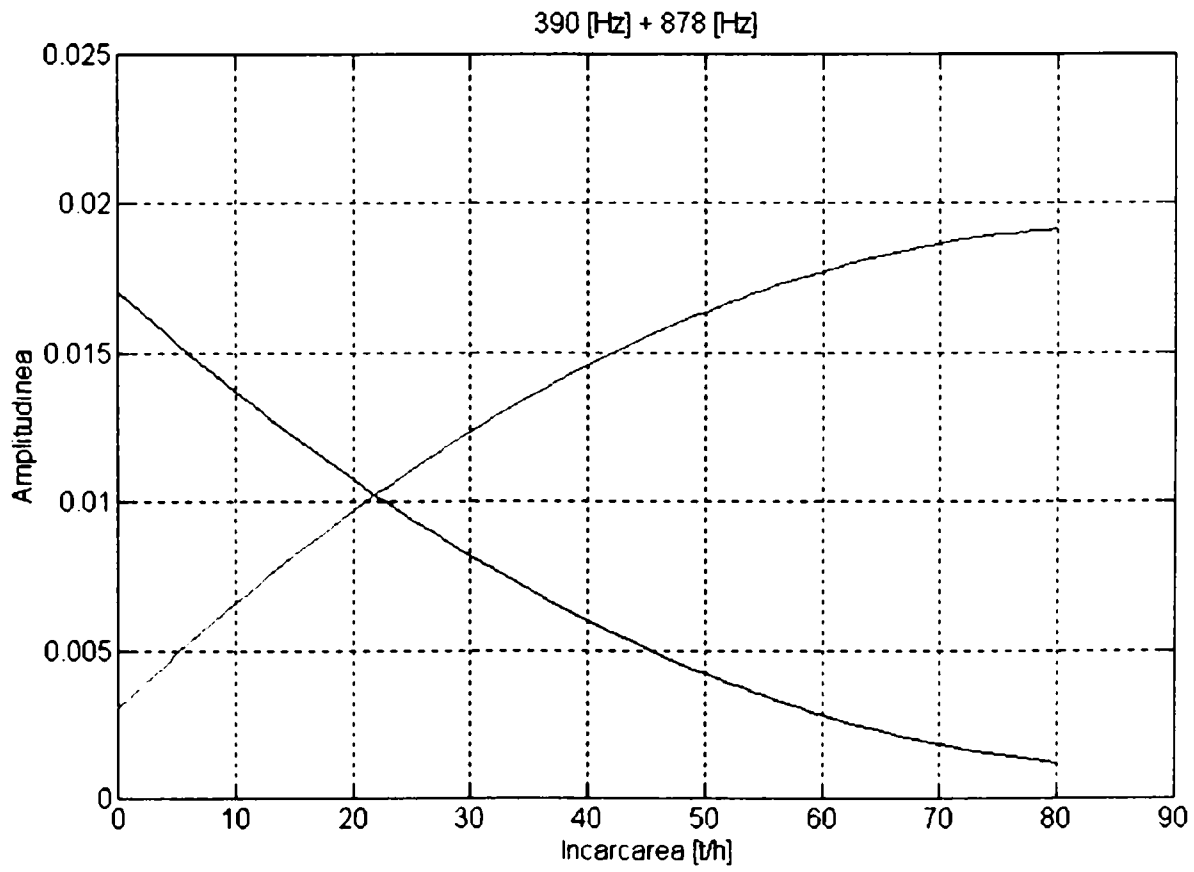
**Fig.4.25**



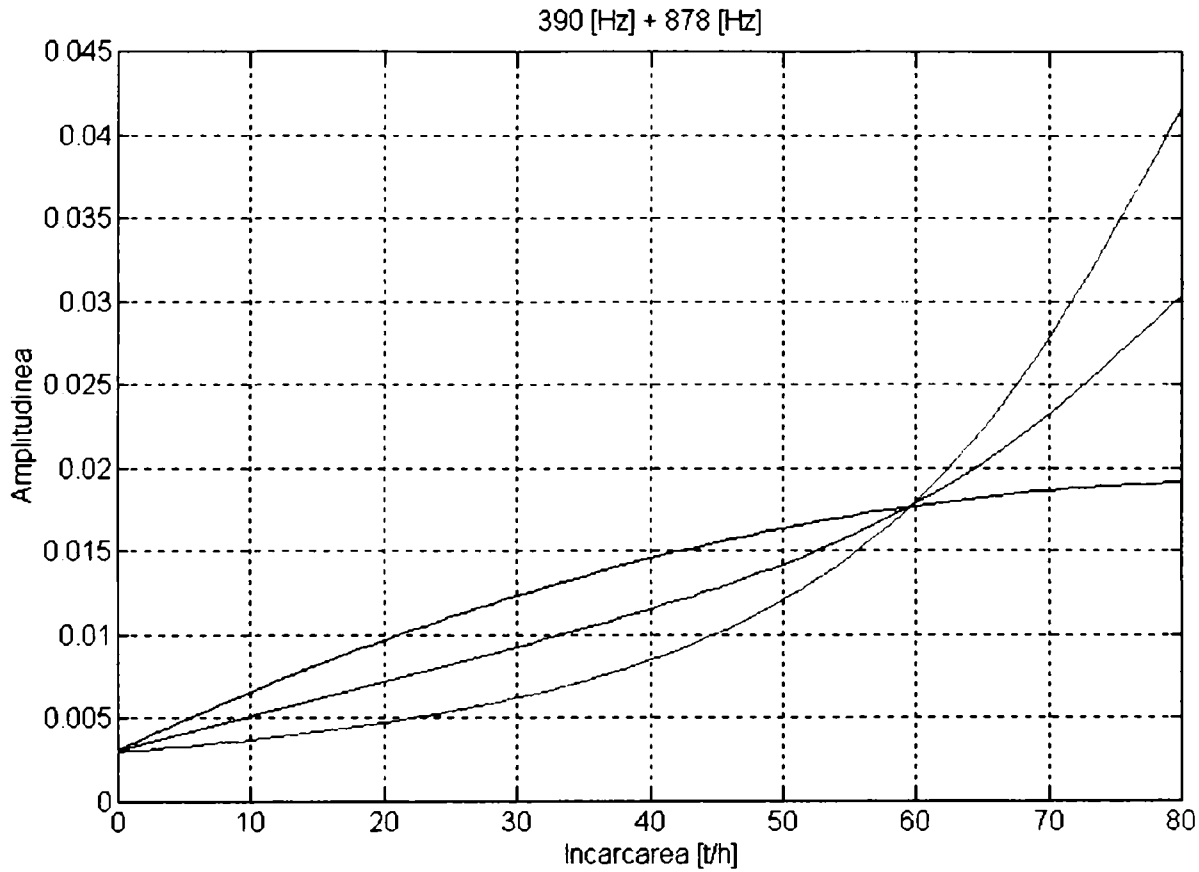
**Fig.4.26**



**Fig.4.27**



**Fig.4.28**



**Fig.4.29**

```

Current plot held
=====
Functia pt. frecv. 390 [Hz]

c1 =
    -2.1707e-006  3.7467e-004  3.0825e-003

Current plot released
Current plot held
=====
Functia pt. frecv. 878 [Hz]

c2 =
    1.9641e-006 -3.5498e-004  1.7053e-002

Current plot released
=====
Functia finala pt. frecv. 390 [Hz] + 878 [Hz]

c =
    3.2354e-006  4.7154e-005  4.3369e-003

```

**Fig.4.30** Listingul coeficienților funcțiilor polinomiale  $y_1$ ,  $y_2$  și  $y$   
- camera 1 a morii de ciment



*Program pentru determinarea funcțiilor polinomiale  $y_{p1}$ ,  $y_{p2}$  și  $y_p$   
camera 1, 390 și 878 Hz*

```

clc
clg
load h:\matlab\dateasci\d1.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\d2.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\d3.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\d4.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\d5.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\d6.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\d7.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\e1.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\e2.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\e3.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\e4.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\e5.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\e6.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\e7.m -ascii;
d=[d1,d2,d3,d4,d5,d6,d7];
e=[e1,e2,e3,e4,e5,e6,e7];
v=[0,23,34,42,55,69,80];

stem(e(4,:),v); grid; axis([0 max(e(4,:))+0.001 0 90]); hold; title('390 [Hz]');
ylabel('Incarcarea [t/h]'); xlabel('Amplitudinea');
xn2=min(e(4,:)):0.001:max(e(4,:));
disp('=====')
disp('Funcția pt. frecv. 390 [Hz]')
cp1=polyfit(e(4,:),v,2)
yp1=polyval(cp1,xn2);
plot(xn2,yp1);hold
pause

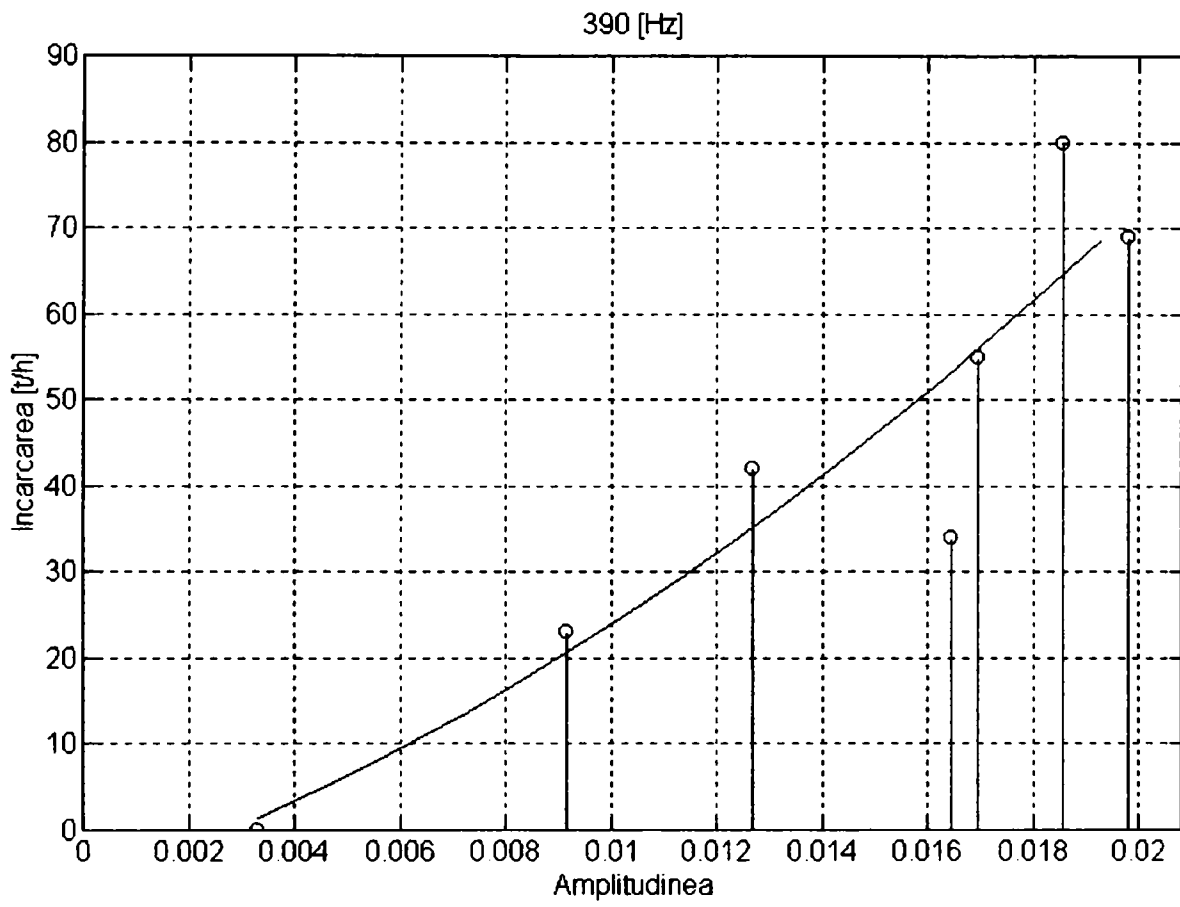
stem(d(7,:),v);grid;axis([0 max(d(7,:))+0.001 0 90]);hold; title('878 [Hz]');
ylabel('Incarcarea [t/h]'); xlabel('Amplitudinea');
xn1=min(d(7,:)):0.001:max(d(7,:));
disp('=====')
disp('Funcția pt. frecv. 878 [Hz]')
cp2=polyfit(d(7,:),v,2)
yp2=polyval(cp2,xn1);
plot(xn1,yp2);hold
pause

xi=0.00275:0.0002:0.0177;
yp11=polyval(cp1,xi);
yp22=polyval(cp2,xi);
y3=61.6-yp22;
yp=abs((yp11+y3)/2);
plot(xi,yp11,xi,yp22);grid;axis([0 0.02 0 80]); title('390 [Hz] + 878 [Hz]');
ylabel('Incarcarea [t/h]'); xlabel('Amplitudinea');
pause

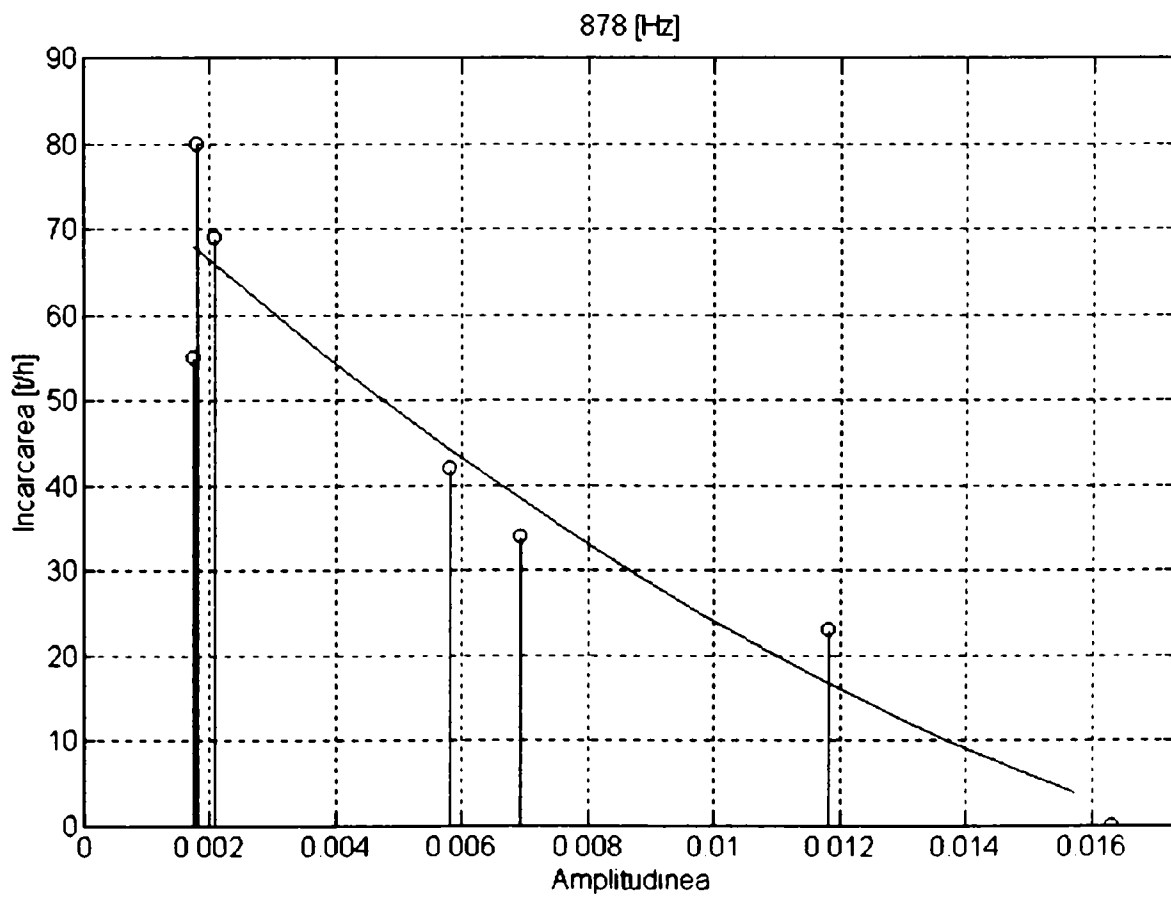
plot(xi,yp11,xi,y3,xi,yp);grid;axis([0 0.02 0 80]); title('390 [Hz] + 878 [Hz]');
ylabel('Incarcarea [t/h]'); xlabel('Amplitudinea');
disp('=====')
disp('Funcția finală pt. frecv. 390 [Hz] + 878 [Hz]')
cp=polyfit(xi,yp,2)

```

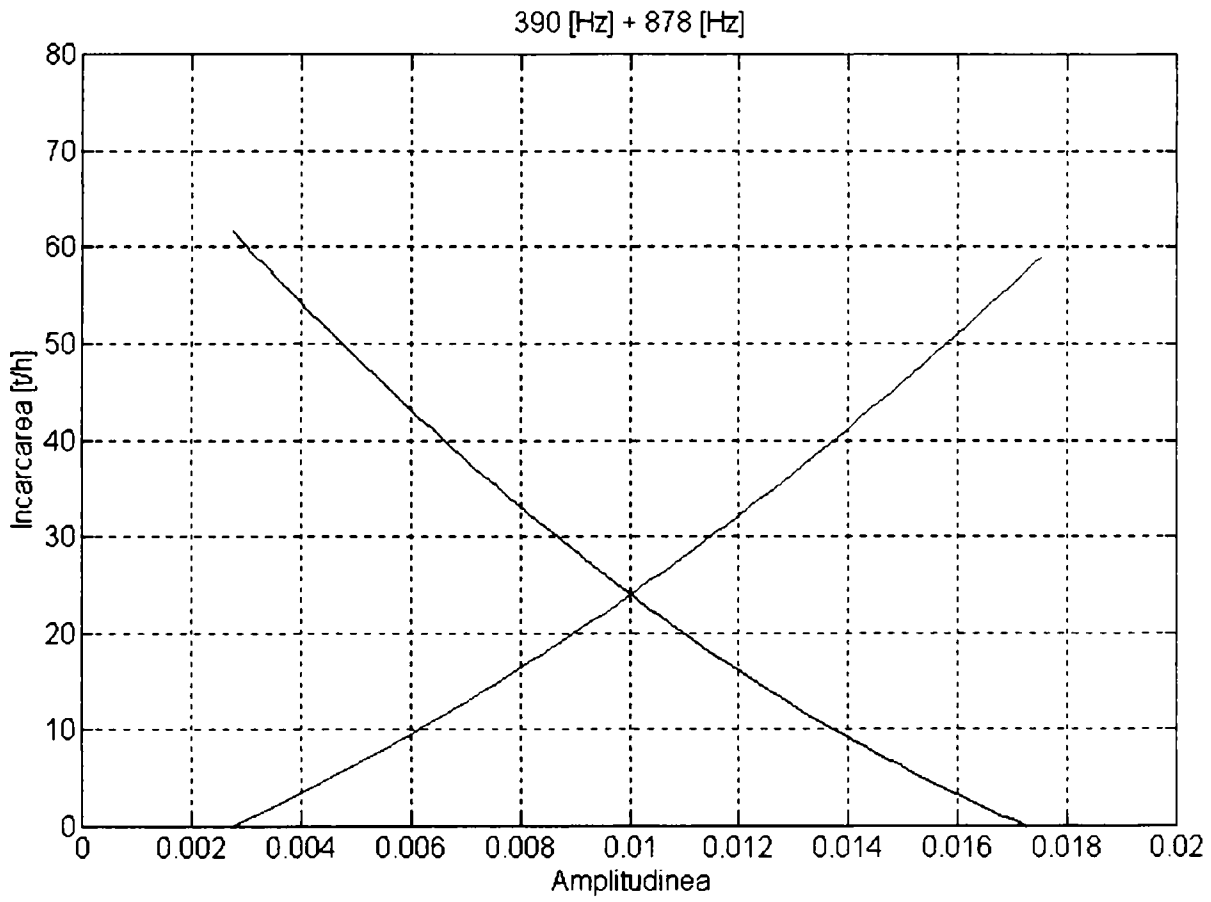
Reprezentarea grafică a curbelor și funcțiilor obținute cu acest program este dată în figurile 4.31 ÷ 4.35.



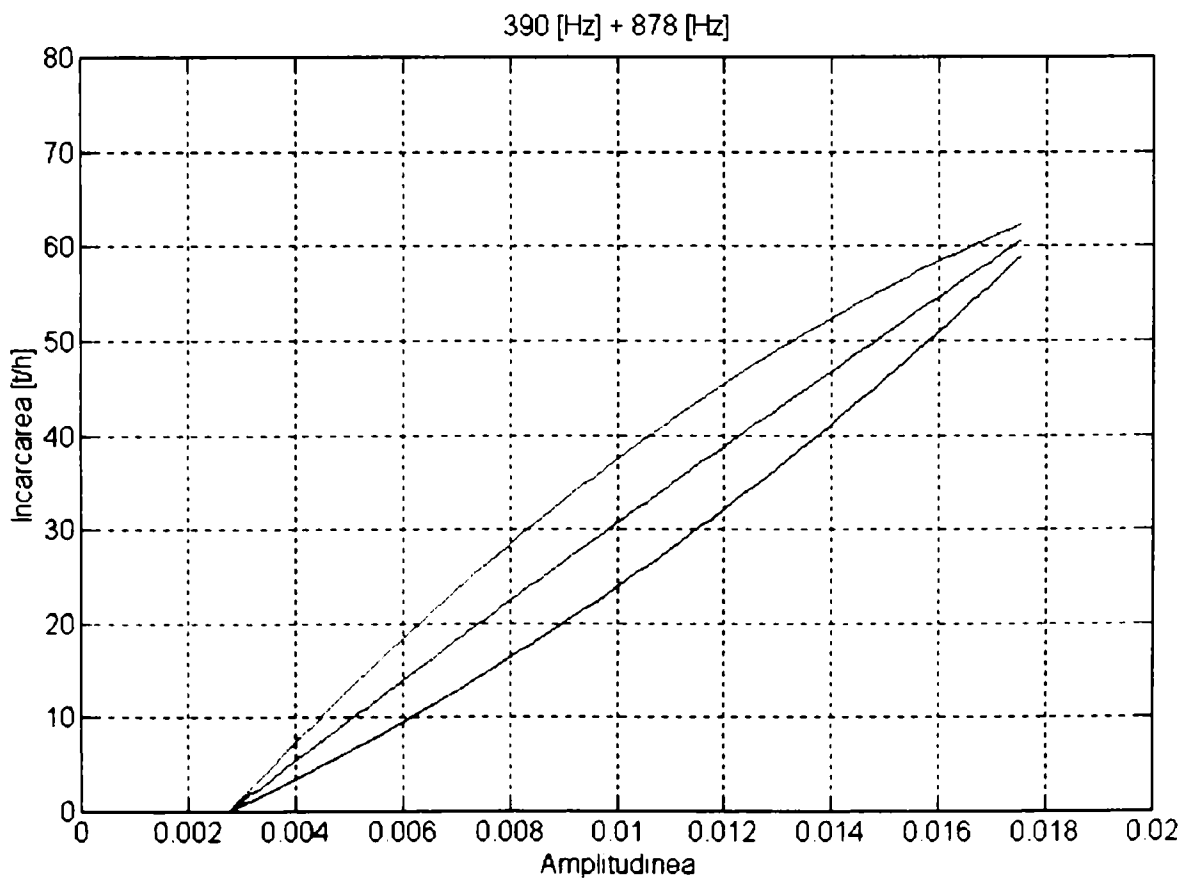
**Fig.4.31**



**Fig.4.32**



**Fig.4.33**



**Fig.4.34**

```

Current plot held
=====
Functia pt. frecv. 390 [Hz]

cp1 =
    9.2752e+004  2.1123e+003 -6.4423e+000

Current plot released
Current plot held
=====
Functia pt. frecv. 878 [Hz]

cp2 =
    1.2746e+005 -6.8032e+003  7.9355e+001

Current plot released
=====
Functia finala pt. frecv. 390 [Hz] + 878 [Hz]

cp =
   -1.7355e+004  4.4578e+003 -1.2099e+001

```

**Fig.4.35** Listingul coeficienților funcțiilor polinomiale  $y_{p1}$ ,  $y_{p2}$  și  $y_p$   
- camera 1 a morii de ciment

*Program pentru determinarea funcțiilor polinomiale  $y_1$ ,  $y_2$  și  $y$   
camera 2, 195 și 927 Hz*

```

clc
clg
load h:\matlab\dateasci\f1.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\f2.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\f3.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\f4.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\f5.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\f6.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\f7.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\f8.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\f9.m -ascii;
f=[f1,f2,f3,f4,f7,f8];v=[80,69,55,42,34,23];
bar(v,f(1,:));grid,axis([20 90 0 0.009]);title('195 [Hz]');
xlabel('Incarcarea [t/h]');ylabel('Amplitudinea');
pause;

clg
stem(v,f(1,:));grid,axis([20 90 0 0.009]);hold,title('195 [Hz]');
xlabel('Incarcarea [t/h]');ylabel('Amplitudinea');
xn=23:1:80;
x=v;
y=f(1,:);
disp('=====')
disp('Functia pt. frecv. 195 [Hz]')
c1=polyfit(x,y,2)
y1=polyval(c1,xn);
plot(xn,y1);hold;
pause;

f=[f1,f2,f3,f5,f6,f9];
bar(v,f(16,:));grid,axis([20 90 0 0.007]);title('927 [Hz]');

```

```

xlabel('Incarcarea [t/h]');ylabel('Amplitudinea');
pause;

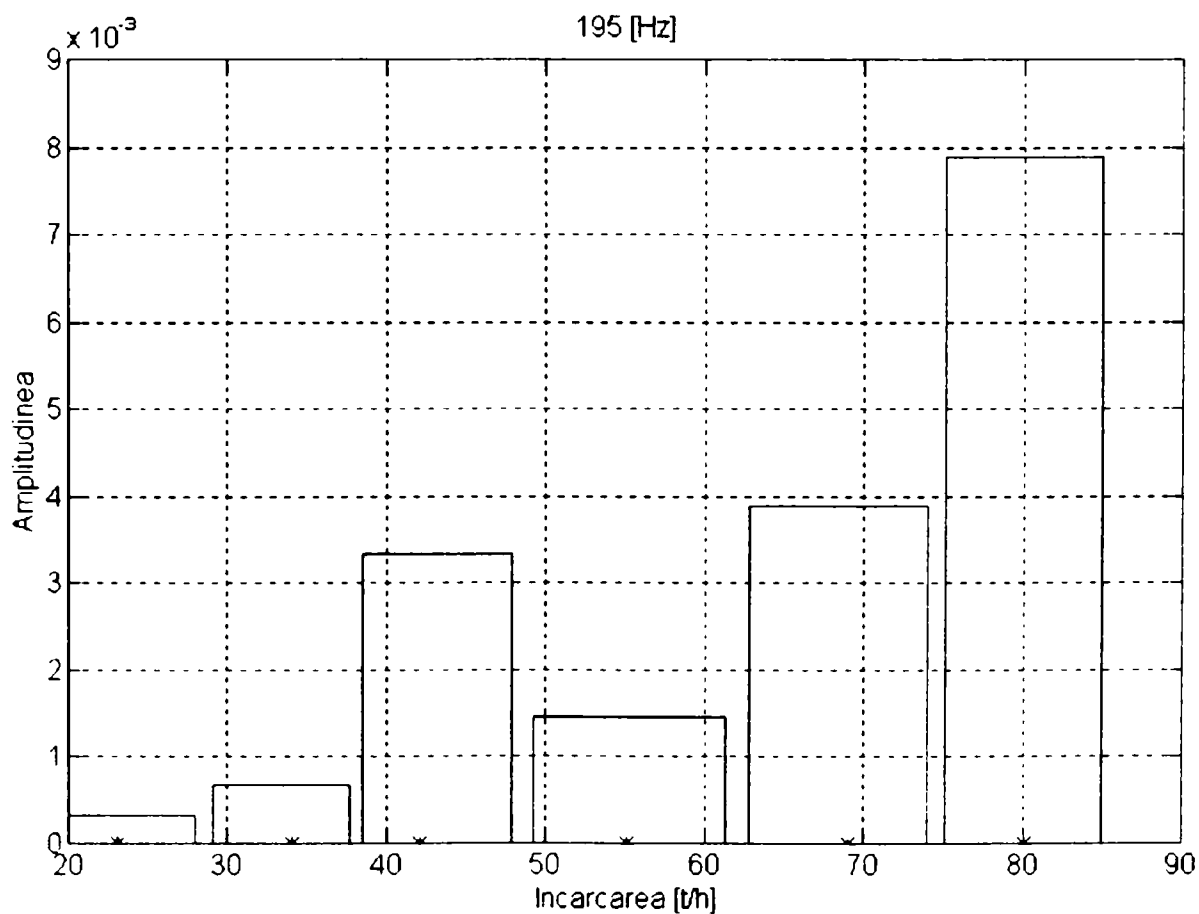
clg
stem(v,f(16,:));grid,axis([20 90 0 0.007]);hold,title('927 [Hz]');
xlabel('Incarcarea [t/h]');ylabel('Amplitudinea');
%xn=23:1:80;
x=v;
y=f(16,:);
disp('=====')
disp('Functia pt. frecv. 927 [Hz]')
c2=polyfit(x,y,2)
y2=polyval(c2,xn);
plot(xn,y2);hold;
pause;

y3= 0.00000416./y2;
y=abs((y1+y3)./2);
plot(xn,y1,xn,y2);grid,axis([20 90 0 0.008]);title('195 [Hz] + 927 [Hz]');
xlabel('Incarcarea [t/h]');ylabel('Amplitudinea');
pause;

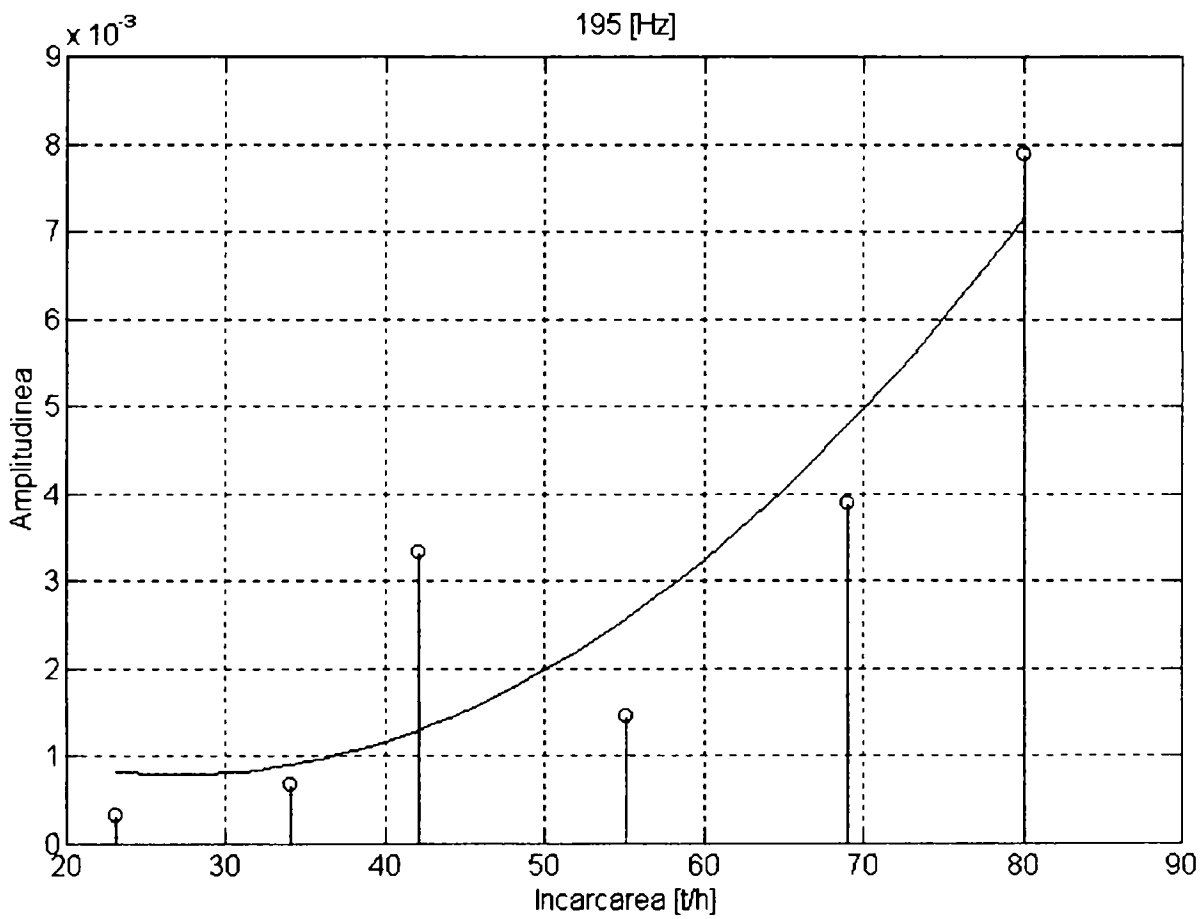
plot(xn,y1,xn,y3,xn,y);grid,axis([20 90 0 0.01]);title('195 [Hz] + 927 [Hz]');
xlabel('Incarcarea [t/h]');ylabel('Amplitudinea');
disp('=====')
disp('Functia finala pt. frecv. 195 [Hz] + 927 [Hz]')
c=polyfit(xn,y,2)

```

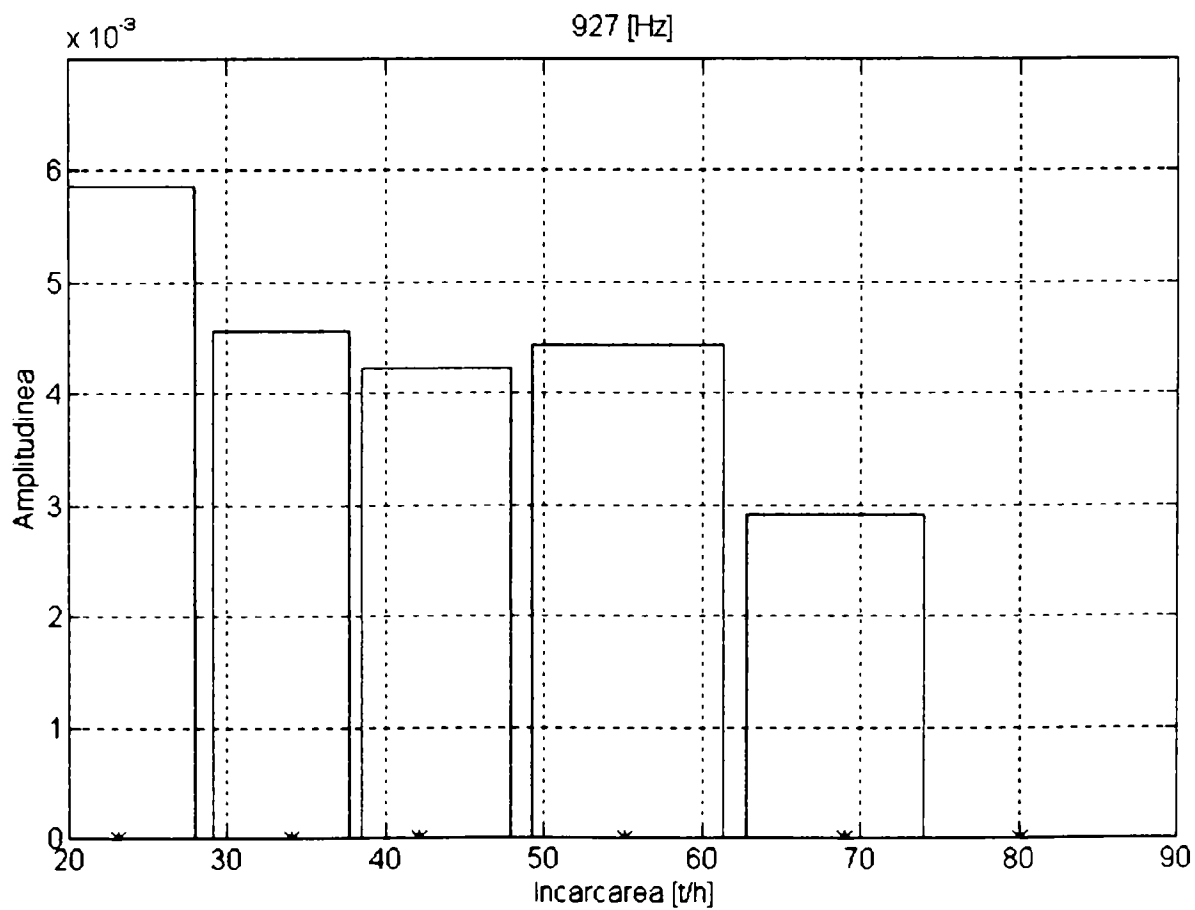
Reprezentarea grafică a curbelor și funcțiilor obținute cu acest program este dată în figurile 4.36 ÷ 4.42.



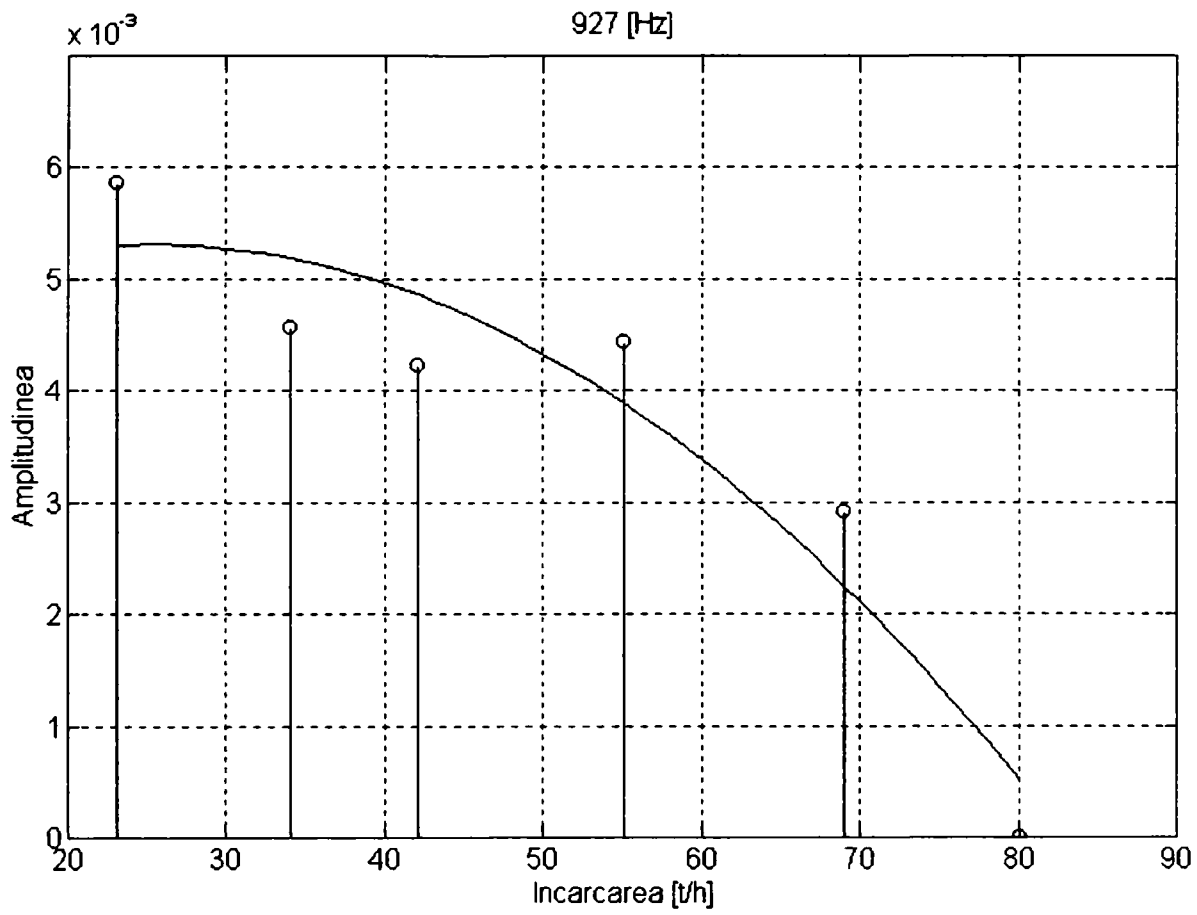
**Fig.4.36**



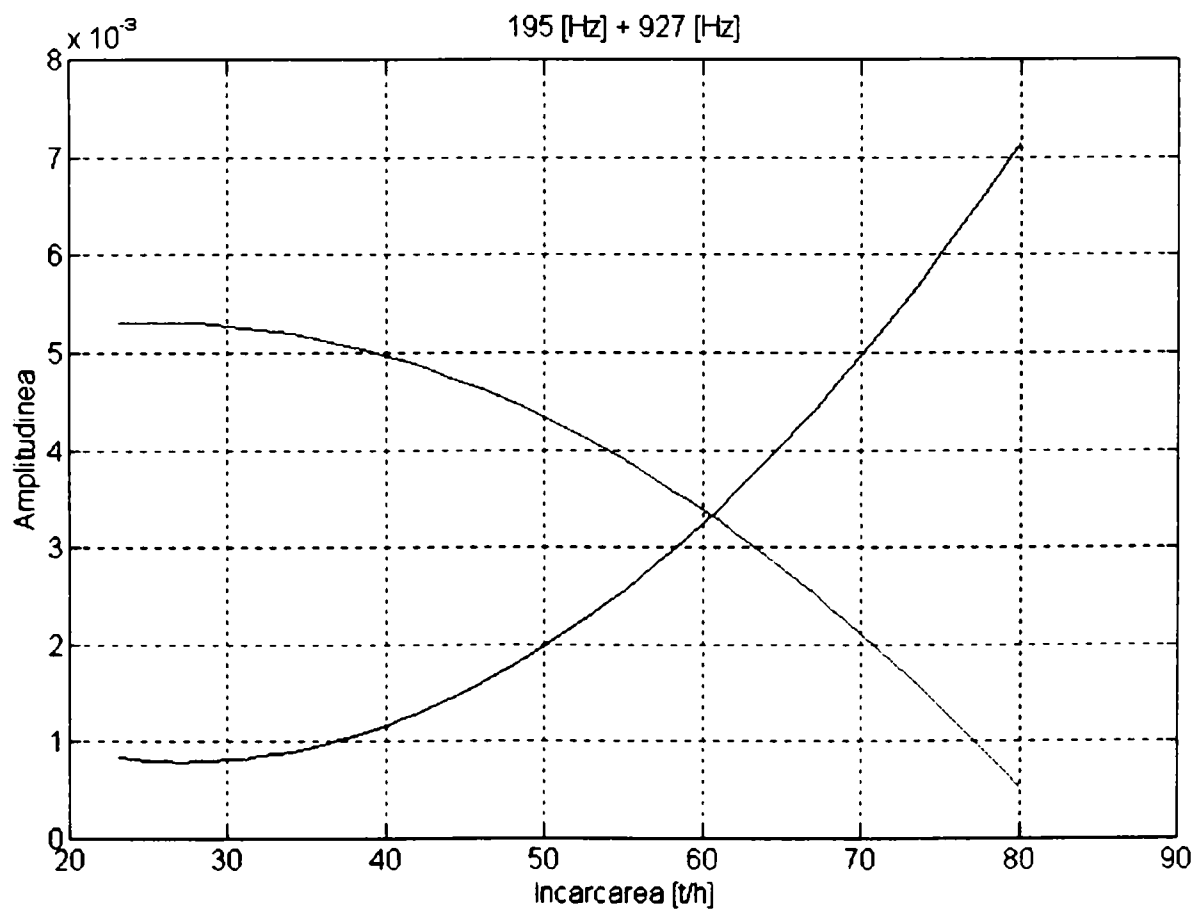
**Fig.4.37**



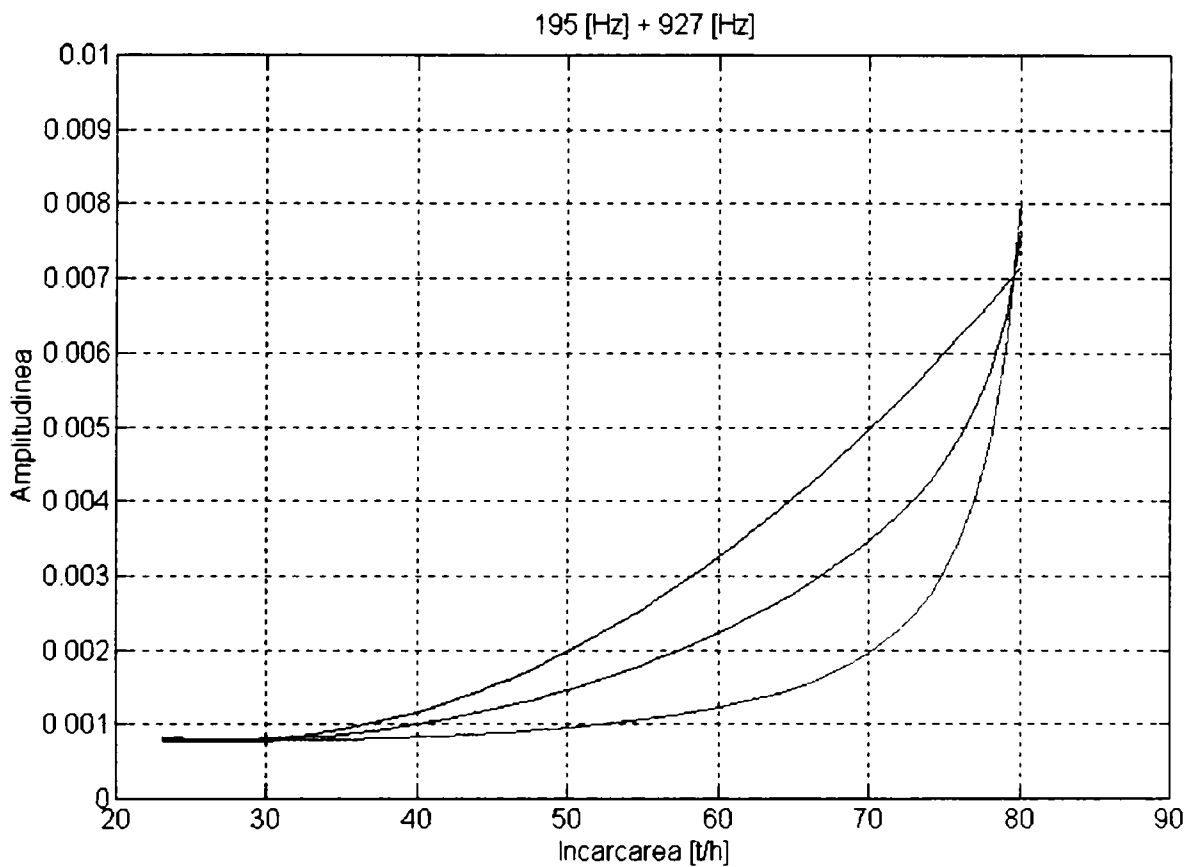
**Fig.4.38**



**Fig.4.39**



**Fig.4.40**



**Fig.4.41**

```

Current plot held
=====
Functia pt. frecv. 195 [Hz]

c1 =
    2.2708e-006 -1.2286e-004  2.4576e-003

Current plot released
Current plot held
=====
Functia pt. frecv. 927 [Hz]

c2 =
    -1.6015e-006  8.0960e-005  4.2887e-003

Current plot released
=====
Functia finala pt. frecv. 195 [Hz] + 927 [Hz]

c =
    2.5643e-006 -1.8026e-004  3.9268e-003

```

**Fig.4.42** Listingul coeficienților funcțiilor polinomiale  $y_1$ ,  $y_2$  și  $y$   
- camera 2 a morii de ciment



*Program pentru determinarea funcțiilor polinomiale  $y_{p1}$ ,  $y_{p2}$  și  $y_p$   
camera 2, 195 și 927 Hz*

```

clc
clg
load h:\matlab\dateasci\f1.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\f2.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\f3.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\f4.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\f5.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\f6.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\f7.m -ascii; load h:\matlab\dateasci\f8.m -ascii;
load h:\matlab\dateasci\f9.m -ascii;
f=[f1,f2,f3,f4,f7,f8];
v=[80,69,55,42,34,23];

clg
stem(v,f(1,:));grid,axis([20 90 0 0.009]);hold,title('195 [Hz]');
xlabel('Incarcarea [t/h]');ylabel('Amplitudinea');
xn=23:1:80;
x=v;
y=f(1,:);
disp('=====')
disp('Functia pt. frecv. 195 [Hz]')
cp1=polyfit(x,y,2)
yp1=polyval(cp1,xn);
plot(xn,yp1);hold;
pause;

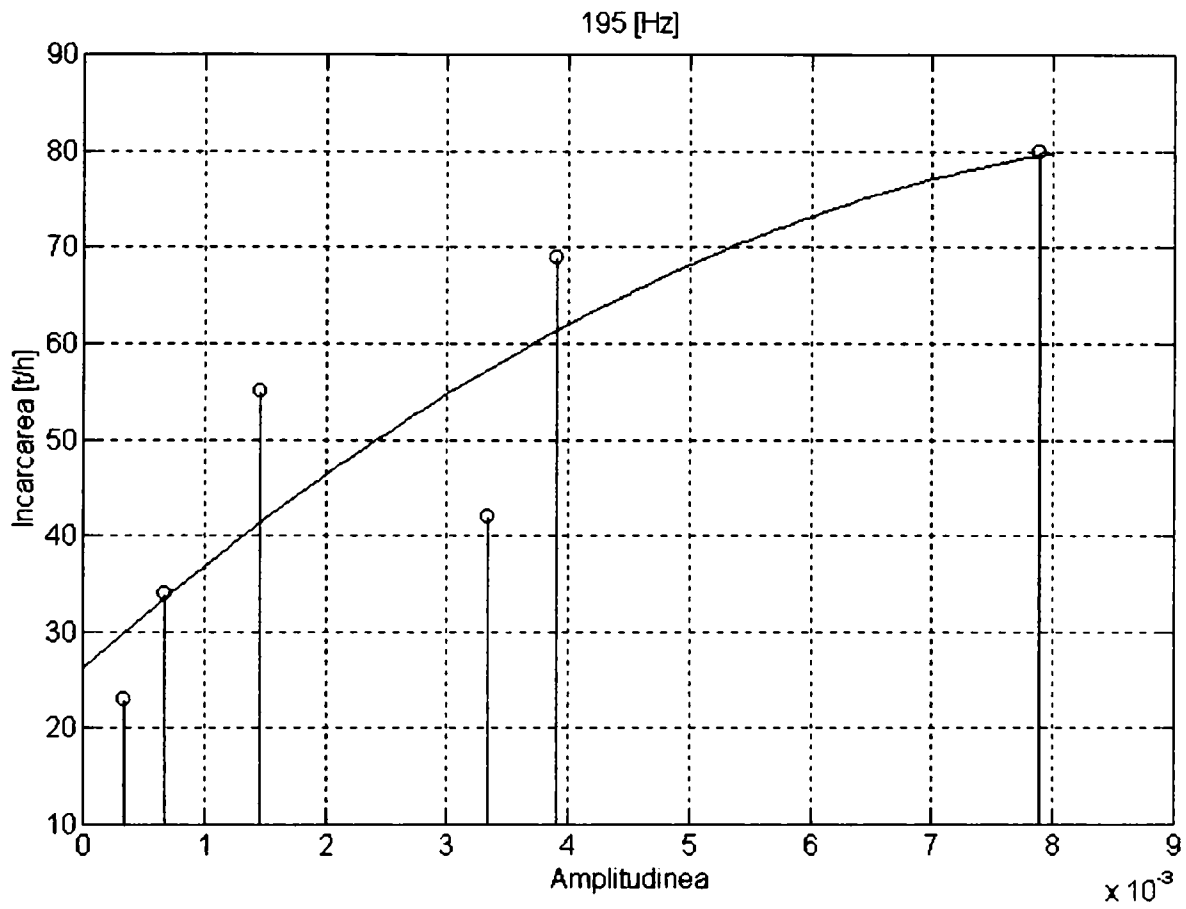
clg
f=[f1,f2,f3,f5,f6,f9];
stem(v,f(16,:));grid,axis([20 90 0 0.007]);hold,title('927 [Hz]');
xlabel('Incarcarea [t/h]');ylabel('Amplitudinea');
%xn=23:1:80;
x=v;
y=f(16,:);
disp('=====')
disp('Functia pt. frecv. 927 [Hz]')
cp2=polyfit(x,y,2)
yp2=polyval(c2,xn);
plot(xn,yp2);hold;
pause;

y3= 0.00000416./yp2;
yp=abs((yp1+y3)./2);
plot(xn,yp1,xn,yp2);grid,axis([20 90 0 0.008]);title('195 [Hz] + 927 [Hz]');
xlabel('Incarcarea [t/h]');ylabel('Amplitudinea');
pause;

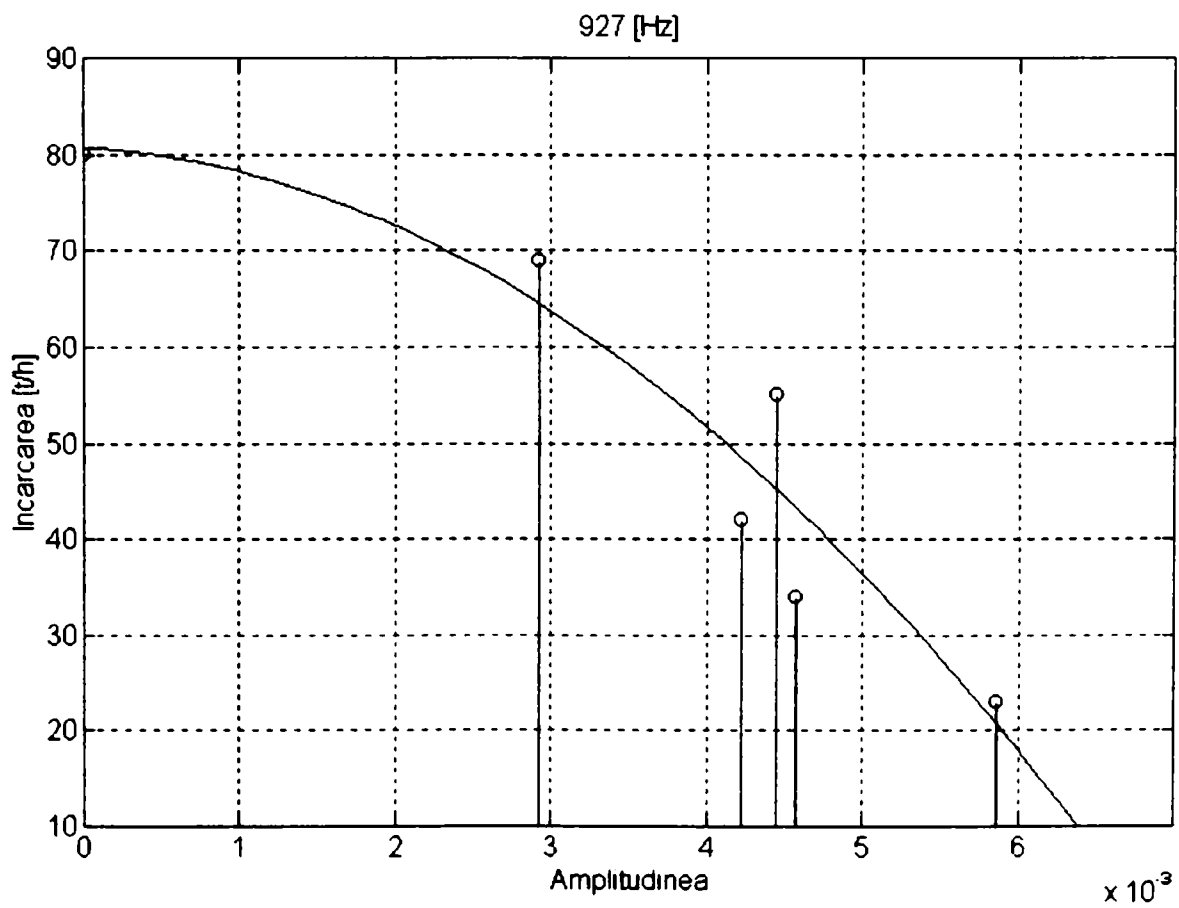
plot(xn,yp1,xn,y3,xn,yp);grid,axis([20 90 0 0.01]);title('195 [Hz] + 927 [Hz]');
xlabel('Incarcarea [t/h]');ylabel('Amplitudinea');
disp('=====')
disp('Functia finala pt. frecv. 195 [Hz] + 927 [Hz]')
cp=polyfit(xn,yp,2)

```

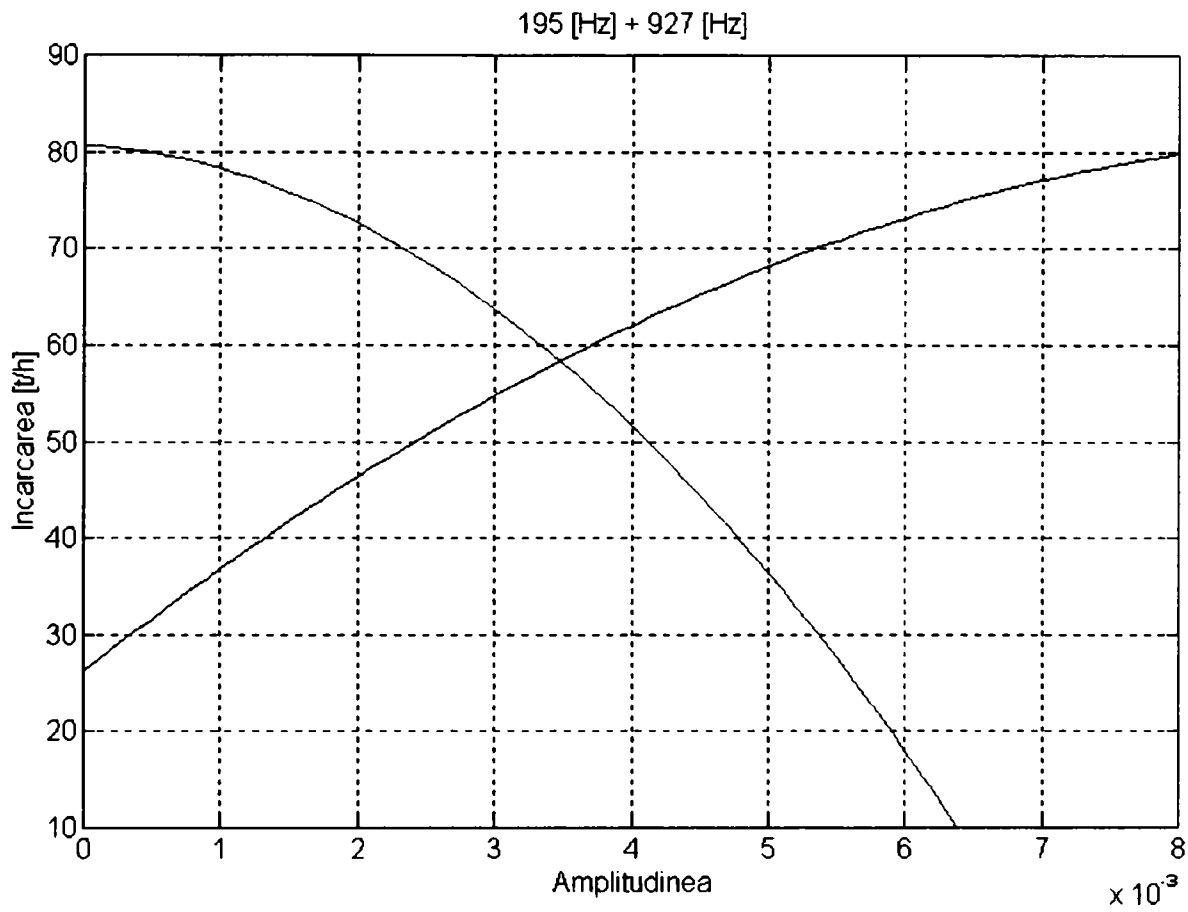
Reprezentarea grafică a curbelor și funcțiilor obținute cu acest program este dată în figurile 4.43 ÷ 4.47.



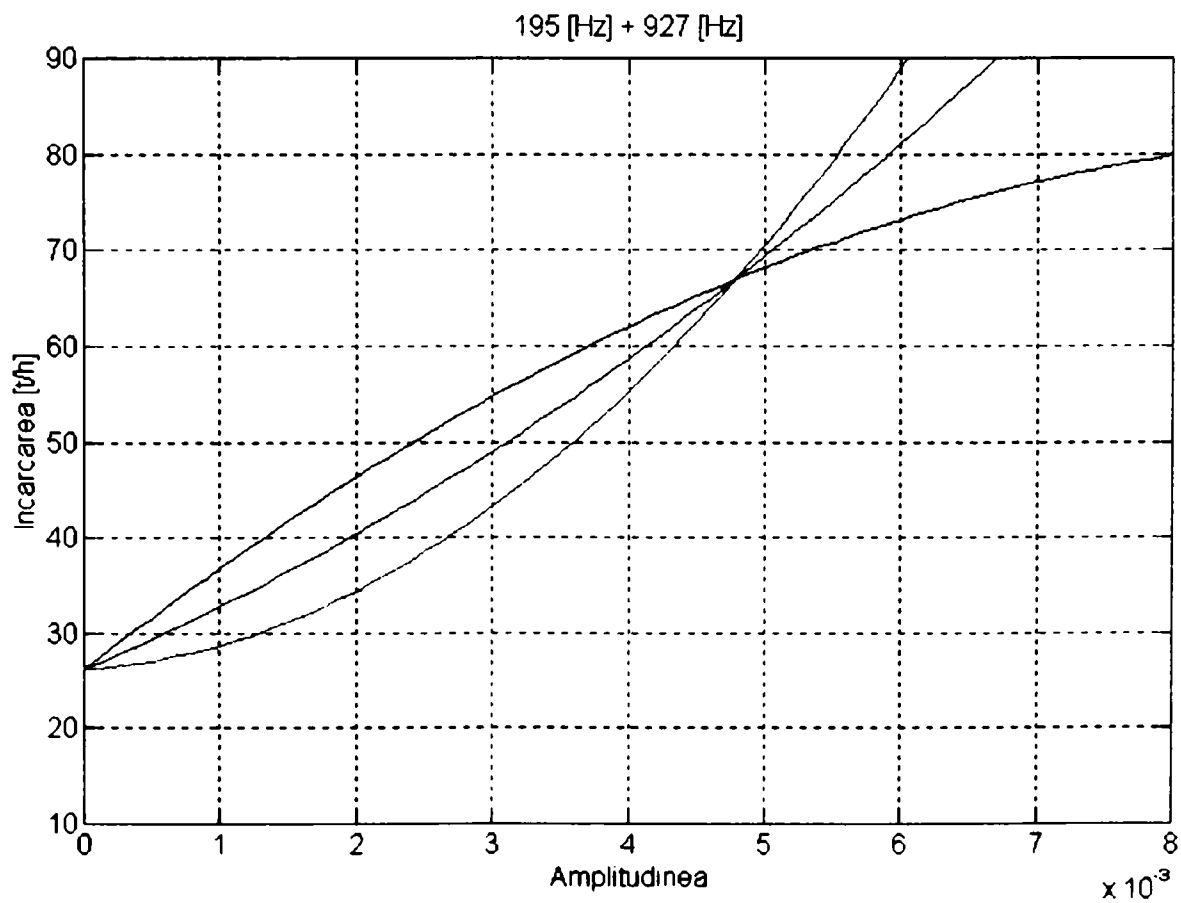
**Fig.4.43**



**Fig.4.44**



**Fig.4.45**



**Fig.4.46**

Current plot held

=====  
Functia pt. frecv. 195 [Hz]

cp1 =

-5.6222e+005 1.1203e+004 2.6231e+001

Current plot released

Current plot held

=====  
Functia pt. frecv. 927 [Hz]

cp2 =

-1.5952e+006 -8.9818e+002 8.0740e+001

Current plot released

=====  
Functia finala pt. frecv. 195 [Hz] + 927 [Hz]

cp =

5.1650e+005 6.0508e+003 2.6246e+001

**Fig.4.47** Listingul coeficienților funcțiilor polinomiale  $y_{p1}$ ,  $y_{p2}$  și  $y_p$   
- camera 2 a morii de ciment

Datele conținute de fișierele d\*.m, e\*.m și f\*.m sunt prezentate în tabelul 4.4.

Analizând metoda folosită și curbele rezultate, se pot trage următoarele concluzii:

- simpla analiză a amplitudinii zgomotului produs de moară nu dă o informație cu grad de precizie suficient despre încărcarea morii, deoarece semnalele cu amplitudini mari nu sunt cele utile. Semnalele utile au amplitudini mici, fiind estompate de celelalte;
- separarea directă a semnalelor utile s-a putut face numai prin scanare;
- frecvențele caracteristice ale fiecărei camere sunt foarte exacte, dar determinarea lor nu se poate face decât experimental, prin metoda propusă în lucrare. Aceste semnale nu sunt influențate de restul zgomotelor parazite, deci nu influențează precizia măsurătorilor;
- curbele finale, obținute pentru dependența încărcare-amplitudini, permit o determinare exactă a gradului de umplere a morii;
- instalația de măsură oferă informația în timp real, fiind compusă din elementele precizate;
- informația obținută poate fi utilizată fie de către un operator, pentru conducerea manuală a procesului, fie direct de instalația de automatizare complexă, fiind asigurată compatibilitate;
- dacă informația primară utilizată pentru calibrarea curbelor nu este exactă, trebuie făcută o reetalonare la punerea în funcție, care oricum se recomandă și deci nu constituie un impediment.

Tabelul 4.4

d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7		
1.84E-03	0.016704	2.57E-03	9.81E-03	3.26E-03	0.018884	5.69E-03		
7.10E-03	0.050199	1.31E-03	1.00E-02	2.64E-03	8.28E-03	3.55E-03		
4.66E-04	0.039249	1.38E-03	6.03E-03	0.014139	2.28E-03	6.30E-03		
1.32E-03	1.47E-03	3.95E-03	0.017146	6.41E-03	2.47E-03	3.46E-03		
6.08E-03	0.034487	2.87E-03	3.43E-03	3.76E-03	3.89E-04	1.20E-03		
0.017633	0.043585	2.38E-03	4.70E-03	1.74E-03	1.92E-03	1.53E-03		
0.016325	0.011818	6.93E-03	5.80E-03	1.74E-03	2.06E-03	1.78E-03		
1.39E-03	7.56E-03	6.93E-03	1.19E-03	2.17E-04	8.37E-03	2.03E-04		
e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7		
1.84E-03	6.80E-03	8.84E-03	3.19E-03	8.43E-03	0.022457	6.90E-03		
5.01E-03	7.35E-03	2.66E-03	0.018848	2.91E-03	0.05538	0.013969		
7.43E-04	0.029818	1.96E-03	0.015841	8.20E-05	0.073408	0.012113		
3.28E-03	9.14E-03	0.016424	0.01268	0.016944	0.019798	0.018547		
3.33E-03	1.08E-03	0.021986	7.04E-03	0.043423	4.84E-03	4.34E-03		
4.33E-03	0.011992	2.98E-03	1.35E-04	0.01985	0.013509	1.11E-03		
0.010997	6.97E-04	5.61E-03	8.43E-03	5.42E-03	0.015355	2.36E-04		
f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9
7.88E-03	3.90E-03	1.46E-03	3.33E-03	4.84E-04	7.36E-03	6.74E-04	3.32E-04	1.95E-03
4.24E-03	0.010066	2.87E-03	1.08E-03	3.63E-03	6.50E-03	2.75E-03	6.05E-03	2.20E-03
4.24E-03	4.21E-03	3.53E-04	8.34E-03	3.97E-04	6.50E-03	3.84E-04	0.012238	7.13E-03
6.20E-03	3.57E-03	2.66E-03	0.017192	0.017985	7.19E-04	6.80E-03	6.56E-03	2.07E-03
0.015363	0.022429	0.017462	4.51E-03	0.015529	9.50E-04	0.012494	3.13E-03	1.61E-03
8.77E-03	8.84E-03	0.016235	3.46E-03	0.015552	2.21E-03	4.28E-03	3.90E-03	6.65E-04
6.76E-03	1.07E-03	0.012084	3.84E-03	5.07E-03	4.10E-04	0.012392	1.10E-03	2.95E-03
0.018905	1.15E-04	7.71E-03	6.17E-06	1.47E-04	5.83E-04	6.22E-04	3.21E-03	8.06E-04
5.09E-03	8.60E-04	1.17E-03	2.88E-03	0.010415	2.27E-03	3.05E-03	0.017095	2.02E-04
0.013817	4.46E-03	2.43E-03	6.16E-04	9.28E-03	1.40E-04	4.54E-03	0.027998	7.51E-03
0.021495	3.71E-03	9.23E-04	4.83E-03	7.75E-03	2.11E-03	1.64E-04	0.011968	9.76E-03
0.010237	7.37E-03	9.22E-04	7.37E-03	1.32E-03	1.39E-03	1.83E-03	2.78E-03	1.05E-03
7.84E-03	4.43E-03	9.82E-04	3.97E-03	1.44E-03	2.72E-03	7.60E-03	3.15E-04	1.39E-03
5.22E-03	6.85E-03	2.59E-03	3.09E-03	4.43E-03	1.70E-03	5.09E-03	8.64E-03	6.92E-03
3.38E-03	8.57E-03	0.014936	2.02E-04	6.75E-03	4.57E-03	1.76E-03	1.39E-03	0.010329
4.21E-06	2.92E-03	4.45E-03	1.27E-03	4.22E-03	4.57E-03	1.56E-03	1.34E-03	5.86E-03
1.31E-03	7.37E-03	6.19E-04	1.59E-03	4.60E-03	3.35E-03	0.01509	8.98E-03	6.21E-04
8.27E-04	8.66E-03	8.51E-06	6.90E-05	1.28E-04	5.83E-03	0.022394	0.014747	3.98E-03
5.82E-04	2.49E-03	1.04E-03	5.38E-03	1.87E-03	1.31E-03	0.01592	5.16E-03	8.94E-03
8.66E-04	1.70E-03	1.83E-03	9.69E-04	1.97E-03	3.06E-04	4.27E-03	1.07E-03	5.78E-04
4.35E-04	1.16E-03	1.25E-03	1.72E-04	7.54E-04	6.52E-03	1.89E-03	2.93E-04	1.38E-03
1.45E-03	7.74E-04	2.65E-03	9.04E-04	6.80E-04	2.51E-03	5.75E-04	2.22E-03	5.49E-04

## 4.4 Concluzii

De obicei, lipsa unui model matematic ferm al procesului automatizat nu constituie un impediment. În raport cu conducerea clasică, conducerea fuzzy poate fi bazată și axată puternic pe experiența operatorului uman, experiență pe care regulatorul Fuzzy o poate "modela" mai fidel decât un regulator convențional.

În faza inițială, de stabilire a setului de reguli de conducere, mai ales la procesele complicate, este bine totuși să se dispună de un model matematic pentru a putea aprecia corelațiile existente între mărimile caracteristice importante ale procesului.

Acesta este motivul pentru care, în prima parte a capitolului s-a realizat un model estimativ al cuptorului de clincher. Deoarece modelele deterministe nu pot ține cont, în cazul de față, de toate fenomenele reale din cuptor, s-a realizat o identificare statistică. Folosind metode avansate de calcul, numărul de date necesar a fi prelucrate nu a fost prea mare, rezultând un grad de precizie al modelului în jur de 0,9, suficient pentru scopul propus.

În a doua parte a capitolului s-a urmărit găsirea unei metode, mai precisă decât cele actuale, de determinare a gradului de încărcare a unei mori cu bile, problemă deosebit de importantă în conducerea procesului de măcinare. Informația furnizată de sistemul de măsură este necesară în algoritmul de conducere fuzzy a morii, după cum se va vedea în capitolul următor.

Metoda propusă este originală și se bazează pe analiza numerică a spectrului de frecvențe a zgomotului produs de moară. Au fost stabilite astfel corelații exacte încărcare-semnal util, pentru ambele camere ale morii.

Ambele probleme rezolvate în acest capitol au un puternic caracter experimental, datele culese direct din proces fiind prelucrate prin metode avansate de calcul.

Rezultatele cercetărilor menționate au fost aplicate în practică în cadrul unui Contract de cercetare științifică încheiat cu S.C. CASIAL S.A. Deva și s-a confirmat corectitudinea lor [38;39], conform Proceselor verbale de avizare existente în Anexa 3.

Contribuțiile personale ale autorului în acest capitol constau în:

- a) sinteza metodelor matematice de identificare statistică a proceselor stohastice;
- b) stabilirea structurii modelului cuptorului;
- c) întocmirea programelor de analiză a datelor experimentale;
- d) determinarea propriu-zisă a modelului cuptorului;
- e) concepția metodei de analiză a gradului de încărcare a morilor;
- f) determinarea propriu-zisă, pe baza metodei propuse, a curbilor zgomot-încărcare; testarea și aplicarea, în condiții industriale, cu bune rezultate, a cercetărilor efectuate.

## STRUCTURI ȘI ALGORITMI DE CONDUCERE A PROCESELOR DIN FABRICILE DE CIMENT

### 5.1 Generalități

Producerea cimentului în România este caracterizată de costuri mari pentru investiții, producții relativ mari și prețuri de vânzare scăzute. Acești factori condiționează o multiplă cercetare tehnică și economică pentru proiectare și exploatare [31], [38], [39].

În capitolul de față vor fi prezentate soluții pentru automatizarea instalațiilor de producere a cimentului (prin procedeu uscat), folosind cele mai moderne concepte existente actualmente pe plan mondial.

Cuptorul rotativ, în care materia primă se transformă în clincher este centrul unei fabrici de ciment. Pe de o parte, exploatarea cuptorului, prin necesarul mare de energie, este un factor de cost deosebit, iar pe de altă parte, aici este principala sursă de perturbații din întregul proces de producție. Pentru a exploata corect un cuptor, principala condiție este ca materia primă să fie, chimic și fizic, cât mai uniformă.

Echipamentele de amestecare și în special morile de ciment sunt mari consumatoare de energie și hotărăsc calitatea produselor. O conducere automată a acestor echipamente are, deci, o importanță economică deosebită.

În cele ce urmează, vor fi expuse principalele probleme ce apar în automatizarea fiecărei etape din fluxul tehnologic menționat în capitolul 1.

#### Producerea și pregătirea materiei prime

Pentru a cunoaște din timp compoziția chimică a materiei prime și tendința de evoluție a acesteia în cursul exploatării carierelor, se fac sondaje geologice, după scheme stabilite de specialiști. Probele extrase, analizate chimic și fizic și localizate spațial, constituie baza de date referitoare la materia primă disponibilă pentru fabricarea cimentului. Deși din punct de vedere al automatizării aici nu sunt probleme diferite aspectul este important pentru stabilirea din timp a rețetelor de fabricație și a regulilor de conducere. Astfel, pot fi necesare: o uscare suplimentară a materialului o omogenizare și măcinare în alte condiții etc.

Aceste probleme nu constituie obiectivul capitolului de față.

#### Dozarea materiilor prime

Reglajul amestecului are sarcina de a asigura o compoziție chimică uniformă a acestuia. Fiecare component este extras din buncăr de către dozatoare automate, care primesc valoarea impusă de debit calculată de algoritmul de conducere. Compoziția chimică reală a amestecului se determină, pe baza unor probe reprezentative pregătite automat, de către un spectrometru Roentgen. Trebuie ținut cont faptul că probele sunt prelevate discontinuu.

### Măcinarea materiilor prime

Scopul instalației de automatizare este obținerea unei cantități cât mai mari de material măcinat, la un consum de energie constant (sau minim). Cantitatea de material depinde de procesul propriu-zis de mărunțire. Gradul de umplere a unei mori are o influență decisivă asupra măcinării și poate fi evaluat cu o ureche electronică. Indicația acesteia este însă relativă (depinde de “măcinabilitatea” materialului) și semnalul este de obicei prelucrat statistic.

Într-un capitolul anterior s-a prezentat o metodă numerică de determinare a gradului de umplere a unei mori, utilizând un calculator numeric, metodă care are caracter de originalitate.

O altă problemă o constituie uscarea materialului. Determinarea continuă a umidității acestuia este dificilă din punct de vedere tehnic, motiv pentru care, ca mărime înlocuitoare se ia temperatura gazelor la ieșirea din moară, care se reglează la valoare constantă. Buclele de reglaj ale temperaturii și debitului de aer sunt astfel realizate încât sunt posibile patru moduri de lucru:

- a) uscare material numai prin aer proaspăt;
- b) uscare material prin amestec de aer proaspăt și aer cald produs de arzătoare suplimentare (cuptor în repaus);
- c) uscare material prin aer și gaz de ardere de la cuptor (regimul normal - umiditate < 8%);
- d) uscare material prin gaz evacuat de cuptor și gaz fierbinte de la arzătoare suplimentare (umiditate > 8%).

### Cuptorul rotativ

Sarcina automatizării cuptorului rotativ este asigurarea unui regim de lucru stabil. Procesul nu poate fi urmărit direct datorită imposibilității de efectuare a măsurătorilor în cuptor, apelându-se la măsurători la capete. În plus, trebuie menținute constante în funcționare acele mărimi care caracterizează schimbul de căldură gaz-material de ardere și starea materialului. Acestea sunt: temperaturile (aer la intrarea în preîncălzitor, la intrarea în cuptor, a clincherului în zona de sinterizare) și conținutul de oxigen al gazelor la ieșirea din cuptor. Aceste mărimi sunt reglate de bucle individuale, comandate de un calculator.

În general, în literatură există mai multe concepte de reglare a cuptorului rotativ. Datorită imposibilității de modelare matematică exactă a acestuia, a complexității și neliniarității fenomenelor ce au loc în cuptor, a regimurilor critice ce pot apărea (lipituri etc.) și a dificultății de efectuare a măsurătorilor asupra mărimilor tehnologice importante, conducerea automată (chiar cu calculatorul) a cuptorului nu a fost mult timp posibilă.

În prezent, se pare că utilizarea sistemelor expert a dat rezultate promițătoare, existând deja realizări importante ale firmelor de prestigiu în domeniu.

### Măcinarea clincherului și a adaosurilor

Aici apar probleme asemănătoare materiilor prime, referitoare la dozarea componentilor și gradul de încărcare al morii.



La măcinarea clincherului în ciment, aproximativ 95% din energia de mărunțire se transformă în căldură, motiv pentru care evacuarea căldurii numai prin aer rece nu este posibilă. Introducerea a 2 ÷ 3 % apă face ca necesarul de aer să se diminueze cu 50 %. Aceasta duce la o construcție mai economică a morii și la o scădere a cantității de praf evacuate la electrofiltru.

Pentru reglajul cantității de apă se urmărește temperatura materialului (aproximativ 100°C în camera 1 și 115°C în camera 2).

În orice situație, trebuie evitată supraîncărcarea morii care poate duce la înfundarea sa (nu se lucrează niciodată la 100 % din capacitate).

### Răcirea clincherului

În acest scop se utilizează de obicei răcitoare grătar sau planetare. Măsurarea temperaturii aerului secundar este influențată de neomogenitatea câmpului de temperatură în spațiul răcitorului și, deci, la interpretarea rezultatelor trebuie să se țină cont de acest lucru. În general, mărimile care interesează sunt: debit clincher, temperatura de intrare a clincherului, granulația lui, proprietățile de transfer a căldurii, grosimea patului de clincher, temperatura aerului de răcire. În funcție de acestea se reglează debitul de aer pentru răcire (uneori și viteza grătarului).

Din cele expuse rezultă că automatizarea, prin metode clasice, a unei fabrici de ciment ridică probleme deosebite.

În cele ce urmează vor fi prezentate unele soluții originale, bazate pe utilizarea sistemelor expert, pentru automatizarea principalelor faze ale procesului de fabricație a cimentului.

## 5.2 Dozarea materiilor prime

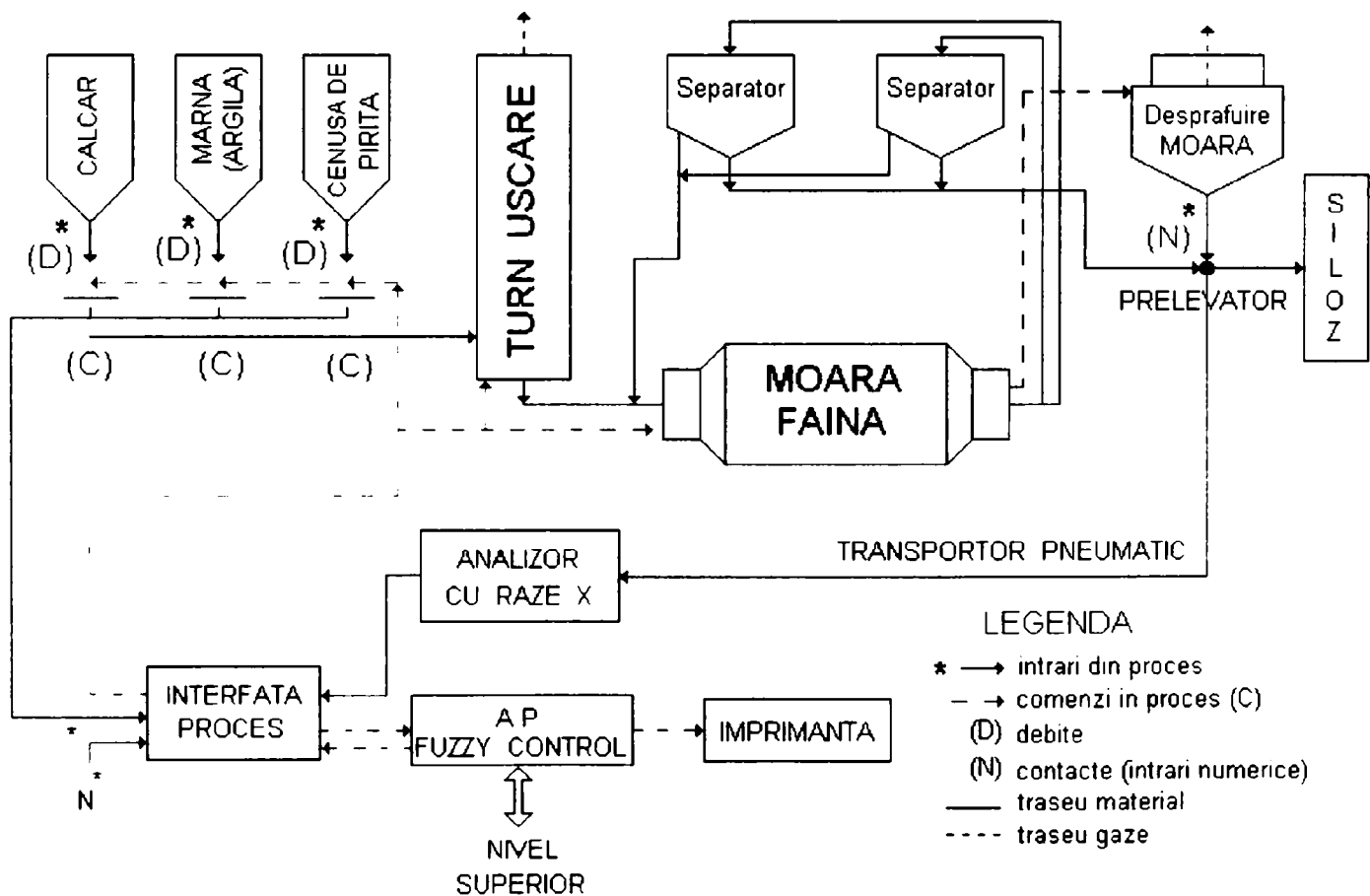
### 5.2.1 Structura sistemului și algoritmul de conducere

[12], [18], [19], [27÷29], [31], [32], [38], [39], [52÷55], [65], [108]

#### Obiectiv

Menținerea modulelor impuși (GSMS și MAIM) a valorilor de referință prin ajustări ale valorii proporțiilor de calcar, argilă și cenușă de pirită la alimentarea morii.

*Structura* sistemului propus pentru dozarea automată a materiilor prime este prezentată în figura 5.1.



**Fig.5.1** Structura sistemului de dozare automată a materiilor prime

Procesul este condus de un automat programabil (AP) prevăzut cu modulele de intrare/ieșire corespunzătoare și conectat prin rețea la nivelul ierarhic superior. Se propune utilizarea unor traductoare inteligente care vor comunica cu automatul programabil printr-o rețea locală. AP conține și un controler Fuzzy al cărui algoritm este prezentat în paragraful următor. Restul echipamentelor folosite în schemă sunt tipizate.

Utilizarea algoritmilor fuzzy nu necesită analiza periodică și introducerea în sistem a valorilor compoziționale (oxidice) pentru calcar, argilă, cenușă de pirită (absolut obligatorii pentru algoritmul determinist).

Pentru realizarea unor ajustări a proporțiilor cât mai apropiate de realitate este indicat să se efectueze anterior o analiză statistică a materiilor prime.

Etapele algoritmului:

a) Citirea debitelor de calcar (DC), argilă (DA) și cenușă de pirită (DP) din proces. Există dozatoare gravimetrice pentru cele trei materii prime. Necesari: cuplarea la proces a celor trei mărimi analogice (debite) pentru o moară.

b) Prelevarea și analiza de probe de făină de la ieșirea din moară (mooară + electrofiltru) la intervalul de eșantionare (aproximativ 1h). Necesari: prelevator probe medii făină; analizor cu raze X pentru determinarea compoziției oxidice a făinei (CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, etc.) și calculul modurilor (GSO, MAI, MSi) la analizoarele noi; contact pentru semnalarea momentului prelevării (două intrări numerice); determinarea timpului total eșantion-eșantion și în consecință a timpului de intrare a debitelor.

c) Calculul alimentării morii de făină cu calcar, argilă și cenușă de pirită în intervalul dintre două eșantionări. Se realizează soft prin integrarea debitelor de alimentare DC, DA, DP. Producția morii (QMF) de făină (echivalentă cu cantitatea de făină introdusă în silozul de omogenizare):

$$QMF_e = QC + QA + QP \quad (5.1)$$

$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$   
 $\Sigma DC \quad \Sigma DA \quad \Sigma DP$

d) Calculul proporțiilor (soft) reale la alimentarea morii de făină în intervalul eșantion-eșantion:

$$\text{Proporție calcar : } PRC = \frac{QC}{QMF_e} \cdot 100\% \quad (5.2)$$

$$\text{Proporție argilă : } PRA = \frac{QA}{QMF_e} \cdot 100\% \quad (5.3)$$

$$\text{Proporție cenușă de pirită : } PRP = \frac{QP}{QMF_e} \cdot 100\% \quad (5.4)$$

e) Calculul compoziției modulare a făinei prelevate în intervalul eșantion-eșantion: GSO<sub>e</sub>, MSi<sub>e</sub>, MAI<sub>e</sub>. Se realizează soft cu relațiile caracteristice:

$$GSO_e = \frac{\%CaO}{0.8\%SiO_2 + 1.1\%Al_2O_3 + 0.7\%Fe_2O_3} \quad (5.5)$$

$$MSi_e = \frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3} \quad (5.6)$$

$$MAI_e = \frac{\%Al_2O_3}{\%Fe_2O_3} \quad (5.7)$$

și se intră în algoritmul de dozare fuzzy ca GSO, MSi, MAI. Valorile oxizilor sunt preluate din analiza cu raze X.

Obs. Există analizoare care dau direct valorile modurilor.

f) Calculul cantității totale de făină din siloz.

Se calculează soft prin însumarea cantităților de făină introdusă în silozul de omogenizare la fiecare pas.

$$QMF_T = \sum_{c=1}^n QMF_c \quad (5.8)$$

unde n este numărul de pași de dozare (intrările eșantion-eșantion).

g) Calculul compoziției (oxidice și modulare) a făinei existente în silozul de omogenizare (corespunzătoare  $QMF_T$ ) după fiecare pas de dozare (interval eșantion-eșantion). Calculul se realizează soft, prin ponderare. De exemplu, pentru calculul conținutului de CaO din făina acumulată în siloz la pasul n se utilizează relația:

$$(CaO_T)_n = \%(CaO_T)_{n-1} * (QMF_T)_{n-1} + \%(CaO_e)_n * (QMF_c)_n \quad (5.9)$$

\_\_\_\_\_
\_\_\_\_\_

pentru făina existentă
pentru făina introdusă

în siloz până la pasul de
în siloz la pasul de dozare n

dozare n

Se ajunge, în final, să se calculeze ( $GSO_T$ )<sub>n</sub>, ( $MSi_T$ )<sub>n</sub>, și ( $MAI_T$ )<sub>n</sub>, care sunt GSMS, MSiM și MAIM pentru pasul n și care intră în algoritmul de dozare fuzzy.

h) Calculul ajustărilor proporțiilor de calcar și cenușă de pirită conform algoritmului fuzzy.

Pentru calcar:  $PRC_n = PRC_{n-1} + \Delta PRC_n$  (5.10)

Pentru pirită:  $PRP_n = PRP_{n-1} + \Delta PRP_n$  (5.11)

i) Calculul ajustărilor proporțiilor de argilă:

$$PRA_n = 100 - ( PRC_n + PRP_n ) \quad (5.12)$$

j) Transmiterea în proces a noilor proporții:  $PRC_n$ ,  $PRA_n$ ,  $PRP_n$ .

La o nouă eșantionare ciclul se reia:

- eșantionare;
- determinare % oxizi și moduli făină;
- tratare coeficienți algoritmi fuzzy ( $\Delta PRC_n$ ,  $\Delta PRP_n$ );
- calculul proporției noi pentru calcar și cenușă de pirită;
- calculul proporției noi pentru argilă;
- realizarea proporțiilor noi (comenzi în proces).

Proporțiile calculate anterior devin referințe.

Pentru realizarea proporțiilor (calcar, argilă, cenușă de pirită) este necesară cuplarea la sistemul de calcul a opt ieșiri numerice (comenzile debitelor).

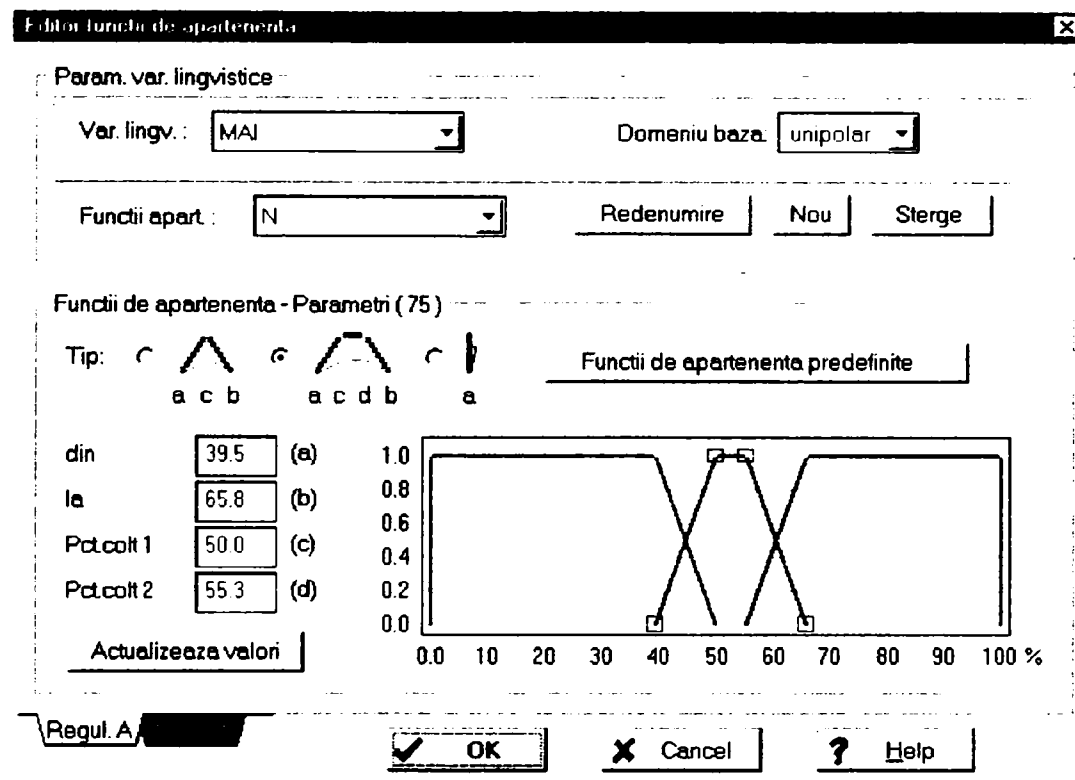
### 5.2.2 Proiectarea algoritmului Fuzzy

#### 1. Informații mărimi intrare

a) MAI ( modulul de aluminiu, orar )

Număr stări MAI = 3

S	SCĂZUT	0.5 ÷ 1.15
N	NORMAL	1.15 ÷ 1.45
R	RIDICAT	1.45 ÷ 2

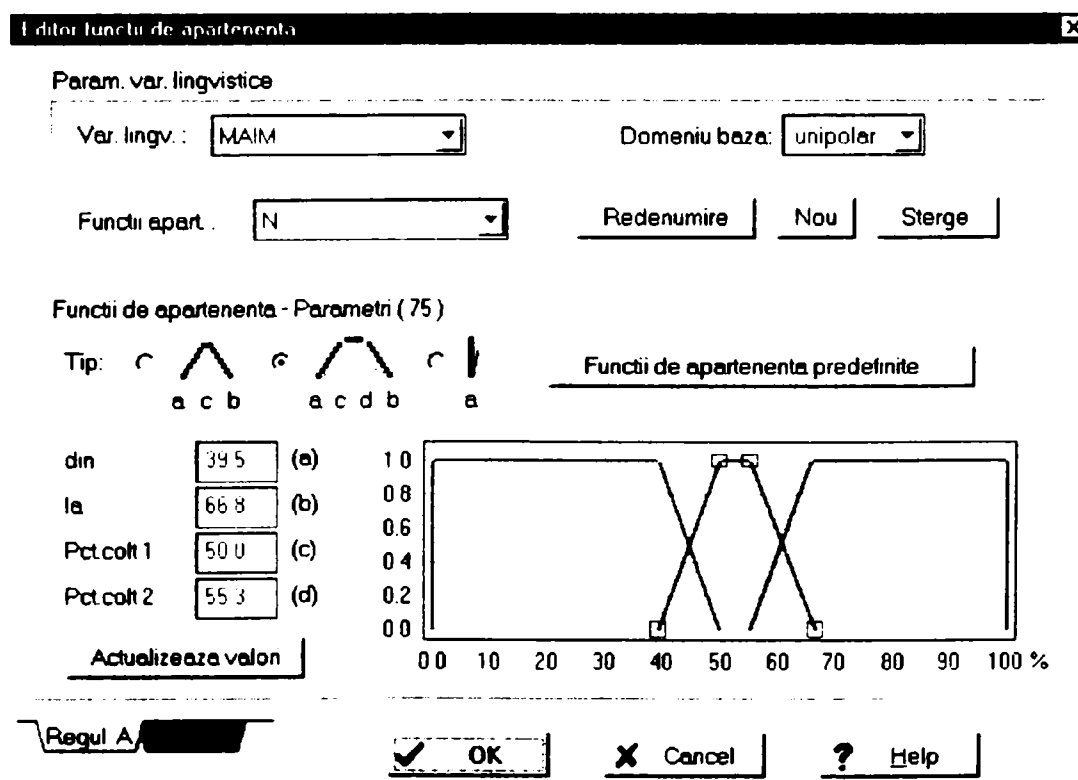


**Fig.5.2** Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru MAI utilizând software-ul controlerului Fuzzy

b) MAIM ( modulul de aluminiu mediu pe siloz )

Număr stări MAIM = 3

S	SCĂZUT	0.5 ÷ 1.15
N	NORMAL	1.15 ÷ 1.45
R	RIDICAT	1.45 ÷ 2



**Fig.5.3** Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru MAIM

c) GSO ( grad de saturare, orar )

Număr stări GSO = 5

FS	FOARTE SCĂZUT	0 ÷ 92
S	SCĂZUT	92 ÷ 96
N	NORMAL	96 ÷ 100
R	RIDICAT	100 ÷ 104
FR	FOARTE RIDICAT	104 ÷ 200

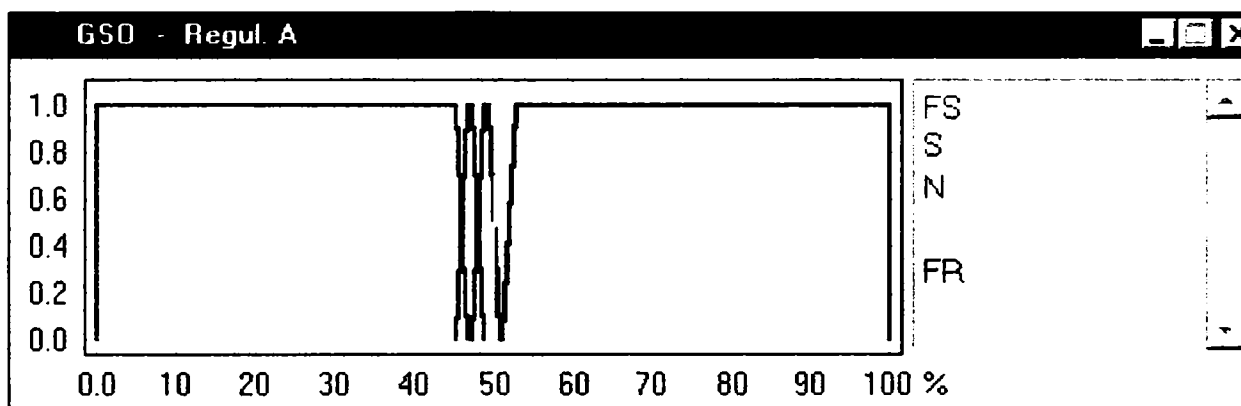


Fig.5.4 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru GSO

d) GSMS ( grad de saturare mediu pe siloz )

Număr stări GSMS = 3

S	SCĂZUT	0 ÷ 96
N	NORMAL	96 ÷ 100
R	RIDICAT	100 ÷ 200

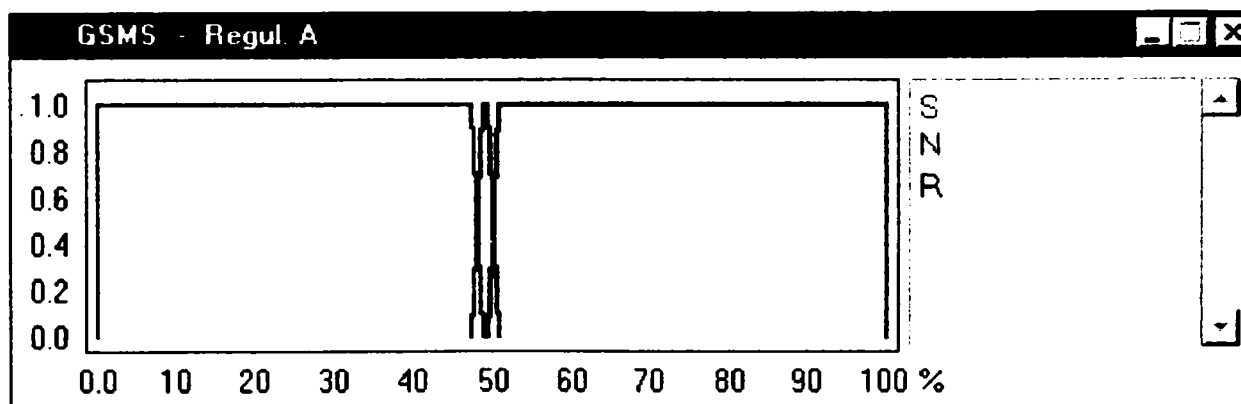
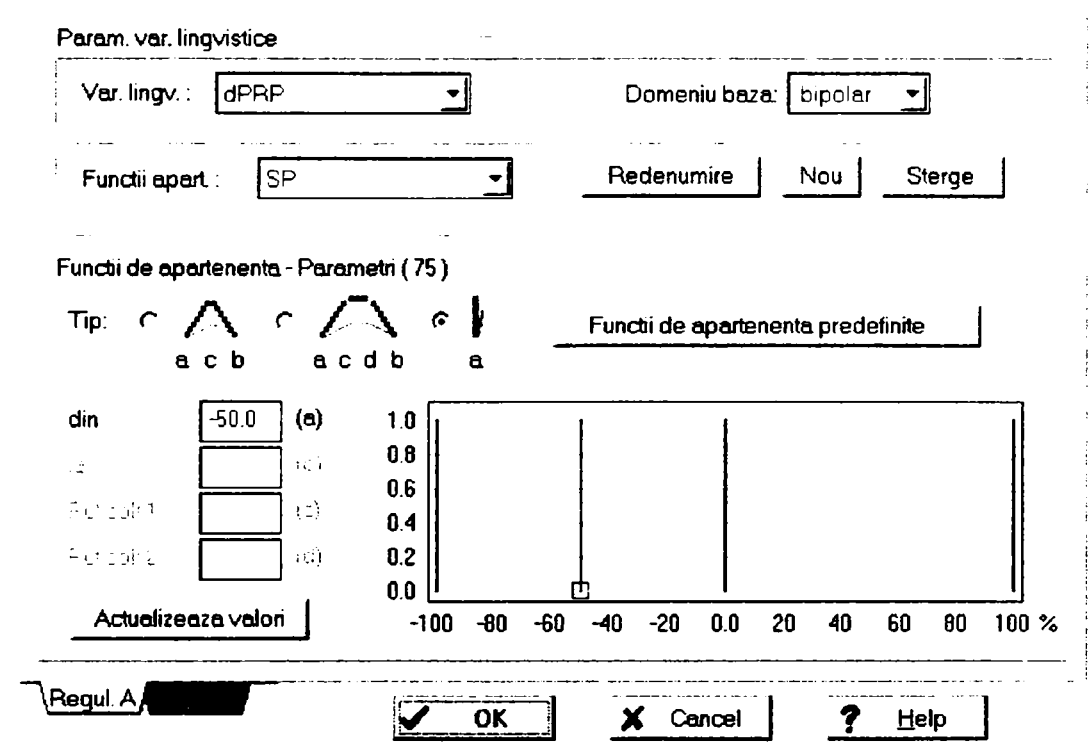


Fig.5.5 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru GSMS

## 2. Informații măriri comandă

a) dPRP ( ajustare proporție cenușă de pirită )

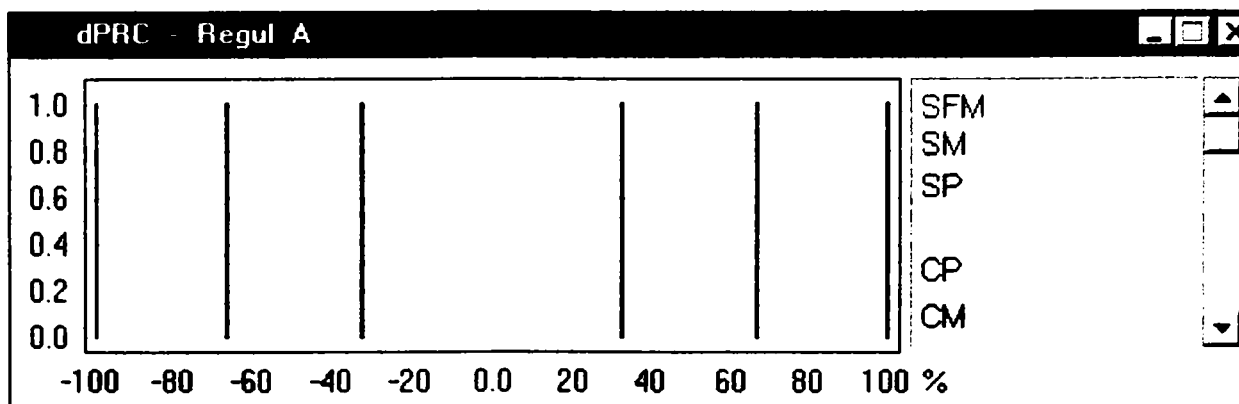
		%
CM	CREȘTE MULT	+1.5
CP	CREȘTE PUȚIN	+0.75
M	MENTINE	0
SP	SCADE PUȚIN	-0.75
SM	SCADE MULT	-1.5



**Fig.5.6** Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dPRP

b) dPRC ( ajustare proporție calcar )

		%
CFM	CREȘTE F. MULT	+2.25
CM	CREȘTE MULT	+1.5
CP	CREȘTE PUȚIN	+0.75
M	MENTINE	0
SP	SCADE PUȚIN	-0.75
SM	SCADE MULT	-1.5
SFM	SCADE F. MULT	-2.25



**Fig.5.7** Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dPRC

### 3. Reguli de conducere

a) pentru MAI

$$\text{Număr total reguli MAI} = (\text{Număr stări MAI}) * (\text{Număr stări MAIM}) = 3 * 3 = 9$$

Tabela	If		then	
	MAI	MAIM	dPRP	Pondere
1.Regula	u. S	u. S	SM	1.0
2.Regula	u. S	u. N	SP	1.0
3.Regula	u. S	u. R	M	1.0
4.Regula	u. N	u. S	SP	1.0
5.Regula	u. N	u. N	M	1.0
6.Regula	u. N	u. R	CP	1.0
7.Regula	u. R	u. S	M	1.0
8.Regula	u. R	u. N	CP	1.0
9.Regula	u. R	u. R	CM	1.0

Regul. A    2 Intrari    9 Reguli    SI/SAU => Conexiune Si / Sau

**Fig.5.8** Tabela de inferență pentru dPRP

b) pentru GSO

Număr total reguli GSO =(Număr stări GSO)\*(Număr stări GSMS)=5\*3 =15

Editor baza reg				
Tabela	If		then	
	GSO	GSMS	dPRC	Pondere
1.Regula	u. FS	u. S	CFM	1.0
2.Regula	u. FS	u. N	CM	1.0
3.Regula	u. FS	u. R	CP	1.0
4.Regula	u. S	u. S	CM	1.0
5.Regula	u. S	u. N	CP	1.0
6.Regula	u. S	u. R	M	1.0
7.Regula	u. N	u. S	CP	1.0
8.Regula	u. N	u. N	M	1.0
9.Regula	u. N	u. R	SP	1.0
10.Regula	u. R	u. S	M	1.0
11.Regula	u. R	u. N	SP	1.0
12.Regula	u. R	u. R	SM	1.0
13.Regula	u. FR	u. S	SP	1.0
14.Regula	u. FR	u. N	CM	1.0
15.Regula	u. FR	u. R	SFM	1.0

Regul. A    2 Intrari    15 Reguli    SI/SAU => Conexiune Si / Sau

**Fig.5.9** Tabela de inferență pentru dPRC

În figurile 5.10 și 5.11 este prezentată simularea reglării fuzzy, cu controlerul descris



în paragraful 3.3, pentru mărimile de comandă dPRP și dPRC.

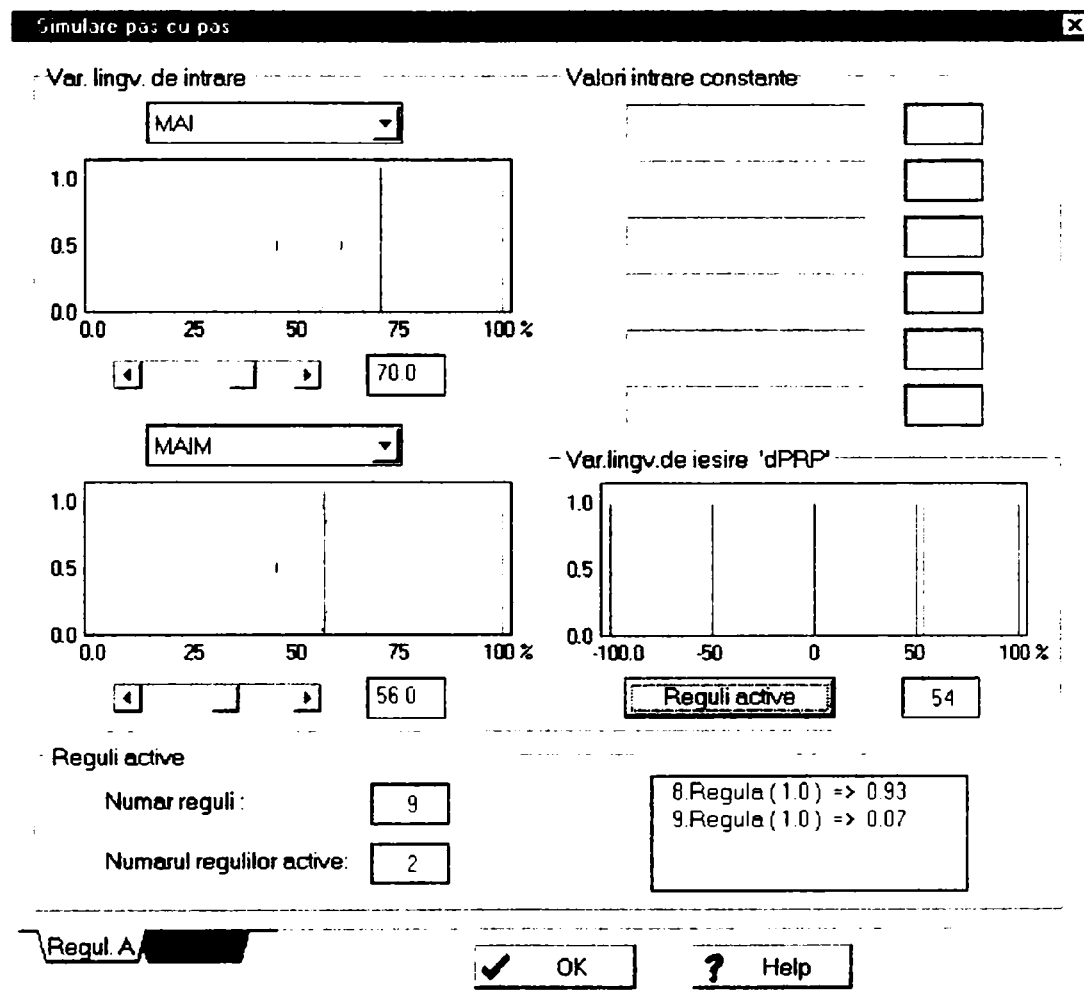


Fig.5.10

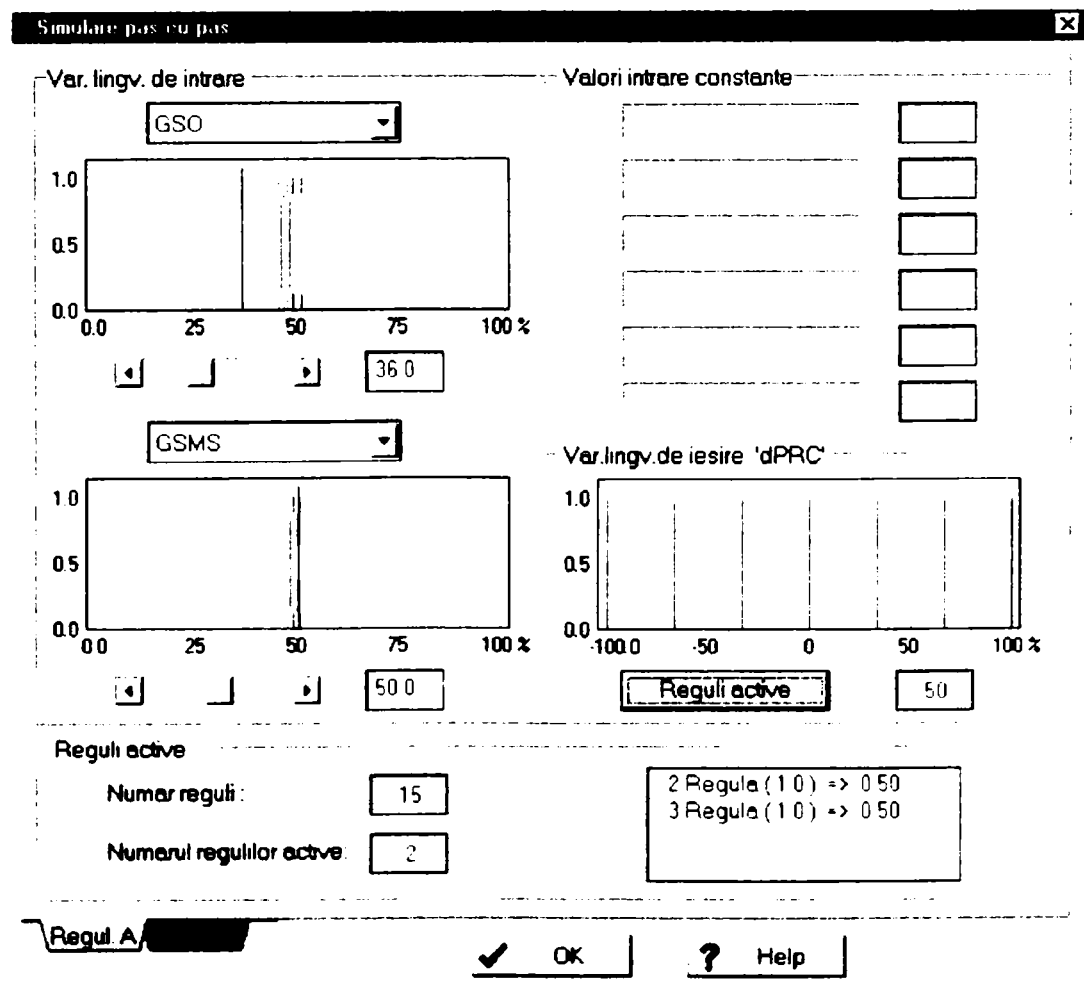


Fig.5.11

## 5.3 Măcinarea materiilor prime

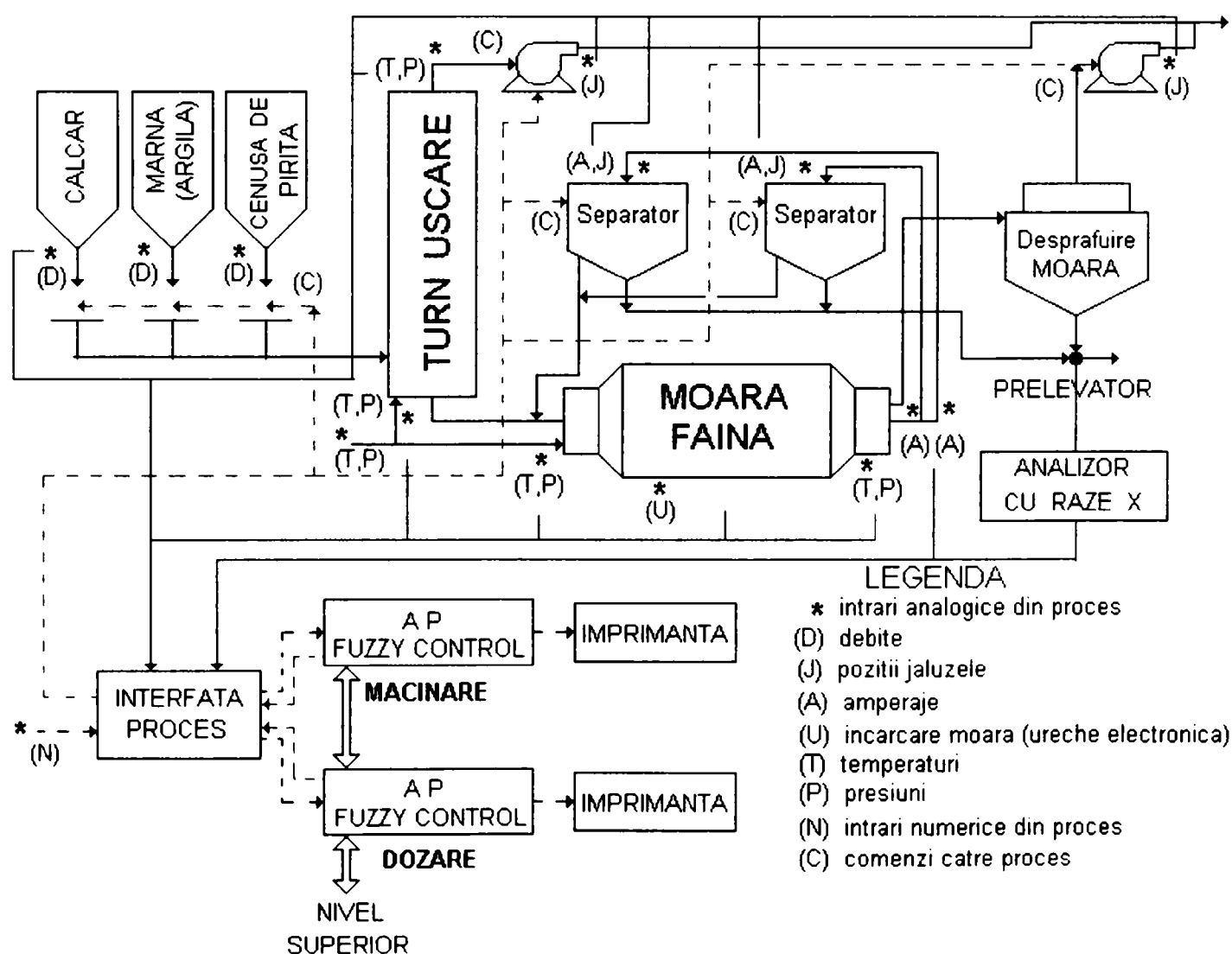
### 5.3.1 Structura sistemului și algoritmul de conducere

[16], [18], [19], [21], [22], [27÷29], [31], [32], [38], [39], [52÷55], [65], [108]

#### Obiective:

Prin introducerea conducerii automate a măcinării materiilor prime se urmărește obținerea unei făini de calitate în condițiile realizării unei productivități ridicate și a unor consumuri energetice scăzute.

*Structura* sistemului propus pentru conducerea automată a dozării și măcinării materiilor prime este prezentată în figura 5.12.



**Fig.5.12** Structura sistemului de conducere automată a dozării și măcinării materiilor prime

Procesul este condus de un automat programabil (AP) prevăzut cu modulele de intrare/ieșire corespunzătoare și conectat prin rețea la nivelul ierarhic superior. Se propune utilizarea unor traductoare inteligente care vor comunica cu automatul programabil printr-o rețea locală. AP conține și un controler Fuzzy al cărui algoritm este prezentat în paragraful următor. Restul echipamentelor folosite în schemă sunt tipizate.

Funcțiile sistemului sunt următoarele:

- supravegherea parametrilor tehnologici aferenți măcinării;
- conducerea automată a procesului de măcinare:
  - reglarea regimului tehnologic;
  - reglarea încărcării morii cu material;
  - reglarea fineții de măcinare;
- protocolarea și editarea de informații cu privire la desfășurarea procesului de măcinare.

### 5.3.1.1 Funcția de reglare finețe de măcinare

Obiectiv:

Mentținerea valorii rezidului făinei pe sita cu latura ochiului de 90 μm (R009) la valoarea impusă. Se realizează prin ajustări periodice (1/2 h; 1h) a deschiderii jaluzelor separatoarelor A și B

Etapele algoritmului:

a) Citirea periodică (1/2 h) a valorii deschiderii jaluzelor separatoarelor A și B (DJSA; DJSB). Necesari: cuplarea la sistemul de calcul a două intrări analogice (DJSA și DJSB).

b) Prelevarea și analiza (R009) de probe medii de făină de la ieșire separatoare (A+B) la intervalul de eșantionare (1/2 h). Necesari: prelevator probe medii făină; poștă pneumatică transport capsulă cu probă la laborator; contact pentru semnalizarea momentului prelevării probei (două intrări numerice).

c) Calculul (soft) valorii medii a DJSA și DJSB în perioada eșantion-eșantion (intervalul între două prelevări succesive).

$$(DJSA, DJSB)_{med} = \sum_{i=1}^n \frac{(DJSA, DJSB)_i}{n} \quad (5.13)$$

unde n - numărul de valori ale parametrilor (DJSA, DJSB) prelevate din proces.

d) Calculul (conform algoritmului fuzzy) ajustării pentru DJSA și DJSB:  $\Delta DJSA_n$ ,  $\Delta DJSB_n$ .

Separatoarele A și B sunt reglate de așa manieră încât să separe partea fină (făină) având același reziduu pentru ambele separatoare. Deci, ajustările jaluzelor celor două separatoare se supun aceluiași reguli.

Dacă considerente de reglare a separatoarelor determină diferențe între funcționarea separatoarelor A și B se pot introduce ajustări diferite pentru separatoarele A și B. Regulile de conducere rămân aceleași dar pentru același efect algoritmul va furniza comenzi diferite pentru separatorul A, respectiv separatorul B.

e) Calculul soft a noilor valori ale deschiderii jaluzelor;

$$\underbrace{(\Delta DJSA, \Delta DJSB)_n}_{\text{noile valori}} = \underbrace{(DJSA, DJSB)_{n-1}}_{\text{valorile realizate calculate la pct. c)}} + \underbrace{\Delta (DJSA, DJSB)_n}_{\text{ajustări calculate la pct. d)}} \quad (5.14)$$

f) Transmiterea comenzilor (noile valori  $DJSA_n$ ,  $DJSB_n$  în proces).

După un nou interval eșantion-eșantion (1/2 h) ciclul se reia:

- citire și mediere valori  $DJSA_{n-1}$ ,  $DJSB_{n-1}$  din proces;
- prelevare și analiză (R009) probă făină;
- calculul fuzzy ajustare  $\Delta DJSA_n$ ,  $\Delta DJSB_n$ ;
- calculul valori noi  $DJSA_n$ ,  $DJSB_n$ ;
- realizare comenzi ( $DJSA_n$ ,  $DJSB_n$ ) în proces.

Pentru realizarea comenzilor în proces este necesară cuplarea la sistemul de calcul a patru ieșiri numerice.

### 5.3.1.2 Funcția reglare regim tehnologic

#### Obiectiv:

Menținerea valorilor temperaturilor și depresiunilor pe instalația de măcinare în limitele tehnologice impuse. Se realizează prin ajustări periodice ale deschiderii jaluzelelor (clapetelor) ventilator desprăfuire moară (DJM), ventilator desprăfuire turn uscarea (DJT), cuptor-moară (DJCM) și ventilator desprăfuire electrofiltru (DJEF).

#### Etapele algoritmului:

a) Citirea periodică (5 min) a valorii temperaturilor, depresiunilor (TEM, TET, PEM, PET) și a poziției clapetelor (jaluzelelor) DJM, DJT, DJCM, DJEF. Necesari: cuplarea la sistemul de calcul a 8 intrări analogice corespunzătoare parametrilor menționați.

b) Calculul fuzzy al ajustărilor  $\Delta DJM_n$ ,  $\Delta DJT_n$ ,  $\Delta DJCM$  și  $\Delta DJEF_n$ .

c) Calculul (soft) noilor valori ale comenzilor pentru toate cele patru mărimi de comandă:

$$\frac{\text{DJM}_n}{\substack{\text{noua valoare a} \\ \text{a deschiderii} \\ \text{clapetei}}} = \frac{\text{DJM}_{n-1}}{\substack{\text{ultima valoare} \\ \text{citită pentru DJM} \\ \text{în intervalul anterior} \\ \text{comenzii}}} + \frac{\Delta \text{DJM}_n}{\substack{\text{ajustarea calculată} \\ \text{fuzzy}}} \quad (5.15)$$

Se calculează identic pentru DJT<sub>n</sub>, DJCM<sub>n</sub> și DJEF<sub>n</sub>.

d) Realizarea comenzilor ( $DJM_n$ ,  $DJT_n$ ,  $DJCM_n$  și  $DJEF_n$ ) în proces.

După un nou interval de comandă se reia ciclul:

- citire parametri din proces (TEM, TET, PEM, PET, DJM, DJT, DJCM, DJEF);
- calculul fuzzy al ajustărilor ( $\Delta DJM_n$ ,  $\Delta DJT_n$ ,  $\Delta DJCM$  și  $\Delta DJEF_n$ );
- calculul noilor valori ale comenzii;
- realizarea comenzilor în proces.

Pentru realizarea comenzilor în proces este necesară cuplarea la sistemul de calcul a opt ieșiri numerice.

### 5.3.1.3 Funcția de reglare a încărcării morii cu material.

#### Mentineră regimului optim

##### Obiectiv:

Mentineră încărcării morii cu material la nivelul impus, atins odată cu trecerea de la regimul tranzitoriu la regimul optim de încărcare. Se realizează prin ajustări periodice ale debitului de alimentare în conformitate cu indicația urechii electronice.

##### Observații:

1. După etalonarea urechii electronice este necesară stabilirea unei corespondențe ridicate ureche - debit alimentare pentru a putea evita ajustările caracteristice mărimii de comandă în unități de debit.

2. Intervalul dintre comenzi se stabilește experimental. Obiectivul este acela de a evita comenzi dure la alimentarea morii (în general,  $t_{\text{comandă}} \sim 1 \text{ min}$  este mai mare ca timpul de ajungere a materialului în moară).

3. Algoritmul stabilește debitul total de alimentare cu material proaspăt. Proporțiile de calcar, argilă și cenușă de pirită sunt preluate din funcția de dozare.

##### Etapele algoritmului:

a) Citirea debitelor de calcar, argilă și cenușă de pirită din proces (DC, DA, DP) și a indicației urechii electronice din proces (U). Necesare: dozatoare gravimetrice (patru, dintre care două sunt pentru calcar) pentru materii prime; ureche electronică și cuplarea la sistemul de calcul a cinci intrări analogice (patru debite + indicație ureche electronică).

b) Calculul (soft) debitului de material proaspăt:

$$P = \sum (DC + DA + DP) \quad (5.16)$$

c) Calculul (soft) debitului mediu de material proaspăt și a valorii medii a indicației urechii electronice în intervalul de comandă ( $\sim 1 \text{ min}$ ):

$$P_{\text{med}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (5.17)$$

$$U_{\text{med}} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n} \quad (5.18)$$

unde  $n$  - număr de valori citite.

d) Calculul abaterii indicației urechii electronice de la valoarea prescrisă:

$$\Delta U = (U)_{\text{med}} - U \quad (5.19)$$

e) Calculul ajustării debitului de material proaspăt  $\Delta P_n$  conform algoritmului fuzzy.

$$\frac{P_n}{\text{noua valoare a lui } P} = \frac{P_{n-1}}{\text{P}_{\text{med}} \text{ pentru perioada anterioară}} + \frac{\Delta P_n}{\text{ajustarea calculată fuzzy}} \quad (5.20)$$

f) Transmiterea noii valori  $P_n$  în proces.

După un nou interval de comandă (~1min) ciclul se reia:

- citire și mediere valori: DA, DC, DP, U din proces;
- calculul valorii debitului de material proaspăt;
- calculul abaterii indicației urechii electronice de la valoarea prescrisă:  $\Delta U_n$ ;
- calculul (fuzzy) ajustării debitului de material proaspăt:  $\Delta P_n$ ;
- calculul debitului proaspăt total de alimentare  $P_n$ ;
- realizarea comenzilor în proces.

Pentru realizarea comenzilor în proces este necesară cuplarea la sistemul de calcul a opt ieșiri numerice (patru pentru DC și câte două pentru DA și DP).

OBS. Algoritmul de reglare a încărcării furnizează valoarea totală a debitului de material proaspăt de alimentare a morii ( $P_n$ ). Valoarea debitelor  $DC_n$ ,  $DA_n$ ,  $DP_n$  se calculează ca % din  $P_n$ , conform proporțiilor stabilite de funcția de dozare. Deoarece se lucrează cu două dozatoare de calcar: % DC = % DC1/2 + % DC2/2, unde  $DC1=DC2$  și  $DC1+DC2 = DC$ .

### 5.3.2 Proiectarea algoritmilor Fuzzy

#### 5.3.2.1 Funcția de reglare finete de măcinare

##### 1. Informații mărimi intrare

FM (finețe măcinare, reziduu ( % ) pe sita cu latura ochiului de 90  $\mu$ m

Număr stări = 5

FS	FOARTE SCĂZUT	4 ÷ 9
S	SCĂZUT	9 ÷ 12
N	NORMAL	12 ÷ 15
R	RIDICAT	15 ÷ 18
FR	FOARTE RIDICAT	18 ÷ 24

OBS. Finețea de măcinare se determină pe făină separator A + făină separator B.

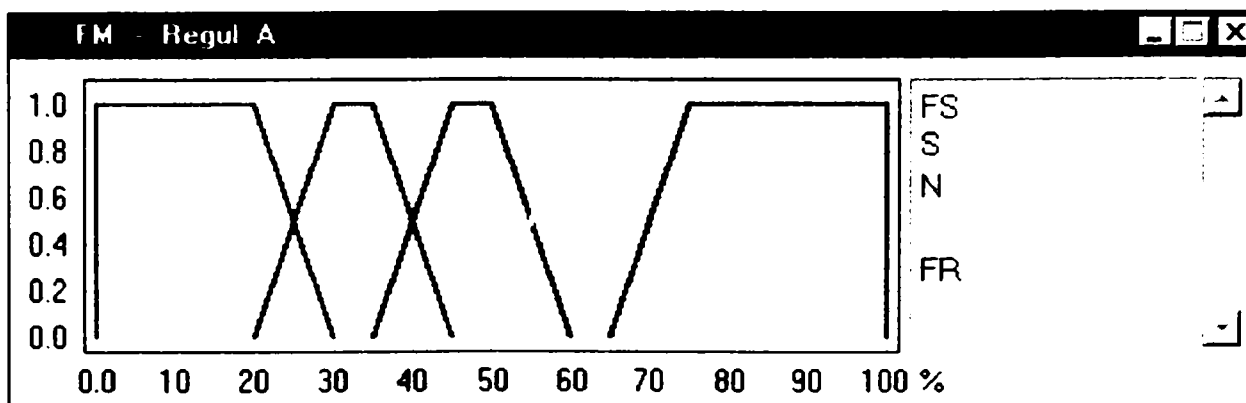


Fig.5.13 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru FM

## 2. Informații mărime comandă

dDJSA, dDJSB - ajustare deschidere jaluzele pentru separatoarele A și B.

%(dDJSA, dDJSB )

CM	CREȘTE MULT	10
CP	CREȘTE PUȚIN	5
M	MENTINE	0
SP	SCADE PUȚIN	-5
SM	SCADE MULT	-10

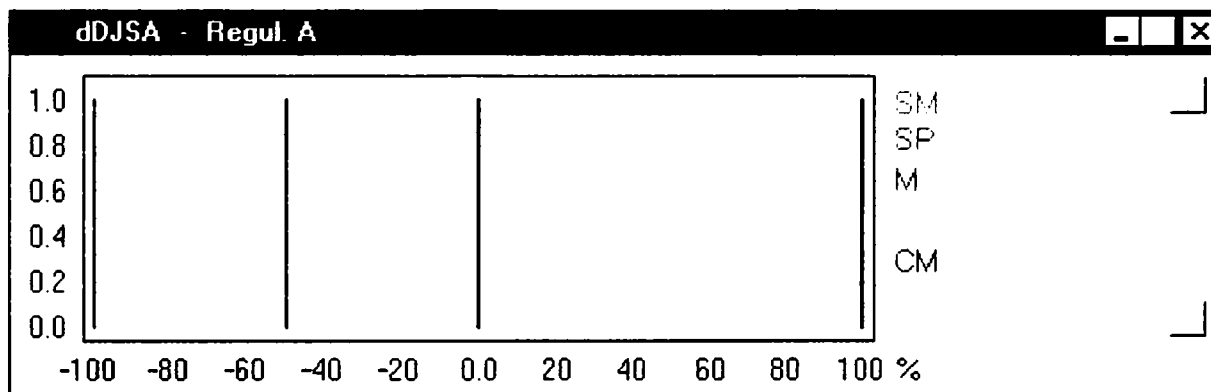


Fig.5.14 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dDJSA și dDJSB

## 3. Reguli de conducere

Pentru ajustare deschidere jaluzele separatoare (DJSA și DJSB ),%: Număr reguli =  $5 \cdot 1 = 5$

Fig.5.15  
Tabela de inferență  
pentru dDJSA

Editor baza reg.			
Tabela	if	then	
	FM	dDJSA	Pondere
1.Regula	u. FS	CM	1.0
2.Regula	u. S	CP	1.0
3.Regula	u. N	M	1.0
4.Regula	u. R	SP	1.0
5.Regula	u. FR	SM	1.0
Regul. A 1 Intrari 5 Reguli SI/SAU => Conexiune			

Fig.5.16  
Tabela de inferență  
pentru dDJSB

Editor baza reg.			
Tabela	if	then	
	FM	dDJSB	Pondere
1.Regula	u. FS	CM	1.0
2.Regula	u. S	CP	1.0
3.Regula	u. N	M	1.0
4.Regula	u. R	SP	1.0
5.Regula	u. FR	SM	1.0
Regul. A 1 Intrari 5 Reguli SI/SAU => Conexiune			

În figurile 5.17 și 5.18 este prezentată simularea reglării fuzzy, cu controlerul descris în paragraful 3.3, pentru mărimile de comandă dDJSA și dDJSB.

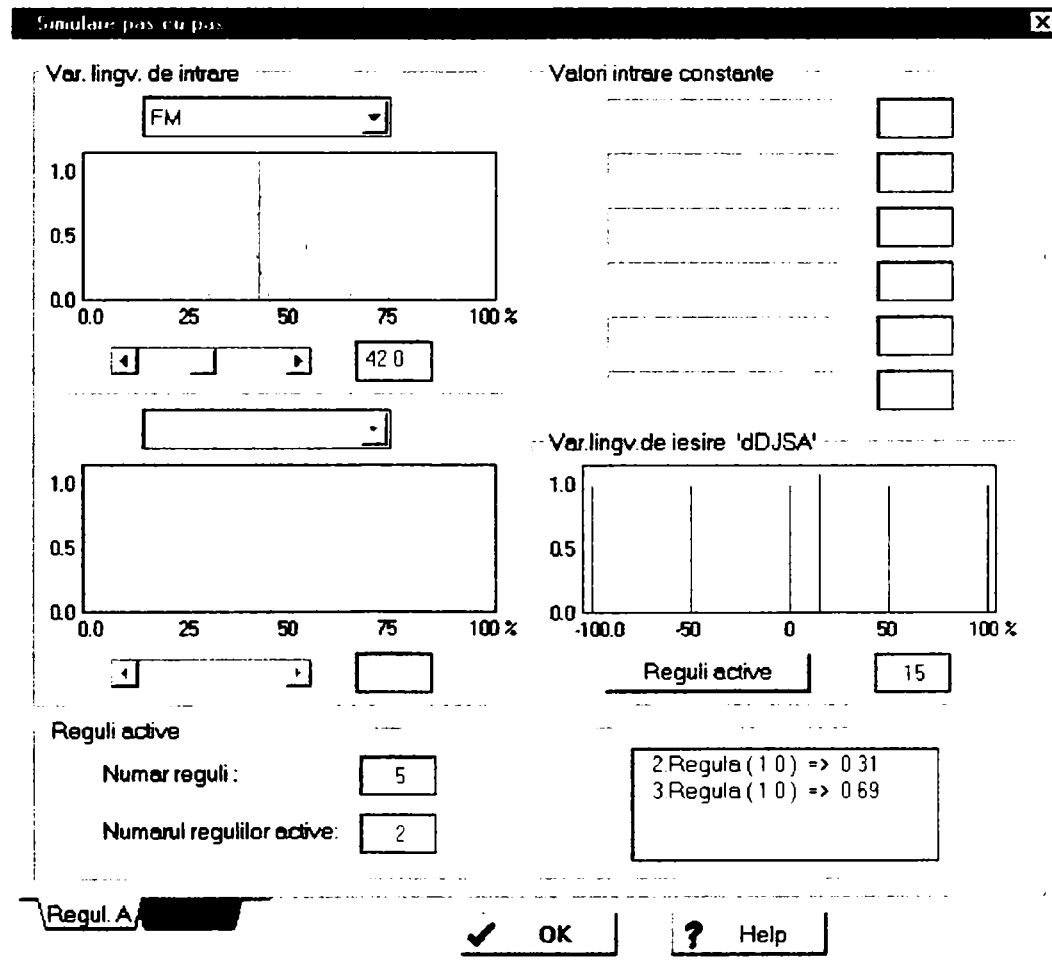


Fig.5.17

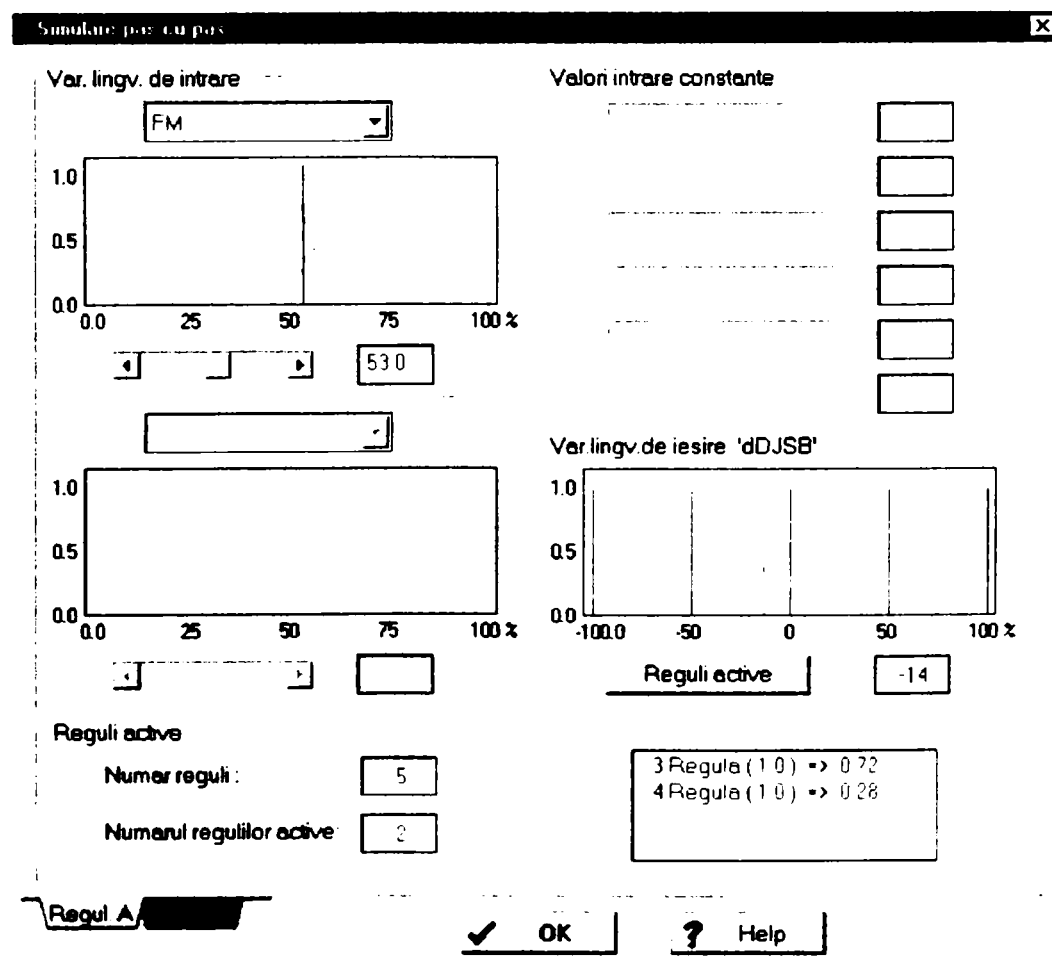


Fig.5.18



### 5.3.2.2 Funcția reglare regim tehnologic

#### 1. Informații mărimi intrare

a) PET (presiune gaze ieșire turn uscare, mmCA )

Număr stări = 3

mmCA

S	SCĂZUTĂ	$(-50) \div (-175)$
N	NORMALĂ	$(-175) \div (-225)$
R	RIDICATĂ	$(-225) \div (-275)$

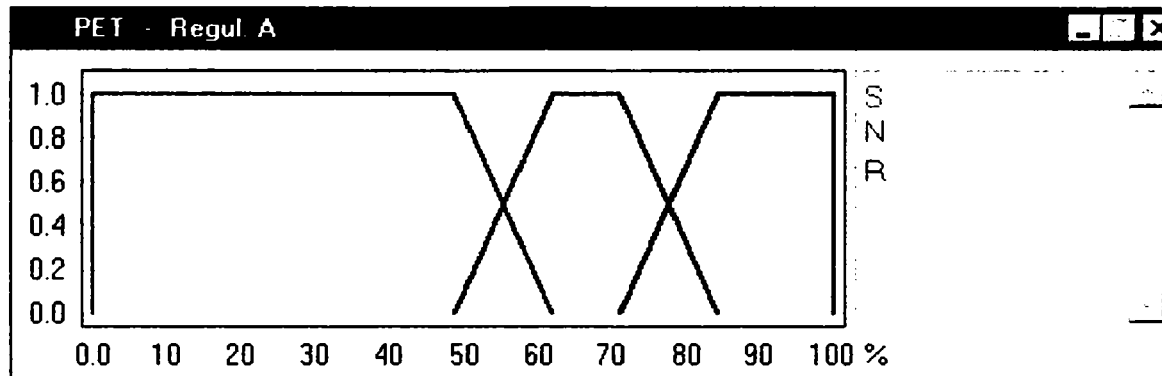


Fig.5.19 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru PET

b) PEM (presiune gaze ieșire moară, mmCA)

Număr stări = 3

mmCA

S	SCĂZUTĂ	$(-100) \div (-225)$
N	NORMALĂ	$(-225) \div (-325)$
R	RIDICATĂ	$(-325) \div (-500)$

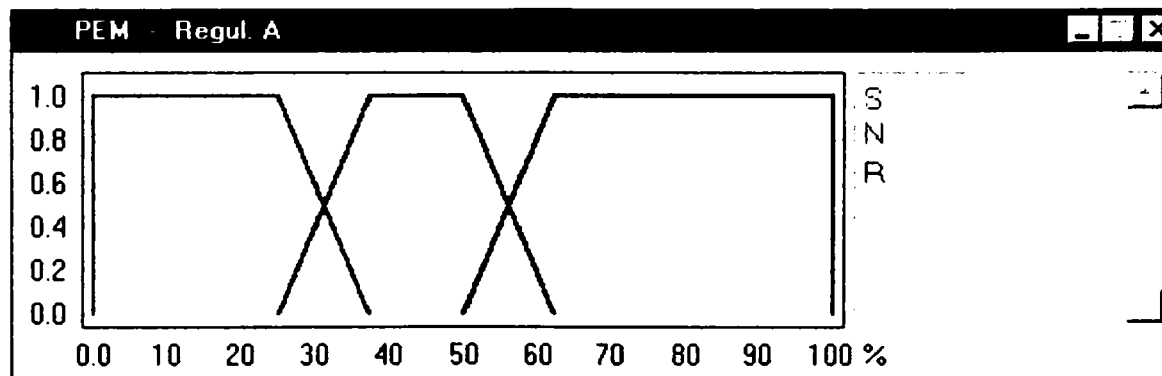


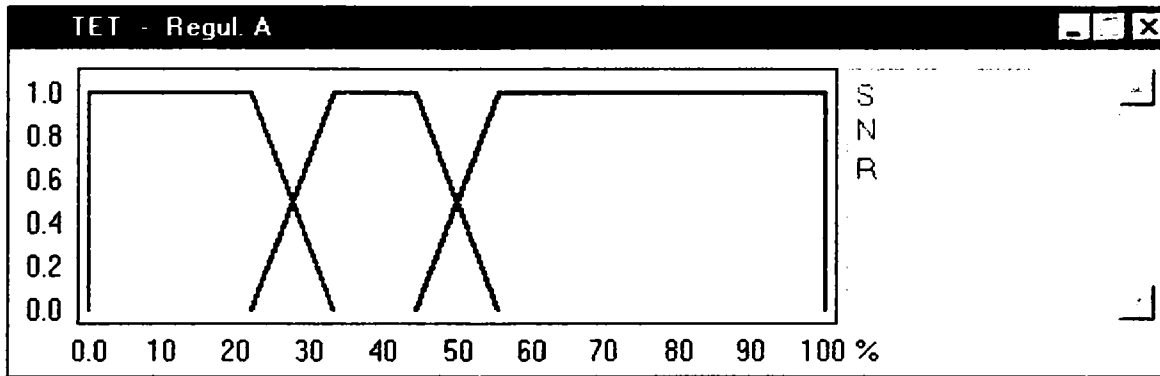
Fig.5.20 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru PEM

c) TET (temperatură gaze ieșire turn uscare, °C )

Număr stări = 3

°C

S	SCĂZUTĂ	$75 \div 100$
N	NORMALĂ	$100 \div 120$
R	RIDICATĂ	$120 \div 165$

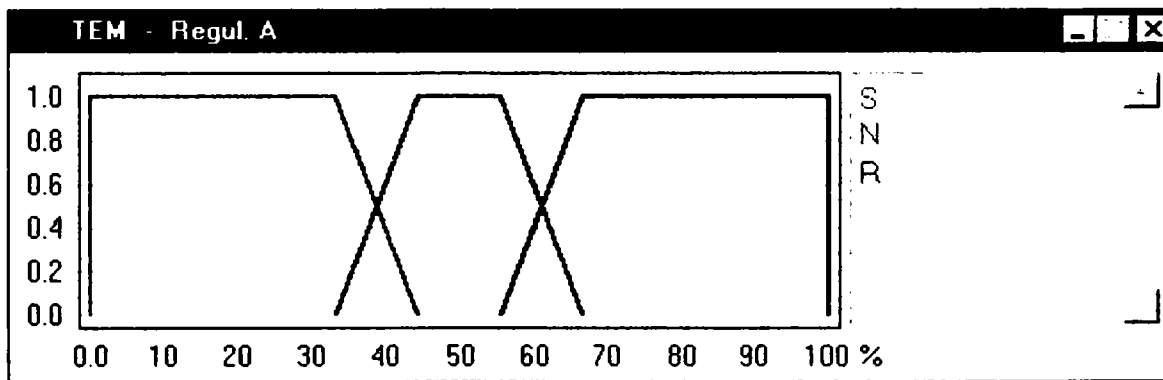


**Fig.5.21** Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru TET

d) TEM ( temperatură gaze ieșire moară, °C )

Număr stări = 3

		°C
S	SCĂZUTĂ	35 ÷ 70
N	NORMALĂ	70 ÷ 90
R	RIDICATĂ	90 ÷ 125

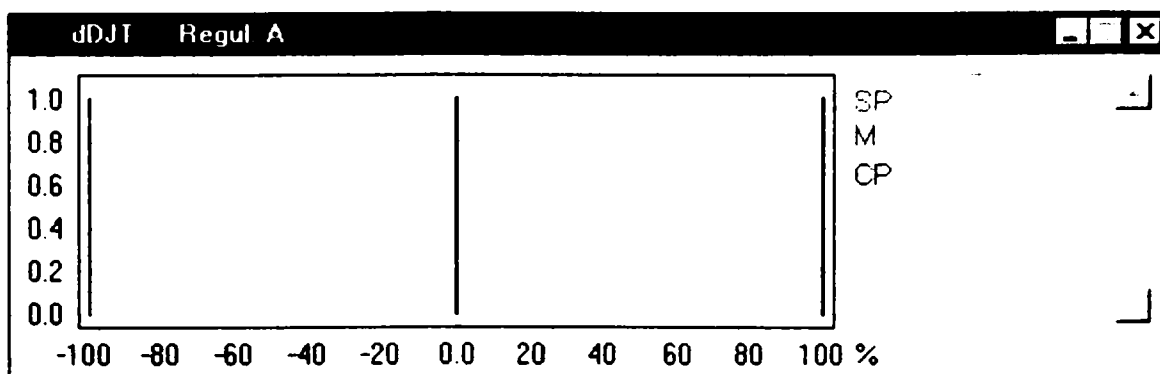


**Fig.5.22** Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru TEM

## 2. Informații mărimi comandă

a) dDJT, ajustare deschidere jaluzele ventilator desprăfuire turn uscare, %

		%
CP	CREȘTE PUȚIN	+5
M	MENTINE	0
SP	SCADE PUȚIN	-5



**Fig.5.23** Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dDJT

b) dDJM, ajustare deschidere jaluzele ventilator desprăfuire moară, %

		%
CP	CREȘTE PUȚIN	+5
M	MENTINE	0
SP	SCADE PUȚIN	-5

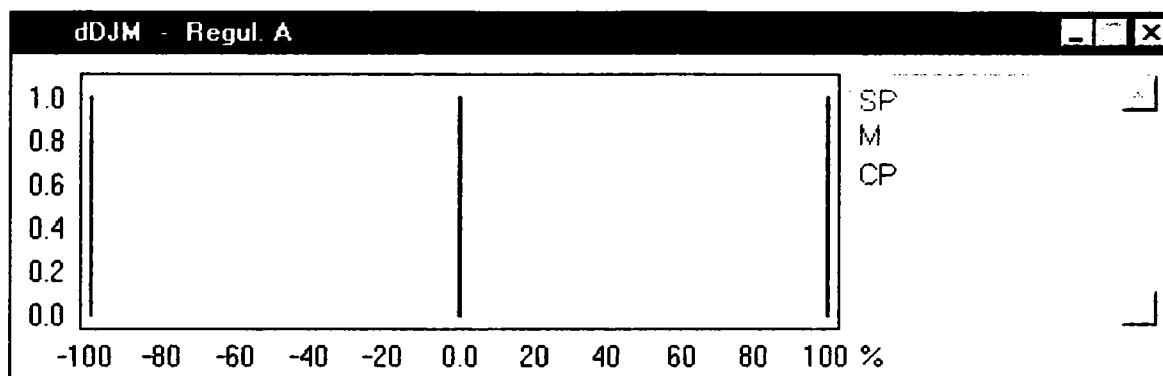


Fig.5.24 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dDJM

c) dDJCM, ajustare poziție clapetă cuptor-moară, %

		%
CP	CREȘTE PUȚIN	+3
M	MENTINE	0
SP	SCADE PUȚIN	-3

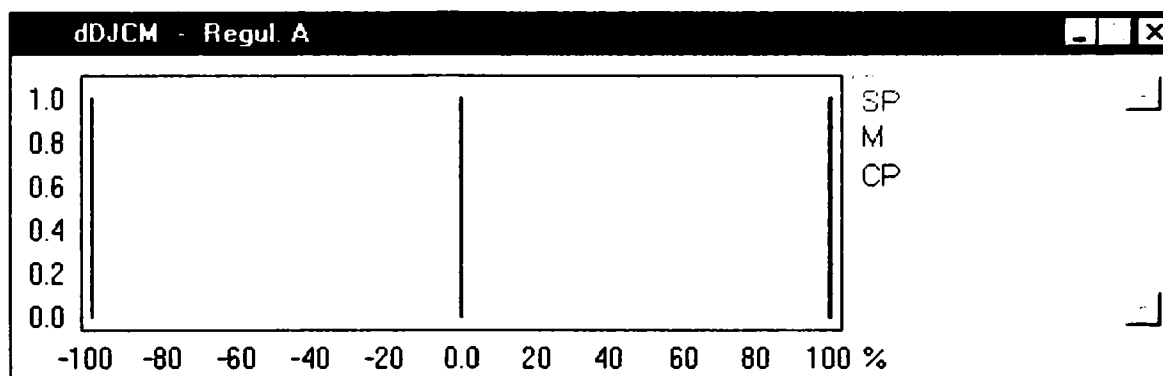


Fig.5.25 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dDJCM

d) dDJEF, ajustare poziție clapetă ventilator desprăfuire electrofiltru.

		%
CP	CREȘTE PUȚIN	+2
M	MENTINE	0
SP	SCADE PUȚIN	-2

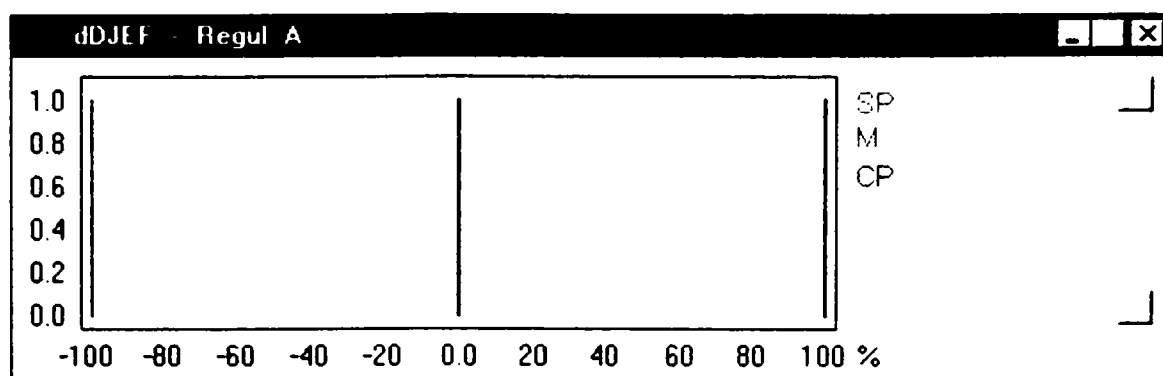


Fig.5.26 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dDJEF

### 3. Reguli de conducere

$$\text{Număr reguli} = 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 = 81$$

Se prezintă spre exemplificare setul de reguli aferent stărilor N pentru TET și TEM.

Editor baza reg.						
Tabela	If				then	
	PET	PEM	TET	TEM	dDJT	Pondere
1.Regula	u. S	u. S	u. N	u. N	CP	1.0
2.Regula	u. S	u. N	u. N	u. N	CP	1.0
3.Regula	u. S	u. R	u. N	u. N	CP	1.0
4.Regula	u. N	u. S	u. N	u. N	M	1.0
5.Regula	u. N	u. N	u. N	u. N	M	1.0
6.Regula	u. N	u. R	u. N	u. N	M	1.0
7.Regula	u. R	u. S	u. N	u. N	SP	1.0
8.Regula	u. R	u. N	u. N	u. N	SP	1.0
9.Regula	u. R	u. R	u. N	u. N	SP	1.0
Regul. A    4 Intrari    9 Reguli    SI / SAU => Conexiune Si / Sau    (51 Reguli)						

Fig.5.27 Tabela de inferență pentru dDJT

Editor baza reg.						
Tabela	If				then	
	PET	PEM	TET	TEM	dDJM	Pondere
1.Regula	u. S	u. S	u. N	u. N	CP	1.0
2.Regula	u. S	u. N	u. N	u. N	M	1.0
3.Regula	u. S	u. R	u. N	u. N	SP	1.0
4.Regula	u. N	u. S	u. N	u. N	CP	1.0
5.Regula	u. N	u. N	u. N	u. N	M	1.0
6.Regula	u. N	u. R	u. N	u. N	SP	1.0
7.Regula	u. R	u. S	u. N	u. N	CP	1.0
8.Regula	u. R	u. N	u. N	u. N	M	1.0
9.Regula	u. R	u. R	u. N	u. N	SP	1.0
Regul. A    4 Intrari    9 Reguli    SI / SAU => Conexiune Si / Sau    (51 Reguli)						

Fig.5.28 Tabela de inferență pentru dDJM

Tabela	If				then	
	PET	PEM	TET	TEM	dDJCM	Pondere
1.Regula	u. S	u. S	u. N	u. N	M	1.0
2.Regula	u. S	u. N	u. N	u. N	M	1.0
3.Regula	u. S	u. R	u. N	u. N	M	1.0
4.Regula	u. N	u. S	u. N	u. N	M	1.0
5.Regula	u. N	u. N	u. N	u. N	M	1.0
6.Regula	u. N	u. R	u. N	u. N	M	1.0
7.Regula	u. R	u. S	u. N	u. N	M	1.0
8.Regula	u. R	u. N	u. N	u. N	M	1.0
9.Regula	u. R	u. R	u. N	u. N	M	1.0

Regul. A    4 Intrari    9 Reguli    SI / SAU => Conexiune Si / Sau    (51 Reguli)

**Fig.5.29** Tabela de inferență pentru dDJCM

Editor baza reg						
Tabela	If				then	
	PET	PEM	TET	TEM	dDJEF	Pondere
1.Regula	u. S	u. S	u. N	u. N	CP	1.0
2.Regula	u. S	u. N	u. N	u. N	M	1.0
3.Regula	u. S	u. R	u. N	u. N	M	1.0
4.Regula	u. N	u. S	u. N	u. N	M	1.0
5.Regula	u. N	u. N	u. N	u. N	M	1.0
6.Regula	u. N	u. R	u. N	u. N	M	1.0
7.Regula	u. R	u. S	u. N	u. N	M	1.0
8.Regula	u. R	u. N	u. N	u. N	M	1.0
9.Regula	u. R	u. R	u. N	u. N	CP	1.0

Regul. A    4 Intrari    9 Reguli    SI / SAU => Conexiune Si / Sau    (51 Reguli)

**Fig.5.30** Tabela de inferență pentru dDJEF

În figurile 5.31, 5.32, 5.33 și 5.34 este prezentată simularea reglării fuzzy, cu controlerul descris în paragraful 3.3, pentru mărimile de comandă dDJT, dDJM, dDJCM și dDJEF.

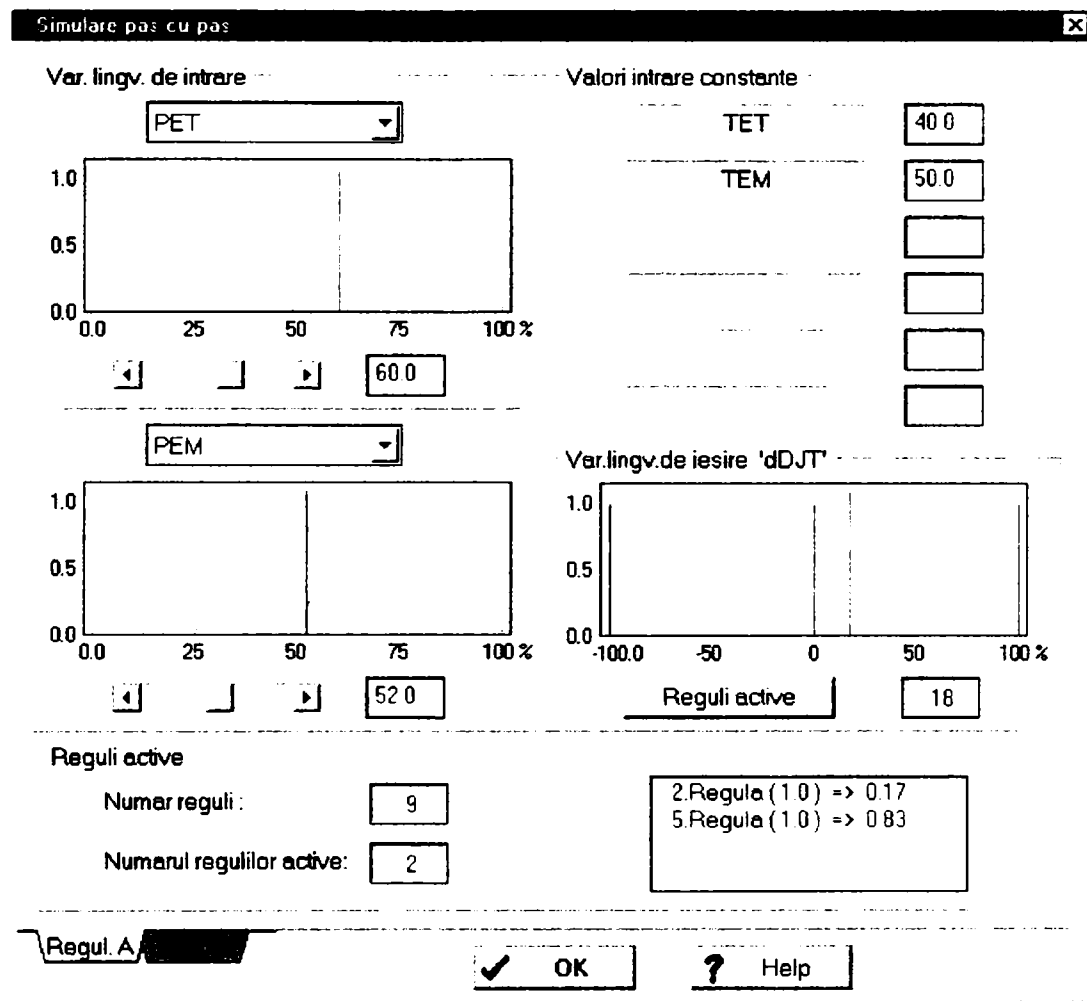


Fig.5.31

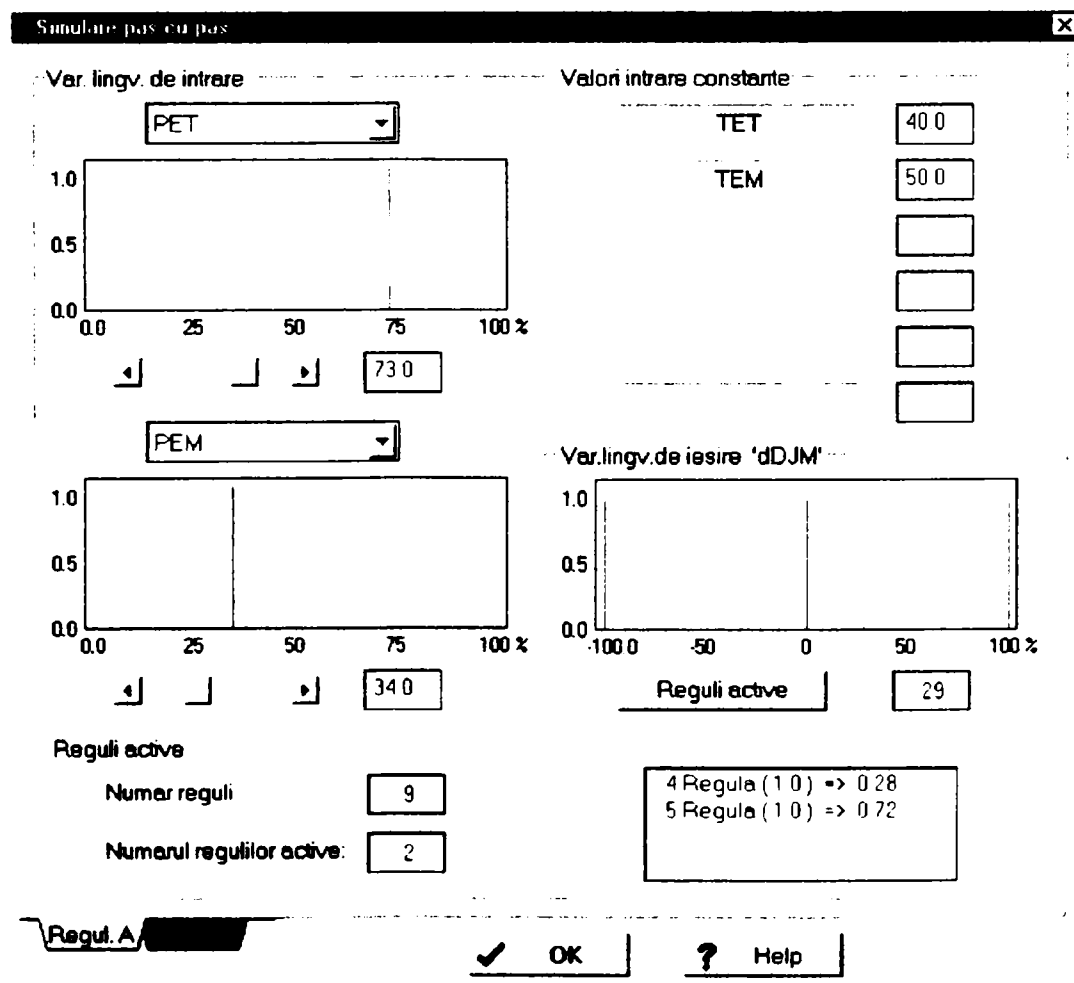


Fig.5.32

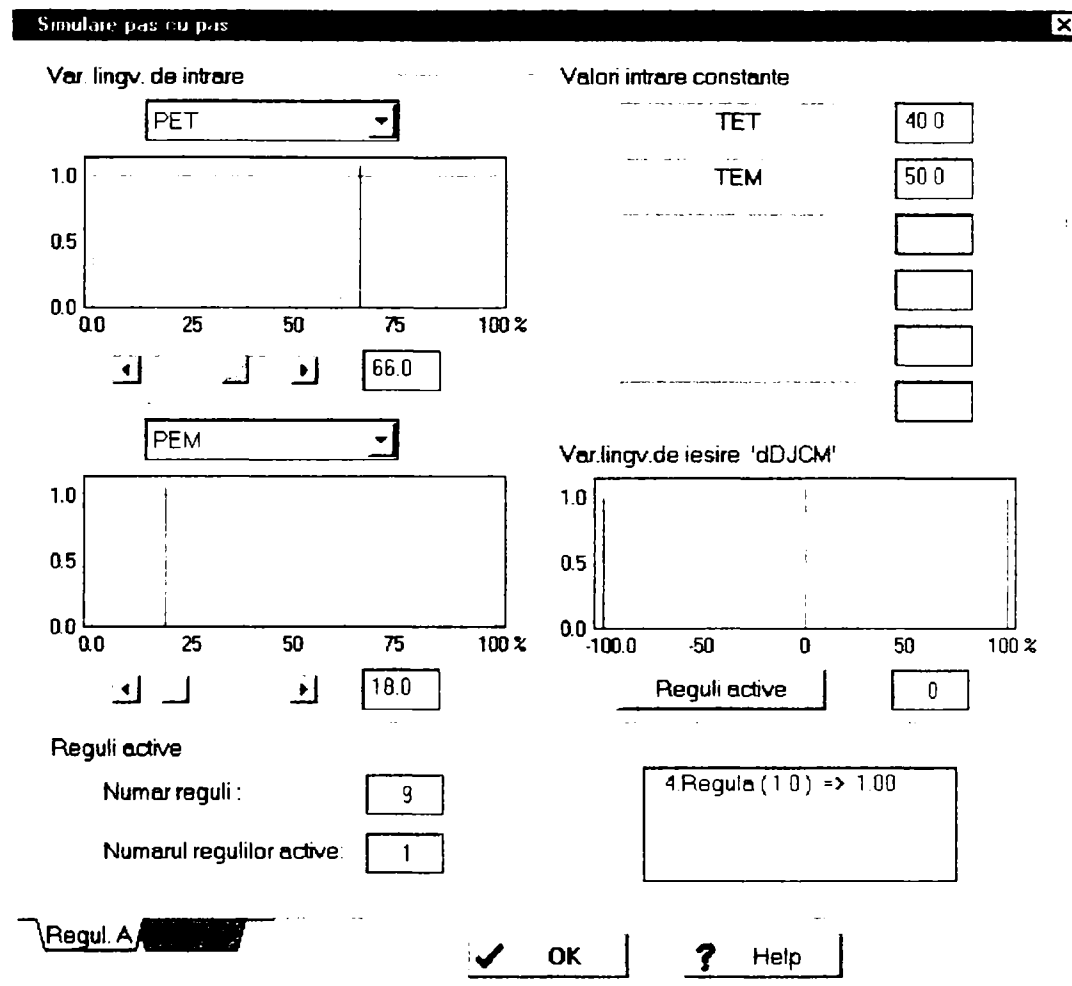


Fig.5.33

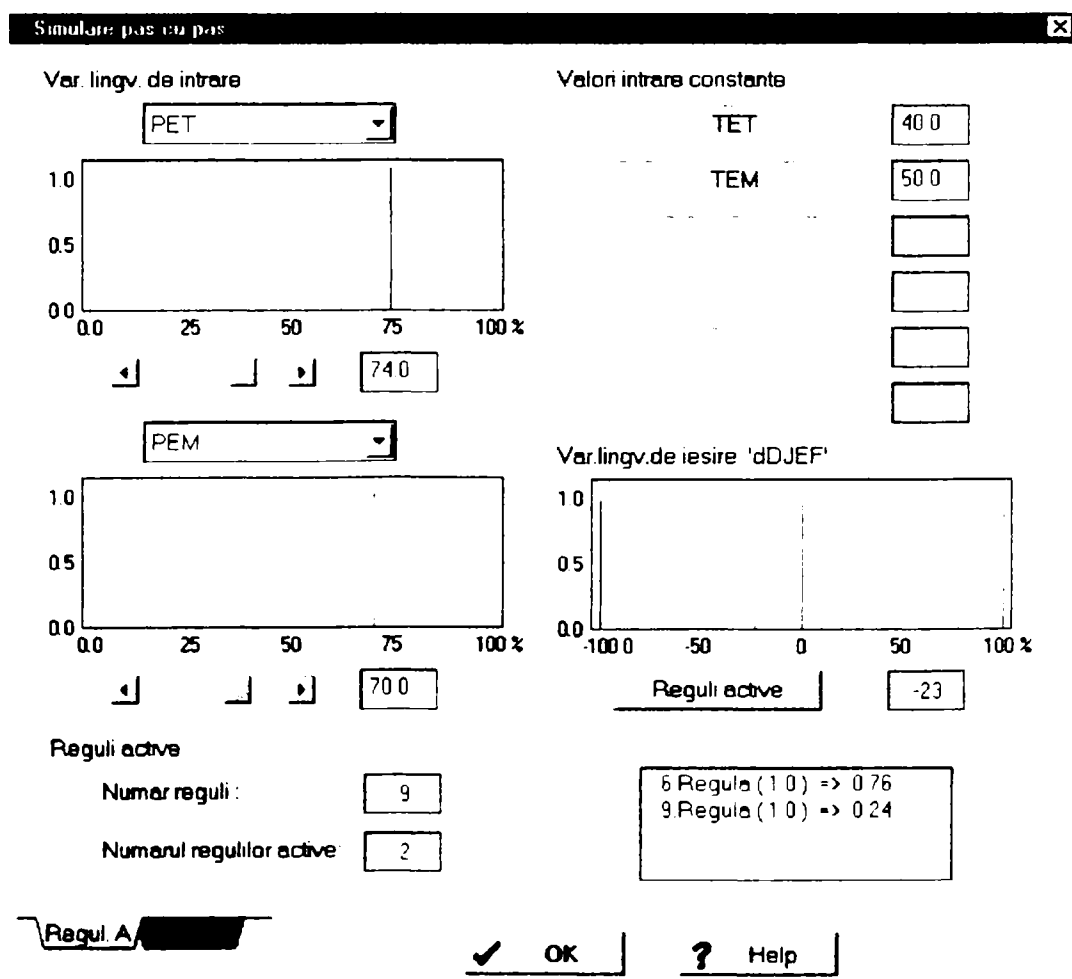


Fig.5.34

### 5.3.2.3 Funcția de reglare a încărcării morii cu material.

#### Mentținerea regimului optim

#### 1. Informații mărime intrare

$$dU = UR - U(\%) \quad (5.21)$$

unde UR - indicația urechii electronice, %

U - valoare impusă (optimă) a indicației urechii electronice, %

Număr stări = 5

dU, %

FR	FOARTE RIDICAT	6 ÷ 10
R	RIDICAT	2 ÷ 6
N	NORMAL	-2 ÷ 2
S	SCĂZUT	-2 ÷ -6
FS	FOARTE SCĂZUT	-6 ÷ -10

OBS. Dacă  $-10 > dU > 10$  se iese din regimul optim și se intră în regim tranzitoriu. Revenirea în regim optim (aducerea morii la încărcarea prescrisă) este soluționată de operator.

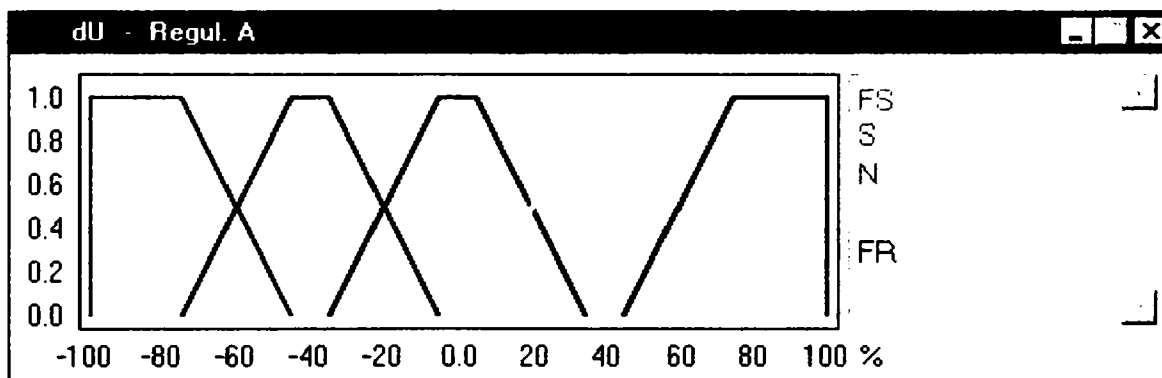


Fig.5.35 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dU

#### 2. Informații mărime comandă

dP - ajustare debit alimentare proaspăt, t/h

CM	CREȘTE MULT	+6
CP	CREȘTE PUȚIN	+3
M	MENTINE	0
SP	SCADE PUȚIN	-3
SM	SCADE MULT	-6

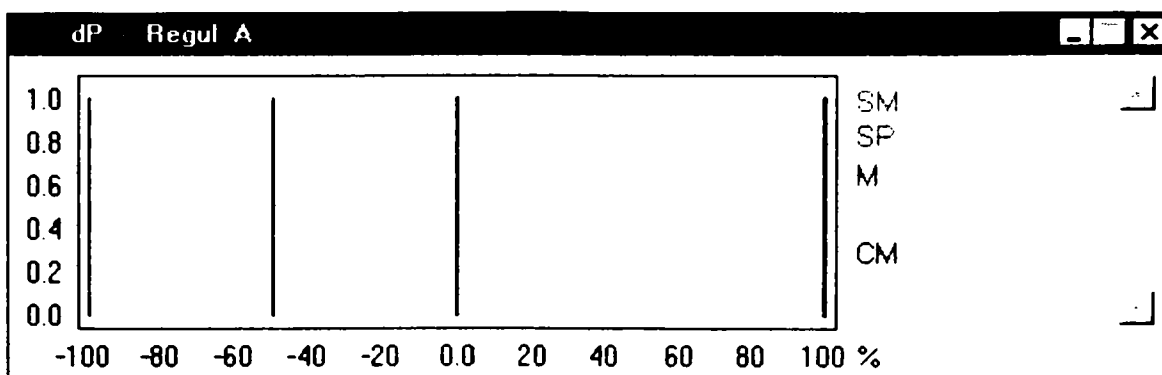


Fig.5.36 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dP



### 3. Reguli conducere

Pentru ajustare debit proaspăt dP de alimentare a morii:

$$\text{Număr reguli} = 5 * 1 = 5$$

Editor baza reg.			
Tabela	if	then	
	dU	dP	Pondere
1.Regula	u. FS	CM	1.0
2.Regula	u. S	CP	1.0
3.Regula	u. N	M	1.0
4.Regula	u. R	SP	1.0
5.Regula	u. FR	SM	1.0

Regul. A    1 Intrari    5 Reguli    SI / SAU => Conexiune Si / Sau

Fig.5.37 Tabela de inferență pentru dP

În figura 5.38 este prezentată simularea reglării fuzzy, cu controlerul descris în paragraful 3.3, pentru mărimile de comandă dP.

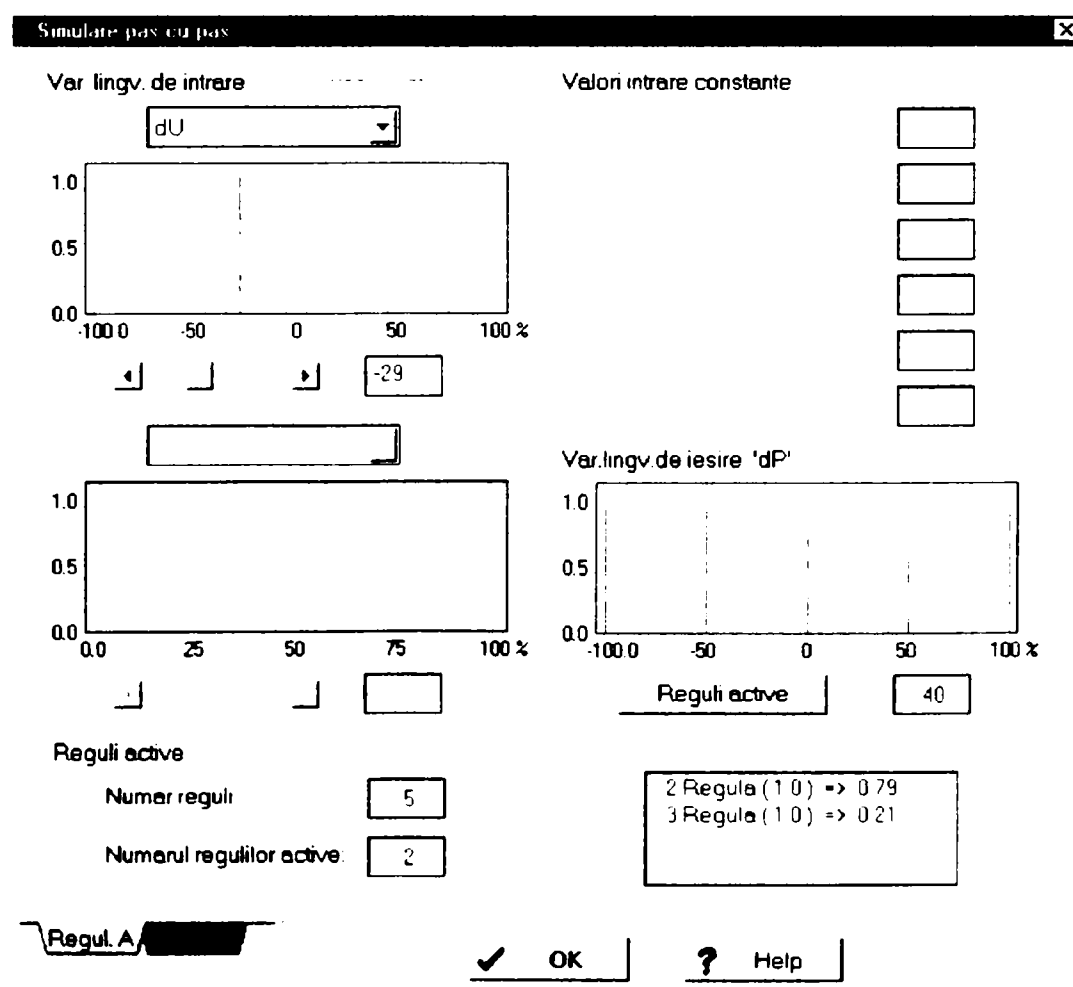


Fig.5.38

## 5.4 Clincherizarea

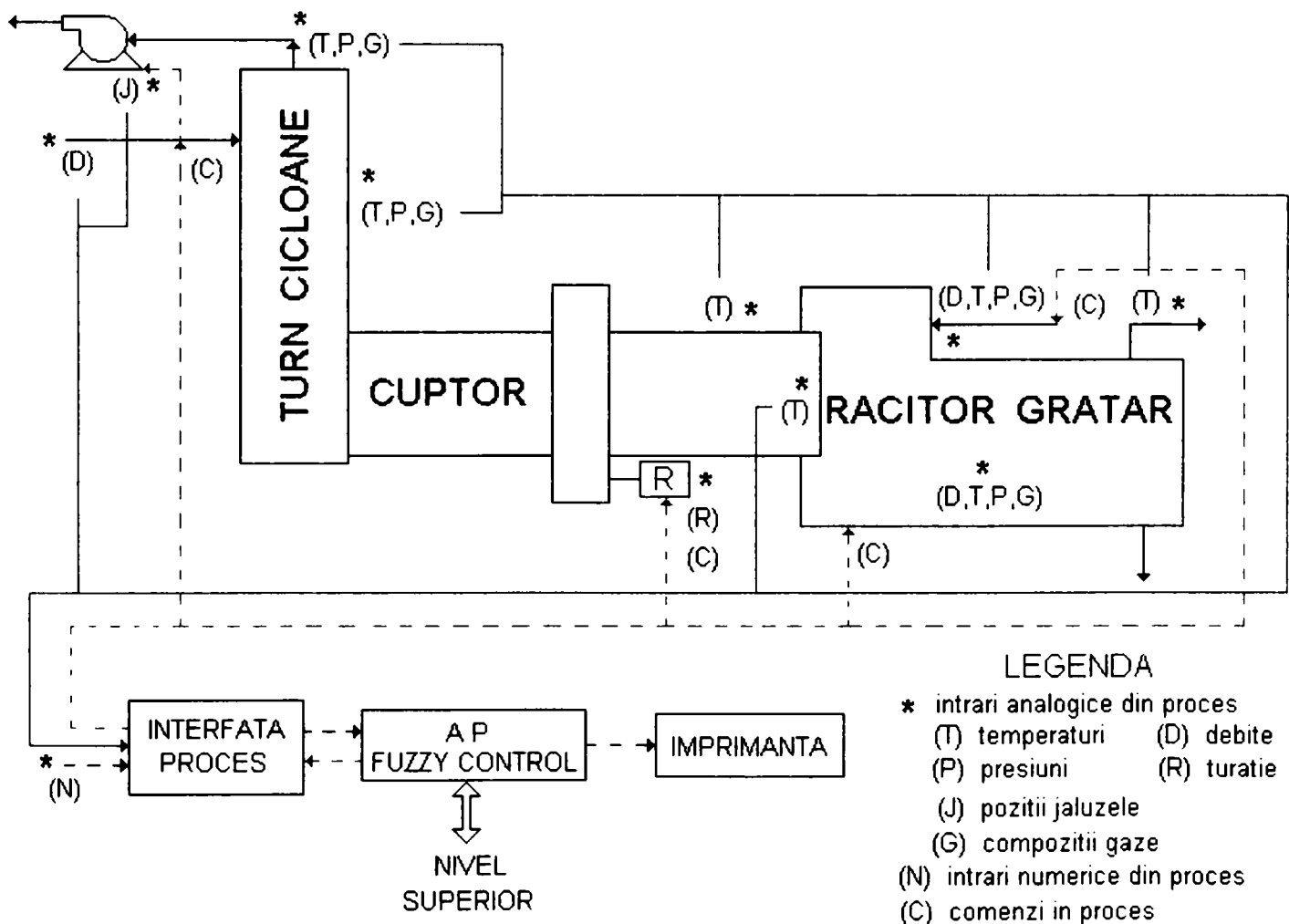
### 5.4.1 Structura sistemului și algoritmul de conducere

[14], [15], [18÷20], [27÷29], [31], [32], [38], [39], [52÷55], [65], [108]

#### Obiective:

Aducerea și menținerea parametrilor de exploatare ai cuptorului la valori optime pentru a permite creșterea producției și reducerea consumurilor specifice (energie electrică și materiale).

Structura sistemului propus pentru conducerea automată a clincherizării este prezentată în figura 5.39.



**Fig.5.39** Structura sistemului de conducere automată a clincherizării

Procesul este condus de un automat programabil (AP) prevăzut cu modulele de intrare/ieșire corespunzătoare și conectat prin rețea la nivelul ierarhic superior. Se propune utilizarea unor traductoare inteligente care vor comunica cu automatul programabil printr-o rețea locală. AP conține și un controler Fuzzy al cărui algoritm este prezentat în paragraful următor. Restul echipamentelor folosite în schemă sunt tipizate.

#### Etapele algoritmului

a) Citirea din proces a parametrilor necesari conducerii: cuplul motor (CM); temperatura în zona de clincherizare (TZ); conținutul de CO la ieșire turn cicloane (COG);

turația cuptorului (TC); debitul de combustibil (DJDC); debitul de alimentare cu făină ramurile A și B (AFA, AFB); poziția jaluzelelor VRA, VRB (DJVRA, DJVRB); conținut de oxigen la treapta a IV-a (OX). Necesari: cuplarea la sistemul de calcul a zece intrări analogice.

b) Prelucrarea parametrilor prelevați din proces conform cerințelor de calcul a mărimilor de intrare.

c) Stabilirea stării procesului la intervale regulate (circa 10 minute) de la lansarea strategiei de conducere. Sistemul verifică încadrarea tuturor mărimilor de intrare în starea normală (N). În cazul în care toate mărimile de intrare se găsesc în stare normală sistemul devine operant și lansează prima decizie de conducere, respectiv calculează ajustările mărimilor de ieșire și noile valori ale acestora.

În cazul în care una sau mai multe mărimi de intrare nu se găsesc în stare normală sistemul sesizează situația și lansează un mesaj de eroare. Operatorul preia conducerea procesului pentru a-l aduce în starea optimă.

d) Pe parcursul conducerii automate sistemul își reactualizează starea și își validează situațiile speciale (desprinderile de lipitură de exemplu).

e) Execuția comenzilor în proces se face la timpii stabiliți de sistem. Pentru execuția comenzilor este necesară cuplarea la sistemul de calcul a ieșirilor numerice specifice pentru: debite alimentare cu făină ramura A și ramura B (CAFA, CAFB), turație cuptor (CTC), poziție jaluzele VRA și VRB (CDJVRA, CDJVRB), poziție ventil ajustare debit combustibil (CDJDC).

### 5.4.2 Proiectarea algoritmului Fuzzy

#### 1. Informații mărimi intrare

a) TZ (temperatura în zona de clincherizare, grade C)

Număr stări = 3

°C

S	SCĂZUTĂ	1100 ÷ 1300
N	NORMALĂ	1300 ÷ 1400
R	RIDICATĂ	1400 ÷ 1500

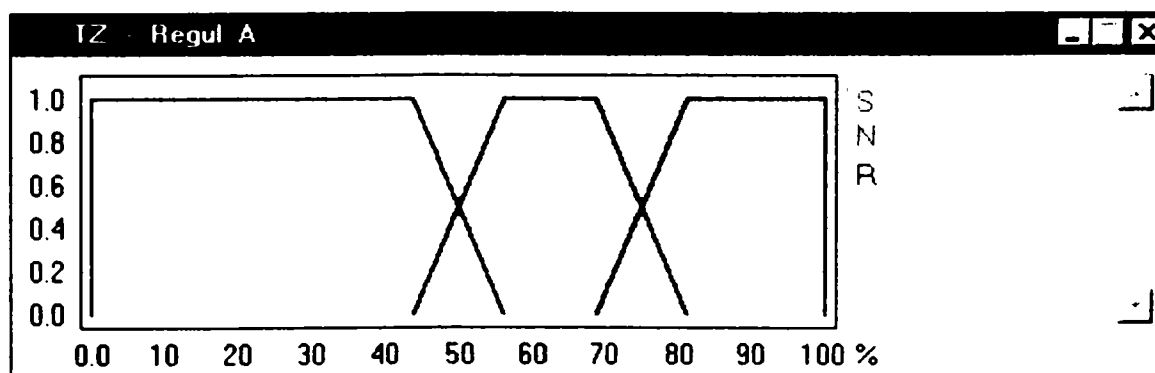


Fig.5.40 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru TZ

b) PTZ (panta medie temperatură în zona de clincherizare, grade)

Număr stări = 3

		grade
STARE	-1	$(-50) \div (-15)$
STARE	0	$(-15) \div 15$
STARE	1	$15 \div 50$

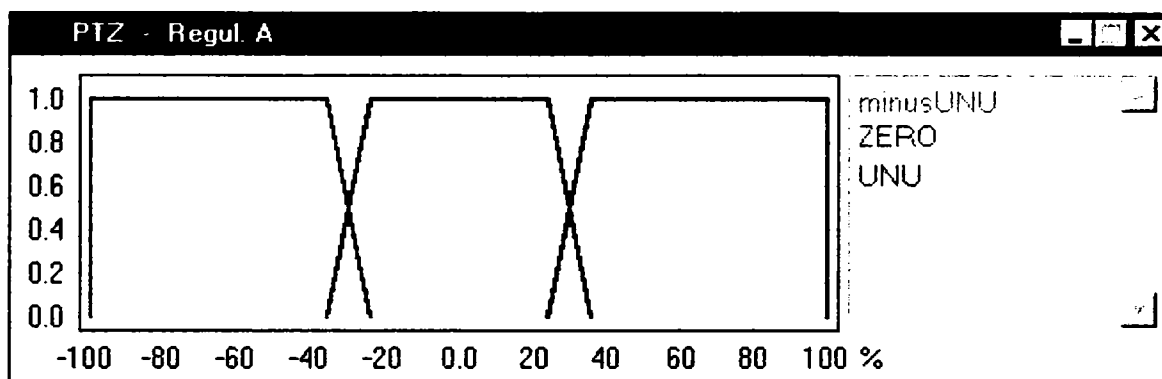


Fig.5.41 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru PTZ

OBS. PTZ caracterizează tendința temperaturii în zona de ardere (TZ).

c) PC (panta medie a cuplului motor, grade)

Număr stări = 5

OBS. Cuplul motor definește încărcarea termică a cuptorului. Ca expresie generală,

- panta definește:
- stare 0 - exploatare normală;
  - stare 1 - încălzire;
  - stare 2 - desprindere lipitură;
  - stare -1 - răcire;
  - stare -2 - răcire puternică.

		grade
STAREA	-2	$(-20) \div (-50)$
STAREA	-1	$(-10) \div (-20)$
STAREA	0	$(-10) \div 10$
STAREA	1	$10 \div 20$
STAREA	2	$20 \div 50$

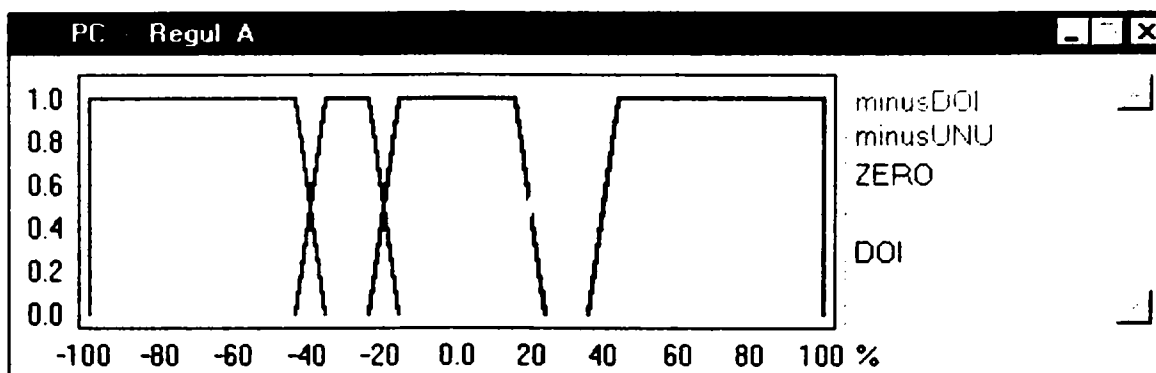


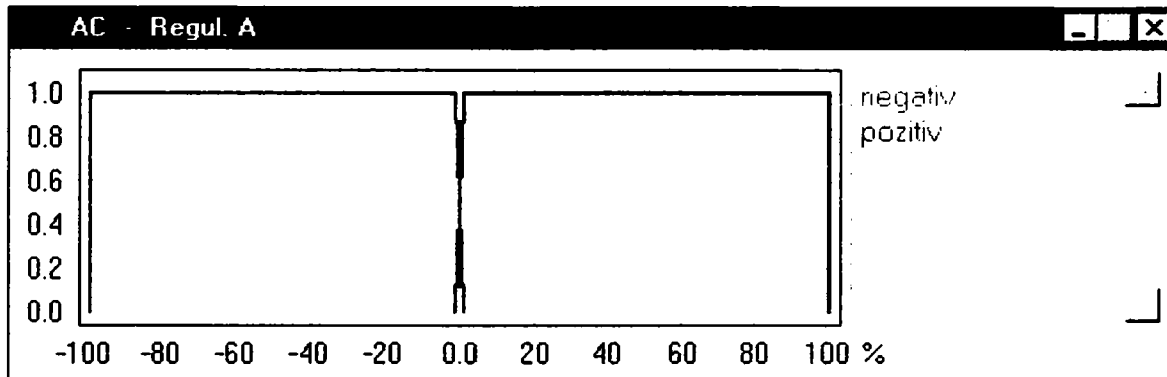
Fig.5.42 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru PC

Departajarea intervalelor stărilor se face prin urmărire în exploatare, deoarece fiecare cuptor se definește din acest punct de vedere în mod specific.

d) AC (abaterea cuplului motor de la valoarea de referință, %)

Număr stări = 2

		%
STAREA	-	-25 ÷ 0
STAREA	+	0 ÷ 25



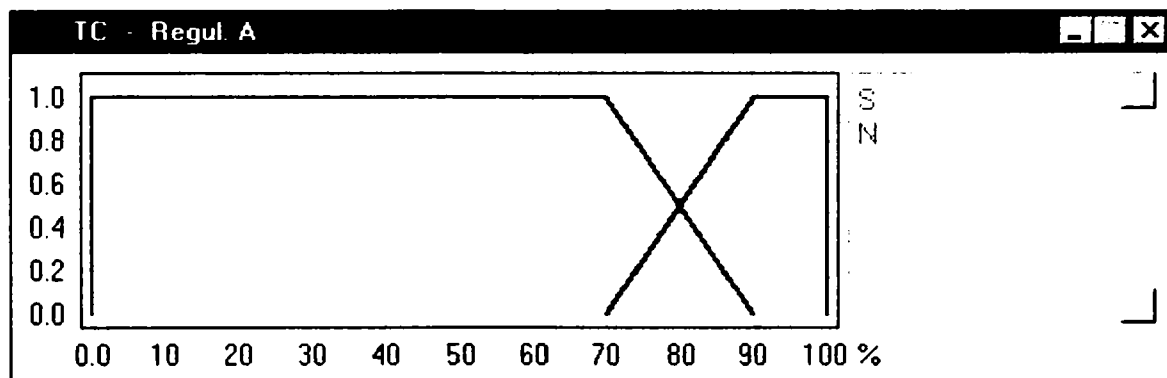
**Fig.5.43** Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru AC

OBS. AC definește situarea cuplului motor față de valoarea de referință, pe care sistemul și-o stabilește și și-o reactualizează în exploatare.

e) TC (turație cuptor, rot/min)

Număr stări = 2

S	SCĂZUTĂ	1.3 ÷ 1.7
N	NORMALĂ	1.7 ÷ 1.8



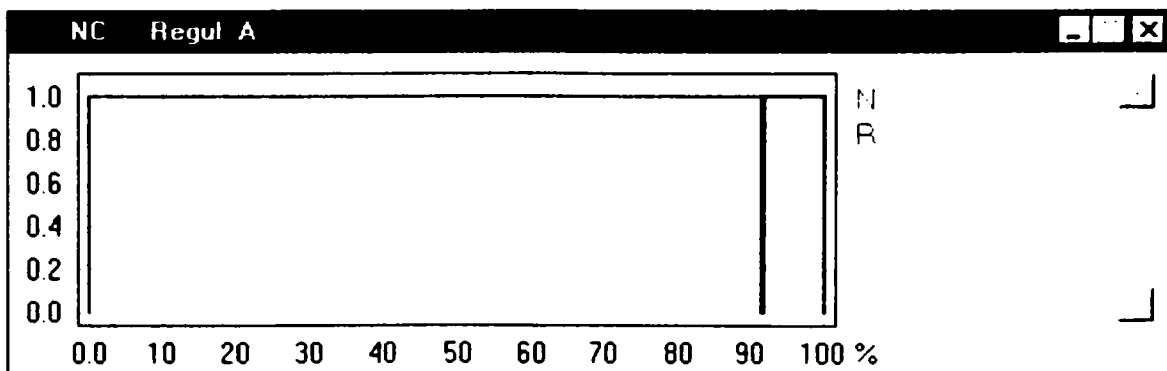
**Fig.5.44** Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru TC

OBS. Turația este corelată cu alimentarea cu făină. În general, alimentarea se mărește (scade) odată cu creșterea (scăderea) turației.

f) NC (nivel corelare turație-alimentare cu făină)

Număr stări = 2

N	NORMAL	0 ÷ 11
R	RIDICAT	11 ÷ 12



**Fig.5.45** Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru NC

OBS. Corelația turație-alimentare cu făină este specifică fiecărui cuptor și se exprimă printr-o familie de curbe turație-debit. R - semnifică faptul că s-a atins nivelul maxim al alimentării (fără creșterea turației).

Prin trecerea de la o familie cu indice mai mic la alta cu indice mai mare se poate realiza creșterea alimentării din treaptă în treaptă fără modificări ale turației.

g) DC (debit combustibil-păcură, l/h)

Număr stări = 2

N	NORMAL	10000 ÷ 15000
R	RIDICAT	15000 ÷ 16000

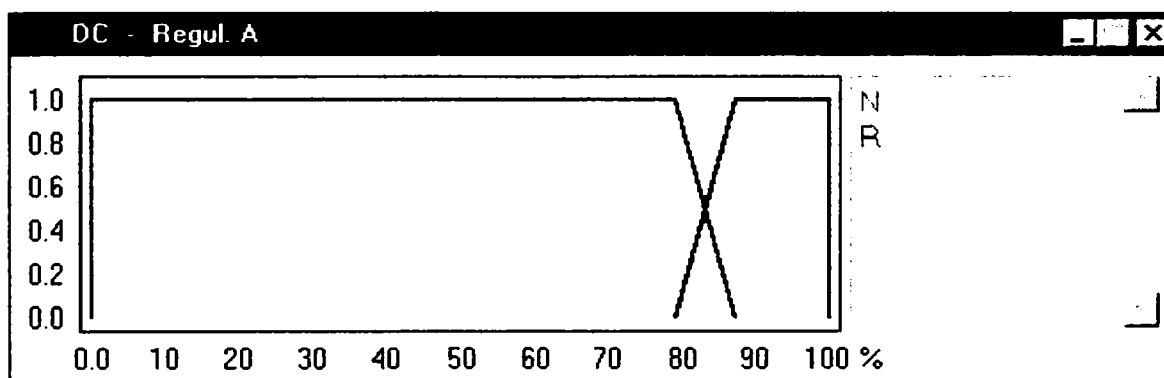


Fig.5.46 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru DC

OBS. Mărimea DC s-a introdus pentru a oferi informații asupra posibilității de creștere a debitului de combustibil, în cazul în care condițiile din cuptor o permit. De exemplu, dacă TZ este scăzută (S) și DC este maxim (R), nu se mai poate aduce cuptorul la stare normală prin creșterea de debit de alimentare cu combustibil, va fi necesară reducerea debitului de alimentare cu făină.

h) COG (conținutul de CO în gazele de ardere la ieșire turn cicloane, %)

Număr stări = 2

N	NORMALĂ	0 ÷ 0.45
R	RIDICATĂ	0.45 ÷ 0.6

OBS. Valoarea maximă 0,6% CO constituie valoarea la care declanșează electrofiltrul. Valoarea CO este o măsură a calității arderii și condiție pentru protecția electrofiltrului.

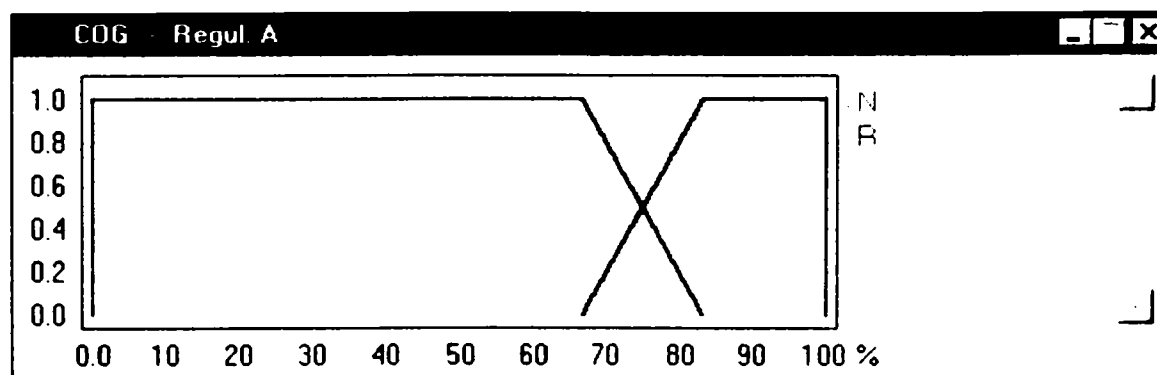


Fig.5.47 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru COG

2. Informații mărime comandă.

a) dCDC - ajustare debit combustibil (prin reglaj ventil), l/h

		± [l/h]
CM	CREȘTE MULT	400
CP	CREȘTE PUȚIN	200
M	MENTINERE	0
SP	SCADE PUȚIN	-200
SM	SCADE MULT	-400

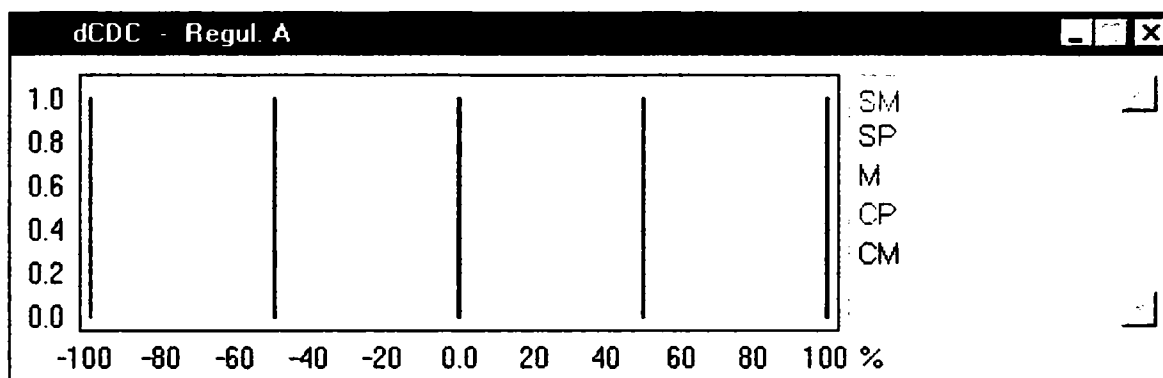


Fig.5.48 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dCDC

b) dCNC - ajustare nivel corelație alimentare cu făină-turație cuptor

C	CREȘTE	1
M	MENTINE	0
S	SCADE	-1

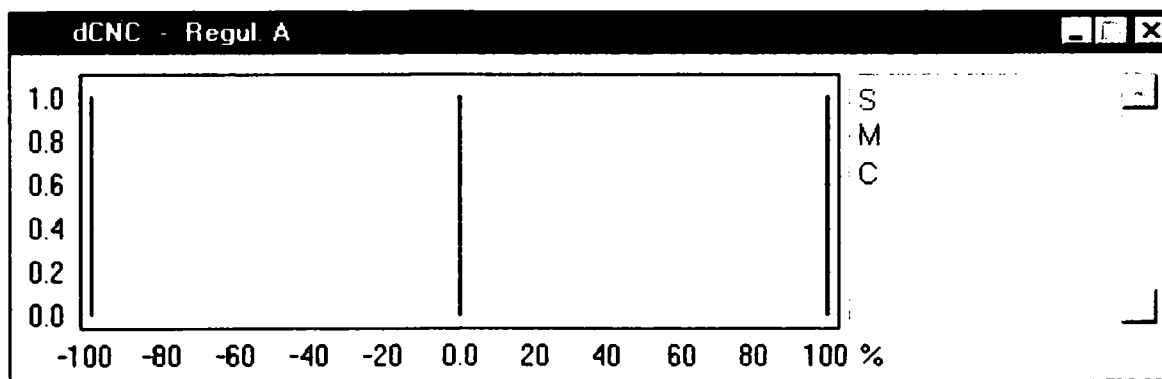
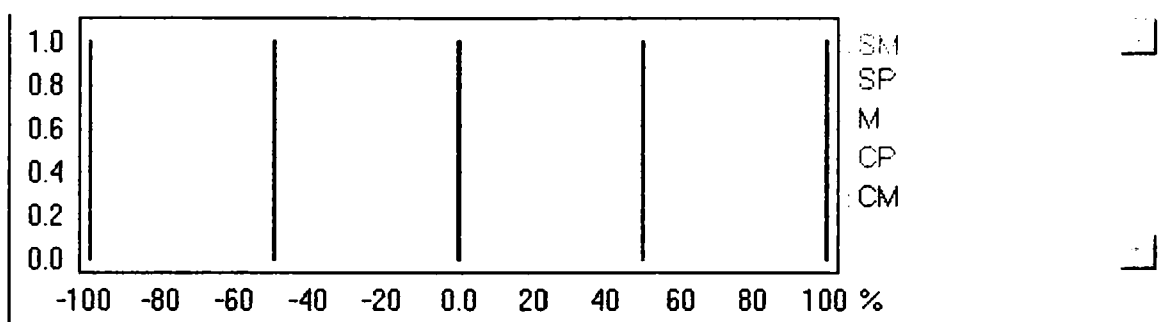


Fig.5.49 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dCNC

c) dCTC - ajustare turație cuptor, rot/min

		[rot/min]
CM	CREȘTE MULT	0.2
CP	CREȘTE PUȚIN	0.1
M	MENTINERE	0
SP	SCADE PUȚIN	-0.1
SM	SCADE MULT	-0.2



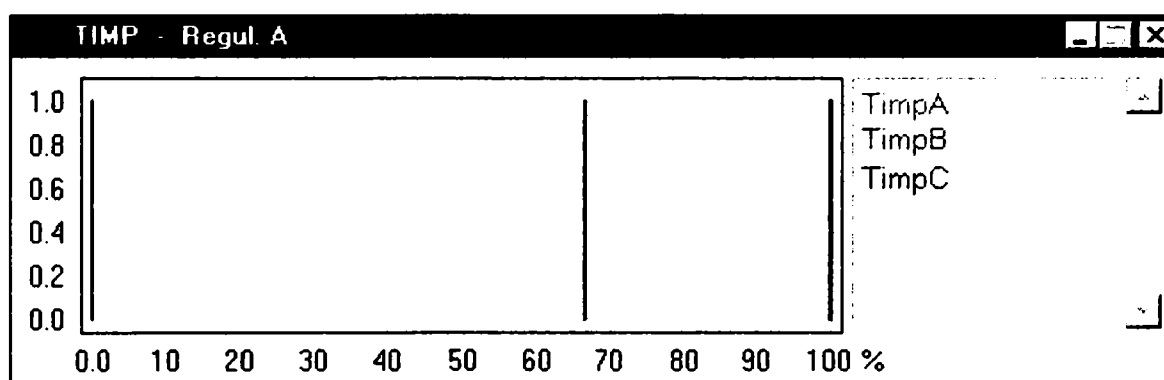
**Fig.5.50** Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dCTC

d) dAFA, dAFB - debit alimentare făină, ramurile A și B, t/h

OBS. Aceste debite se calculează funcție de valoarea fuzzy obținută pentru turație conform 1. f).

e) TIMP - timp relansare conducere, minute

TIMP A	12
TIMP B	16
TIMP C	18



**Fig.5.51** Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru TIMP

f) DJVRA, DJVRB - deschidere jaluzele ventilatoare VRA și VRB, %. Se asigură printr-o buclă de reglare separată, în funcție de conținutul de O<sub>2</sub> la treapta a IV-a.

### 3. Reguli de conducere.

Număr reguli =  $5 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 1440$  reguli

Un exemplu de reguli de conducere este dat în figura 5.52 iar în figura 5.53 este prezentată simularea reglării fuzzy, cu controlerul descris în paragraful 3.3, pentru mărimea de comandă dCDC.



Editor baza reg.										
Tabela	If									then
	TZ	PTZ	PC	AC	TC	NC	DC	COG	dCDC	Pondere
1.Regula	u. R	u. ZERO	u. ZERO	u. pozitiv	u. N	u. R	u. N	u. R	SP	1.0
2.Regula	u. S	u. ZERO	u. ZERO	u. pozitiv	u. N	u. R	u. N	u. R	CP	1.0
3.Regula	u. N	u. ZERO	u. ZERO	u. pozitiv	u. N	u. R	u. N	u. R	M	1.0
4.Regula	u. R	u. UNU	u. ZERO	u. pozitiv	u. N	u. R	u. N	u. R	SM	1.0
5.Regula	u. S	u. UNU	u. ZERO	u. pozitiv	u. N	u. R	u. N	u. R	M	1.0
6.Regula	u. N	u. UNU	u. ZERO	u. pozitiv	u. N	u. R	u. N	u. R	SP	1.0
7.Regula	u. R	u. minusUNU	u. ZERO	u. pozitiv	u. N	u. R	u. N	u. R	M	1.0
8.Regula	u. S	u. minusUNU	u. ZERO	u. pozitiv	u. N	u. R	u. N	u. R	CM	1.0
9.Regula	u. N	u. minusUNU	u. ZERO	u. pozitiv	u. N	u. R	u. N	u. R	CF	1.0

Regul. A    8 Intrari    9 Reguli    SI/SAU => Conexiune Si / Sau

Fig.5.52 Tabela de inferență pentru dCDC

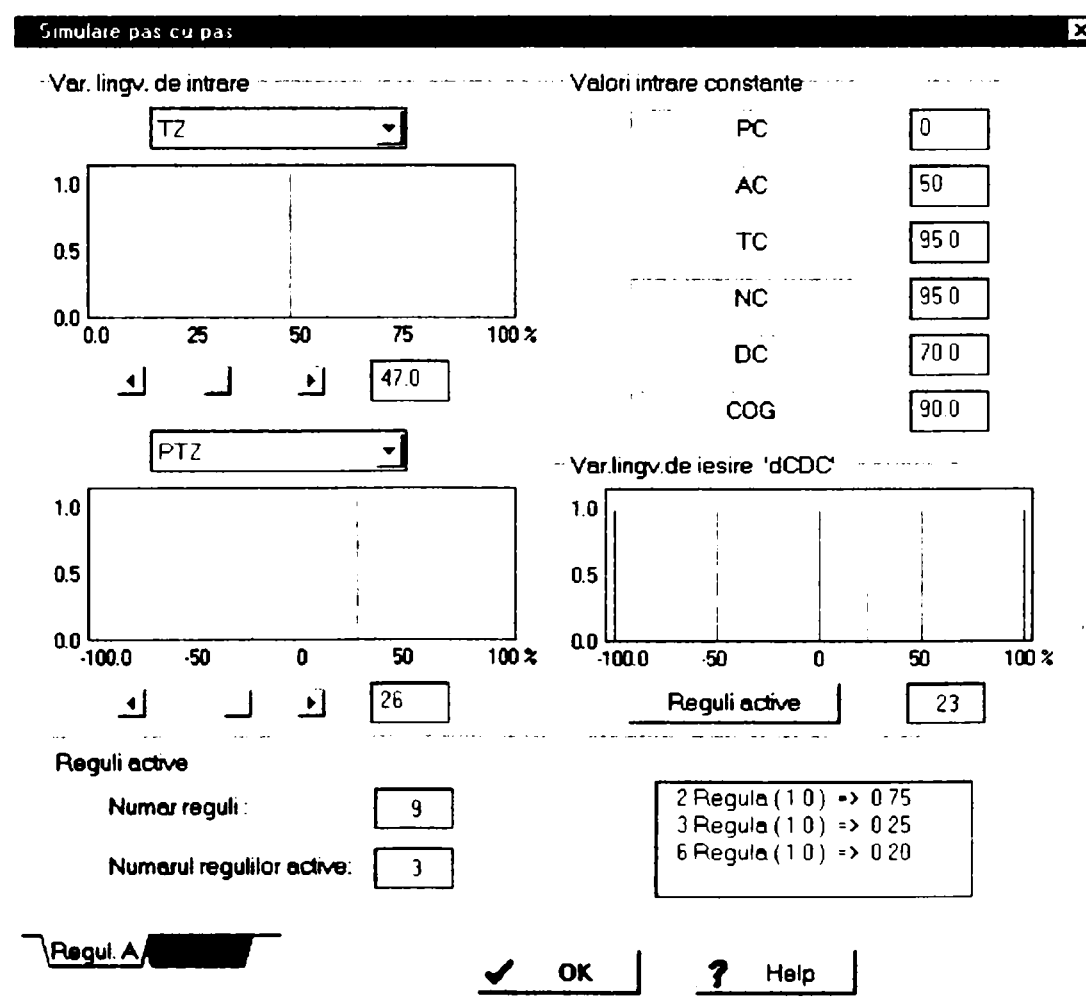


Fig.5.53

## 5.5 Măcinarea clincherului și a adaosurilor

### 5.5.1 Structura sistemului și algoritmul de conducere

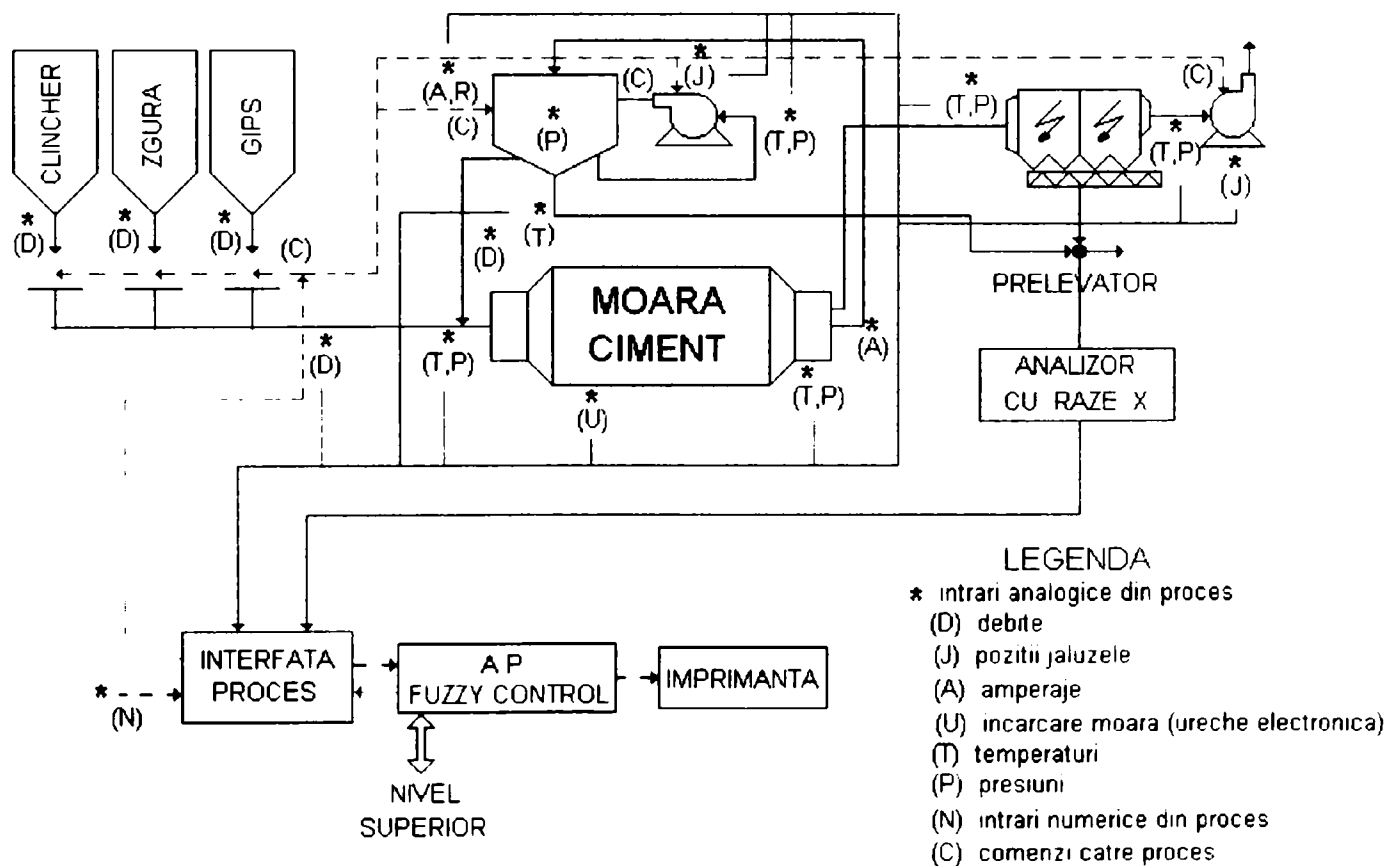
[3], [17÷19], [21], [22], [27÷29], [31], [32], [38], [39], [52÷55], [65], [108]

#### Obiective:

Prin conducerea cu calculatorul a morilor de ciment se urmărește:

- supravegherea procesului tehnologic și culegerea de date din proces;
- urmărirea, pe schema sinoptică, a funcționării instalației de măcinare;
- conducerea automată a procesului tehnologic de măcinare:
  - stabilirea și reglarea proporțiilor de componente (clincher, zgură, gips);
  - reglarea încărcării morii cu material;
  - controlul fineței de măcinare prin reglarea suprafeței specifice a cimentului.

Structura sistemului propus pentru conducerea automată a măcinării clincherului și a adaosurilor este prezentată în figura 5.54.



**Fig.5.54** Structura sistemului de conducere automată a morii de ciment

Procesul este condus de un automat programabil (AP) prevăzut cu modulele de intrare/ieșire corespunzătoare și conectat prin rețea la nivelul ierarhic superior. Se propune utilizarea unor traductoare inteligente care vor comunica cu automatul programabil printr-o rețea locală. AP conține și un controler Fuzzy al cărui algoritm este prezentat în paragraful următor. Restul echipamentelor folosite în schemă sunt tipizate.

### 5.5.1.1 Funcția de reglare proporții componente

#### Obiectiv:

Mentținerea valorii conținutului de SO<sub>3</sub> din ciment la valoare prestabilită (impusă) pentru sortimentul de ciment fabricat. Se realizează prin ajustări periodice (circa 1/2h) ale proporției de gips.

#### Ipoteze de bază:

1) Se consideră proporția de adaos (zgură) constantă și egală cu valoarea dorită pentru sortimentul fabricat.

2) Se consideră că variația conținutului de SO<sub>3</sub> din ciment se datorează variației conținutului acestui parametru în gips (în general pentru un anumit clincher conținutul de SO<sub>3</sub> variază în limite foarte strânse, la fel și pentru conținutul de SO<sub>3</sub> în zgură).

#### Etapetele algoritmului:

a) Citirea debitelor de clincher (DK), zgură (DZ) și gips (DG) din proces. Necesare: dozatoare gravimetrice pentru clincher, zgură, gips și cuplarea la sistemul de calcul a celor trei mărimi analogice ce reprezintă debitele acestora.

b) Prelevarea și analiza (SO<sub>3</sub>) de probe de ciment la intervalul de eșantionare (1/2 h). Necesare: prelevator probe medii ciment; poștă pneumatică transport capsulă cu probă la laborator; analizor pentru determinarea conținutului de SO<sub>3</sub> în ciment; contact pentru semnalizarea momentului prelevării (două intrări numerice).

c) Calculul alimentării morii de ciment cu clincher, zgură și gips în intervalul dintre două eșantionări (prelevări). Se realizează soft prin integrarea debitelor de alimentare DK, DZ și DG.

Producția morii (cantitativ) de ciment:

$$\begin{array}{ccc} QMC = QK + QZ + QG & & (5.22) \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow & & \\ \Sigma DK \quad \Sigma DZ \quad \Sigma DG & & \end{array}$$

d) Calculul (soft) proporțiilor reale la alimentarea morii de ciment în intervalul eșantion-eșantion:

Pentru clincher:

$$PRK = \frac{QK}{QMC} \cdot 100 [\%] \quad (5.23)$$

Pentru zgură:

$$PRZ = \frac{QZ}{QMC} \cdot 100 [\%] \quad (5.24)$$

Pentru gips:

$$PRG = \frac{QG}{QMC} \cdot 100 [\%] \quad (5.25)$$

e) Calculul (conform algoritmului fuzzy) ajustării proporției de gips  $\Delta PRG_n$ . Atunci, proporția nouă de gips se calculează:

$$\begin{array}{l} \text{PRG}_n \\ \text{eșantionare } n \end{array} = \begin{array}{l} \text{PRG}_{n-1} \\ \text{proporții realizate} \\ \text{la eșantionarea } n-1 \end{array} + \begin{array}{l} \Delta\text{PRG}_n \\ \text{calculat fuzzy} \end{array} \quad (5.26)$$

iar celelalte proporții devin:

- pentru cazul utilizării la alimentarea morii a numai doi componenți (clincher + gips)

$$\text{PRK}_n = 100 - \text{PRG}_n \quad (5.27)$$

- pentru cazul utilizării a trei componenți (clincher, zgură, gips)

$$\text{PRK}_n = 100 - \text{PRZ}_n - \text{PRG}_n \quad (5.28)$$

f) Transmiterea în proces a noilor valori  $\text{PRK}_n$ ,  $\text{PRG}_n$ .

La o nouă estimare ciclul se reia:

- eșantionare;
- determinare valoare  $\text{SO}_3$  în ciment;
- tratare conform algoritmului fuzzy - calculul  $\Delta\text{PRG}_n$ ;
- calcul proporție nouă de gips;
- calcul proporție nouă de clincher (pentru doi respectiv trei componenți);
- realizare proporții noi (comenzi în proces).

Proporțiile calculate devin referințe. Pentru realizarea comenzilor (% debite) în proces este necesară cuplarea la sistemul de calcul a șase ieșiri numerice (clincher, zgură, gips).

#### 5.5.1.2 Funcția de reglare a finetei de măcinare

(prin modificare poziție jaluzele ventilator separator - turație disc constantă)

##### Obiectiv:

Mentținerea valorii suprafeței specifice a cimentului (SM) la valoarea impusă pentru sortimentul de ciment fabricat. Se realizează prin ajustări periodice ale turației discului de împrăștiere a separatorului (TD) și/sau ale deschiderii jaluzelor ventilatorului de recirculare (DJ).

Sens de acțiune:

- TD  $\uparrow$   $\rightarrow$  SM  $\uparrow$
- DJ  $\uparrow$   $\rightarrow$  SM  $\downarrow$

##### Etapele algoritmului:

a) Citirea periodică (1/2 h) a valorii turației discului de împrăștiere a separatorului (TD) și a valorii deschiderii jaluzelor ventilatorului de recirculare (DJ). Necesari: cuplarea la sistemul de calcul a două intrări analogice (TD, DJ).

b) Prelevarea și analiza (suprafeței specifice) de probe medii de ciment la intervalul de eșantionare (1/2 h). Necesari: prelevator probe medii de ciment, poștă pneumatică transport capsulă cu probă la laborator, analize pentru determinarea suprafeței specifice (Blaine granulometru), contact pentru semnalarea momentului prelevării (două intrări numerice).

Proba de ciment poate fi aceeași cu cea utilizată la reglarea proporțiilor (același prelevator , două intrări numerice pentru ambele reglaje).

c) Calculul (soft) valorii medii a TD și DJ în perioada eșantion-eșantion.

$$TD_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n (TD)_i}{n} \quad (5.29)$$

$$DJ_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n (DJ)_i}{n} \quad (5.30)$$

unde n - numărul de valori ale parametrilor TD și DJ prelevate din proces

d) Calculul fuzzy al ajustării TD și/sau DJ:  $\Delta TD_n$ ,  $\Delta DJ_n$ .

e) Calculul noilor valori ale turației separatorului și deschiderii jaluzelelor. În principiu, pentru

- turație:  $TD_n = TD_{n-1} + \Delta TD_n$  (5.31)

- deschidere jaluzele:  $DJ_n = DJ_{n-1} + \Delta DJ_n$  (5.32)

f) Transmiterea comenzilor (noile valori ale  $TD_n$  și  $DJ_n$ ) în proces.

La o nouă eșantionare (după 1/2 h) ciclul se reia:

- citire și mediere valori  $TD_{n-1}$  și  $DJ_{n-1}$  din proces;
- prelevare și analiză (SM) probă ciment;
- calcul fuzzy ajustări TD și DJ -  $\Delta TD_n$ ,  $\Delta DJ_n$ ;
- calcul valori noi pentru TD și DJ;
- realizare valori (comenzi)  $TD_n$  și  $DJ_n$  în proces.

Pentru realizarea comenzilor în proces este necesară cuplarea la sistemul de calcul a patru ieșiri numerice (pentru  $TD_n$  și  $DJ_n$ ).

### 5.5.1.3 Funcția de reglare a încărcării morii cu material.

#### Mentținerea regimului optim

##### Obiective:

Mentținerea încărcării morii cu material la nivelul impus, atins odată cu trecerea de la regimul tranzitoriu la regimul optim de încărcare (implică creșterea producției, economisirea energiei, protecția echipamentului morii).

Se realizează prin ajustări periodice ale debitului de alimentare în conformitate cu valoarea P + G sau indicația urechii electronice.

##### Etapele algoritmului:

a) Citirea debitelor de clincher, zgură și gips din proces (DK, DZ, DG). Citirea debitului de gris (DGR) și a indicației urechii electronice din proces (U). Necesare: dozatoare gravimetrice pentru clincher, zgură și gips; ureche electronică camera I moară și/sau cântar bandă gris și cuplarea la sistemul de calcul a debitelor (DK, DG, DZ, DGR) și a indicației urechii electronice (U) - cinci intrări analogice (trei deja menționate la funcția reglare proporții componente: DK, DZ, DG).

b) Calculul (soft) debitului de material proaspăt (P), a debitului total de alimentare în moară (P + GR) sau a indicației urechii electronice (U).

c) Medierea valorii de la punctul b) în intervalul de comandă (~ 1min):

$$P_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (5.33)$$

$$(P + GR)_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n (P + GR)_i}{n} \quad (5.34)$$

$$U_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n} \quad (5.35)$$

unde n - număr de valori

d) Calculul abaterii alimentării de la valoarea prescrisă.

$$\Delta P = (P + GR)_{med} - ALT \quad (5.36)$$

și 
$$\Delta U = (U)_{med} - U \quad (5.37)$$

e) Calculul ajustării debitului total  $\Delta P_n$ ,  $\Delta U_n$  conform algoritmului fuzzy.

f) Calculul noii valori a debitului de alimentare cu material proaspăt:

$$P_n = P_{n-1} + \Delta P_n \quad (5.38)$$

g) Transmiterea noii valori  $P_n$  în proces. După un nou interval de comandă (~1min) ciclul se reia:

- citire și mediere valori: DK, DG, DZ, DGR, U din proces;
- calculul valorii totale a alimentării  $(P + GR)_{n-i med}$  și  $U_{n-1 med}$ ;
- calculul abaterii alimentării de la valoarea prescrisă:  $\Delta P$  și  $\Delta U$ ;
- calculul (fuzzy) ajustări debit total de alimentare:  $\Delta P_n$ ;
- calculul debitului proaspăt total de alimentare  $P_n$ ;
- realizarea comenzilor ( $P_n = DK_n + DZ_n + DG_n$ ) în proces.

Pentru realizarea comenzilor în proces este necesară cuplarea la sistemul de calcul a șase ieșiri numerice (DK, DZ, DG), aceleași ca pentru realizarea funcției de dozare.

OBS. 1. Algoritmul de reglare a încărcării furnizează valoarea totală a debitului de material proaspăt de alimentare a morii ( $P_n$ ). Valoarea debitelor  $DK_n$ ,  $DZ_n$ ,  $DG_n$  se calculează ca % din  $P_n$ , conform proporțiilor stabilite de funcția de reglare proporții componente.

2. În locul valorii:

$$\Delta P = PGR - ALT \quad (5.39)$$

se poate utiliza ca mărime de intrare valoarea:

$$\Delta U = UR - U, \quad (5.40)$$

reprezentând valoarea abaterii indicației urechii electronice da la valoarea de referință. După etalonarea urechii electronice este necesară stabilirea unei corespondențe U - ALT, pentru a putea ajusta caracteristicile mărimii de comandă în unități de debit.

3. Intervalul dintre comenzi se stabilește experimental. Obiectivul este acela de a evita comenzi dure la alimentarea morii (în general,  $t_{\text{comandă}} \sim 1\text{min}$ ).

4. Algoritmul stabilește debitul total de alimentare cu material proaspăt. Proporțiile componentelor sunt date de funcția reglare proporții.

### 5.5.2 Proiectarea algoritmilor Fuzzy

#### 5.5.2.1 Funcția de reglare proporții componente

##### 1. Informații mărimi intrare

SC (% SO<sub>3</sub> în ciment)

Număr stări = 5

		%
FS	FOARTE SCĂZUT	0 ÷ 1.5
S	SCĂZUT	1.5 ÷ 2
N	NORMAL	2 ÷ 2.5
R	RIDICAT	2.5 ÷ 3
FR	FOARTE RIDICAT	3 ÷ 5

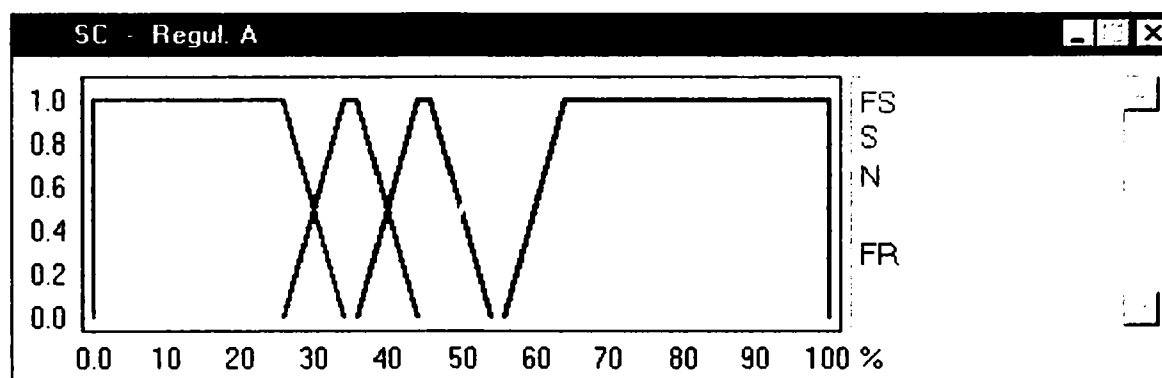


Fig.5.55 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru SC

##### 2. Informații mărimi comandă

dPRG - ajustare proporții gips în amestec

OBS. Toate valorile (inclusiv regulile) odată configurate (programate) se pot reconfigura conform cerințelor tehnologului (valabil pentru toate strategiile de conducere Fuzzy).

		%dPRG
CM	CREȘTE MULT	2.4
CP	CREȘTE PUȚIN	1.2
M	MENTINE	0
SP	SCADE PUȚIN	-1.2
SM	SCADE MULT	-2.4

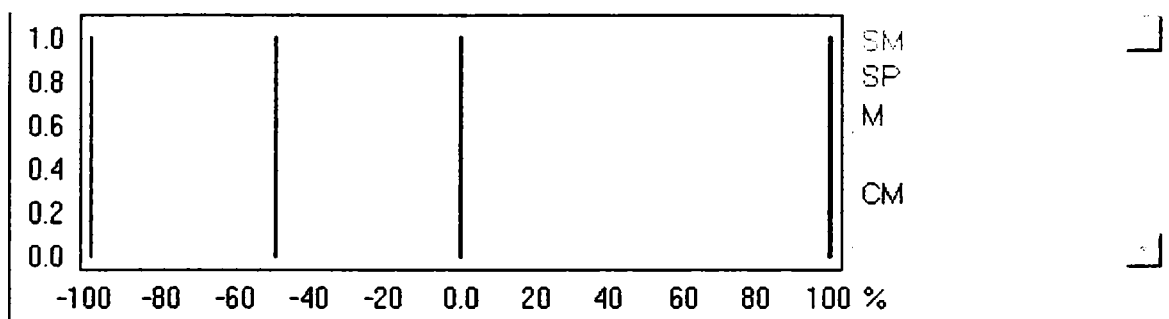


Fig.5.56 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dPRG

### 3. Reguli de conducere

Pentru ajustare proporții gips:  
 Număr reguli =  $5 \cdot 1 = 5$

Editor baza reg.

Tabela	If	then	
	SC	dPRG	Pondere
1.Regula	u. FS	CM	1.0
2.Regula	u. S	CP	1.0
3.Regula	u. N	M	1.0
4.Regula	u. R	SP	1.0
5.Regula	u. FR	SM	1.0

Regul. A | 1 Intrari | 5 Reguli | SI/SAU => Cor

Fig.5.57 Tabela de inferență pentru dPRG

În figura 5.58 este prezentată simularea reglării fuzzy, cu controlerul descris în paragraful 3.3, pentru mărirea de comandă dPRG.

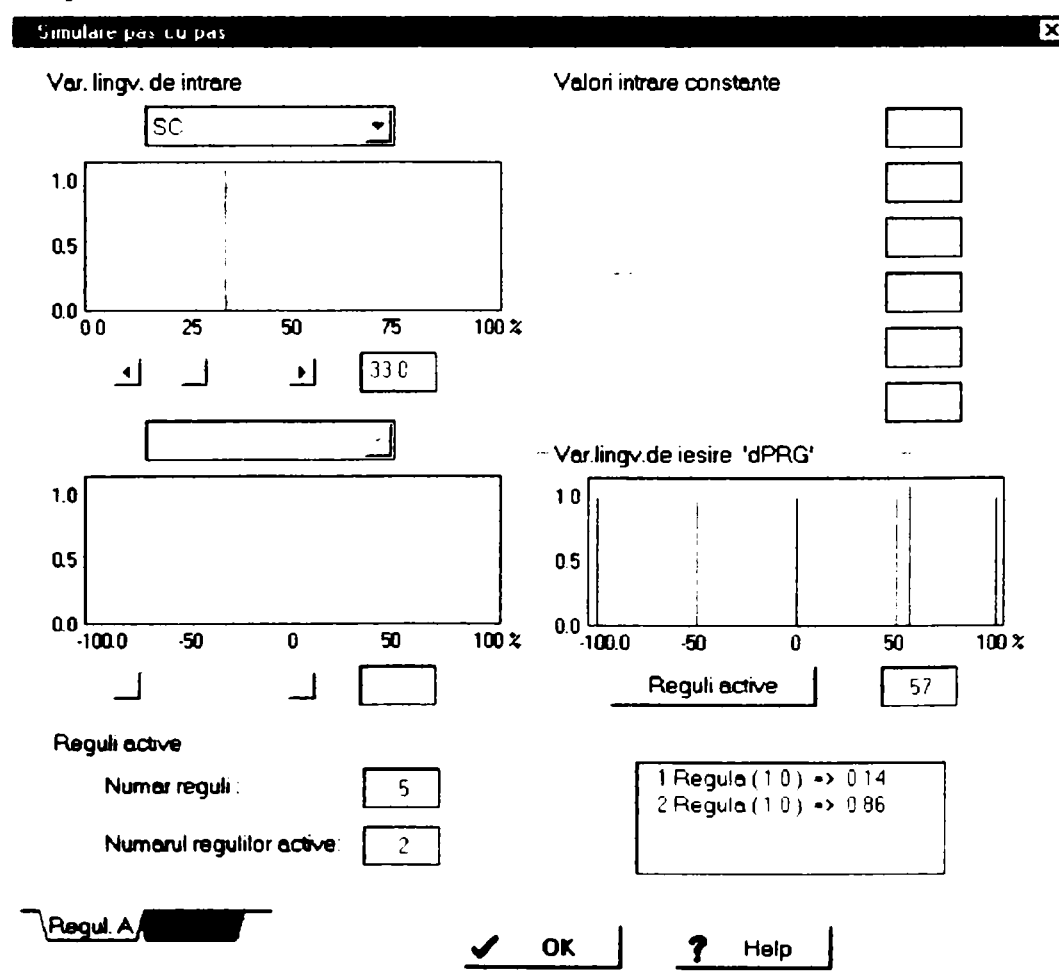


Fig.5.58



### 5.5.2.2 Funcția de reglare a finetei de măcinare

(prin modificare poziție jaluzele ventilator separator - turație disc constantă)

#### 1. Informații mărime intrare

SM (suprafață specifică ciment,  $\text{cm}^2/\text{g}$ )

Număr stări = 5

		$\text{cm}^2/\text{g}$
FS	FOARTE SCĂZUT	2400 ÷ 2800
S	SCĂZUT	2800 ÷ 3000
N	NORMAL	3000 ÷ 3200
R	RIDICAT	3200 ÷ 3400
FR	FOARTE RIDICAT	3400 ÷ 3800

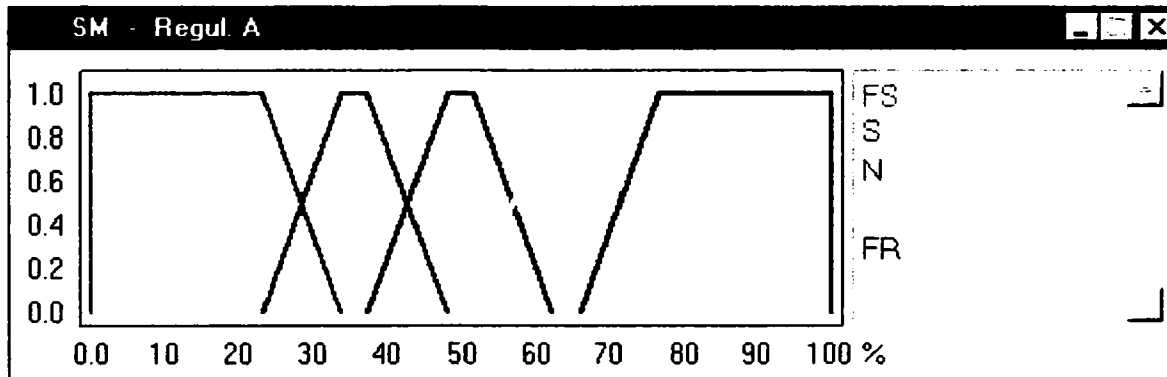


Fig.5.59 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru SM

#### 2. Informații mărime comandă

dDJ (ajustare poziție deschidere jaluzele).

		%
CM	CREȘTE MULT	+25
CP	CREȘTE PUȚIN	+12.5
M	MENTINE	0
SP	SCADE PUȚIN	-12.5
SM	SCADE MULT	-25

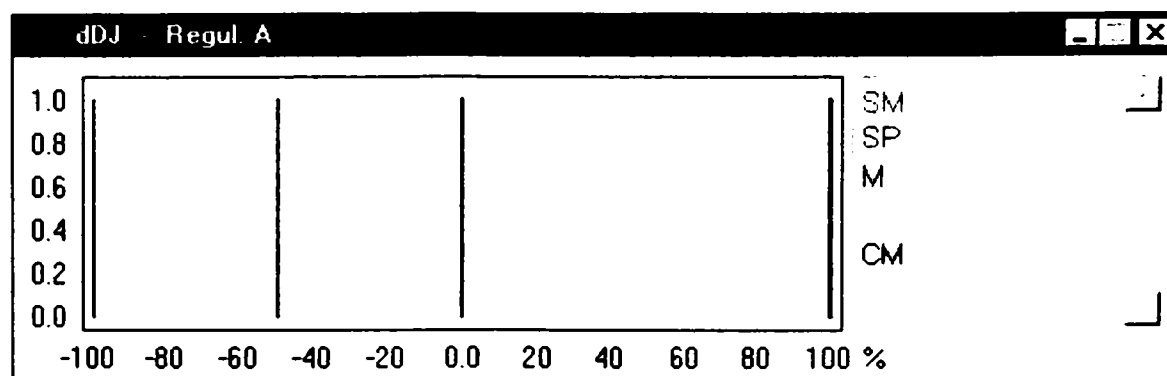


Fig.5.60 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dDJ

Ajustarea se execută numai dacă noua poziție a jaluzelor se află în limitele de operare:  $D_{lims} \geq DJ \geq D_{limi}$ .

OBS. Algoritmul este principial același pentru reglarea fineții de măcinare funcție de turația discului separatorului (deschidere constantă a jaluzelelor:  $dDJ = \text{constant}$ ). Punctul rămâne același. Pentru 2. informația mărimii de comandă devine:

dTD - turație disc, rot/min

CM	CREȘTE MULT	+30
CP	CREȘTE PUȚIN	+15
M	MENTINE	0
SP	SCADE PUȚIN	-15
SM	SCADE MULT	-30

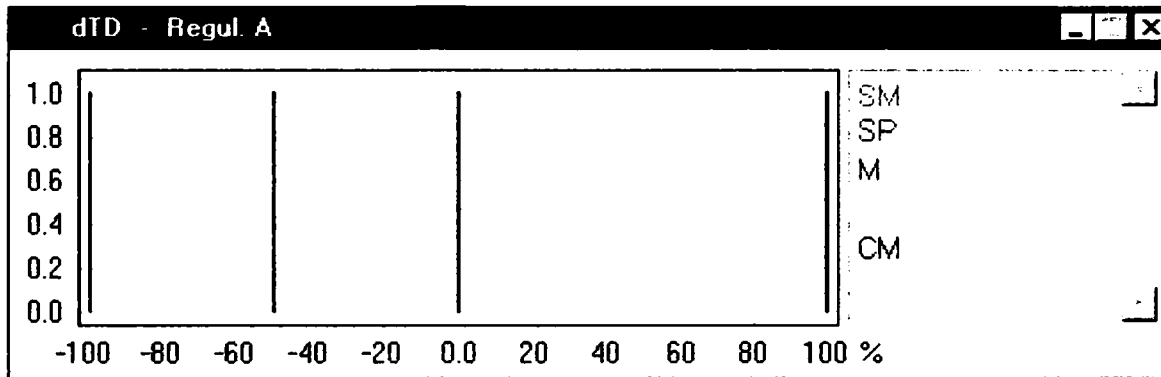


Fig.5.61 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dTD

### 3. Reguli de conducere

Pentru ajustare poziție jaluzele:

Număr reguli =  $5 \cdot 1 = 5$

Editor baza reg.			
Tabela	if	then	
	SM	dDJ	Pondere
1.Regula	u. FS	SM	1.0
2.Regula	u. S	SP	1.0
3.Regula	u. N	M	1.0
4.Regula	u. R	CP	1.0
5.Regula	u. FR	CM	1.0
Regul. A	1 Intrari	5 Reguli	SI / SAU => Conexiune Si / Sau

Fig.5.62 Tabela de inferență pentru dDJ

Regulile de conducere pentru reglarea fineții de măcinare funcție de turația discului separatorului sunt:

Fig.5.63 Tabela de inferență pentru dTD

Editor baza reg.			
Tabela	if	then	
	SM	dTD	Pondere
1.Regula	u. FS	CM	1.0
2.Regula	u. S	CP	1.0
3.Regula	u. N	M	1.0
4.Regula	u. R	SP	1.0
5.Regula	u. FR	SM	1.0
Regul. A	1 Intrari	5 Reguli	SI / SAU => Cor

și în acest caz este necesară testarea la limită a posibilităților de creștere/scădere a turației.

În cazul reglării fineții de măcinare prin modificarea turației (prioritară) și a deschiderii jaluzelelor (dacă este necesar) algoritmul suferă modificările următoare:

1. calculul TD conform algoritmului fuzzy - după turație.
2.  $TD > TD_{lim\ max} - GO\ TO\ 5$  (5.40)
3.  $TD < TD_{lim\ min} - GO\ TO\ 13$  (5.41)
4.  $TD = TD1$  (se reglează numai turația - reglaj complet) (5.42)
5.  $TD - TD_{lim\ max} = DIFT1$  (5.43)
6.  $DIFT1 = DIFJ1 \times \frac{KT}{KJ}$  (5.44)

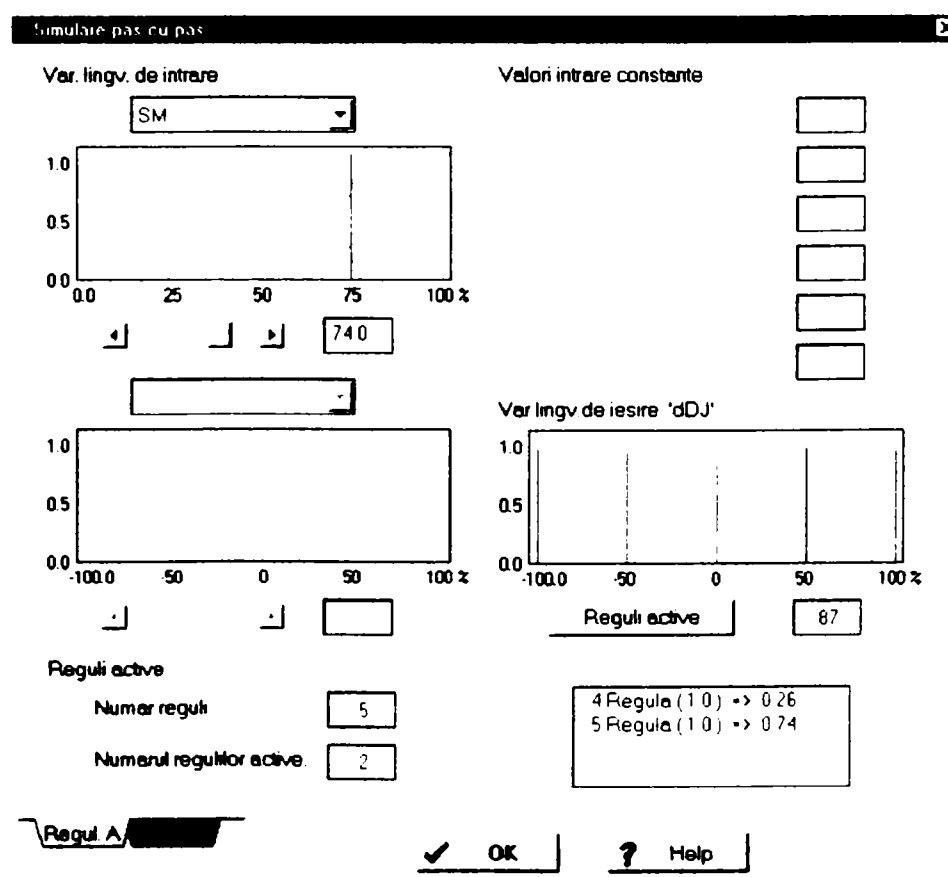
unde KT și KJ sunt coeficienți corelație turație respectiv deschidere jaluzele - suprafață specifică ciment

7.  $DJ1 = DJ - DIFJ1$  (5.45)
8.  $DJ1 > DJ_{max} - GO\ TO\ 11$  (5.46)
9.  $DJ1 < DJ_{min} - GO\ TO\ 12$  (5.47)
10.  $DJ = DJ1$  (5.48)  
(se reglează turație + deschidere jaluzele - reglaj complet)
11.  $DJ1 = DJ_{max} - mesaj$  (reglaj incomplet) (5.49)
12.  $DJ1 = DJ_{min} - mesaj$  (reglaj incomplet) (5.50)
13.  $TD_{min} - TD = DIFT2$  (5.51)
14.  $DIFT2 \cdot \frac{KT}{KJ} = DIFJ2$  (5.52)
15.  $DJ1 = DJ + DIFJ2 - GO\ TO\ 8$  (5.53)

Noile referințe sunt TD1 (turație disc) și TJ1 (deschidere jaluzele).

În figurile 5.64 și 5.65 este prezentată simularea reglării fuzzy, cu controlerul descris în paragraful 3.3, pentru mărimile de comandă dDJ și dTD.

Fig.5.64



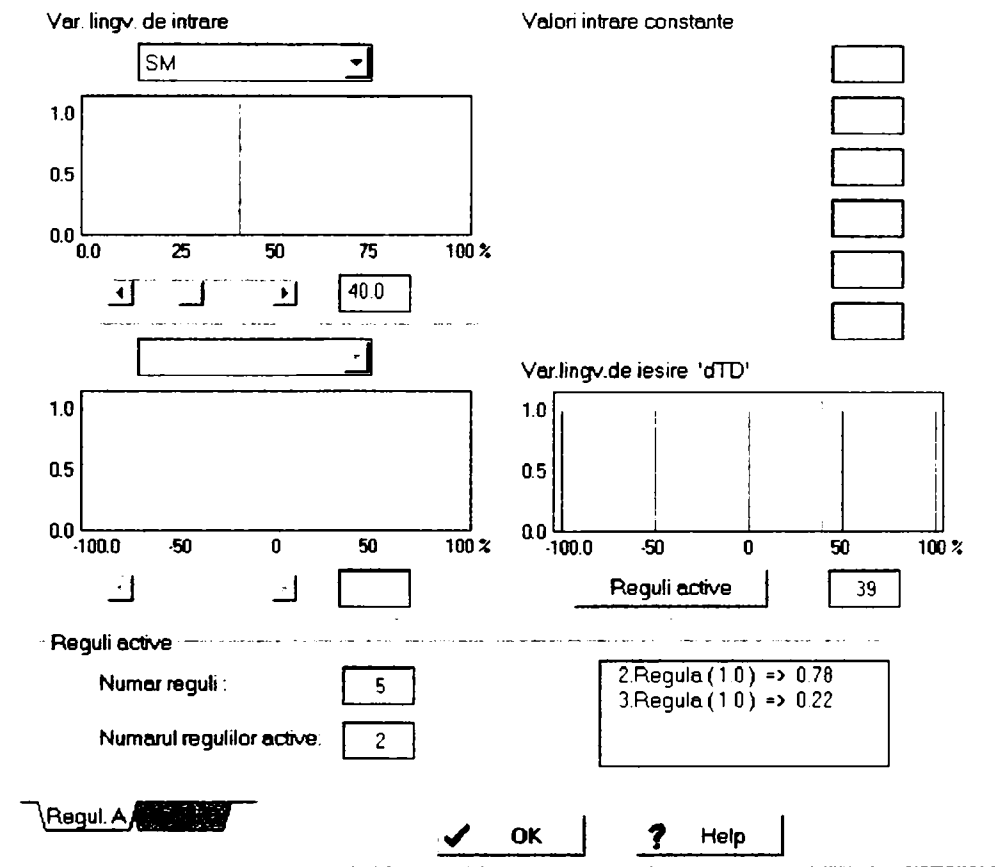


Fig.5.65

### 5.5.2.3 Funcția de reglare a încărcării morii cu material. Mentținerea regimului optim

#### 1. Informații mărimi intrare

$$dP = PGR - ALT \text{ (t/h)}$$

(5.54)

unde: PGR - valoarea totală a alimentării = proaspăt + gris - valoare măsurată

ALT - alimentare totală - valoare impusă

Număr stări = 5

		dP, [t/h]
FR	FOARTE RIDICAT	6 ÷ 10
R	RIDICAT	2 ÷ 6
N	NORMAL	-2 ÷ 2
S	SCĂZUT	-2 ÷ -6
FS	FOARTE SCĂZUT	-6 ÷ -10

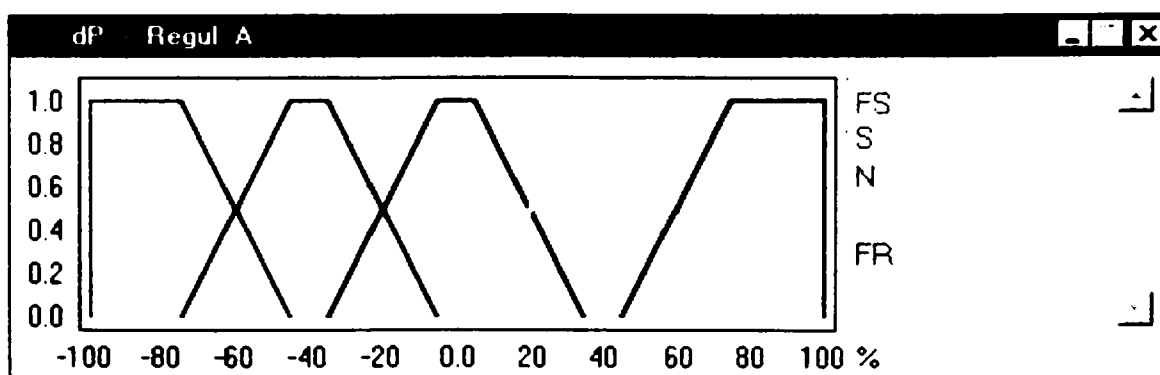


Fig.5.66 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dP

OBS. Dacă  $-10 > dP > 10$  se iese din regimul optim și se intră în regim tranzitoriu. Revenirea în regim optim (aducerea morii la încărcarea prescrisă) este soluționată de operator.

## 2. Informații mărime comandă

dPf - ajustare debit alimentare proaspăt, [t/h]

CM	CREȘTE MULT	+6
CP	CREȘTE PUȚIN	+3
M	MENTINE	0
SP	SCADE PUȚIN	-3
SM	SCADE MULT	-6

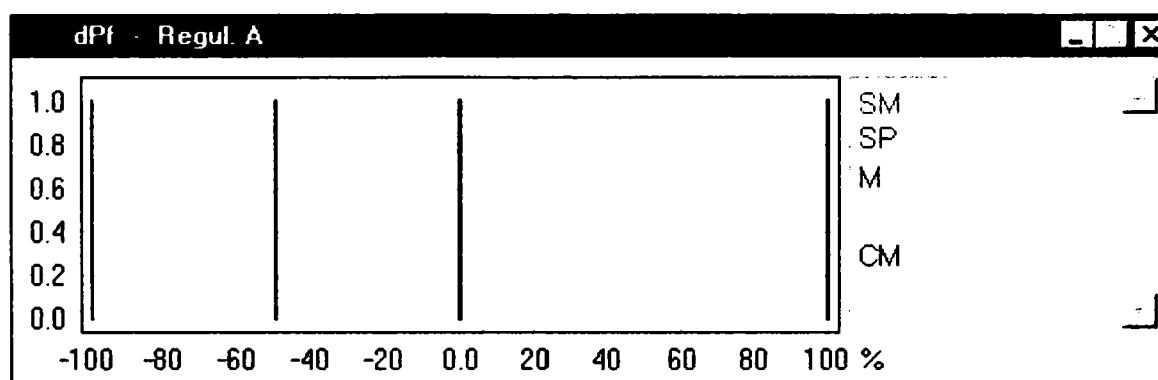


Fig.5.67 Reprezentarea funcțiilor de apartenență pentru dPf

## 3. Reguli de conducere

Pentru ajustare debit proaspăt dPf, de alimentare a morii:

$$\text{Număr stări} = 5 * 1 = 5$$

Editor baza reg			
Tabela			
	if	then	
	dP	dPf	Pondere
1.Regula	u FS	CM	1.0
2.Regula	u S	CP	1.0
3.Regula	u N	M	1.0
4.Regula	u R	SP	1.0
5.Regula	u FR	SM	1.0
Regul. A	1 Intrari	5 Reguli	SI / SAU => Conexiune Si / Sau

Fig.5.68 Tabela de inferență pentru dPf

În figura 5.69 este prezentată simularea reglării fuzzy, cu controlerul descris în paragraful 3.3, pentru mărimea de comandă dPf.

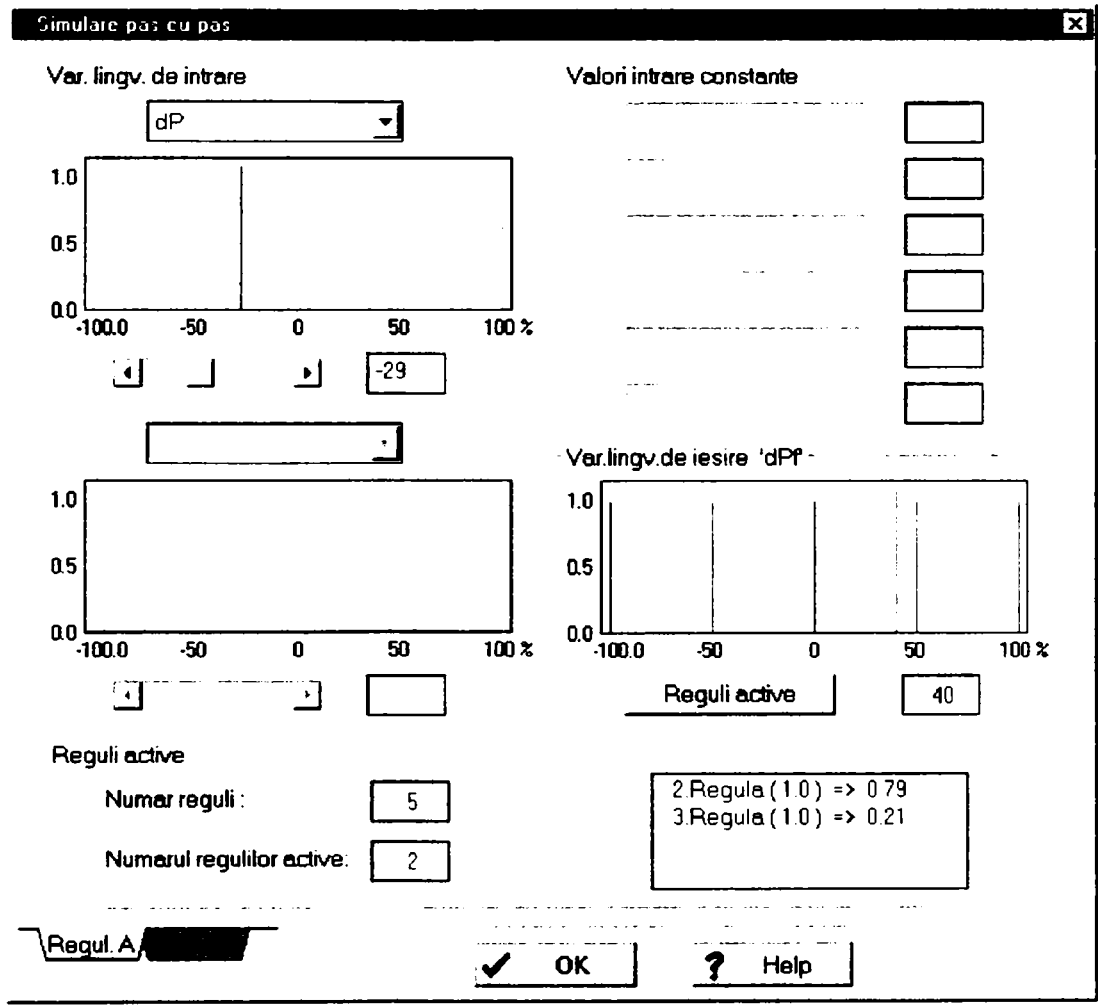


Fig.5.69

## **5.6 Concluzii**

În capitolul de față a fost prezentată problematica automatizării fiecărei faze importante din fluxul tehnologic al unei fabrici de ciment și au fost propuse soluții originale, bazate pe utilizarea sistemelor expert.

O problemă deosebită o reprezintă stabilirea regulilor de conducere și a deciziilor care trebuie luate automat, datorită implicațiilor lor tehnologice directe și a multitudinii de situații practice care pot apărea. De altfel, aceste aspecte influențează direct calitatea sistemului expert.

În consecință, pentru fiecare obiectiv în parte au fost stabilite cu mare atenție regulile de conducere, pe baza analizei implicațiilor tehnologice, a consultării unui numeros material bibliografic, a discuțiilor cu specialiști tehnologi și, nu în ultimul rând, pe baza observațiilor directe asupra proceselor, efectuate în cadrul unui Contract de cercetare cu S.C. CASIAL S.A. Deva.

Utilizând controlerul și software-ul prezentate în capitolul 3, toate regulile au fost implementate și testate, urmând ca ulterior să fie analizate și rezultatele practice, obținute în automatizarea unei mori de ciment.

Unul din marile avantaje ale sistemelor propuse îl constituie faptul că software-ul a fost astfel conceput, încât baza de date, inclusiv regulile, pot fi oricând îmbunătățite, existând și posibilitatea de testare on-line. Această flexibilitate permite o continuă perfecționare a conducerii, pe baza experienței acumulate în exploatarea curentă.

În afară de algoritmi de conducere, în acest capitol a fost propusă, pentru fiecare fază de producție, o structură a schemei de automatizare, utilizând automate programabile și care, ulterior, vor fi integrate în sistemul general de urmărire a producției. S-au stabilit, astfel, mărimile care trebuie măsurate în proces, numărul de intrări/ieșiri, intervalul de prelevare a probelor și toate celelalte date necesare configurării exacte a automatelor programabile și a necesarului de echipamente. Prin aceste precizări sunt accentuate aspectele practice ale cercetărilor teoretice efectuate, care permit aplicarea lor imediată în producție.

Contribuțiile personale ale autorului, în acest capitol, sunt:

a) stabilirea problematicii generale privind automatizarea fazelor principale din fluxul tehnologic de fabricare a cimentului;

b) conceperea structurii sistemului de automatizare a procesului de dozare a materiilor prime; stabilirea etapelor algoritmului de reglare; proiectarea algoritmului fuzzy;

c) conceperea structurii sistemului de conducere a procesului de măcinare a materiilor prime; stabilirea etapelor algoritmilor pentru funcțiile reglarea fineței de măcinare și reglarea încărcării morii cu material; proiectarea algoritmilor fuzzy corespunzători;

d) conceperea structurii sistemului de conducere a procesului de clincherizare; stabilirea etapelor algoritmului pentru conducerea cuptorului; proiectarea algoritmului fuzzy;

e) conceperea structurii sistemului de conducere a procesului de măcinare a clincherului și a adaosurilor; stabilirea etapelor algoritmilor funcțiilor: reglarea proporției componente; reglarea fineței de măcinare; reglarea încărcării morii; proiectarea algoritmilor fuzzy.

## REZULTATE EXPERIMENTALE

### 6.1 Generalități

Pentru aplicarea industrială integrală a cercetărilor efectuate în capitolele anterioare este necesar un efort financiar din partea beneficiarului, constând în:

- achiziționarea echipamentelor de automatizare necesare (automate programabile, traductoare, elemente de execuție, echipamente de calcul etc.);
- realizarea fizică a sistemelor de conducere;
- pregătirea corespunzătoare a personalului de exploatare.

Se pot face, însă, testări parțiale în regimuri reale de funcționare ale algoritmilor propuși, care să confirme sau nu corectitudinea lor (în funcție și de dotarea actuală a liniilor de fabricație).

Ținând cont de cele expuse, experimentările care vor fi prezentate în acest capitol au vizat două aspecte:

- testarea în laborator a controlerului realizat și determinarea experimentală a caracteristicilor de reglare;
- aplicarea și verificarea în regim industrial a algoritmilor de conducere pentru un proces semnificativ (în cazul de față o moară de ciment).

Aceste experimentări au fost posibile prin încheierea unui Contract de cercetare cu S.C. CASIAL S.A., o fabrică de ciment de capacitate medie, care a manifestat interes pentru rezultatele obținute, confirmat prin Procesele verbale de avizare prezentate în Anexa 3.

### 6.2 Determinarea experimentală a caracteristicilor statice ale reguletoarelor Fuzzy proiectate

Cercetările întreprinse, referitoare la comportarea “expertului uman”, au evidențiat faptul că acestuia îi este specifică o comportare puternic neliniară, însoțită de efecte de anticipare, întârziere, integrare, predicție și chiar de adaptare la condițiile concrete de funcționare. Nuanțarea caracterizării lingvistice a desfășurării procesului, precum și interpretarea pe bază de experiență a procesului de generare a comenzii, reprezintă “parametrii” prin care se pot modifica proprietățile regulatorului.

În consecință, algoritmi fuzzy proiectați au condus la reguletoare neliniare, ale căror caracteristici vor fi prezentate în continuare.

Pentru determinarea caracteristicilor de reglare s-au utilizat: controlerul Fuzzy, descris în capitolul 3, software-ul corespunzător și interfața ADA 3100 (fig.6.1). Astfel, controlerul a fost încărcat, pe rând, cu reglaje prezentate în capitolul 5, iar prin interfața



ADA 3100 și PC s-au transmis semnalele necesare intrărilor programate și s-a înregistrat semnalul de comandă. Aceste mărimi au fost analizate și reprezentate grafic.

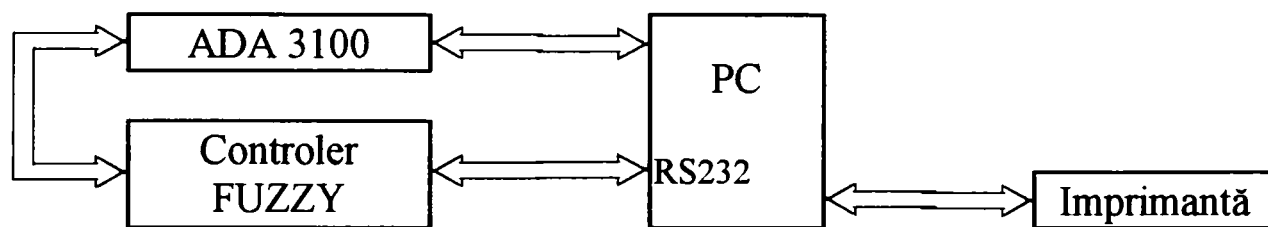


Fig.6.1

### 6.2.1 Dozarea materiilor prime

a) *Ajustare proporții pirită (dPRP)* - mărimi de intrare: MAI (modul de aluminiu, orar) și MAIM (modul de aluminiu mediu pe siloz). Domeniu unipolar (0 ÷ 100%) pentru MAI și MAIM, respectiv bipolar pentru dPRP (-100 ÷ +100%). Funcțiile de apartenență pentru MAI sunt date în figura 5.2, pentru MAIM - în figura 5.3, iar tabela de inferență - figura 5.8. Suprafața de comandă dPRP = f(MAI, MAIM), aferentă regulatorului Fuzzy astfel dezvoltat, este prezentată în figura 6.2.

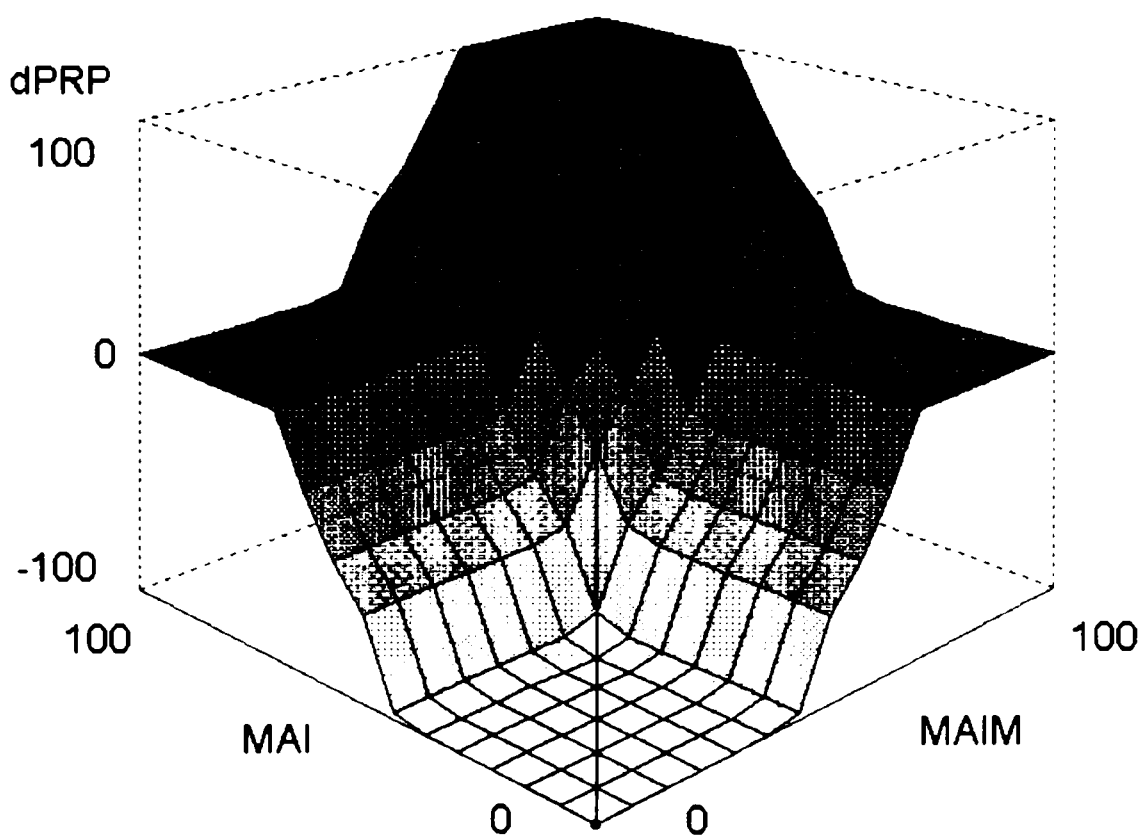
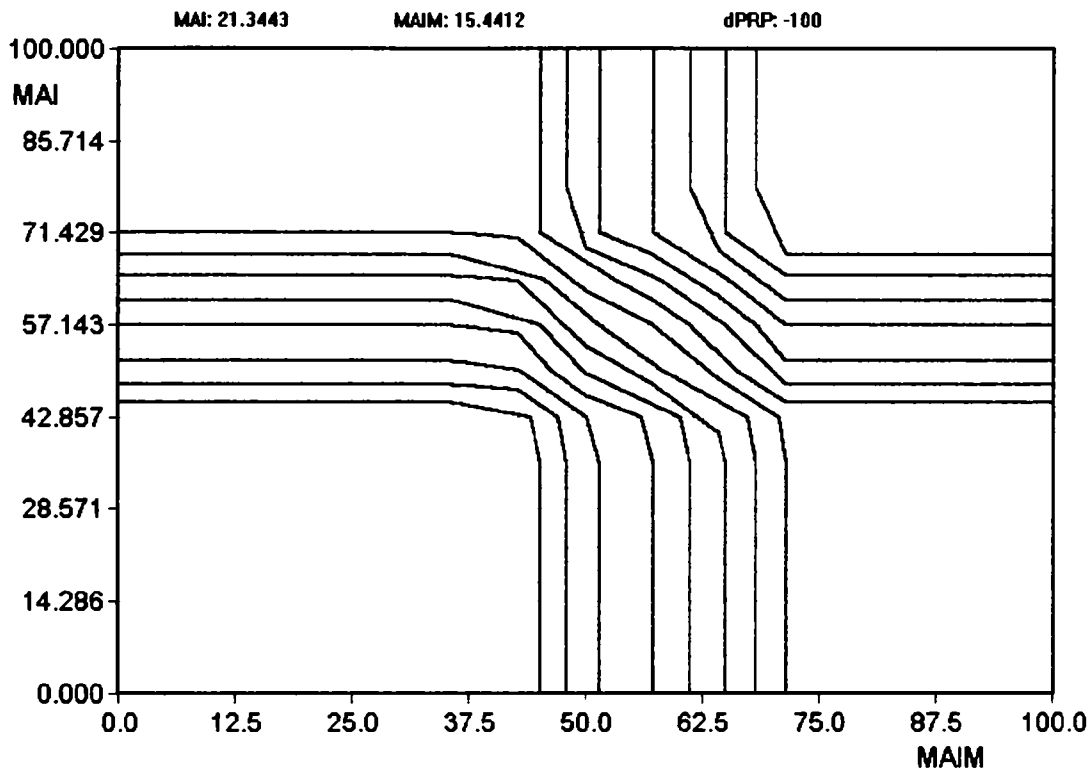


Fig.6.2

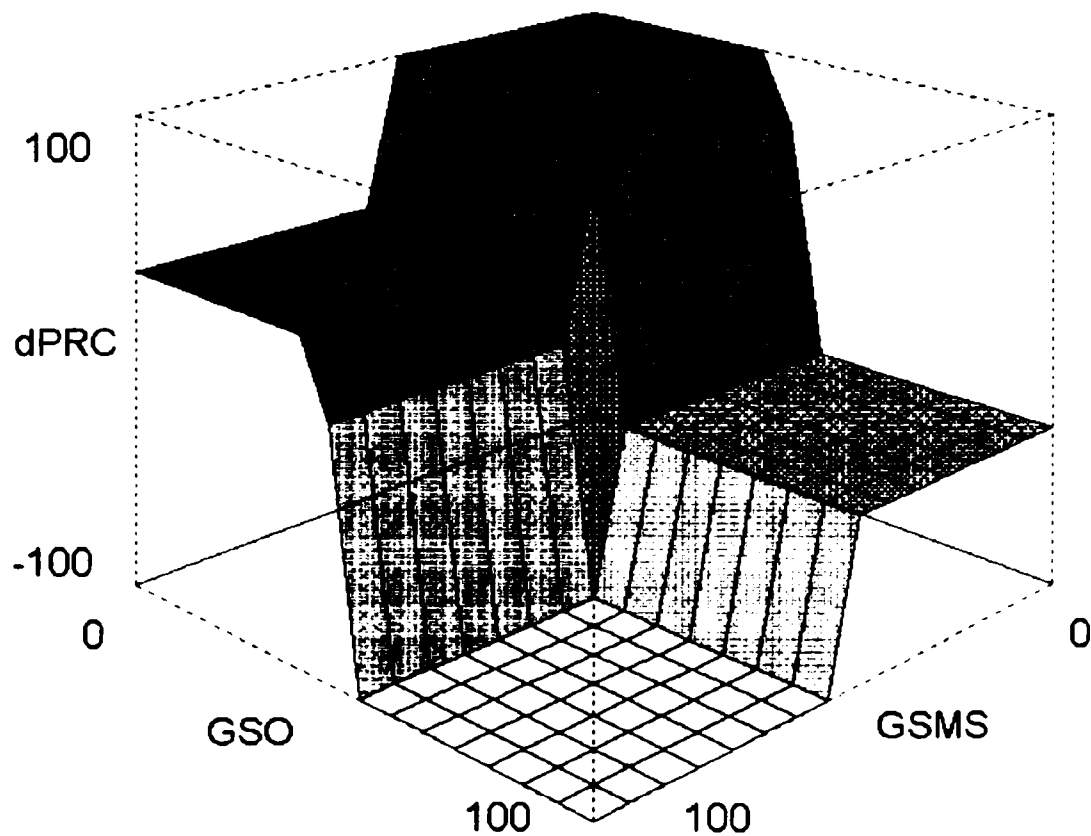
În figura 6.3 este ilustrată reprezentarea plană a caracteristicii statice în coordonatele (MAI, MAIM) prin curbele de dPRP = const.



**Fig.6.3**

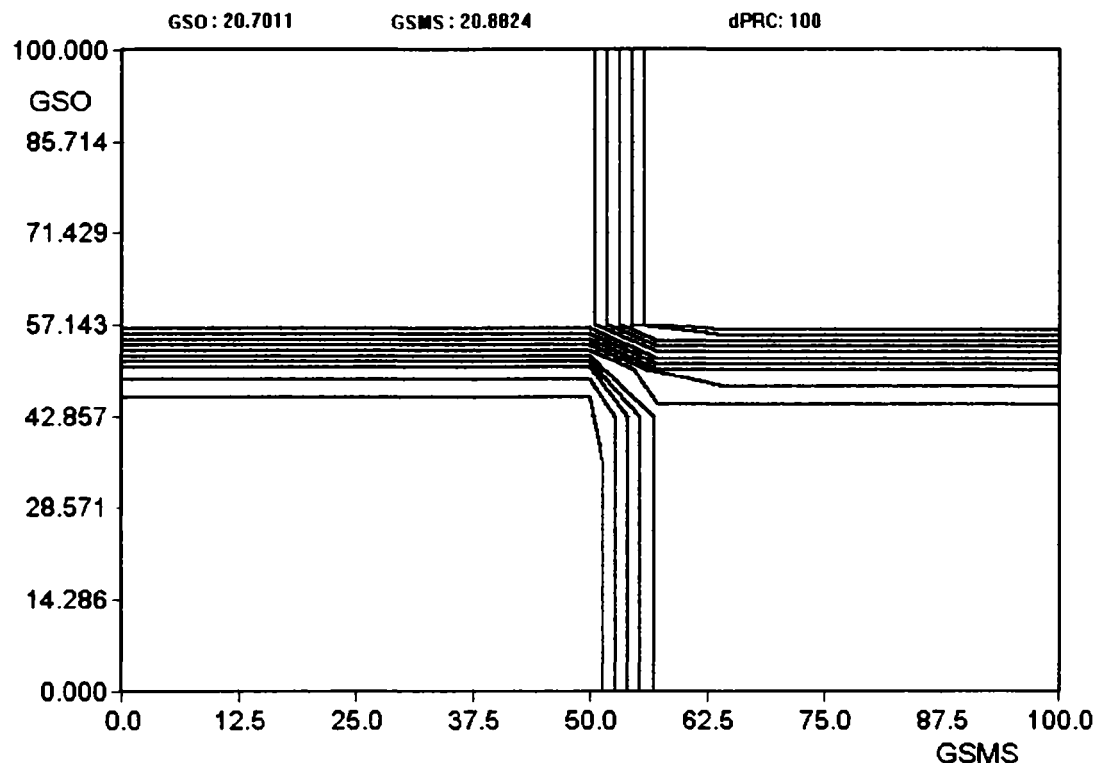
Interpretarea acestor caracteristici este simplă și se observă că ele corespund întru totul tabelii de inferență pentru dPRP (două intrări, o ieșire, 9 reguli).

b) *Ajustare proporție calcar (dPRC)* - mărimi de intrare: GSO (grad de saturare, orar) și GSMS (grad de saturare mediu pe siloz). Domeniu unipolar (0 ÷ 100%) pentru GSO și GSMS, respectiv bipolar pentru dPRC. Funcțiile de apartenență pentru GSO sunt date în fig.5.4, pentru GSMS - în fig.5.5, iar tabela de inferență - fig.5.9. Suprafața de comandă  $dPRC = f(GSO, GSMS)$ , aferentă regulatorului Fuzzy astfel dezvoltat, este:



**Fig.6.4**

În figura 6.5 este ilustrată reprezentarea plană a caracteristicii statice în coordonatele (GSO, GSMS) prin curbele de  $dPRC = \text{const.}$

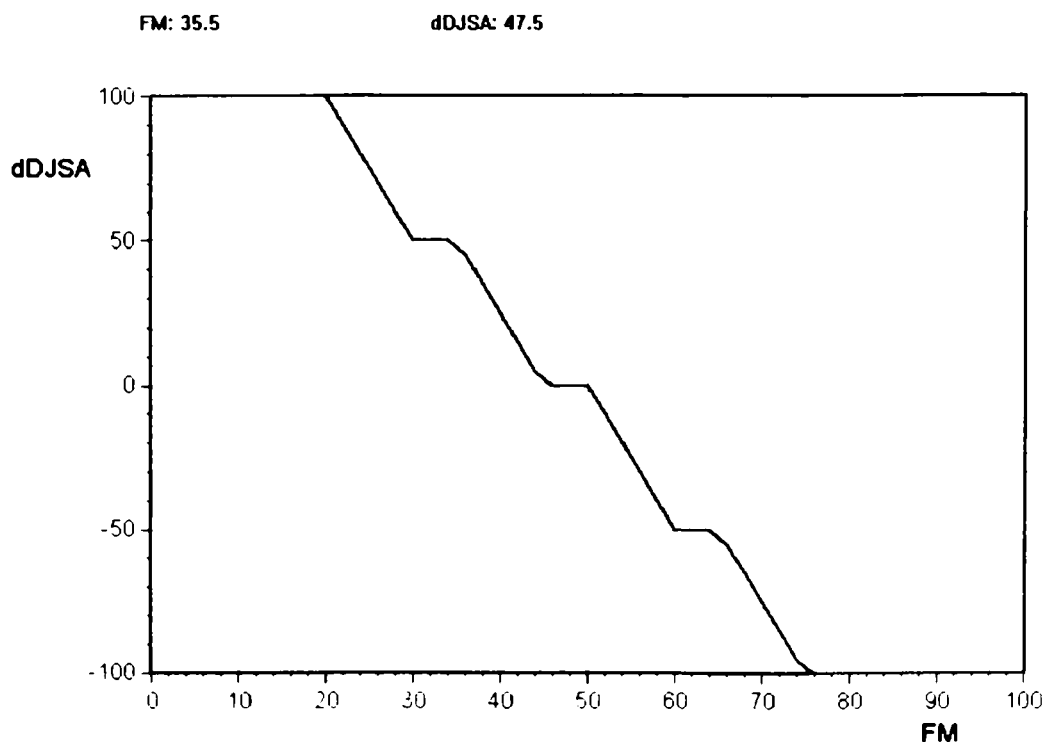


**Fig.6.5**

Caracteristicile realizate de controlerul Fuzzy corespund întru totul tabelii de inferență pentru dPRC (două intrări, o ieșire, 15 reguli).

### 6.2.2 Măcinare materii prime

a) *Funcția de reglare a fineței de măcinare* - mărime de intrare: FM (finețe măcinare); mărime de ieșire: dDJSA ajustare deschidere jaluzele separator A (idem pentru B). Domeniu unipolar (0 ÷ 100%) pentru FM și bipolar pentru dDJSA (-100 ÷ +100%). Funcțiile de apartenență pentru FM sunt date în figura 5.13, pentru dDJSA - în figura 5.14, iar tabela de inferență - figura 5.15.



**Fig.6.6**

Caracteristica statică  $dDJS_A = f(FM)$ , aferentă regulatorului Fuzzy astfel dezvoltat, este prezentată în figura 6.6. Ea corespunde tabelii de inferență pentru  $dDJS_A$  (o intrare, o ieșire, 5 reguli).

b) *Funcția reglare regim tehnologic:*

- Mărimi de intrare PET (presiune gaze ieșire turn uscare), PEM (presiune gaze ieșire moară), TET (temperatură gaze ieșire turn uscare), TEM (temperatură gaze ieșire moară) - toate domeniu unipolar  $0 \div 100\%$ ;

- Mărimi de ieșire:  $dDJT$  (ajustare deschidere jaluzele ventilator desprăfuire turn uscare),  $dDJM$  (ajustare deschidere jaluzele ventilator desprăfuire moară),  $dDJCM$  (ajustare poziție clapetă cuptor-moară),  $dDJEF$  (ajustare poziție clapetă ventilator desprăfuire electrofiltru) - toate cu domeniu bipolar ( $-100 \div +100\%$ ).

- Funcțiile de apartenență pentru mărimile de intrare sunt date în fig.5.19, 5.20, 5.21, 5.22, iar tabelele de interferență pentru mărimile de ieșire în fig. 5.27, 5.28, 5.29, 5.30.

Pe baza acestora s-au obținut experimental suprafețele de comandă:

- $dDJT = f(PEM, PET)$  la  $TET$  și  $TEM = \text{const.}$  - fig.6.7;
- $dDJM = f(PEM, PET)$  la  $TET$  și  $TEM = \text{const.}$  - fig.6.8;
- $dDJCM = f(PET, PEM)$  la  $TET$  și  $TEM = \text{const.}$  - fig.6.9;
- $dDJEF = f(PET, PEM)$  la  $TET$  și  $TEM = \text{const.}$  - fig.6.10.

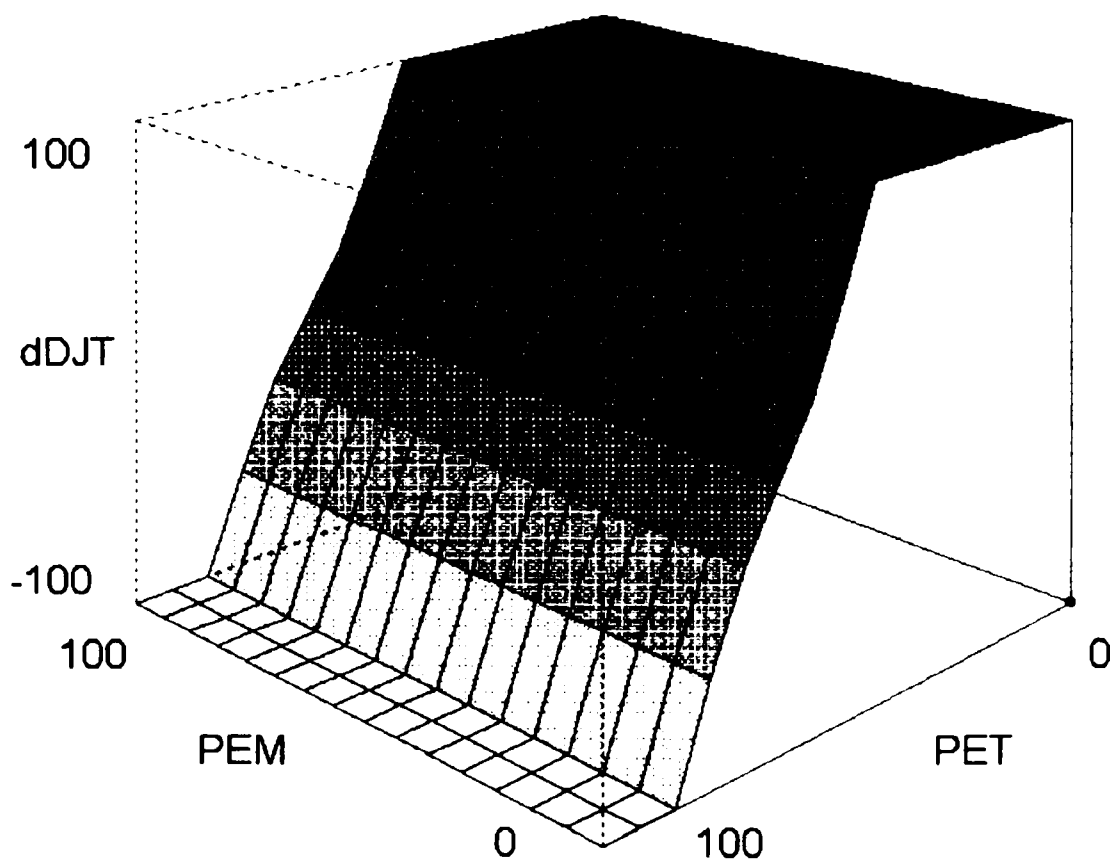
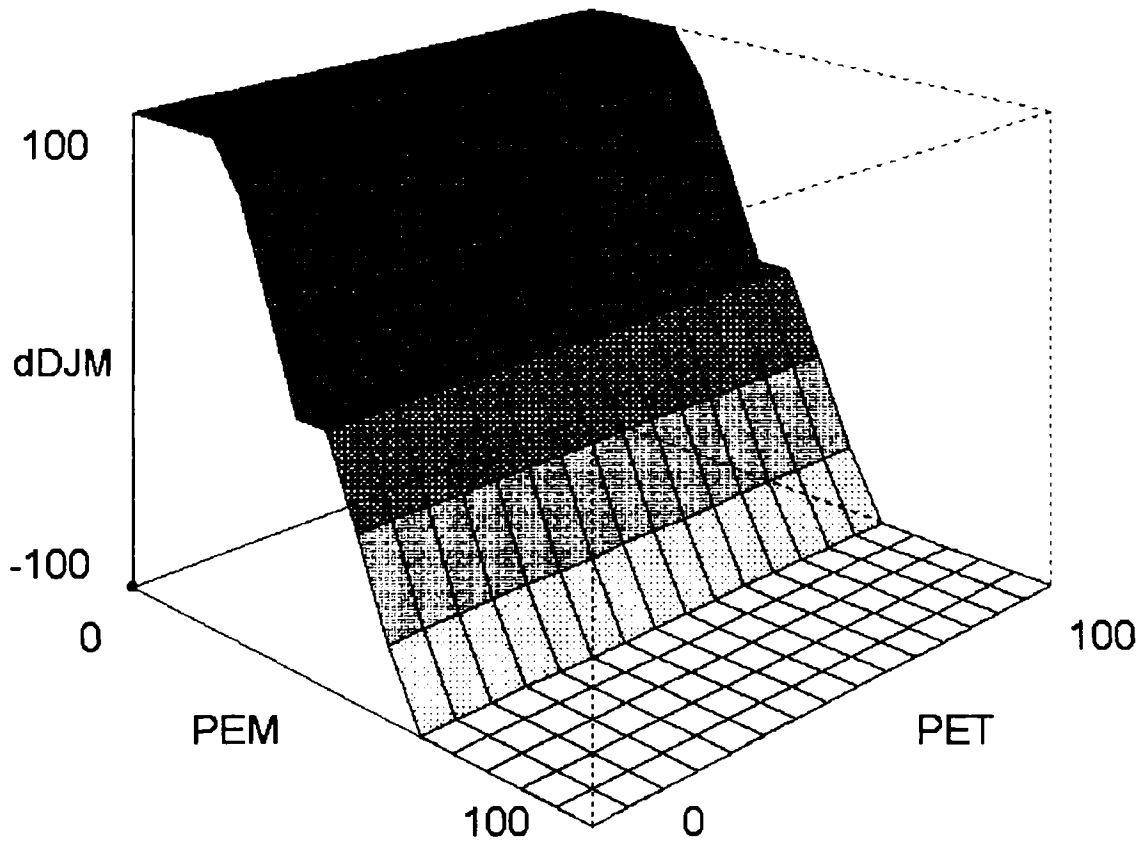
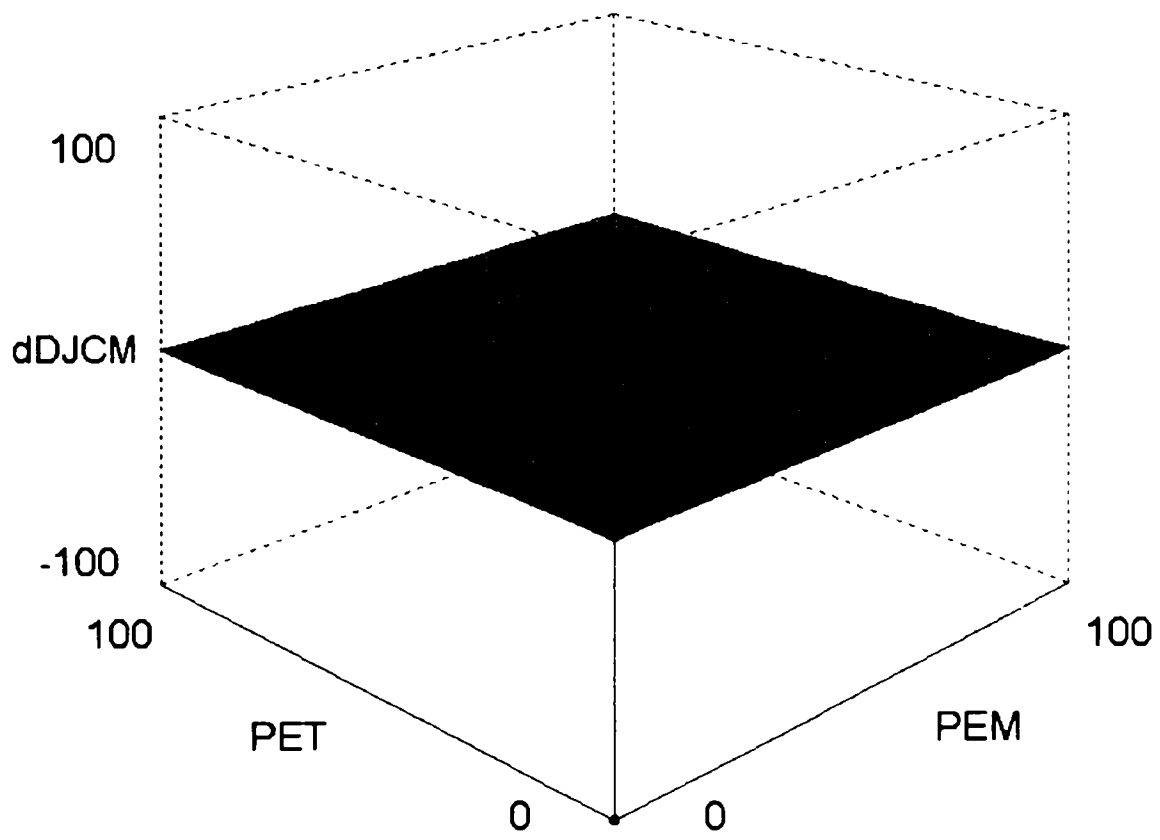


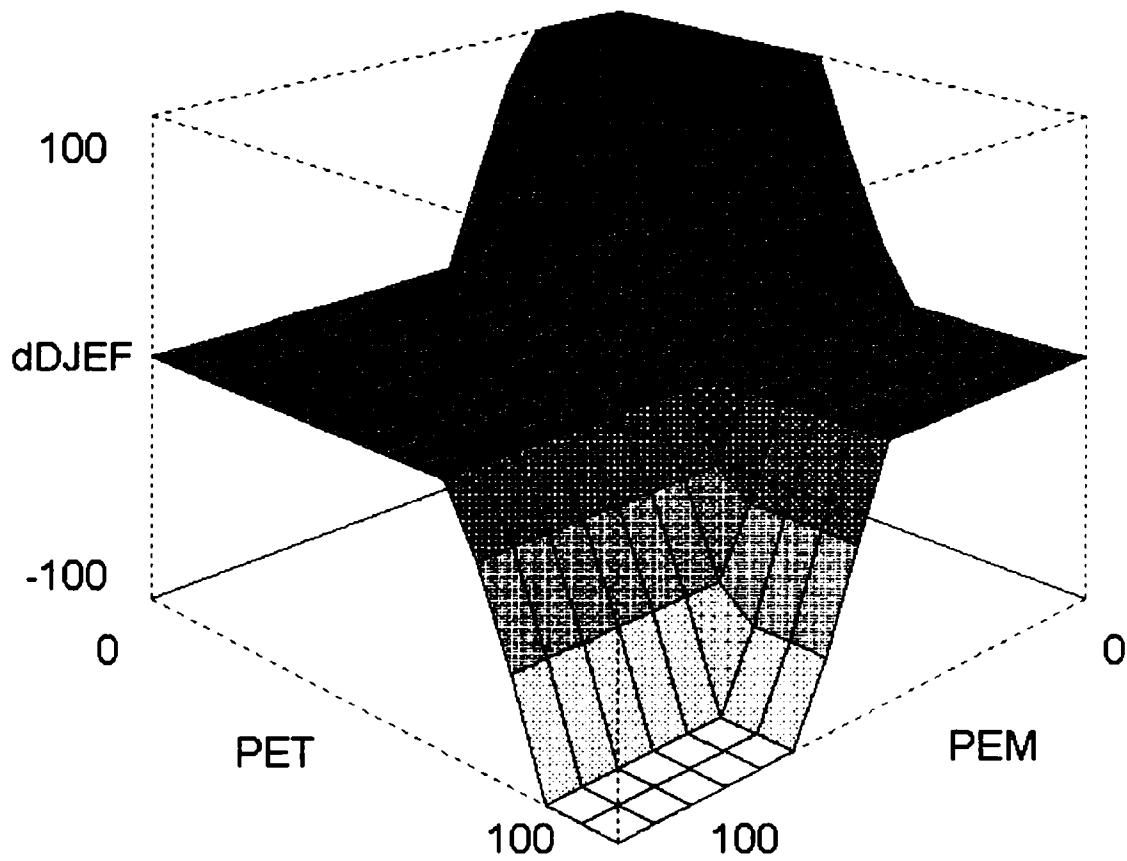
Fig.6.7



**Fig.6.8**



**Fig.6.9**

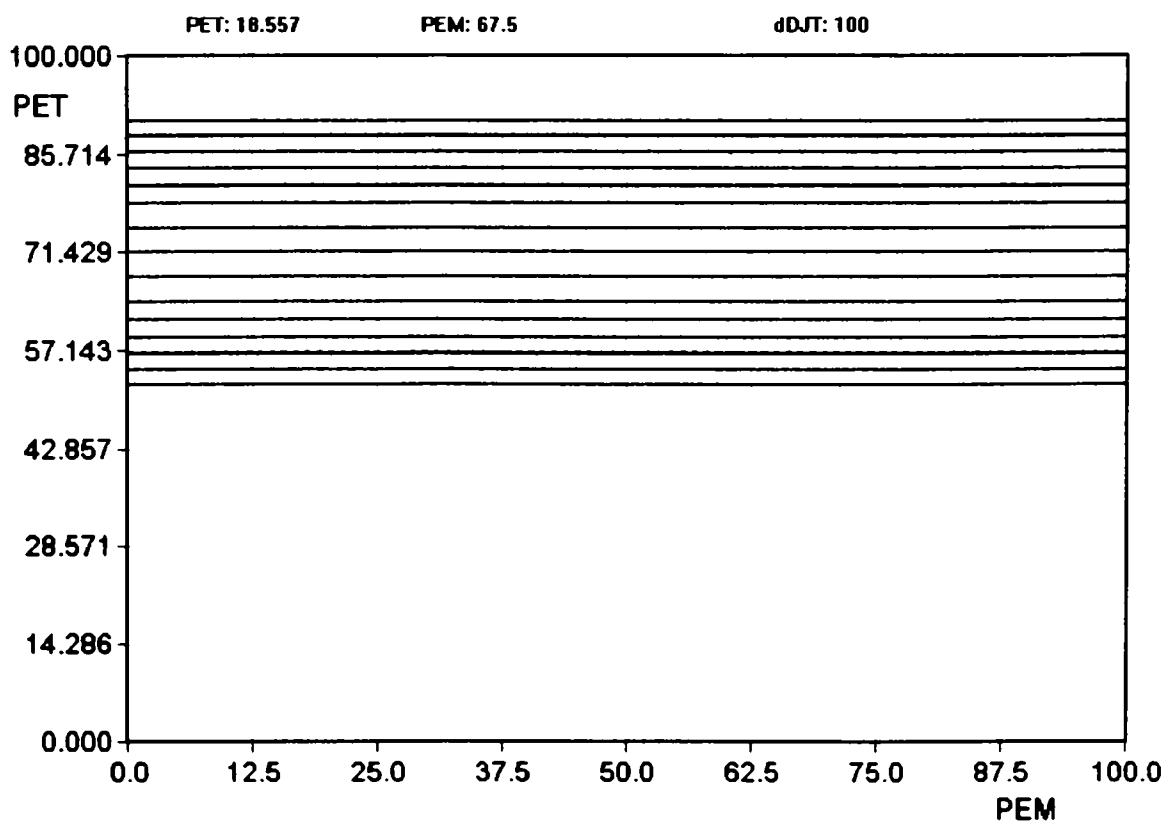


**Fig.6.10**

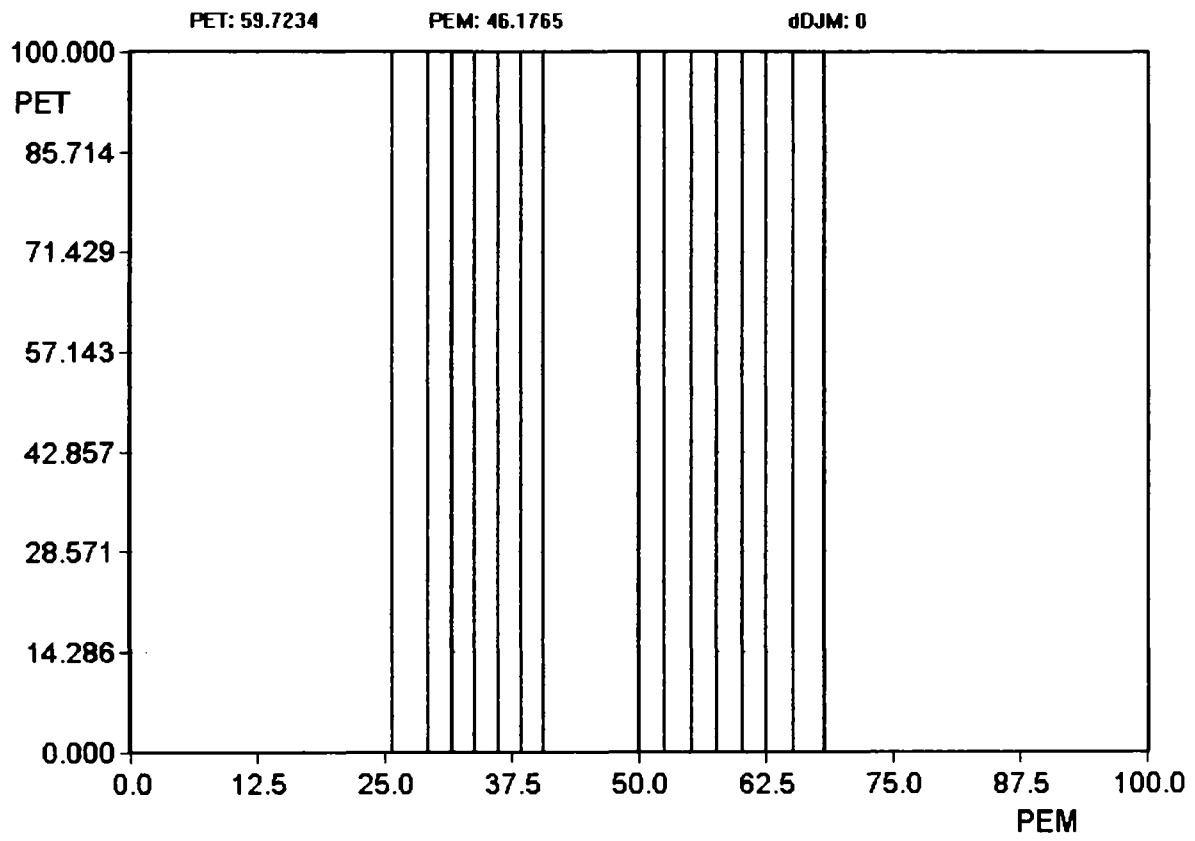
În figurile 6.11, 6.12, 6.13 sunt ilustrate reprezentările plane a caracteristicilor statice în coordonatele (PET, PEM) prin curbele de  $dDJT = \text{const.}$ ,  $dDJM = \text{const.}$  și  $dDJEF = \text{const.}$

În toate aceste reprezentări s-a considerat TET și TEM constante din motive grafice.

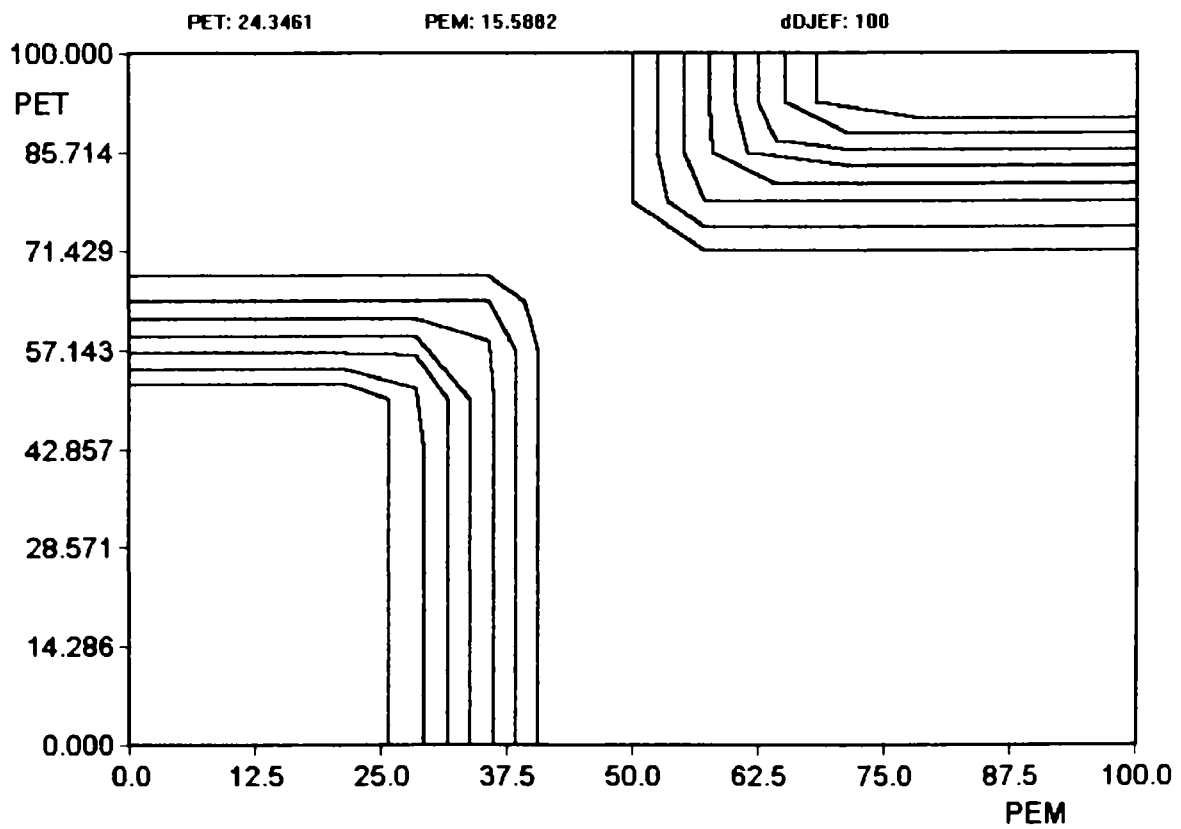
Caracteristicile realizate practic de controlerul Fuzzy corespund tabelelor de interferență menționate.



**Fig.6.11**



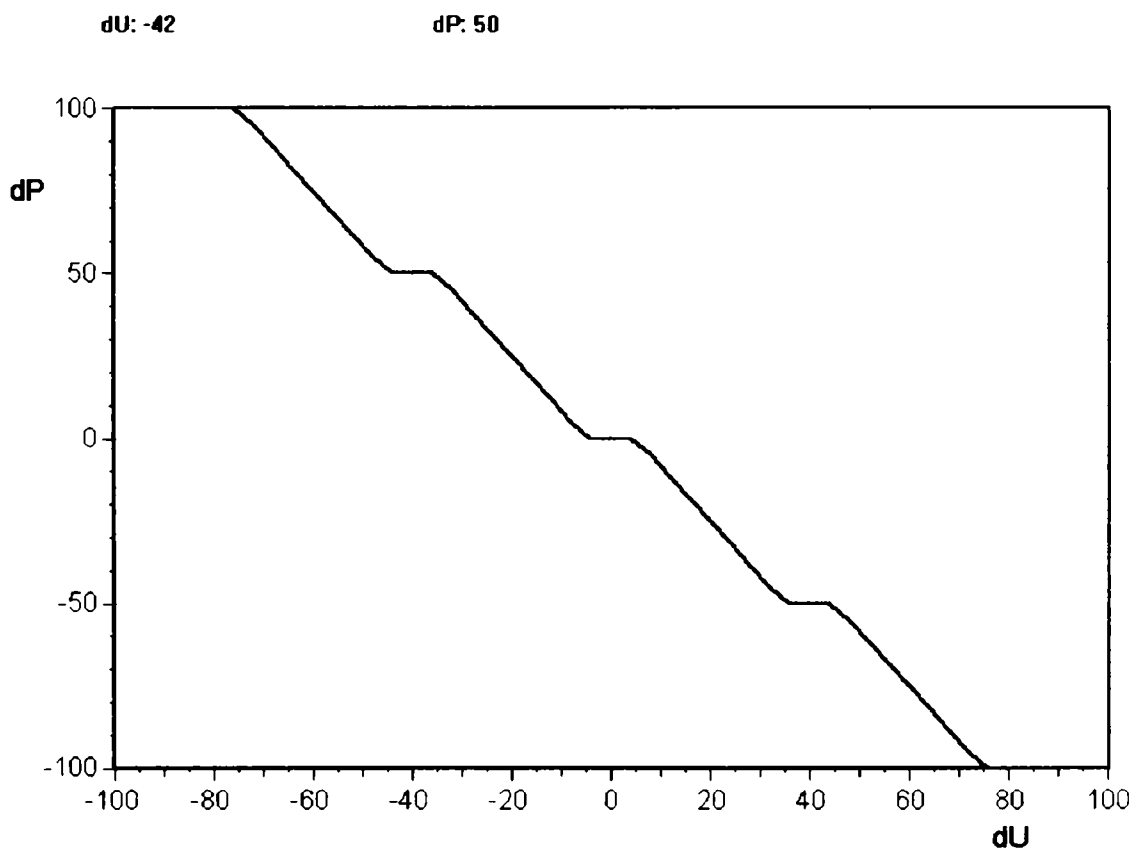
**Fig.6.12**



**Fig.6.13**

c) *Funcția de reglare a încărcării morii cu material* (menținerea regimului optim):  
 mărime de intrare: indicația urechii electronice - dU; mărime de ieșire: ajustare debit material proaspăt - dP, ambele cu domeniu bipolar (-100÷+100%). Funcțiile de apartenență pentru dU și dP sunt date în fig.5.35, 5.36, iar tabela de interferență pentru dP în fig.5.37. Pe baza acestora, s-a obținut caracteristica statică  $dP = f(dU)$  din fig.6.14.

Aceasta, realizată de controlerul Fuzzy, corespunde tabelii de interferență pentru dU (o intrare, o ieșire, 5 reguli).



**Fig.6.14**

### 6.2.3 Clincherizare

Mărimi de intrare: TZ (temperatura în zona de clincherizare), PTZ (panta medie temperatură în zona de clincherizare), PC (panta medie a cuplului motor), AC (abaterea cuplului motor de la valoarea de referință), TC (turație cuptor), NC (nivel corelare turație-alimentare cu făină), DC (debit combustibil), COG (conținutul de CO în gazele de ardere la ieșire turn cicloane).

Mărimi de ieșire: dCDC (ajustare debit combustibil), dCNC (ajustare nivel corelație alimentare cu făină-turație cuptor), dCTC (ajustare turație cuptor), AFA, AFB (debit alimentare făină), dJVRA, dJVRA (deschidere jaluzele ventilatoare VRA și VRB).

Datorită numărului mare de reguli (1440), controlerul realizat nu permite încărcarea întregului reglaj, pentru aceasta fiind nevoie de mai multe controlere Fuzzy legate în paralel. S-a ales pentru experimentare numai funcția  $dCDC = f(TZ, PTZ, PC, AC, TC, NC, DC, COG)$  cu tabela de interferență dată în fig.5.52. Suprafața de conducere obținută în



acest caz este prezentată în fig.6.15, considerând ca variabile TZ, PTZ (din motive grafice celelalte intrări s-au considerat constante)

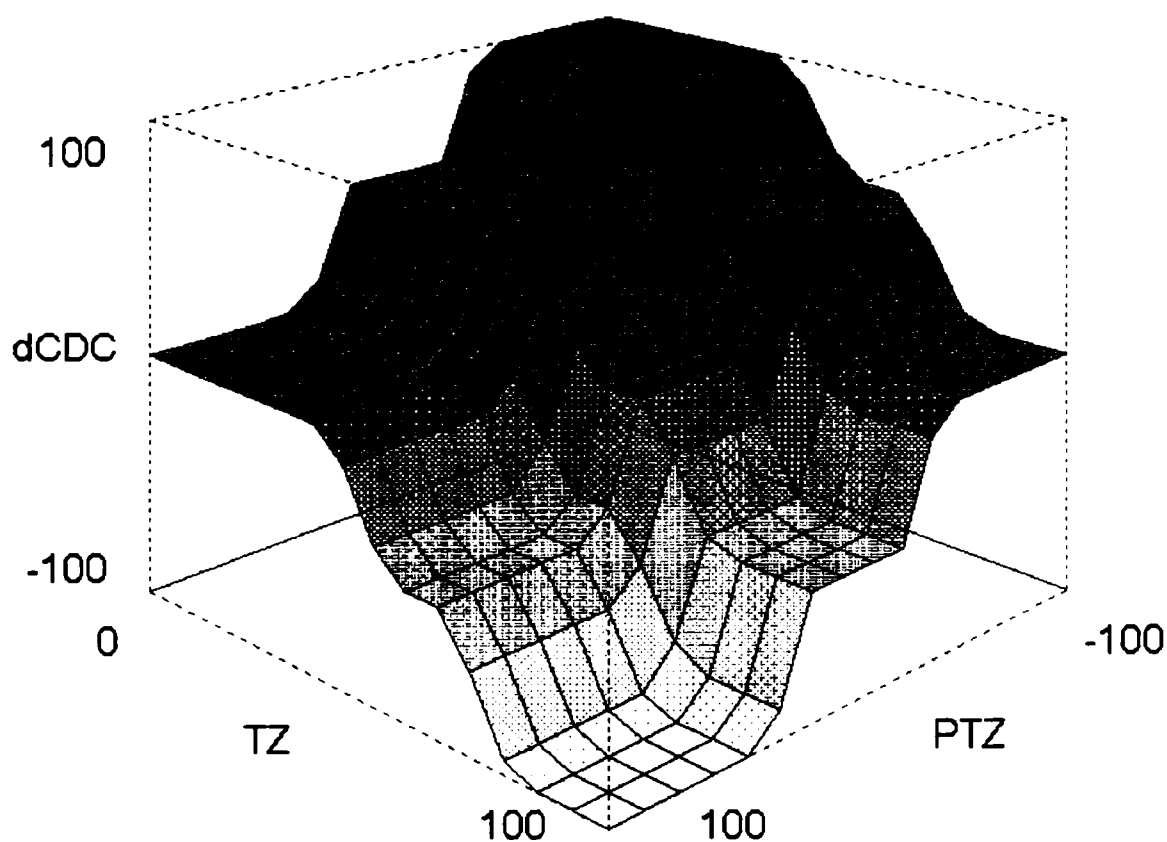


Fig.6.15

În figura 6.16 este ilustrată reprezentarea plană a caracteristicii statice în coordonatele (TZ, PTZ) prin curbele de  $dCDC = \text{const}$ . Aceasta corespunde tabelii de interferență pentru dCDC.

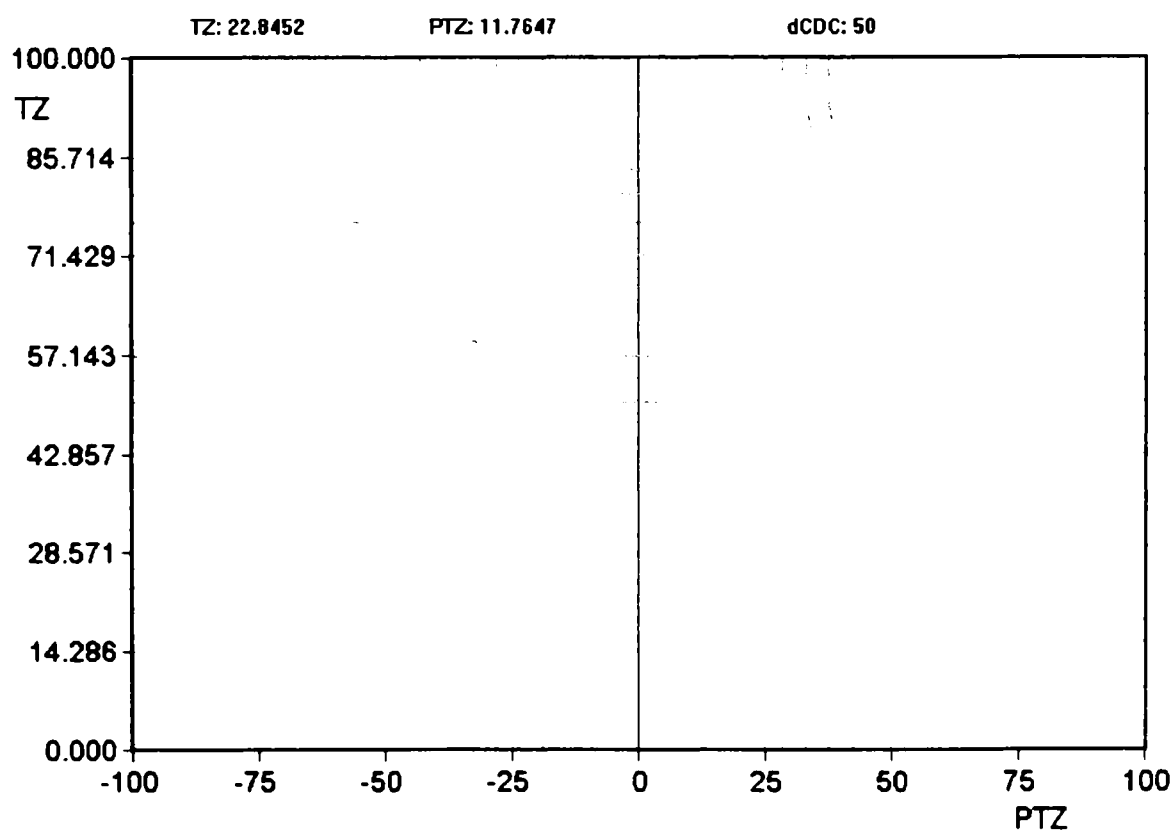


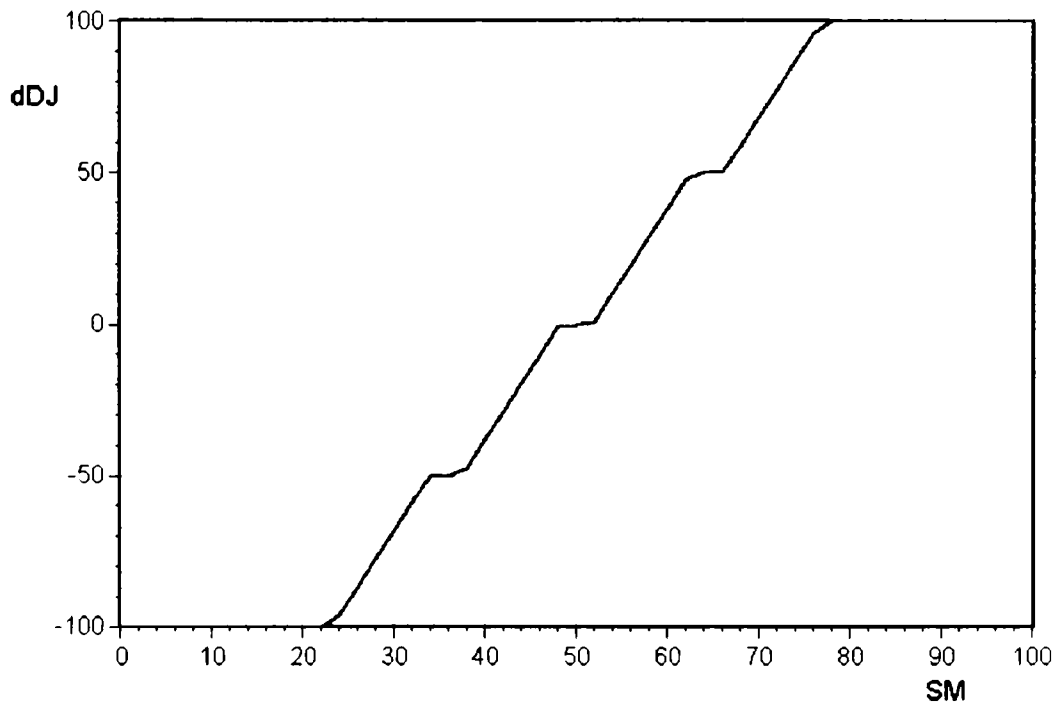
Fig.6.16

## 6.2.4 Măcinarea clincherului și a adaosurilor

a) *Funcția de reglare a fineței de măcinare*: mărime de intrare: suprafața specifică ciment (SM); mărime de ieșire: ajustare poziție deschidere jaluzele (dDJ) la turație constantă. Funcțiile de apartenență pentru SM sunt date în fig.5.59, iar tabela de interferență pentru dDJ în fig.5.62. Caracteristica de reglare  $dDJ = f(SM)$  realizată de controlerul Fuzzy este prezentată în fig.6.17 și corespunde întru totul tabelii de interferență.

SM: 34.5

dDJ: -50

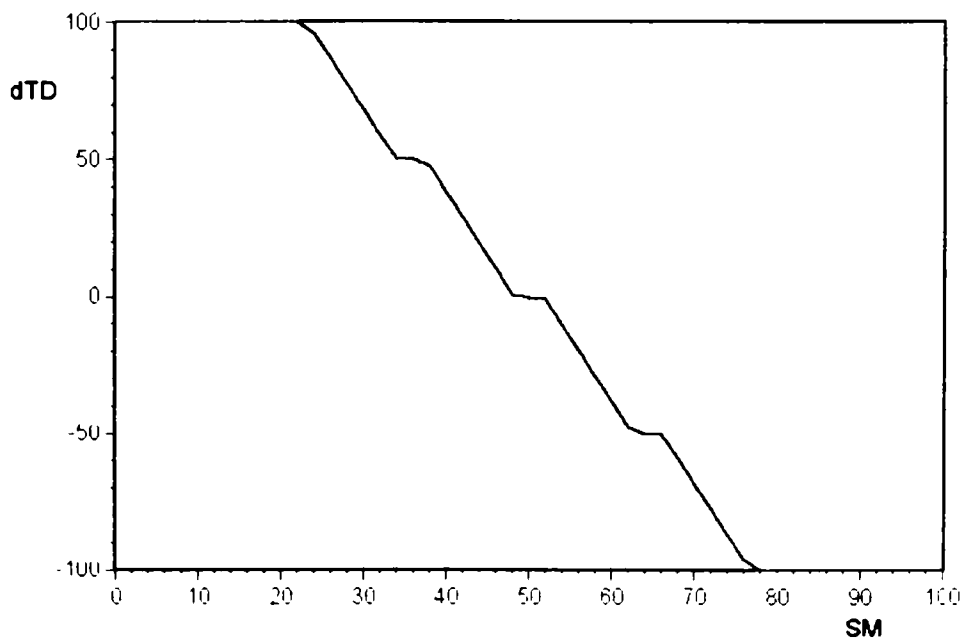


**Fig.6.17**

Dacă se consideră constantă deschiderea jaluzelelor ( $dDJ = \text{const.}$ ) și se modifică turația discului de împrăștiere (dTD), tabela de interferență pentru dTD este dată în fig.5.63, iar caracteristica de reglare realizată de controlerul Fuzzy se prezintă în fig.6.18.

SM: 36.5

dTD: 50

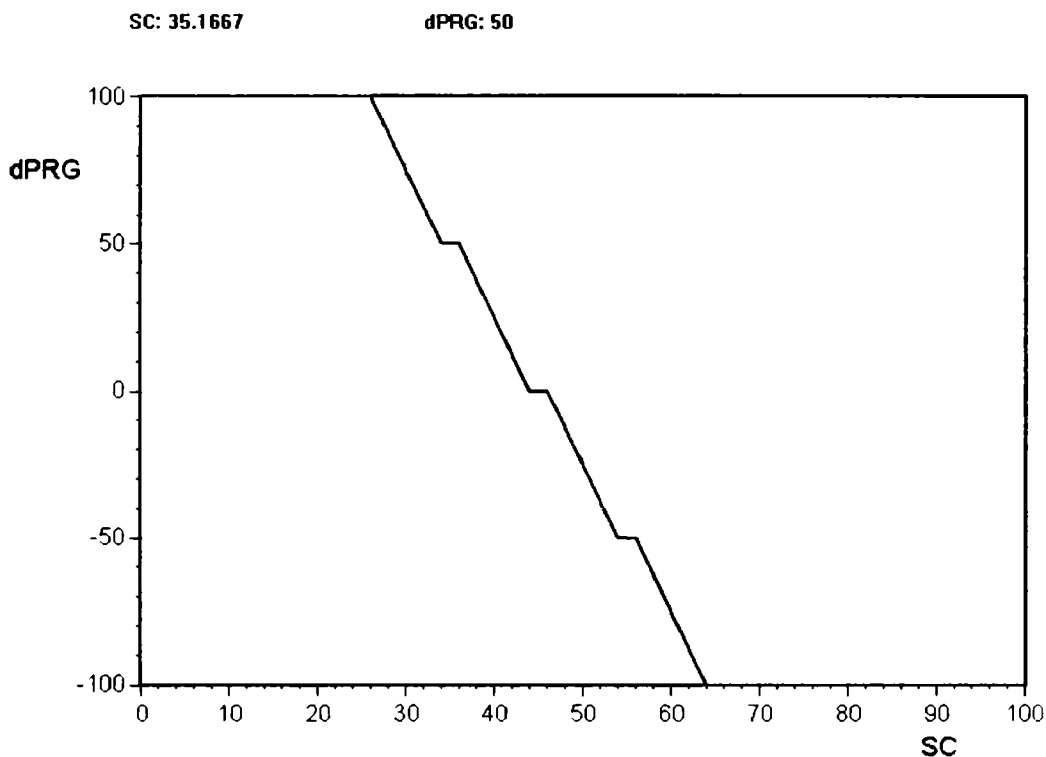


**Fig.6.18**

Și această caracteristică corespunde tabelii de interferență pentru dTD.

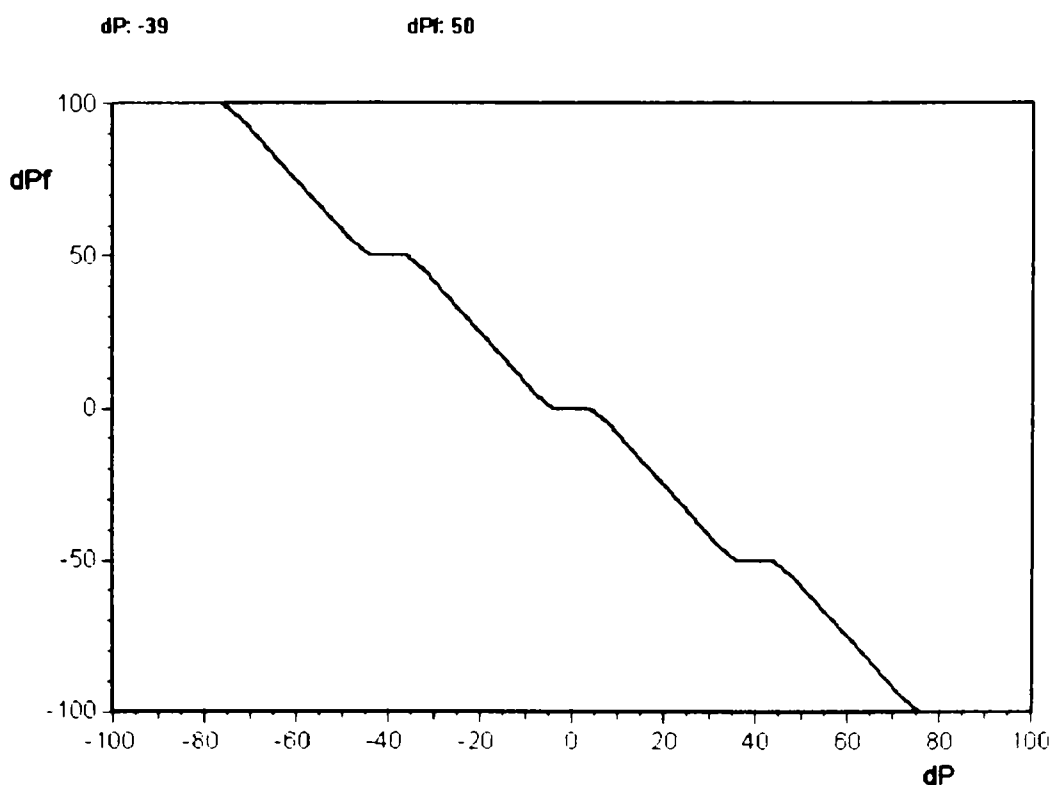
b) *Funcția de reglare proporții componentei*: mărime de intrare: %SO<sub>3</sub> în ciment (SC); mărime de ieșire: ajustare proporții gips în ciment (dPRG). Funcțiile de apartenență pentru dPRG sunt date în fig.5.56, iar tabela de interferență pentru dPRG în fig.5.57.

Caracteristica de reglare realizată de controlerul Fuzzy este prezentată în fig.6.19 și corespunde tabelii de interferență.



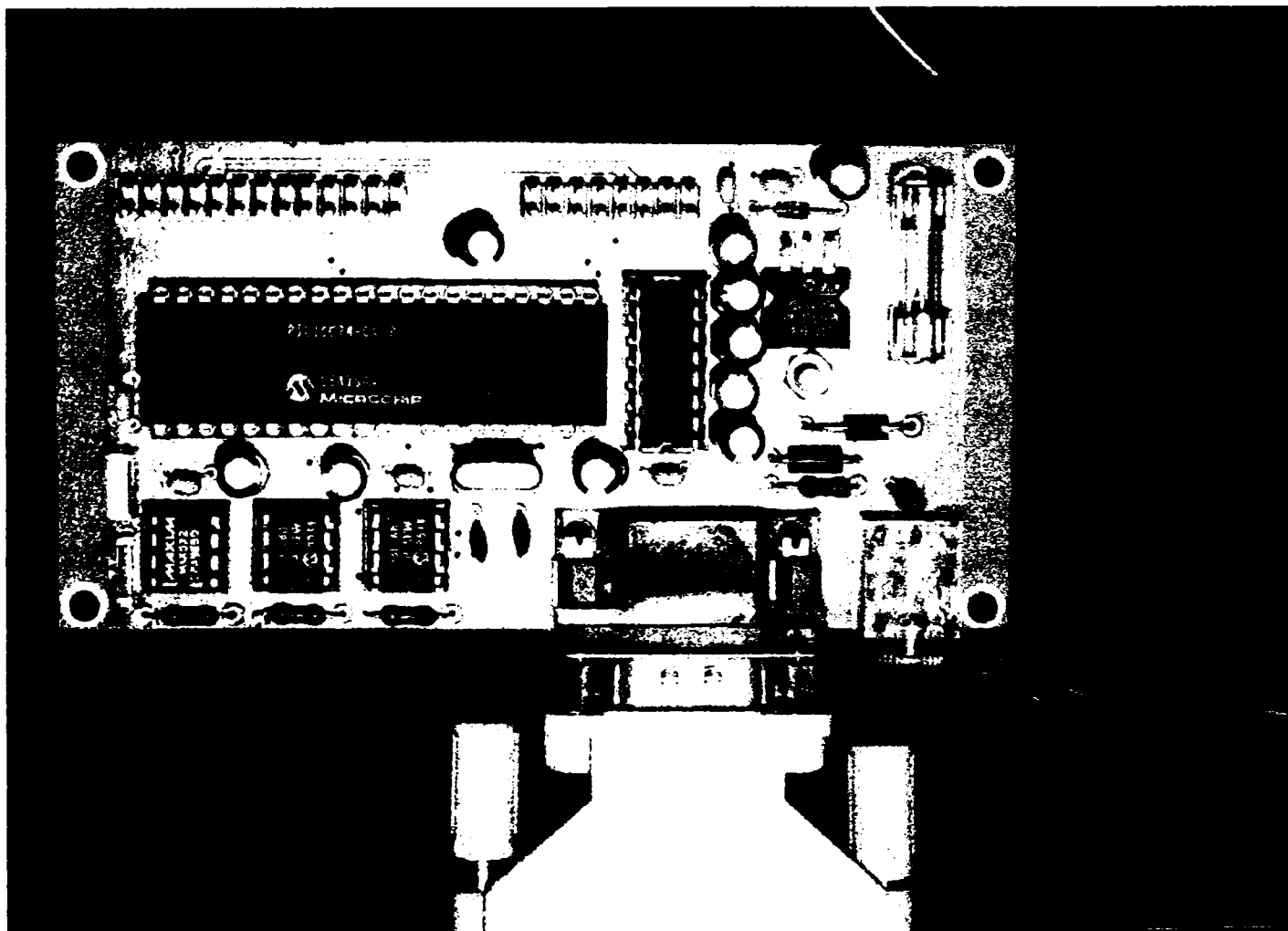
**Fig.6.19**

c) *Funcția de reglare a încărcării morii cu material*: mărime de intrare dP = PGR - ALT (PRG = valoare totală alimentare, ALT - valoare impusă alimentare), cu funcțiile de apartenență date în fig.5.66.; mărime de ieșire: ajustare debit alimentare (dPf) cu tabela de interferență dată în fig.5.68. Caracteristica de reglare dPf = f(dP) realizată de controlerul Fuzzy este prezentată în fig.6.20 și corespunde tabelii de interferență.



**Fig.6.20**

Concluziile rezultate din testarea în laborator a controlerului realizat confirmă faptul că acesta funcționează corect, realizând cu precizie legile de reglare impuse. În fig.6.21 este prezentat controlerul Fuzzy.



**Fig.6.21 Controler Fuzzy**

## **6.3 Experimentări industriale**

Realizarea unor experimentări industriale, în cazul de față conducerea propriu-zisă a proceselor din fabrica de ciment, după algoritmi proiectați, utilizând controlerul Fuzzy realizat și software-ul corespunzător, creează dificultăți deosebite, din mai multe motive:

- trebuie găsit un beneficiar care să accepte o întrerupere (și eventual o dereglare) a fluxului de producție, cu eventuale pierderi financiare;

- dotarea actuală cu echipamente de automatizare a liniilor de fabricație a cimentului este destul de precară (paragraful 2.2, tabelele 2.1÷2.6), iar experimentarea presupune existența și corecta funcționare a traductoarelor, elementelor de execuție etc.;

- realizarea efectivă a încercărilor presupune costuri destul de ridicate (echipament de calcul, controler, modificări în instalațiile existente etc.).

Cu toate acestea, fabrica de ciment S.C. CASIAL S.A. Deva a manifestat interes pentru studiile efectuate și, prin intermediul unui Contract de cercetare [38, 39], a permis accesul la instalațiile proprii și a asigurat suportul material necesar testărilor.

După cum rezultă din paragraful 6.2, din punct de vedere al capacității sale, controlerul Fuzzy realizat poate fi utilizat la conducerea proceselor de dozare, măcinare făină, măcinare clincher. Pentru cuptorul rotativ, algoritmul proiectat este mai complex și materializarea lui necesită un controler cu o capacitate de prelucrare mai mare. Acesta poate fi realizat fără probleme deosebite, în cazul în care beneficiarul dorește acest lucru.

Experimentările au vizat compartimentul mori ciment, acesta fiind unul din marii consumatori de energie și influențând decisiv calitatea cimentului. În conformitate cu dorința beneficiarului, s-a urmărit menținerea constantă a gradului de încărcare a morii, având în vedere faptul că, la un moment dat, cantitatea de retur este necontrolată și deci aceasta constituie o mărime perturbatoare. În practică, acest fapt constituie un dezavantaj major care face ca, în prezent, să nu se cunoască exact cât material (nou + retur) este în moară la un anumit moment. Implicațiile energetice și calitative sunt evidente.

Pentru conducerea procesului de măcinare s-a folosit algoritmul prezentat în paragraful 5.5.1.3 - funcția de reglare a încărcării morii cu material. Gradul real de încărcare a morii s-a determinat on-line prin metoda expusă în paragraful 4.3, iar schema de reglare folosită este prezentată în fig. 6.22.

Au fost impuse diverse valori pentru gradul de încărcare a morii și s-a urmărit, în timp, modul în care sistemul a realizat fizic dezideratul impus. În fig.6.23 este prezentată înregistrarea mărimilor caracteristice din proces, realizată prin intermediul interfeței ADA 3100 și a PC.

Analizând curbele prezentate, se observă următoarele:

- s-a impus o creștere a încărcării morii din 2 în 2 ore, pentru a exista timpul necesar stabilizării procesului și a observa menținerea constantă a acesteia;

- în toată perioada încercărilor, debitul de retur a variat aleatoriu, fiind dictat de separatorul dinamic;

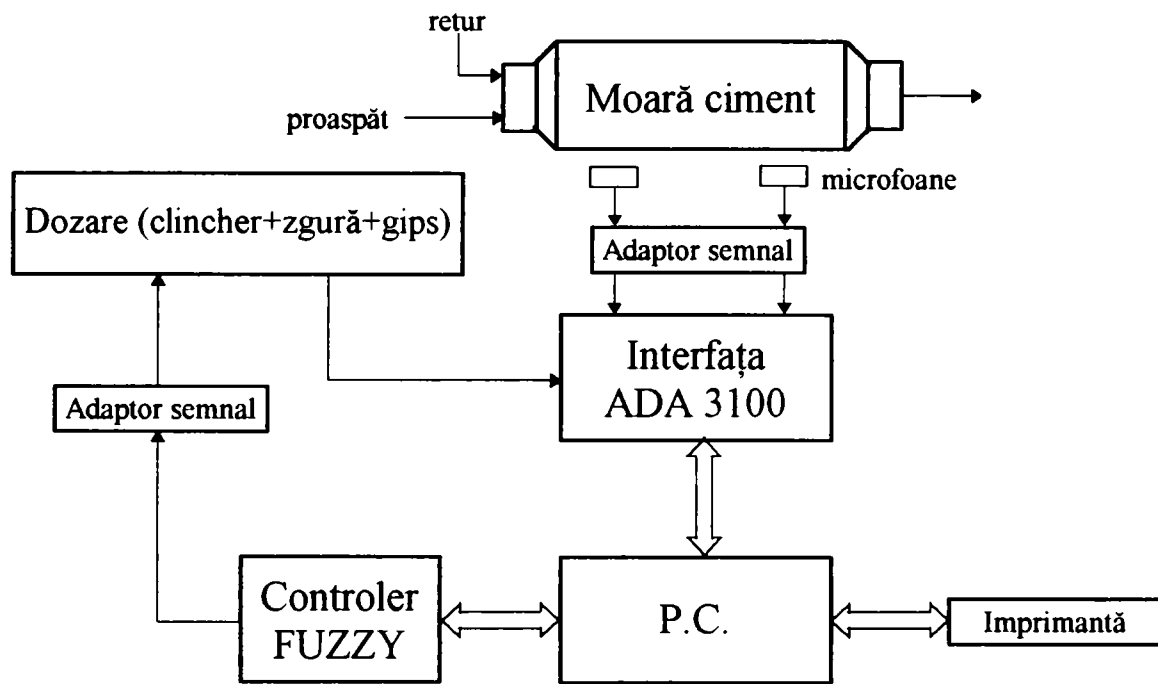


Fig.6.22

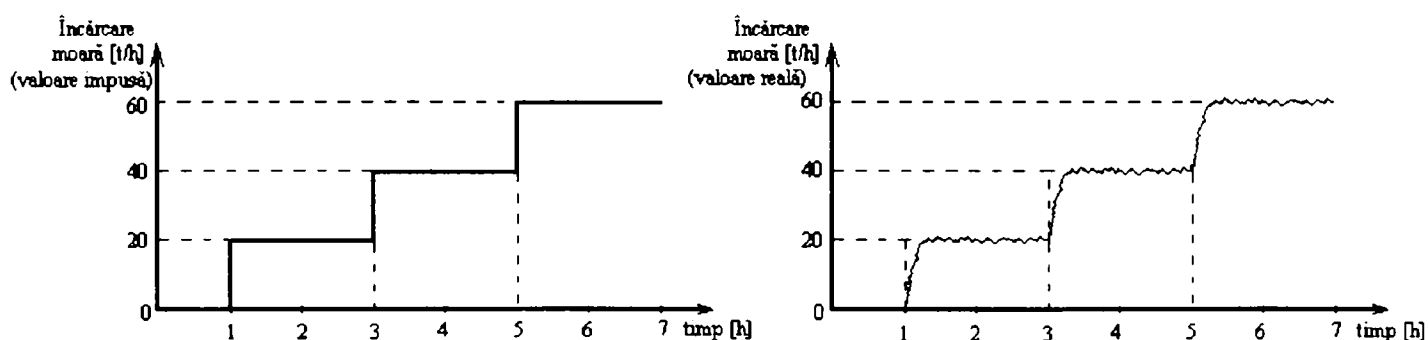


Fig.6.23

- probele de laborator (luate la o oră după stabilizarea procesului), nu au semnalat modificări semnificative în calitatea cimentului (suprafața specifică);

- consumurile specifice de energie electrică, măsurate de beneficiar în timpul încercărilor, precum și consumul specific mediu realizat înainte de aplicarea conducerii automate, sunt prezentate în tabelul 6.1

Tabelul 6.1

	În timpul experimentărilor			Medie, înainte de experimentări
	20	40	60	
Încărcarea morii [t/h]	20	40	60	50,6
Consumul specific [MWh/1000t]	115	76,6	37,09	58,5

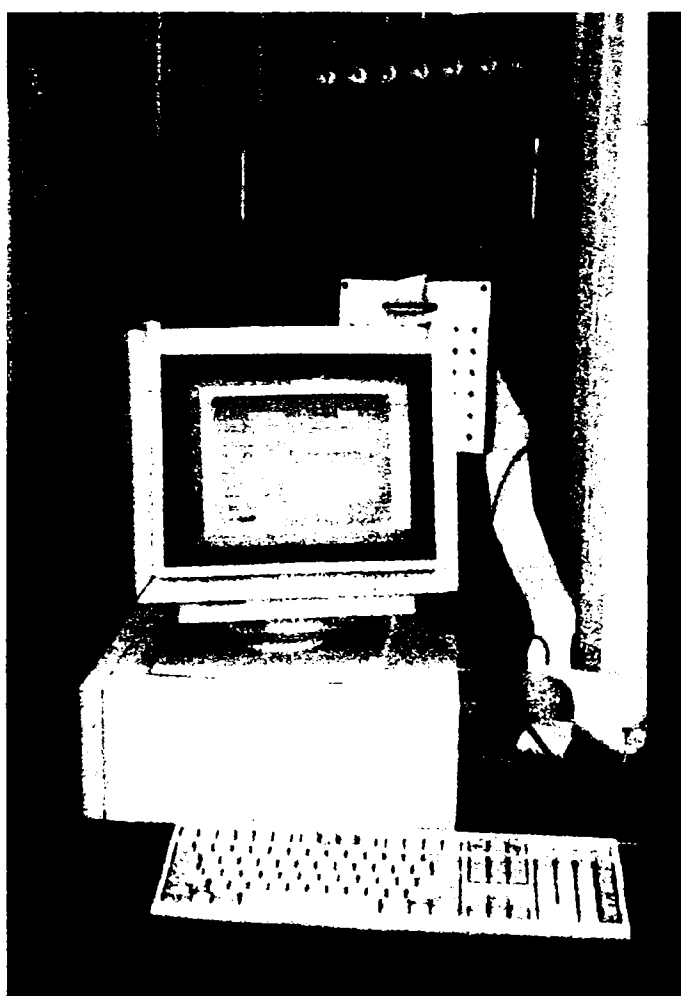
Se observă că menținerea constantă a încărcării morii la 60 [t/h], conduce la o reducere a consumului specific de 21,41 [MWh/1000 t], sau, la o producție medie lunară

totală (cinci mori) de 80.000 [t], la 1712,8 [MWh]. Ținând cont de costul echipamentului de automatizare pentru cinci mori [38], [39] (aproximativ 25.000 USD) și de prețul mediu al energiei electrice (aproximativ 70 USD/MWh), rezultă amortizarea investiției în cca 5 luni. Calculele sunt estimative, dar arată eficiența deosebită a introducerii controlului automat al încărcării morilor de ciment.

Încercările au fost efectuate pe moara nr.5 de la S.C. CASIAL S.A. Deva, în prezența specialiștilor beneficiarului. În fig.6.24 și 6.25 sunt prezentate două imagini din timpul desfășurării lor.



**Fig.6.24**



**Fig.6.25**

Procesele verbale de avizare a celor două faze ale contractului menționat sunt prezentate în Anexa 3.

## **6.4 Concluzii**

Experimentările efectuate în laborator asupra controlerului Fuzzy și conducerea automată a regimului de încărcare a unei mori de ciment pe baza algoritmilor proiectați, au confirmat corectitudinea și aplicabilitatea lor imediată în practică, cu efecte economice favorabile.

Din considerentele expuse în paragraful 6.3, verificarea în practică a tuturor algoritmilor de conducere concepuți nu este posibilă fără investiții din partea beneficiarului. De altfel, nici nu există pretenția că aceștia sunt cei mai buni posibili, ei putând fi modificați oricând, fără nici un efort material, pe baza concluziilor rezultate în exploatarea curentă a instalațiilor. Ei sunt însă un punct de plecare, pe această bază beneficiarul putând începe modernizarea instalațiilor de automatizare din fabrica de ciment.

Contribuțiile personale ale autorului în acest capitol constau în:

- a) conceperea schemei de testare a controlerului Fuzzy realizat și a software-ului aferent;
- b) realizarea încercărilor propriu-zise, prin testarea majorității algoritmilor proiectați și confirmarea funcționării corecte a controlerului;
- c) aplicarea, în regim industrial, a algoritmului de conducere a unei mori de ciment și confirmarea corectitudinii acestuia de către beneficiar;
- e) confirmarea funcționării corecte în regim industrial a controlerului propus.



# CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII

În prezenta lucrare s-a abordat problematica automatizării fluxului tehnologic al fabricilor de ciment folosind principii și metode noi, puțin sau deloc aplicate la nivel național.

1. Caracterul interdisciplinar al cercetării, cu multiple implicații tehnologice, dictat de utilizarea sistemelor expert, a impus analiza proceselor dintr-o fabrică de ciment, atât din punct de vedere teoretic, cât și practic, prin observații efectuate direct în uzină, în cadrul unui Contract de cercetare. S-a acordat o atenție deosebită calculului compoziției clincherului și a proporțiilor de materii prime, pentru obținerea unei anumite calități de ciment. În acest scop au fost prezentate metodele clasice existente în literatură și a fost conceput un program care generalizează calculul compoziției clincherului.

2. Pe baza cercetărilor efectuate pe plan internațional și a cercetărilor proprii, s-a propus structura unui sistem ierarhic de conducere și urmărire a proceselor din fabrica de ciment, utilizând automate programabile și PC-uri standardizate. Structura este flexibilă și se poate extinde sau modifica, putând fi adaptată la orice flux tehnologic.

3. Având în vedere tendințele existente în domeniu pe plan mondial, s-a optat pentru conducerea proceselor din fabrica de ciment cu ajutorul sistemelor expert, bazate pe algoritmi vagi. După analiza problemelor teoretice privind reglarea Fuzzy, a fost conceput și realizat practic (hardware și software) un controler, adaptabil la un PC obișnuit, care să permită testarea și implementarea în practică a algoritmilor de conducere a diverselor procese din fabrica de ciment. Acest controler are un preț de cost foarte redus, este de mici dimensiuni și, după introducerea regulilor cu ajutorul PC-ului, el poate lucra independent în instalație, fiind prevăzut cu toate circuitele necesare (memorie proprie, convertoare A/N, N/A, linie de comunicație etc.). Software-ul conceput (prezentat pe o dischetă) este utilizabil de orice persoană fără cunoștințe deosebite de informatică și prezintă foarte multe facilități (introducerea reguli, testarea reguli, reprezentări grafice etc.).

4. Pentru stabilirea regulilor de conducere a cuptorului rotativ de clincher și verificarea deciziilor expertului uman, s-a realizat un model statistic al acestuia, pe baza datelor culese din procesul real. Prelucrarea lor cu ajutorul PC-ului a permis stabilirea (cu un grad de precizie de 90%) a corelației între diverse mărimi importante ale procesului. Identificarea a fost realizată în cadrul unui Contract de cercetare cu SC CASIAL SA Deva și a fost acceptată de beneficiar, în conformitate cu Procesul verbal de avizare anexat.

Pentru conducerea procesului de măcinare este necesară cunoașterea precisă a gradului de încărcare a morilor (metodele existente actualmente sunt aproximative). În acest scop a fost concepută o nouă metodă bazată pe analiza numerică a spectrului de frecvențe a zgomotului emis de moară. Metoda a fost aplicată practic în cadrul unui Contract de cercetare și a dat rezultatele scontate, fiind însușită de beneficiar, care are (conform legii invențiilor) datoria de a întocmi actele necesare brevetării ei. În lucrare nu au fost introduse

datele care au caracter secret (metoda de scanare numerică și de determinare a frecvențelor caracteristice).

5. Pe baza analizei implicațiilor tehnologice, a consultării unui numeros material bibliografic, a discuțiilor cu specialiști tehnologi și, nu în ultimul rând, pe baza observațiilor directe asupra proceselor, efectuate în cadrul Contractului de cercetare menționat, pentru fiecare proces (dozare materii prime, măcinare făină, clincherizare, măcinare clincher și adaosuri) s-a propus o structură a schemei de automatizare utilizând automate programabile integrate în sistemul general de urmărire a fabricației și s-au conceput algoritmi de conducere, stabilindu-se mărimile ce trebuiesc măsurate în proces, numărul de intrări/ieșiri, intervalul de prelevare a probelor și toate datele necesare configurării automatelor programabile. De asemenea, au fost proiectați algoritmi de reglare fuzzy corespunzători fazelor de producție.

Prin aceste precizări sunt accentuate aspectele practice ale cercetărilor teoretice efectuate, care permit aplicarea lor imediată în producție;

6. Controlerul conceput și realizat practic (software și hardware) a fost testat în laborator, implementându-i-se succesiv majoritatea algoritmilor proiectați și determinându-se caracteristicile de reglare. S-a confirmat astfel corecta funcționare a acestuia și faptul că el poate conduce efectiv procesele din fabrica de ciment (cu excepția cuptorului rotativ, pentru care este necesar un controler cu capacitate mai mare de prelucrare).

Pe baza algoritmilor proiectați, a metodei de determinare a gradului de umplere a unei mori, și cu ajutorul controlerului Fuzzy realizat, a fost condus practic regimul de încărcare la moara nr.5 a fabricii de ciment Casial - Deva, în cadrul unui Contract de cercetare. Rezultatele experimentale obținute au confirmat corectitudinea algoritmilor și buna funcționare, în condiții industriale, a controlerului.

Aprecierile beneficiarului sunt cuprinse în Procesul verbal de avizare a contractului, prezentat în Anexa 3 și confirmă posibilitatea de aplicare imediată în practică a rezultatelor cercetărilor efectuate în prezenta lucrare.

Principalele *contribuții personale* aduse în automatizarea proceselor din fabricile de ciment se consideră a fi următoarele:

1. Sinteza materialului informativ existent în literatura de specialitate, privitor la tehnologia de fabricație a cimentului și automatizarea proceselor din fabrica de ciment.

2. Elaborarea algoritmului și programului pentru determinarea compoziției fazale a clincherului de ciment portland, atât în funcție de compoziția mineralogică a făinei, cât și de subsistemul de echilibru termic, obținut prin generalizarea metodelor existente, pe baza bilanțului masic (paragraful 1.2.4 și Anexa 1).

3. Stabilirea structurii sistemului ierarhic de conducere și urmărire a proceselor din fabrica de ciment (paragraful 2.3.2).

4. Conceperea și realizarea hard a unui controler Fuzzy pornind de la un microcircuit specializat (PIC 16C74) (paragraful 3.3.). Acesta este prevăzut cu circuite anexe (memorie, convertoare A/N, N/A, magistrală de comunicare etc.) care-i permit ca, după introducerea algoritmilor de reglare cu ajutorul unui PC obișnuit, să poată funcționa independent în

instalație. Controlerul are caracter universal, putând fi utilizat, în funcție de capacitatea sa, pentru conducerea oricăror procese pe baza algoritmilor Fuzzy și este foarte competitiv.

5. Conceperea unui software (prezentat pe o dischetă anexată) pentru stabilirea și introducerea bazei de reguli de conducere, testarea reglajului, reprezentări grafice etc. Utilizarea software-ului, conceput în structura "Windows", nu necesită cunoștințe deosebite de informatică, fiind foarte accesibil.

6. Modelarea statistică a procesului din cuptorul rotativ în vederea determinării corelațiilor între diversele sale mărimi caracteristice: stabilirea structurii modelului, întocmirea programelor de analiză a datelor experimentale, determinarea propriu-zisă a modelului matricial al cuptorului (paragraful 4.2.5).

7. Conceperea metodei de analiză numerică a gradului de încărcare a morilor; determinarea propriu-zisă a curbelor zgomot-încărcare (paragraful 4.3.2), testarea și aplicarea, în condiții industriale, a cercetărilor efectuate, cu acceptarea lor de către beneficiar.

8. Conceperea structurii sistemelor de conducere și stabilirea etapelor algoritmilor de reglare corespunzător fazelor de producție: dozare materii prime, măcinare materii prime, clincherizare, măcinare clincher și adaosuri (paragrafele 5.2÷5.5);

9. Proiectarea algoritmilor fuzzy necesari calculului mărimilor de comandă utilizate de algoritmi de reglare (paragrafele 5.2÷5.5);

10. Testarea, în condiții de laborator, a controlerului realizat (hardware și software), a facilităților oferite de acesta și determinarea experimentală a caracteristicilor de reglare (paragraful 6.2).

11. Conducerea, în condiții industriale, a regimului de încărcare a unei mori de ciment, utilizând algoritmi proiectați și controlerul realizat (paragraful 6.3), confirmându-se calitatea acestora.

Rezultatele cercetărilor au fost prezentate în diverse Sesiuni de comunicări științifice și publicații, conform bibliografiei anexate și, parțial, aplicate practic într-o fabrică de ciment. Aplicarea în totalitate a cercetărilor efectuate necesită investiții în aparatură și tehnică de calcul, cheltuielile amortizându-se însă rapid.

Anexa 1

**PROGRAM PENTRU DETERMINAREA COMPOZIȚIEI  
FAZALE A CLINCHERULUI DE CIMENT PORTLAND**

```

program CompClincher;
uses Crt, Graph, UApp;
const Mc = 56; Ma =102; Ms =60; Mf =160;
Var
  CaO, Al2O3, SiO2,Fe2O3 : Real;
  SCaO, SAl2O3, SSiO2, SFe2O3 : String;
  Parageneza : String;
  M :array[1..4] of real; N:array[1..4,1..4] of Byte ; X:array[1..4] of real;
  B:array[1..4] of real; A:array[1..4,1..4] of real;

procedure Init;
begin
  Title('Determinarea compoziției fazale a clincherului de ciment portland ');
  DefineBtn( 0, 10, 55, 620, 393, 0, 0, "", "", Off);
  { definește butoanele meniului principal }
  DefineBtn( 10, 10, 26, 60, 19, 2, 1, 'Info',
    'Informații generale despre program', Off);
  DefineBtn( 11, 75, 26, 60, 19, 2, 1, 'Calcul',
    'Determinarea compoziției fazale ', Off);
  DefineBtn( 12, 570, 26, 60, 19, 2, 5, 'Ieșire',
    'Termină execuția programului', Off);
  SCaO:="";
  DefineInp(1,100,100,320,30,50,'% CaO ',SCaO);
  SAl2O3:="";
  DefineInp(2,100,130,320,30,50,'% Al2O3 ',SAl2O3);
  SSiO2:="";
  DefineInp(3,100,160,320,30,50,'% SiO2 ',SSiO2);
  SFe2O3:="";
  DefineInp(4,100,190,320,30,50,'% Fe2O3 ',SFe2O3);
  Parageneza:="";
  DefineInp(5,100,220,320,30,200,'Parageneza ',Parageneza);
end;

procedure Info;
begin
end;

procedure Calcul;
Var I,J,K,L: Integer; S:String[10]; Code,MM,Poz :Integer; T:Real;
  Sform: array[1..4] of string[15]; SS:string; Sf: array[1..4] of string[15];
begin
  Drawinp(1); Drawinp(2); Drawinp(3); Drawinp(4); Drawinp(5);
  Inp(1); Inp(2); Inp(3); Inp(4); Inp(5);
  Val(SCaO,CaO,Code); Val(SAl2O3, Al2O3,Code); Val(SSiO2,SiO2,Code); Val(SFe2O3,Fe2O3,Code);
  for i:=1 to 4 do
    for j:=1 to 4 do
      N[i,j]:=0;
  Insert('-',Parageneza,length(Parageneza)+1);
  K:=1;
  for i:=1 to 4 do
    begin
      while (Parageneza[k]<>'-' ) do
        begin
          if Parageneza[k]='C' then
            begin
              Inc(k);
              if (Parageneza[k]>='A') and (Parageneza[k]<='S') or (Parageneza[k]='-') then
                N[i,1]:=1
            end
          else
            continue;
        end
      until Parageneza[k]='-';
    end
  end
end;

```

```

else
begin
  if (Parageneza[k+1]>='0') and (Parageneza[k+1]<='9') then
    begin
      S:=Copy(Parageneza,k,2); Inc(K);
    end
  else
    S:=Copy(Parageneza,k,1);
    Val(S,N[i,1],Code);
    Inc(K);
  end;
end;
if Parageneza[k]='A' then
begin
  Inc(k);
  if (Parageneza[k]>='A') and (Parageneza[k]<='S') or (Parageneza[k]='-') then
    N[i,2]:=1
  else
    begin
      if (Parageneza[k+1]>='0') and (Parageneza[k+1]<='9') then
        begin
          S:=Copy(Parageneza,k,2); Inc(K);
        end
      else
        S:=Copy(Parageneza,k,1);
        Val(S,N[i,2],Code);
        Inc(K);
      end;
    end;
end;
if Parageneza[k]='S' then
begin
  Inc(k);
  if (Parageneza[k]>='A') and (Parageneza[k]<='S') or (Parageneza[k]='-') then
    N[i,3]:=1
  else
    begin
      if (Parageneza[k+1]>='0') and (Parageneza[k+1]<='9') then
        begin
          S:=Copy(Parageneza,k,2); Inc(K);
        end
      else
        S:=Copy(Parageneza,k,1);
        Val(S,N[i,3],Code);
        Inc(K);
      end;
    end;
end;
if Parageneza[k]='F' then
begin
  Inc(k);
  if (Parageneza[k]>='A') and (Parageneza[k]<='S') or (Parageneza[k]='-') then
    N[i,4]:=1
  else
    begin
      if (Parageneza[k+1]>='0') and (Parageneza[k+1]<='9') then
        begin
          S:=Copy(Parageneza,k,2); Inc(K);
        end
      else

```

```

        S:=Copy(Parageneza,k,1);
        Val(S,N[i,4],Code);
        Inc(K);
    end;
end;
end;
Inc(k);
end;
for l:=1 to 4 do
    M[l]:=N[l,1]*Mc+N[l,2]*Ma+N[l,3]*Ms+N[l,4]*Mf;
    B[1]:= CaO/Mc;
    B[2]:= Al2O3/Ma;
    B[3]:= SiO2 /Ms;
    B[4]:= Fe2O3 /Mf;
    for l:=1 to 4 do
        begin
            A[i,1]:=N[1,i]/M[1]; A[i,2]:=N[2,i]/M[2]; A[i,3]:=N[3,i]/M[3]; A[i,4]:=N[4,i]/M[4];
        end;
Mm:=4;
for k:=1 to mm do
begin
if a[k,k]=0 then
begin
j:=k+1;
while (j<=mm) and ( a[j,k]=0) do j:=j+1;
if j<=mm then
begin
for l:=k to mm do
begin
t:=a[k,l]; a[k,l]:=a[j,l]; a[j,l]:=t;
end;
t:=b[k];
b[k]:=b[j];
b[j]:=t;
end
else
begin
Outtextxy(100,500,'Sistemul nu se poate rezolva cu metoda Gauss');
Halt;
end;
end;
for i:=k+1 to mm do
begin
for j:=k+1 to mm do
a[i,j]:=a[i,j]- a[k,j]*a[i,k]/a[k,k]; b[i]:=b[i]-b[k]*a[i,k]/a[k,k];
end;
end;
x[mm]:=b[mm]/a[mm,mm];
for k:=mm-1 downto 1 do
begin
t:=0;
for j:=k+1 to mm do t:=t+a[k,j]*x[j] ;
x[k]:=(b[k]-t) /a[k,k];
end;
j:=0;
k:=1;
poz:=1;
for i:=1 to length(parageneza) do

```

```

if Parageneza[i] <>'-' then Inc(j)
else
  begin
    Sform[k]:=copy(parageneza,poz,j);
    poz:=i+1;
    Inc(K);
    j:=0;
  end;
Str(x[1]:6:3,Sf[1]);
Str(x[2]:6:3,Sf[2]);
Str(x[3]:6:3,Sf[3]);
Str(x[4]:6:3,Sf[4]);
SS:="";
DefineInp(10,90,260,350,30,0,'Compoziția fazală a clincherului este :',SS);
DrawInp(10);
SS:=SF[1];
DefineInp(6,100,300,320,30,100,' % '+Sform[1]+' ',SS);
DrawInp(6);
SS:=SF[2];
DefineInp(7,100,330,320,30,100,' % '+Sform[2]+' ',SS);
DrawInp(7);
SS:=SF[3];
DefineInp(8,100,360,320,30,100,' % '+Sform[3]+' ',SS);
DrawInp(8);
SS:=SF[4];
DefineInp(9,100,390,320,30,100,' % '+Sform[4]+' ',SS);
DrawInp(9);
WaitEsc;
end;

```

```

procedure Run;
  begin
    { execută meniul principal }
    MainSel := 10;
    repeat
      ClearClient;
      HMenu(10, 12, MainSel);
      case MainSel of
        10: Info;
        11: Calcul;
      end;
    until MainSel = 12;
  end;

```

```

procedure Done;
  begin
    EndGraph;
    DoneButtons;
  end;

```

```

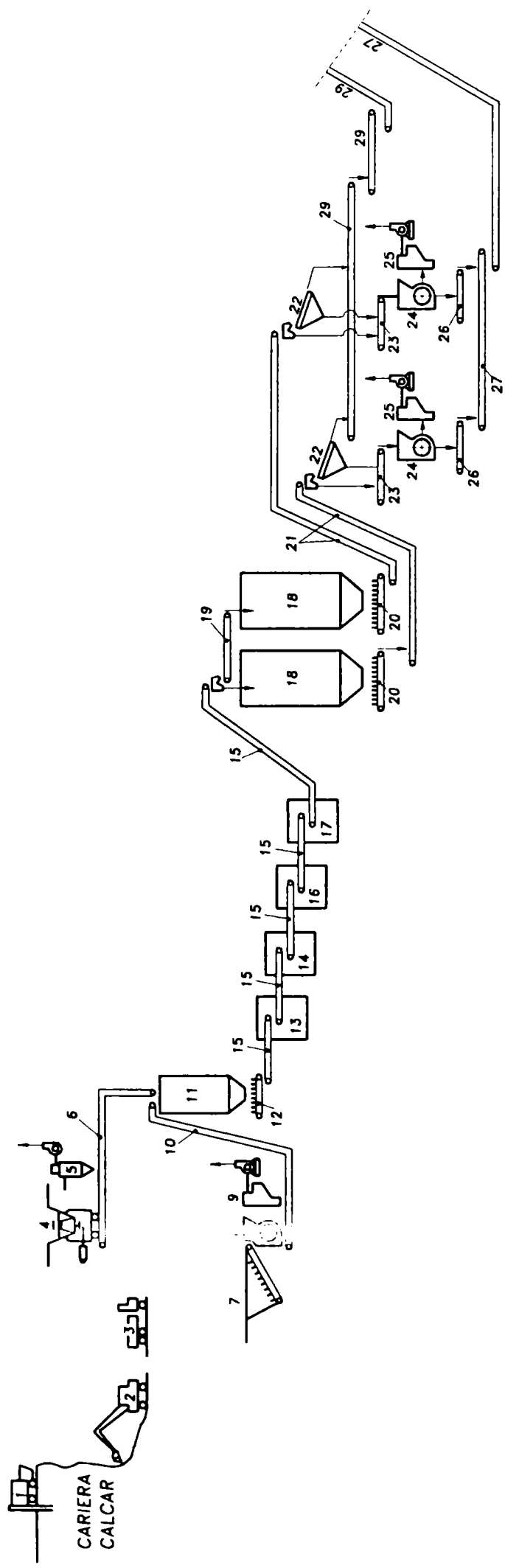
begin
  Init;
  Run;
  Done;
end.

```



Anexa 2

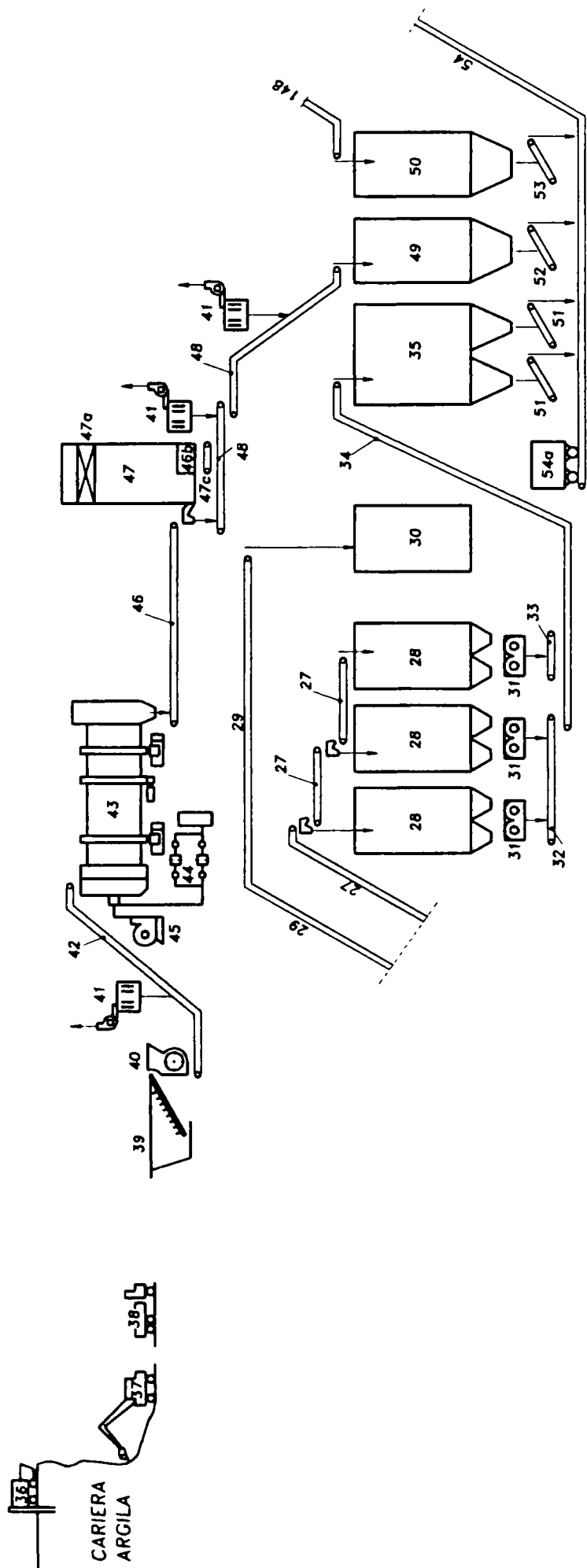
**SCHEMA FLUXULUI TEHNOLOGIC AL FABRICII DE  
CIMENT S.C. CASIAL S.A. DEVA**



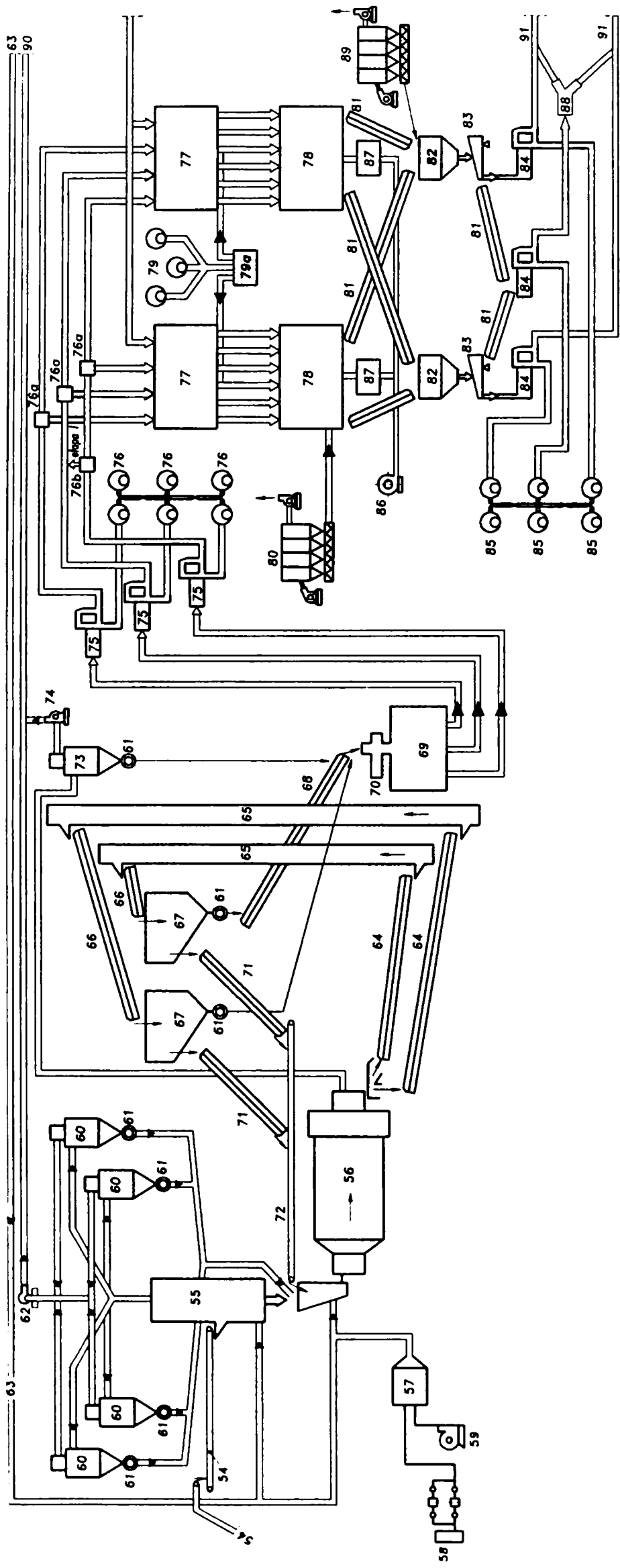
CARIERA  
CALCAR

- 1 Foreza
- 2 Excavator
- 3 Masini transport calcar
- 4 Concasor giratoriu
- 5 Ciclon desprafuire concasor
- 6 Transportor cu banda de sub concasor
- 7 Transportor cu placi
- 8 Concasor Wedag
- 9 Excavator
- 10 Transportor cu banda de sub concasor
- 11 Siloz tampon calcar preconcasat în cariera
- 12 Transportor cu placi
- 13 Statia de unghi 1
- 14 Statia de unghi 2

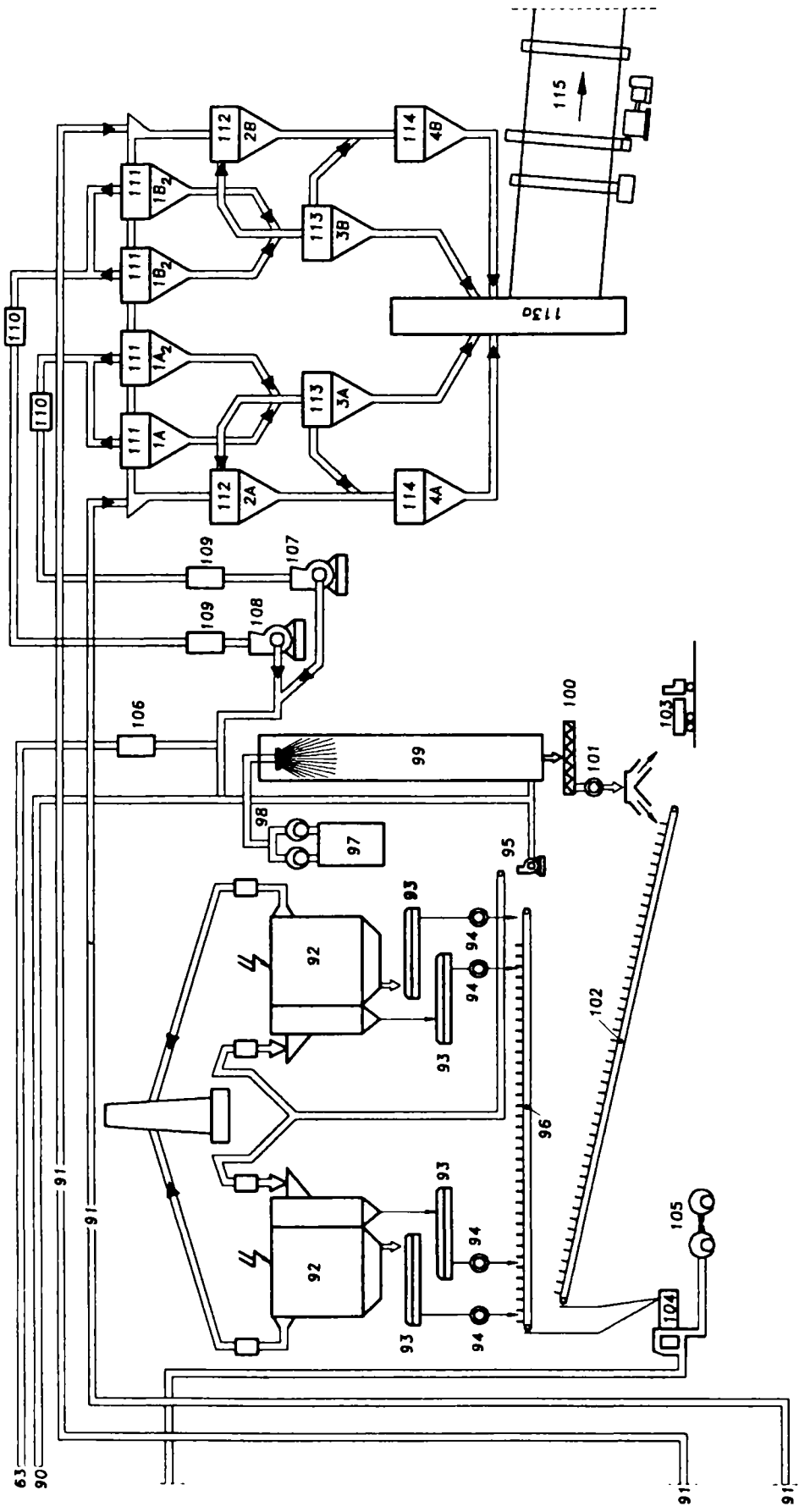
- 15 Releu de benzi transport calcar
- 16 Statia de unghi 3
- 17 Statia de unghi 4
- 18 Siloz calcar preconcasat în fabrica
- 19 Transportor cu banda între silozuri
- 20 Transportor cu placi
- 21 Transportor cu banda siloz-ciur vibrator
- 22 Ciur vibrator
- 23 Transportor cu banda ciur vibrator-concasor
- 24 Concasor Wedag
- 25 Hidrociclon desprafuire reconcasare
- 26 Transportor cu banda sub concasor
- 27 Releu benzi transport calcar reconcasat la silozuri
- 28 Siloz calcar pentru var



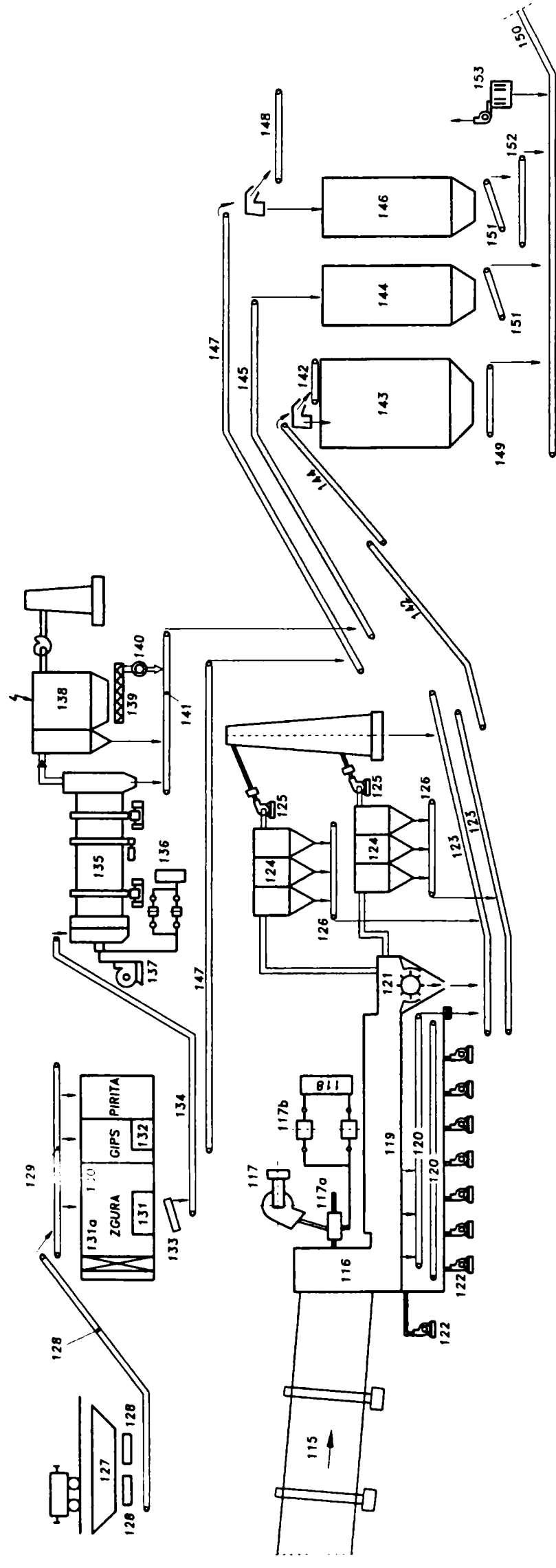
- 29 Banda transport calcar de la ciur vibrator la releu benzi  
30 Siloz calcar pentru var  
31 Extractor cu brate  
32 Transportor cu banda sub doua silozuri  
33 Transportor cu banda sub siloz  
34 Transportor cu banda silozuri calcar reconcasat la siloz calcar dozare  
35 Siloz calcar dozare  
36 Foreza  
37 Excavator  
38 Masini transport argila  
39 Transportor cu placi  
40 Concasor Wedag  
41 Minifiltru pentru desprafuire  
42 Releu de benzi de la concasor la uscator argila  
43 Uscator argila  
44 Grup preincalzire pacura  
45 Ventilator aer primar  
46 Transportor cu banda de la uscator la hala depozitare  
47 Hala depozitare argila  
47a Pod rulant cu graifer 12,5 tone  
47b Buncar tampon  
47c Transportor cu placi  
48 Releu benzi transport argila  
49 Siloz argila dozare  
50 Buncar pirita calcar  
51 Dozator calcar  
52 Dozator argila  
53 Dozator pirita



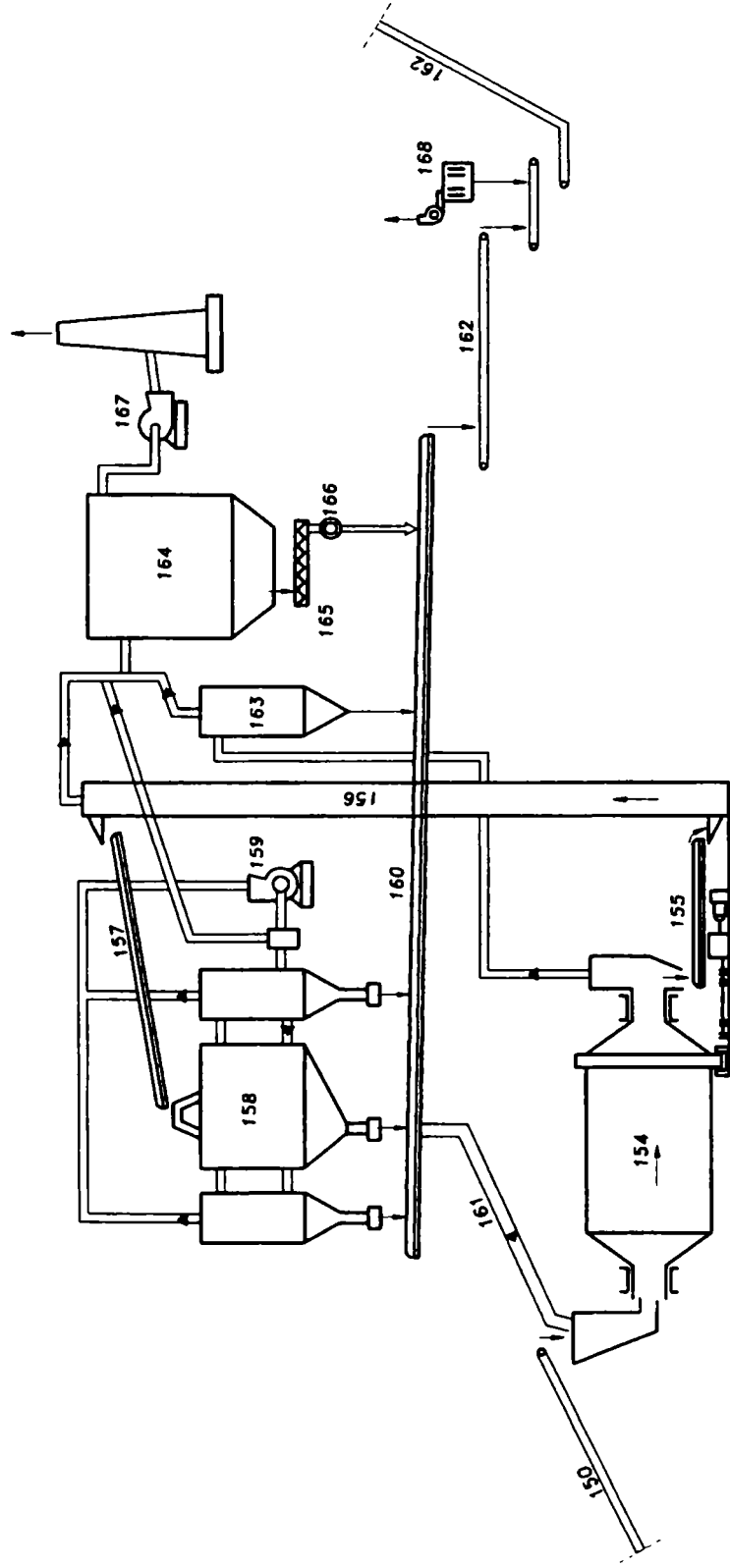
- 54 Releu de benzi de la dozare la turn uscare
- 54a Filtru cu rame
- 55 Turn uscare
- 56 Moara faina
- 57 Focar auxiliar
- 58 Grup preincalzire pacura
- 59 Ventilator aer primar
- 60 Cicloane desprafuire turn uscare
- 61 Dozatoare celulare
- 62 Ventilator turn uscare
- 63 Conducta gaze calde cuptor-moara
- 64 Rigole moara-elevatoare
- 65 Elevatoare 400 t/h
- 66 Rigole, elevatoare-separatoare
- 67 Separatoare dinamice Ø8000
- 68 Rigola separator-buncar-faina
- 69 Buncar faina
- 70 Prelevator de probe medii
- 71 Rigole gris
- 72 Banda gris
- 73 Cicon desprafuire moara
- 74 Ventilator desprafuire moara
- 75 Pompe Fuller 200 t/h
- 76 Compresoare aer pentru pompe Fuller
- 76a Electroventil cu 2 cai
- 76b Electroventil pentru transport la linia a doua de fabricatie
- 77 Silozuri omogenizare faina
- 77a Extractor cu vult din silozurile de omogenizare si depozitare
- 78 Silozuri depozitare faina
- 79 Compresoare aer omogenizare
- 79a Distribuitor cu 4 cai
- 80 Filtru cu saci dupa silozuri
- 81 Rigole faina sub siloz
- 82 Buncar control dozator
- 83 Cantar Schenk
- 84 Pompe Fuller 200t/h-cuptoare
- 85 Compresoare pentru pompe Fuller
- 86 Compresor fluidificare silozuri
- 87 Distribuitor de aer cu 6 cai
- 88 Ventil cu doua cai traseu faina



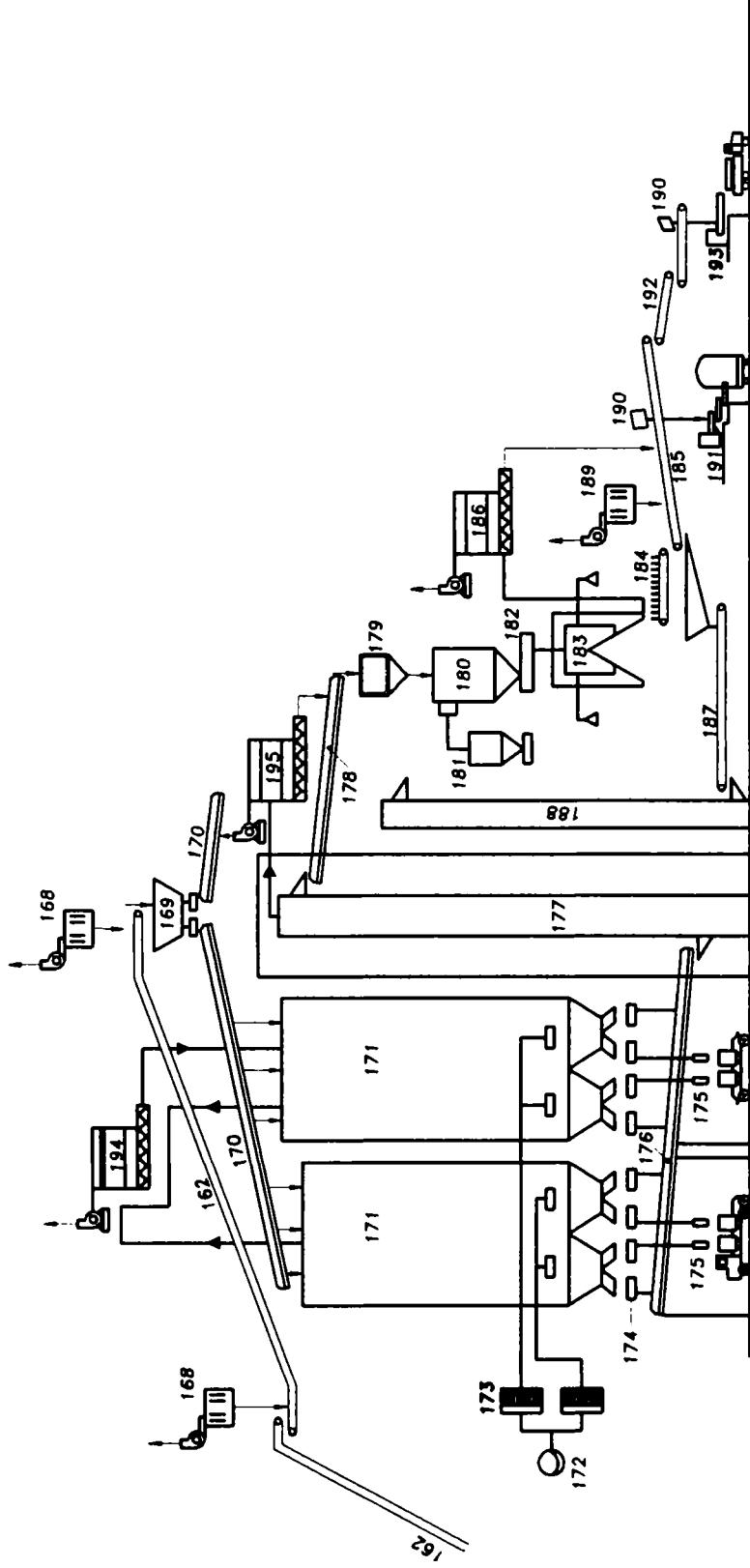
- |     |   |      |   |
|-----|---|------|---|
| 89  | Filteru cu saci desprafuire Schenk      | 103  | Masini transport slam                     |
| 90  | Conducta gaze moara-BV                  | 104  | Pompa Fuller 100 t/h-electrofiltru        |
| 91  | Conducte faina                          | 105  | Compresor aer pentru pompa Fuller 100 t/h |
| 92  | Electrofiltru 560.000 m <sup>3</sup> /h | 106  | Clapeta cuptor moara faina                |
| 93  | Rigole electrofiltru                    | 107  | Ventilator VRA                            |
| 94  | Dozator celular                         | 108  | Ventilator VRB                            |
| 95  | Ventilator BV                           | 109  | Registru cu jaluzele                      |
| 96  | Transportor cu racleti                  | 110  | Clapete explozive                         |
| 97  | Rezervor apa                            | 111  | Ciocane ø4750-treapta I                   |
| 98  | Pompe                                   | 112  | Ciocane ø6900-treapta II                  |
| 99  | Turn umezire                            | 113a | Coloana ascendenta                        |
| 100 | Transportor elicoidal sub turn umezire  | 113  | Cicloane ø6900-treapta III                |
| 101 | Dozator celular                         | 114  | Cicloane ø6900-treapta IV                 |
| 102 | Transportor cu racleti                  |      |   |



- 115 Cuptor rotativ CR 3000 t/24h
- 116 Antefocar
- 117 Ventilator aer primar pentru arzator
- 117a Arzator
- 117b Pompe pacura
- 118 Grup preincalzire pacura
- 119 Racitor gratar
- 120 Lanturi mici sub racitor gratar
- 121 Concasor clincher
- 122 Ventilatoare racire clincher
- 123 Lanturi mari racitor gratar
- 124 Multiciclou
- 125 Ventilator desprafuire racitor gratar
- 126 Transportoare cu redler sub multiciclou
- 127 Cuva cu adaosuri C.F.U.
- 128 Extractor cu brate
- 129 Releu benzi transport adaosuri in halda
- 130 Hala adaosuri
- 131 Buncar zgura
- 131a Pod rulant cu graifer 12,5 to
- 132 Buncar gips pirita
- 133 Farfurie dozatoare Ø2000
- 134 Transportor cu banda alimentare uscator cu zgura
- 135 Uscator cu zgura
- 136 Grup preincalzire pacura
- 137 Ventilator aer primar
- 138 Electrofiltru ptr. zgura
- 139 Transportor elicoidal de sub electrofiltru
- 140 Dozator celular
- 141 Transportor cu banda de sub uscator
- 142 Releu benzi transport clincher la siloz clincher
- 143 Siloz clincher
- 144 Siloz zgura
- 145 Transportor cu banda ptr. zgura la siloz
- 146 Siloz gips
- 147 Releu benzi transportoare ptr. gips-pirita la siloz
- 148 Transportor cu banda ptr. pirita la buncarul de la dozare



- 149 Transportor cu placi sub siloz clincher
- 150 Transportor cu banda alimentare moara ciment
- 151 Farfurie dozatoare Ø2000
- 152 Transportor cu banda de sub siloz gips la banda alimentare moara
- 153 Minifiltru desprafuire sub silozuri
- 154 Moara de ciment
- 155 Rigola moara ciment elevator
- 156 Elevator 550 t/h
- 157 Rigola elevator-separator
- 158 Separator Ø5000
- 159 Ventilator separator
- 160 Rigola separator releu transport ciment la silozuri
- 161 Conducta retur gris
- 162 Releu benzi transport ciment la silozuri



**163** Ciclon desprafuire moara  
**164** Electrofiltru 84.000 m<sup>3</sup>/h  
**165** Transportor elicoidal sub electrofiltru  
**166** Dozator celular  
**167** Ventilator electrofiltru  
**168** Minifiltru  
**169** Buncar primire ciment  
**170** Rigole distribuire ciment la silozuri  
**171** Silozuri ciment 10 buc.  
**172** Suflanta  
**173** Distribuitor cu 6 cai  
**174** Extractor de fund 20 buc.  
**175** Garnituri telescopice pentru C.F.R. si auto vrac

**176** Rigola alimentare elevatoare  
**177** Elevatoare 150 t/h  
**178** Rigola elevator-sortator cu sita  
**179** Sortator cu sita  
**180** Buncar tampon  
**181** Buncar preaplin  
**182** Alimentator masina insacuit  
**183** Masina insacuit  
**184** Transportor cu placi  
**185** Transportor cu banda pentru saci  
**186** Palmie colectoare ciment  
**187** Transportor elicoidal retur  
**188** Elevator 60 t  
**189** Minifiltru desprafuire saci

**190** Deviator saci  
**191** Banda automata de incarcat saci in vagoane  
**192** Releu benzi transport saci auto  
**193** Banda automata de incarcat saci auto  
**194** Filtre cu rame desprafuire silozuri  
**195** Filtru cu rame desprafuire turn elevatoare  
**196** Filtru cu rame desprafuire masini insacuit



Anexa 3

**PROCESE VERBALE DE AVIZARE ȘI CONCLUZII C.T.E.  
PRIVIND CONTRACTUL DE CERCETARE NR.195/1996  
CU S.C. CASIAL S.A. DEVA**

Se aprobă  
Director general S.C. CASIAL S.A. Deva  
ing. Deac Vasile

## Proces verbal de recepție nr. 5936 / 02.07.1996

Comisia de recepție, constituită pentru a recepționa lucrările la contractul de cercetare nr. 195/31.01.1996 "Studiu critic al sistemelor de automatizare existente în fluxul de fabricație a cimentului la S.C. Casial S.A. Deva. Soluții de modernizare în vederea conducerii cu calculatorul a morilor de ciment", încheiat între Universitatea "Politehnica" Timișoara, Facultatea de Inginerie Hunedoara și S.C. Casial S.A. Deva, s-a întrunit pentru a recepționa lucrările fazei I în valoare de 5.000.000 lei.

Comisia a constatat următoarele:

1. Lucrările au fost avizate de Comisia de Avizare a unității executante;
2. Lucrările executate sunt corespunzătoare clauzelor contractuale și se recepționează;
3. Propunerile făcute pot fi aplicate în producție pentru automatizarea fluxului de fabricație a cimentului la S.C. Casial S.A. Deva.

Comisia propune decontarea cheltuielilor pentru faza recepționată, conform contractului.

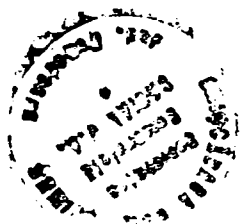
Prezentul proces verbal s-a încheiat în patru exemplare, din care două pentru beneficiar.

### COMISIA DE RECEPȚIE

Președinte: *Dimitrie Bămbic*      Ing. *Dobrota Miresan*

Membrii:  
Ing. *Deigan Miresan*  
Ing. *Sic Nicolae*  
Ing. *Confreanu Costeluta*  
Ing. *Deac Vasile*

Se aprobă  
Director general S.C. CASIAL S.A. Deva  
ing. Deac Vasile



## Proces verbal de recepție nr. 10191/1.02.12.1996

Comisia de recepție, constituită pentru a recepționa lucrările la contractul de cercetare nr. 195/31.01.1996 "Studiu critic al sistemelor de automatizare existente în fluxul de fabricație a cimentului la S.C. Casial S.A. Deva. Soluții de modernizare în vederea conducerii cu calculatorul a morilor de ciment" (faza a II-a), încheiat între Universitatea "Politehnica" Timișoara, Facultatea de Inginerie Hunedoara și S.C. Casial S.A. Deva, s-a întrunit pentru a recepționa lucrările fazei II în valoare de 7.000.000 lei.

Comisia a constatat următoarele:

1. Lucrările au fost avizate de Comisia de Avizare a unității executante;
2. Lucrările executate sunt corespunzătoare clauzelor contractuale și se recepționează;
3. Propunerile făcute pot fi aplicate în producție pentru automatizarea fluxului de fabricație a cimentului la S.C. Casial S.A. Deva.

Comisia propune decontarea cheltuielilor pentru faza recepționată, conform contractului.

Prezentul proces verbal s-a încheiat în patru exemplare, din care două pentru beneficiar.

### COMISIA DE RECEPȚIE

Președinte:

Membrii:

SOCIETATEA COMERCIALĂ "CASIAL" SA DEVA

## CONCLUZII C. T. E.

din 02.12.1996

Privind contractul 195/1996:

Studiu critic al sistemelor de automatizare existente în fluxul de fabricație a cimentului la SC CASIAL SA Deva. Soluții de modernizare în vederea conducerii cu calculatorul a morilor de ciment.

Elaborator: Universitatea "Politehnica" Timișoara  
Facultatea de Inginerie Hunedoara

Participă din partea Facultății de Inginerie Hunedoara:

dr. ing. Rusu Nicolae - responsabil contract  
ing. Anghel Stela - cercetător  
ing. Olah Ladislau - cercetător

Participă din partea SC Casial SA:

ing. Jic Nicolae - membru CTE  
ing. Sinaci Dorel - membru CTE  
ing. Demian Gheorghe - membru CTE  
ing. Dumbravă Petru - membru CTE  
ing. Codreanu Georgeta - secretar CTE  
ing. Crișan Mircea - invitat  
ing. Bellei Eugen - invitat  
sing. Ogner Mihai - invitat  
sing. Codreanu Cornel - invitat  
ing. Buțiu Vischi A. - invitat  
ing. Morar Viorel - invitat  
ing. Bota Vladimir - invitat  
ing. Buzatu Mihnea - invitat  
ing. Iordan Călin - invitat  
sing. Gondociu Valer - invitat

Lucrarea este prezentată de către dr.ing. Rusu Nicolae:

- sistemele de automatizare existente în fabrică sunt uzate moral și trebuie înlocuite;

- se prezintă ultimele realizări existente în domeniu pe plan mondial, insistându-se pe sistemul CEMAT. produs de SIEMENS:

- se prezintă o soluție originală bazată pe sistemele Fuzzy, cu toate regulile de reglare și schemele aferente;
- pentru cuptorul rotativ se prezintă rezultatele unei modelări matematice, iar pentru o moară de ciment, o metodă de determinare a gradului de încărcare;
- sunt prezentate rezultatele conducerii unei mori de ciment după algoritmul Fuzzy proiectat, utilizând un controler realizat de executant.

## CONCLUZII:

În urma numeroaselor discuții purtate, Comisia tehnico-economică a SC CASIAL SA avizează favorabil studiul efectuat, cu următoarele observații:

- metodele de conducere a proceselor din fabrica de ciment, cu sisteme expert bazate pe logica Fuzzy, propuse de executant, țin cont de principalele aspecte tehnologice, eventualele îmbunătățiri ale regulilor de conducere putând fi făcute în timpul funcționării propriu-zise. Ansamblul de reguli este original și considerăm că se încadrează în tendințele existente pe plan mondial;

- controlerul proiectat și realizat este fiabil, cu un preț redus, este ușor de programat și a funcționat corect în timpul încercărilor; - metoda originală de determinare a încărcării unei mori, propusă de executant, a fost aplicată practic la moara de ciment nr.5 și erorile de măsură se încadrează în limita admisă ( $\pm 5\%$ );

- moara nr.5 a fost condusă automat cu ajutorul controlerului realizat și a algoritmului propus de executant și s-a observat o funcționare corectă a acestora. Încărcarea morii a urmărit valorile impuse, cu erori nesemnificative;

- structura sistemelor de automatizare propuse de executant este corectă și ușor de realizat practic;

- în principiu, dotarea actuală a fabricii nu permite aplicarea în totalitate a rezultatelor cercetării, fiind necesare investiții care se vor corela cu planul general de re tehnologizare a uzinei.

Președinte: Director tehnic - ing. Bobora Mircea

Membrii:

ing. Sinaci Dorel

ing. Demian Gheorghe

ing. Dumbravă Petru

Secretar:

ing. Codreanu Georgeta

ing. Jic Nicolae

## BIBLIOGRAFIE

1. Allen - Bradley Company, *Integrierte Kommunikation*, Document CD 1.0.G. 1990
2. Anghel,S., *Fuzzy Algorithm for the Cement Mills Automation*, International Conference on Automation and Quality Control, Cluj-Napoca, România,1998, Vol.A, pp.570-575
3. Anghel,S., *Fuzzy Controller for the Automatic Control of the Clinker Grinding Proces*, International Conference on Automation and Quality Control, Cluj-Napoca, România,1998, Vol.A, pp.566-570
4. Anghel,S. ș.a., *Identificarea automată a procesului de răcire a aglomeratului pe benzi și conducerea acestuia cu calculatorul numeric. Structura sistemului*, Sesiune Aniversară de Comunicări Științifice, Hunedoara 12-13 oct. 1995, Vol.3, pp.58-63
5. Anghel,S. ș.a., *Identificarea automată a procesului de răcire a aglomeratului pe benzi și conducerea acestuia cu calculatorul numeric. Software*, Sesiune Aniversară de Comunicări Științifice, Hunedoara 12-13 oct. 1995, Vol.3, pp.64-71
6. Anghel,S. ș.a., *Metodă de identificare a parametrilor proceselor lente cu timp mort*, Sesiune Aniversară de Comunicări Științifice,Hunedoara 12-13 oct.1995,Vol.3,pp.52-57
7. Anghel,S. ș.a., *Limite în optimizarea acționărilor reversibile grele. Baze matematice și programe de calcul*, Sesiune Aniversară de Comunicări Științifice, Hunedoara 12-13 oct. 1995, Vol.3, pp.30-35
8. Anghel,S. ș.a., *Limite în optimizarea acționărilor reversibile grele. Influența unor parametri asupra performanțelor conducerii optimale*, Sesiune Aniversară de Comunicări Științifice, Hunedoara 12-13 oct. 1995, Vol.3, pp.36-43
9. Anghel,S., ș.a., *Numerical System for the Cement Mills Automations*, Automatic Control and Testing Conferences, Cluj-Napoca, România, 23-24 May 1996, Vol.1, pp.281-284
10. Anghel,S. ș.a., *Integrated Managing System on the Cement Production Line*, Automatic Control and Testing Conferences, Cluj-Napoca, România, 23-24 May 1996, Vol.1, pp.367-370
11. Anghel,S. ș.a., *Control System of the Air Supply at the Gravity-Discharge Furnace Using Frequency Static Converter*, Automatic Control and Testing Conferences, Cluj-Napoca, România, 23-24 May 1996, Vol.1, pp.471-482
12. Anghel,S. ș.a., *Sistem expert de conducere a procesului de dozare a materiilor prime în vederea obținerii făinei de ciment, bazat pe logică difuză*, Sesiune Jubiliară de Comunicări Științifice, Reșița, 25-26 oct. 1996, Vol.3, pp.167-172
13. Anghel,S. ș.a., *Identificarea stochastică a unor procese din industria cimentului*, Sesiunea Jubiliară de Comunicări Științifice, Reșița, 25-26 oct. 1996, Vol.3, pp.373-378
14. Anghel,S. ș.a., *Sistem numeric de conducere a procesului de fabricație a clincherului*, Sesiune Jubiliară de Comunicări Științifice, Reșița, 25-26 oct. 1996, Vol.3, pp.379-382
15. Anghel,S. ș.a., *Sistem fuzzy pentru conducerea cuptorului rotativ de clincher*, Sesiune Jubiliară de Comunicări Științifice, Reșița, 25-26 oct. 1996, Vol.3, pp.383-388

16. Anghel,S. ș.a., *Sistem expert de conducere a procesului de măcinare a materiilor prime în fabricile de ciment*, Sesiune Jubiliară de Comunicări Științifice, Reșița, 25-26 oct. 1996, Vol.3, pp.389-394
17. Anghel,S. ș.a., *Determinarea gradului de încărcare a morilor de ciment prin metode numerice*, Sesiune Jubiliară de Comunicări Științifice, Reșița, 25-26 oct. 1996, Vol.3, pp.395-398
18. Anghel,S., *Controler fuzzy universal pentru conducerea proceselor industriale - hardware*, Sesiune de Comunicări Științifice, Hunedoara, 31 oct. - 01 nov. 1997, Vol.3, pp.561-564
19. Anghel,S., *Software pentru un controler fuzzy universal*, Sesiune de Comunicări Științifice, Hunedoara, 31 oct. - 01 nov. 1997, Vol.3, pp.565-568
20. Anghel,S., *Modelarea matematică prin metode statistice a procesului din cuptorul de clincher*, Sesiune de Comunicări Științifice, Hunedoara, 31 oct. - 01 nov. 1997, Vol.3, pp.580-585
21. Anghel,S. ș.a., *Metodă pentru determinarea on-line a încărcării morilor de ciment, în vederea conducerii lor automate*, Sesiune de Comunicări Științifice, Hunedoara, 31 oct. - 01 nov. 1997, Vol.3, pp.621-625
22. Anghel,S. ș.a., *Rezultate experimentale privind determinarea gradului de încărcare a morilor de ciment de la S.C. Casial S.A. Deva*, Sesiune de Comunicări Științifice, Hunedoara, 31 oct. - 01 nov. 1997, Vol.3, pp.626-633
23. Base,B.K., *Expert System, Fuzzy Logic and Neural Network Applications*, Proc. of the IEEE Nr.8/1994
24. Bărbulescu,A., *Soluții adoptate la conducerea cu calculatorul a procesului de măcinare a clincherului*, Rev. Materiale de construcții, nr.1/1990
25. Blumentahl,Michael, *A guide to Control System Modernisation*, International Cement Review, aug. 1993
26. Bob,C., *Materiale de construcții*, Curs IPTV Timișoara, 1975
27. Brown-Boveri (BBC), *Automation Packages for Cement Plants*, Document DIA 119681E-1996
28. Brown-Boveri (BBC), *Raw Material Quality Control*, Document DIA 137980E-1996
29. Carp, H., *Recent World - Wide Developments in the Area of Computer Control Systems for Cement Plants*, IPA Scientific Session București, 1982
30. Carp, H., *Algorithm for the Operator Guide Control of Raw Material Prehomogenization and Meal Prehomogenization in Cement Plants*, IPA Scientific Session București, 1982
31. CEPROCIM S.A., *Manualul inginerului din industria cimentului*, Editura Tehnică, București, 1994
32. Chamorro, Javier, *Sistemas expertos basados en logica difusa*, Cemento-Hormigon nr.705/1992, Espana
33. Conte,M., *Fuzzy Supervised PID Controllers*, EUFIT94, Aachen 1994
34. Costa,A., *Hardware Solutions for Fuzzy Control*, Proceedings of the IEEE, March 1995

35. Dumitrache, I. ș.a., *Reglarea numerică a proceselor industriale*, Editura Tehnică, București, 1984
36. Dumitrache, I. ș.a., *Automatizări electronice*, Editura Didactică și Pedagogică, R.A., București, 1993
37. Dumitriu, E., *The Application of Distributed Control Systems to Cement Process Control*, IPA Scientific Session, București, 1982
38. F.I.H., *Studiu critic al sistemelor de automatizare existente în fluxul de fabricație a cimentului la S.C. Casial S.A. Deva, faza I*, Contract de cercetare nr.195.1/1996
39. F.I.H., *Soluții de modernizare a sistemelor de automatizare a fluxului tehnologic la S.C. Casial S.A. Deva, faza II*, Contract de cercetare nr.195.2/1996
40. F.L.S., *Control of a Cement Klin by Fuzzy Logic*, 1995
41. Frank, P., *Fuzzy - Supervision - Einsatz der Fuzzy Logik in der Prozessüberwachung*, GMA - Aussprochetag Fuzzy Control Langen 1994
42. Fukuda, T., *Theory and Application of Neural Networks for Industrial Control Systems*, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Dec. 1992
43. Galichet, S., *Fuzzy Controllers: Synthesis and Equivalence*, IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Mai 1995
44. Ghinea, M., Firețeanu, V., *Matlab-calcul numeric-grafică-aplicații*, Editura Teora, București, 1995
45. Gilbert, S., *Fuzzy Logic Optimizes Cement Grinding at the Sanson Cement Plant*, ZKG Nr.6/1992
46. Hillig, M., *Moderne Prozessautomatisation in Zementwerk*, ZKG 1993
47. Höning, H., *Mischungsregelung in Zementwerk Mittels Prozessrechner*, ZKG 1992
48. Iordache, Gh., *Calculul necesarului de putere la morile cu corpuri de rostogolire*, Rev. Materiale de construcții nr.4/1995
49. I.P.A., *Control Systems Based on Process Computers for Cement Plants Automatic Control*, Documentație IPA București, 1990
50. I.P.A., *Process Computer Based Automation of the AL QAIM Cement Plant - Iraq*, IPA project nr.370.89 București
51. I.P.A., *Process Computer Based Automation of the SINJAR Cement Plant*, IPA project nr.370.90 București
52. Jamshidi, M., *Fuzzy Logic and Control*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1993
53. Jang, J.S.R., *Neuro-Fuzzy Modelling and Control*, Proc. of IEEE, March 1995
54. Kahlert, J., *Fuzzy Control für Ingenieure*, Vieweg 1995
55. Kahlert, J., *Fuzzy Logic und Fuzzy Control*, Vieweg - Verlag Wiesbaden 1994
56. Kang, H., *Adaptive Fuzzy Logic Control*, ACC/TP3-1993
57. Larsen, P. Martin, *Industrial Applications of Fuzzy Logic Control*, Int. Journal Man-Machine Studies, vol.12, 1990
58. Lotfi, A., *Fuzzy Inference Systems Toolbox for Matlab Math Works*, Inc. New York, 1993
59. Mendel, J.M., *Fuzzy Logic Systems for Engineering*, Proc. of the IEEE, March 1995
60. Microchip, *PIC 16CXX family*, Documentație de firmă, 1996



61. Muscă,Gh., *Programare în limbaj de asamblare*, Editura Teora, București, 1996
62. ONODA, *Automatisation of Cement Factory MHG Philippines*, Documentație de firmă, Tokyo, 1996
63. Pedrycz,W., *Fuzzy Control and Fuzzy Systems*, John Wiley Inc., New York, 1993
64. Peray,K., *The Rotary Cement Kiln*, Chemical, New York, 1972
65. Preitl,Șt., Precup,R.E., *Introducere în conducerea Fuzzy a proceselor*, Editura Tehnică, București, 1997
66. Pușcașu,D., *Optimizarea instalațiilor de măcinare a cimentului*, Rev. Materiale de construcții nr.3/1993
67. Qin,S.J., *A Multiregion Fuzzy Logic Controller for Nonlinear Process Control*, IEEE Transaction on Fuzzy Systems, Feb.1994
68. Radu,D., *Stabilirea funcției optime de prognoză - aplicație în industria cimentului*, Rev. Materiale de construcții nr.1/1993
69. Rațiu, M., *Modelarea tranziției vitroase prin automate celulare*, Rev. Materiale de construcții nr.3/1994
70. Real Time Devices, Inc., *ADA 3100 - Users Manual*, U.S.A. 1991
71. Real Time Devices, Inc., *Signal View - Reference Guide*, U.S.A. 1991
72. Real Time Devices, Inc., *Signal Math - Reference Guide*, U.S.A. 1991
73. Rehner,H., *Modele matematice pentru bilanțurile de materiale și termice ale instalațiilor de măcinare-uscare*, Rev. Materiale de construcții nr.1/1994
74. Rehner,H., *Modelarea matematică și conducerea cu calculatorul a cuptoarelor din industria silicaților*, Editura I.P.București, 1990
75. Rehner,H., *Modelarea matematică a sistemului complex cuptor rotativ - schimbător de căldură cu cicloane*, Rev. Materiale de construcții nr.1/1991
76. Rehner,H., *Modelarea matematică a răcitorului grătar în condiții statice*, Rev. Materiale de construcții nr.1/1991
77. Rehner,H., *Modelarea matematică a reacțiilor de disociere termică în regim nestaționar*, Rev. Materiale de construcții nr.4/1993
78. Rehner,H., *Câmpul termic în peretele cuptorului rotativ și implicațiile acestuia asupra schimbului complex de căldură*, Rev. Materiale de construcții nr.2/1989
79. Rehner,H., *Modelarea matematică a încălzirii materialului în cuptoare*, Rev. Materiale de construcții nr.1/1990
80. Rehner,H., *Calculul analitic al fluxului termic printr-un perete plan, în condițiile unor temperaturi variabile în timp ale fluidelor învecinate*, Rev. Materiale de construcții nr.3/1995
81. Sângeorzan,D., *Regulatoare adaptive*, Editura Militară, București, 1992
82. Sedlmeir,W., *Modernisation of Control Systems*, International Cement Review, ian. 1995
83. Siemens A.G., *Progress in Automation*, Sipart D.R, 1997
84. Siemens A.G., *Programmable Controllers*, Catalog ST50, 1993
85. Siemens A.G., *Gas Analysis Engineering*, Catalog PA10, PA11, 1996
86. Siemens A.G., *CEMAT - MIS*, Das Information system für cementwerke, 1997

87. Siemens A.G., *Control System CEMAT*, 1997
88. Siemens A.G., *CEMAT CS (interlocking, loops, alarms etc.)*, 1997
89. Siemens A.G., *CEMAT WMS (Mixing and Weighing Automation)*, 1997
90. Siemens A.G., *CEMAT EMS (Energy Management)*, 1997
91. Siemens A.G., *CEMAT DISP (Dispatch Automation)*, 1997
92. Siemens A.G., *CEMAT SCAN (Kiln Shell Scanning and Monitoring)*, 1997
93. Siemens A.G., *CEMAT QCS (Laboratory Automation)*, 1997
94. Siemens A.G., *CEMAT KCS (Kiln Control and Optimisation)*, 1997
95. Siemens A.G., *CEMAT MCS (Mill Control and Optimisation)*, 1997
96. Siemens A.G., *CEMAT V4 (Runtime)*, 1997
97. Siemens A.G., *Prozessautomatisierung*, Catalog MP01, 1994
98. Siemens A.G., *Gas - Chromatographen*, Catalog PGC102, PGC302, 1995
99. Siemens A.G., *SIMADYN D - Digitales Regelsystem*, Catalog DA99, 1993
100. Sladek,R., *Tendințe și inițiative privind mecanizarea, respectiv automatizarea proceselor de ardere în industria ceramicii*, Rev. Materiale de construcții nr.4/1995
101. Stark,J., *Bindebaustoftaschenbuch - Brennprozesse und Brennanlagen*, Verlag für Bauwesen, Berlin 1985
102. Teoreanu,I., *Bazele tehnologiei lianților anorganici*, Editura Didactică și Pedagogică, R.A., București, 1993
103. Terțișco,M. ș.a., *Automatizări industriale continue*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1991
104. Toma,L., *Sisteme de achiziție și prelucrare numerică a semnalelor*, Editura de Vest, Timișoara, 1996
105. Udriște,C. ș.a., *Metode numerice de calcul*, Editura Sirius, București, 1993
106. Umbers,I.G., *An analysis of human decision - making in cement Kiln control and the implications for automatisaton*, International Journal Man-Machine Studies, vol.12 1990
107. Uzinexportimport SA, *Cement Factory NAGA HAMADI - Egipt*, documentație 1981, București
108. Voloșencu,C., *Reglare Fuzzy și neuronală*, Editura Eurobit, Timișoara, 1997
109. Westerlung,T., *A Digital Quality Control System for an Industrial Dry Process Rotary Cement Kiln*, Automatic Control, Nr.4/1981
110. Zeidler,G., *Fuzzy Logic Optimizes Cement Grinding at the Sanson Cement Plant, Spain*, Document FLS 1996
111. Ziya,S., *Total Plant Control System for CIMSA's New Production Line*, Document FLS Danemarca, 1990
112. \*\*\* *Use of Programmable Logic Controllers in Cement Plants*, FLS Review 2/1993